

В. П. РОМАНОВСКИЙ
профессор

СПРАВОЧНИК
ПО
ХОЛОДНОЙ
ШТАМПОВКЕ

ШЕСТОЕ ИЗДАНИЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ



ЛЕНИНГРАД «МАШИНОСТРОЕНИЕ»
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ 1979

ББК 34.623я2
Р69
УДК 621.983(031)

ПРЕДИСЛОВИЕ К ШЕСТОМУ ИЗДАНИЮ

Развитие машиностроения и металлообработки требует дальнейшего совершенствования технологических процессов и организации производства, повышения его эффективности и увеличения производительности труда на базе автоматизации производственных процессов.

Процессы листовой штамповки получили широкое применение в различных отраслях промышленности, благодаря высокой производительности и экономической эффективности.

Шестое издание справочника значительно переработано и дополнено новыми техническими сведениями, отражающими развитие передовой промышленности Советского Союза и других стран, а также результатами новых исследований процессов холодной штамповки.

Структура и рубрикация справочника сохранены прежними, так как они удовлетворяют пожеланиям читателей в части последовательности изложения материала.

В справочнике по-прежнему основное внимание уделено вопросам технологии листовой холодной штамповки, которым посвящено наибольшее количество технических сведений и справочных материалов.

В шестом издании ряд глав справочника дополнен новыми расчетами, технологическими и другими информационными данными:

- методами технологических расчетов процессов вырубки — пробивки с учетом относительной толщины вырубаемых деталей;
- методами чистовой вырубки на прессах простого действия;
- методом расчета локальной удельной загрузки режущих кромок вырубных и пробивных штампов;
- результатами новых исследований процессов глубокой вытяжки;
- исследованиями пластической анизотропии и ее влиянием на штампуемость листовых материалов;
- данными по штамповке полиуретаном;
- методами испытания листовых металлов и т. д.

Ввиду выпуска издательством «Машиностроение» в 1973 г. специализированного справочника «Холодная объемная штамповка», во избежание дублирования справочных материалов, из шестого издания справочника по холодной листовой штамповке соответствующие главы исключены.

В соответствии с поступившими рецензиями и в связи с уменьшением объема некоторые вопросы, рассмотренные в пятом издании справочника, в данное издание не включены.

В простых математических зависимостях знак деления дан в виде косой линии, в структурно сложных формулах — в обычном виде (горизонтальная линия).

Все отзывы и пожелания по справочнику будут приняты с благодарностью.

Романовский В. П.

Р69 Справочник по холодной штамповке. — 6-е изд., перераб. и доп. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. — 520 с., ил.

В пер.: 2 р. 50 к.

В справочнике в систематизированном виде приведены руководящий и справочный материалы по технологическим процессам и штампам листовой холодной штамповки; даны краткие сведения по наиболее применяемым листовым материалам, их механическим и технологическим свойствам.

В отличие от предыдущего издания (1971 г.) в справочник включены новые сведения по процессам листовой штамповки, в частности чистовой вырубки; в нем отражены достижения передовых предприятий. Объем справочника сокращен за счет сжатого систематизированного изложения материала многих разделов.

Справочник предназначен для инженерно-технических работников — специалистов в области холодной листовой штамповки, а также может быть использован студентами вузов и техникумов.

Р 31205—080 80—79 2704030000
038(01)—79

ББК 34.623я2
БП4.2(083)

ИБ № 2274

Виктор Петрович РОМАНОВСКИЙ

СПРАВОЧНИК ПО ХОЛОДНОЙ ШТАМПОВКЕ

Редактор Н. З. Симоновский. Переплет художника С. С. Венедиктова.
Технический редактор Л. В. Щетинина. Корректор Э. С. Романова.
Сдано в набор 31.10.78. Подписано в печать 08.05.79. М-26259. Формат 60×90^{1/16}. Вумага типографская № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 32,5.
Уч.-изд. л. 41,49. Тираж 62 000 (1-й з-д 1—30 000) экз. Зак. 261. Цена 2 р. 50 к.
Ленинградское отделение издательства «Машиностроение», 191065, Ленинград, Д-65, ул. Дзержинского, 10.

Отпечатано с матриц ордена Октябрьской Революции, ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского производственно-технического объединения «Печатный Двор» имени А. М. Горького Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. 197136, Ленинград, П-136, Гатчинская, 26, в Ленинградской типографии № 6 Ленинградского производственного объединения «Техническая кинга» Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. 193144, Ленинград, С-144, ул. Моисеенко, 10. Заказ 1433.

© Издательство «Машиностроение», 1979 г.

ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

P — расчетное усилие штамповки (вырубки, вытяжки и т. д.), кгс;	$\sigma_{и}$ — сопротивление изгибу, кгс/мм ² ;
S — толщина материала, мм;	$[\sigma_{и}]$ — допускаемое напряжение на изгиб, кгс/мм ² ;
$C = h_n/S$ — относительная глубина вдавливания вырубного пуансона;	$[\sigma_{сж}]$ — допускаемое напряжение на сжатие, кгс/мм ² ;
S_1 — толщина материала после деформации (гибки, вытяжки), мм;	$\delta, \delta_5, \delta_{10}$ — относительное удлинение, %;
$\alpha = S_1/S$ — коэффициент утонения материала;	ψ — относительное сужение, %;
ρ — радиус кривизны нейтрального слоя при гибке, мм;	$\varepsilon = \ln(l/l_0)$ — истинная деформация (в логарифмическом виде);
ρ_n — радиус кривизны слоя, нейтрального по напряжениям, мм;	$\varepsilon_r, \varepsilon_R$ — деформация крайних волокон при гибке (выражена через полное относительное удлинение);
A — работа деформирования (вырубки, гибки, вытяжки и т. д.), кгс·м;	ψ_r, ψ_R — деформация крайних волокон при гибке (выражена через относительное сужение сечения);
N — мощность пресса, кВт;	E — модуль упругости при растяжении, кгс/мм ² ;
M — изгибающий момент, кгс·м;	G — модуль упругости при кручении, кгс/мм ² ;
$W_{пл}$ — момент сопротивления при пластическом изгибе;	HB — твердость по Бринеллю;
$W = BS^2/6$ — момент сопротивления прямоугольного сечения;	HRC и HRB — твердость по Роквеллу (шкалы C и B);
J — момент инерции сечения, мм ⁴ ;	D — диаметр заготовки, мм;
σ_T — предел текучести при растяжении, кгс/мм ² ;	m — коэффициент вытяжки;
σ_B — предел прочности (временное сопротивление разрыву), кгс/мм ² ;	$K = 1/m$ — степень вытяжки;
$\sigma_{ср}$ — сопротивление срезу, кгс/мм ² ;	n — показатель степени упрочнения;
	Q — усилие прижима при вытяжке, кгс;
	q — давление, кгс/мм ² ;
	μ — коэффициент трения;
	R_a — показатель пластической анизотропии;
	$R_{ср}$ — средний коэффициент анизотропии

ВВЕДЕНИЕ

Холодная листовая штамповка является одним из наиболее прогрессивных технологических методов производства; она имеет ряд преимуществ перед другими видами обработки металлов как в техническом, так и в экономическом отношении.

В *техническом отношении* холодная штамповка позволяет:

- 1) получать детали весьма сложных форм, изготовление которых другими методами обработки или невозможно или затруднительно;
- 2) создавать прочные и жесткие, но легкие по массе конструкции деталей при небольшом расходе материала;
- 3) получать взаимозаменяемые детали с достаточно высокой точностью размеров, преимущественно без последующей механической обработки.

В *экономическом отношении* холодная штамповка обладает следующими преимуществами:

- 1) экономным использованием материала и сравнительно небольшими отходами;
- 2) весьма высокой производительностью оборудования, с применением механизации и автоматизацией производственных процессов;
- 3) массовым выпуском и низкой стоимостью изготавливаемых изделий.

Наибольший эффект от применения холодной штамповки может быть обеспечен при комплексном решении технических вопросов на всех стадиях подготовки производства, начиная с создания технологических конструкций или форм деталей, допускающих экономичное изготовление их.

Разработка технологических процессов холодной штамповки и проектирование штампов неразрывно связаны между собой, хотя и могут выполняться разными лицами. Технолог должен хорошо знать конструкцию штампов, а конструктор должен обладать основными технологическими знаниями по холодной штамповке.

Холодная листовая штамповка объединяет большое количество разнообразных операций, которые могут быть систематизированы по технологическим признакам. По характеру деформаций холодная штамповка расчленяется на две основные группы: деформации с разделением материала и пластические деформации.

Первая группа объединяет деформации, которые приводят к местному разъединению материала путем среза и отделения одной его части от другой. Группа пластических деформаций холодной листовой штамповки включает операции по изменению формы гнутых и полых листовых деталей.

Имеется четыре основных вида деформаций холодной листовой штамповки:

- 1) резка — отделение одной части материала от другой по замкнутому или незамкнутому контуру;
- 2) гибка — превращение плоской заготовки в изогнутую деталь;
- 3) вытяжка — превращение плоской заготовки в полую деталь любой формы или дальнейшее изменение ее размеров;
- 4) формовка — изменение формы детали или заготовки путем местных деформаций различного характера.

Каждый из основных видов деформаций холодной штамповки подразделяется на ряд отдельных конкретных операций, характеризующихся особенностью и назначением работы, а также типом штампа.

На рис. 1 приведена классификация основных операций холодной листовой штамповки¹.

Штамповка деталей путем выполнения нескольких отдельных операций в большинстве случаев экономически невыгодна, вследствие чего обычно применяют методы комбинированной штамповки, одновременно сочетающие две или несколько из указанных деформаций и отдельных операций. Кроме того, на производстве используются сборочно-штамповочные операции, основанные на применении деформаций гибки, формовки или отбортовки.

Комбинированная штамповка представляет собой совмещение в одном штампе двух или нескольких технологически различных операций штамповки (переходов).

По технологическому признаку комбинированные операции могут быть разделены на три группы: 1) разделительные комбинированные операции, совмещающие

¹ Ввиду пересмотра ГОСТ 18970—73 на терминологию по обработке металлов давлением, определения и характеристики операций см. в предыдущих изданиях справочника [107].

различные виды режущих операций (вырубка, пробивка, отрезка); 2) формоизменяющие комбинированные операции, совмещающие виды операций изменения формы (вытяжка, рельефная формовка, гибка, отбортовка и пр.); 3) комбинированные операции резки и изменения формы, совмещающие разделительные операции с формоизменяющими, или сочетающие несколько операций (вырубка — вытяжка, формовка и пробивка),

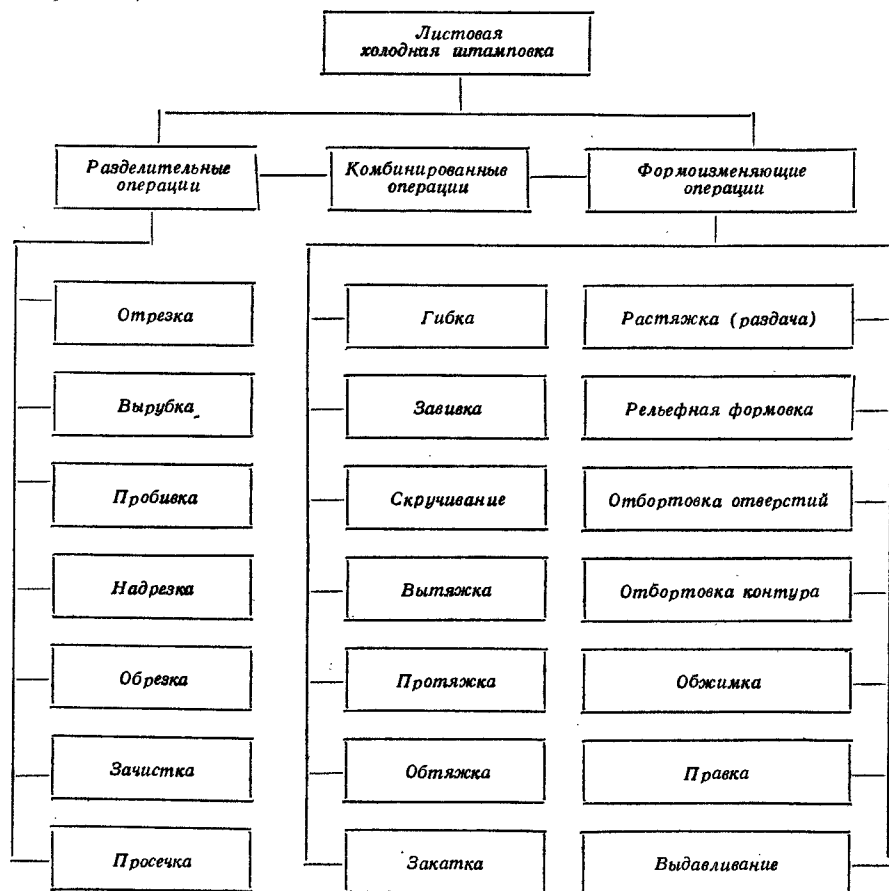


Рис. 1. Классификация основных операций холодной листовой штамповки

По способу совмещения операций комбинированная штамповка разделяется на три группы: 1) совмещенную; 2) последовательную; 3) совмещенно-последовательную.

При совмещенной штамповке одновременно выполняется несколько различных операций за один ход пресса и за одну установку заготовки в штампе.

Последовательная штамповка объединяет несколько различных операций (переходов), осуществляемых последовательно отдельными пуансонами за несколько ходов пресса при перемещении заготовки между ними; причем за каждый ход пресса получается готовая деталь.

При совмещенно-последовательной штамповке выполняется несколько различных операций путем сочетания в одном штампе совмещенной и последовательной штамповки.

Практически осуществимо большое количество разнообразных типов комбинированной штамповки и штампов. Поэтому в дальнейшем будут рассмотрены лишь наиболее распространенные операции комбинированной штамповки.

Кроме штамповочных операций в холодной штамповке применяются заготовительные, давольно-накатные, вспомогательные, термические и отделочные операции.

Холодная листовая штамповка широко применяется в машиностроительной, приборостроительной и других отраслях промышленности. Наибольшее распространение холодная штамповка получила в крупносерийном и массовом производстве, где большие масштабы выпуска позволяют применять технически более совершенные, хотя и более сложные и дорогие штампы.

Ряд изделий массового производства и народного потребления изготавливается десятками и сотнями миллионов штук в год. Наряду с этим в настоящее время холодная листовая штамповка широко применяется в мелкосерийном и даже единичном производстве.

Расширение области применения холодной листовой штамповки, с одной стороны, характеризуется значительным увеличением габаритов штампуемых деталей до 10 м и более, а с другой стороны — резким уменьшением размеров — миниатюризацией деталей.

Основным прогрессивным конструктивным показателем, характеризующим эффективность применения холодной листовой штамповки, является снижение массы при увеличении прочности и жесткости штампованных из листа деталей по сравнению с литыми, коваными или обработанными из сортового проката.

Основным прогрессивным технологическим фактором дальнейшего развития холодной листовой штамповки является стремление получить штамповкой полностью законченную деталь, не требующую дальнейшей обработки резанием.

Прогрессивность тех или иных технологических методов неразрывно связана с серийностью и конкретными условиями данного производства, а следовательно, является не столько технологическим, сколько организационно-техническим понятием.

Производственно-технологические методы, прогрессивные в мелкосерийном производстве, в большинстве случаев оказываются непрогрессивными и нецелесообразными в условиях крупносерийного и массового производства, и наоборот. Этим объясняется различие производственных методов и путей развития холодной штамповки в массовом и мелкосерийном производстве.

В крупносерийном и массовом производстве развитие холодной штамповки характеризуется:

- 1) применением сложных совмещенно-комбинированных штампов;
- 2) применением многопозиционной последовательной штамповки в ленте;
- 3) механизацией и автоматизацией процессов штамповки;
- 4) созданием быстроходных автоматических прессов и специальных автоматов;
- 5) совершенствованием и развитием методов, дающих повышенную точность и производительность и заменяющих обработку металлов резанием (чистовая вырубка, зачистка в штампах, холодное выдавливание).

В мелкосерийном и единичном (опытном) производстве холодная листовая штамповка характеризуется использованием универсальных и дешевых упрощенных штампов (пластинчатых, листовых, нематаллических), а также применением новых технологических методов (штамповки резиной, гидравлической штамповки, штамповки взрывом, гидроэлектрическим разрядом, магнитными импульсами и др.).

Характеристикой серийности в штамповочном производстве являются коэффициент серийности, выражаемый количеством операций, закрепленных за прессом, и ориентировочный годовой выпуск штампуемых деталей [107]. Приводим приближенные значения коэффициента серийности.

Тип производства	Массовое	Крупносерийное	Серийное	Мелкосерийное	Единичное
Количество операций на один пресс	1—3	3—10	10—30	30—100	Неопределенно

РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ

1. РЕЗКА ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА НОЖНИЦАМИ


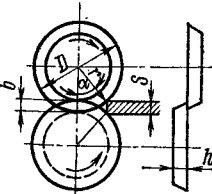
Листовые материалы для холодной штамповки в большинстве случаев предварительно разрезают на полосы или заготовки необходимых размеров. Резка полос является заготовительной операцией и производится на рычажных, гильотинных, дисковых (роликовых) или вибрационных ножницах, а также на специальных отрезных штампах.

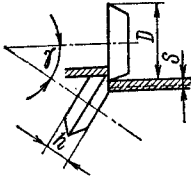
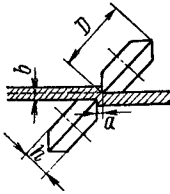
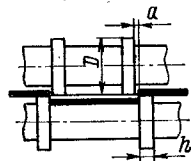
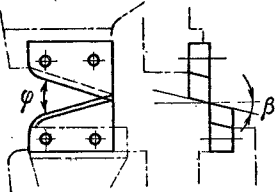
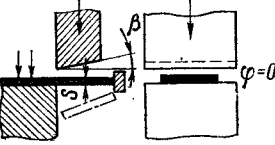
Процесс резки листового материала ножницами состоит из трех последовательных стадий: упругой, пластической и скалывания.

На срезанной кромке листа четко выделяются две зоны: узкая блестящая полоска, соответствующая пластической стадии, и более широкая матовая зона скалывания. При резке толстого материала получается S-образная форма скола.

Различные способы резки листового металла и типы режущих инструментов приведены в табл. 1.

1. Различные способы резки листовых материалов

Тип ножниц и схема	Рабочие элементы режущих инструментов	Основное применение
 <p>Гильотинные и рычажные</p>	<p>Угол створа: для гильотинных ножниц $\varphi = 2 \div 6^\circ$; для рычажных ножниц $\varphi = 7 \div 12^\circ$ Угол резания $\delta = 75 \div 85^\circ$ Задний угол $\gamma = 2 \div 3^\circ$ Для упрощения заточки ножей допускается $\delta = 90^\circ$ и $\gamma = 0$ Зазор между ножами от 0,05 до 0,2 мм</p>	<p>Резка листовых материалов на полосы или штучные заготовки. Толщина разрезаемого материала до 40 мм (в зависимости от типа ножниц)</p>
 <p>Дисковые (с параллельными осями)</p>	<p>Угол захвата $\alpha < 14^\circ$ Заход ножей $b = (0,2 \div 0,3) S$ Размер ножей (дисков): для толстых материалов ($S > 10$ мм) $D = (25 \div 30) S$, $h = 50 \div 90$ мм; для тонких материалов ($S < 3$ мм) $D = (35 \div 50) S$, $h = 20 \div 25$ мм</p>	<p>Резка листов на полосы, а также резка круглых (дисковых) заготовок с выходом на край листа. Толщина разрезаемого материала до 30 мм (разные типы ножниц)</p>

Тип ножниц и схема	Рабочие элементы режущих инструментов	Основное применение
 <p>Дисковые (с наклонным нижним ножом)</p>	<p>Угол наклона $\gamma = 30 \div 40^\circ$ Размеры ножей (дисков): для толстых материалов ($S > 10$ мм) $D = 20S$, $h = 50 \div 80$ мм; для тонких материалов ($S < 3$ мм) $D = 28S$, $h = 15 \div 20$ мм</p>	<p>Резка полос и круглых дисковых и кольцевых заготовок. Толщина разрезаемого материала до 30 мм (разные типы ножниц)</p>
 <p>Дисковые (с наклонными ножами)</p>	<p>Зазор $a \leq 0,2S$ Зазор $b \leq 0,3S$ Размер ножей (дисков): для толстых материалов ($S > 10$ мм) $D = 12S$, $h = 40 \div 60$ мм; для тонких материалов ($S < 5$ мм) $D = 20S$, $h = 10 \div 15$ мм</p>	<p>Резка круглых, дисковых, кольцевых и криволинейных заготовок с малым радиусом, толщиной до 20 мм. Криволинейная поверхность задней режущей грани обеспечивает свободный поворот материала</p>
 <p>Многодисковые (с параллельными осями)</p>	<p>Угол резания 90° Размеры ножей: $D = (40 \div 125) S$, $h = 15 \div 30$ мм Перекрытие: $b = \pm 0,5S$; зазор $a = (0,1 \div 0,2) S$</p>	<p>Для одновременной резки нескольких полос, а также для обрезки полос и лент по ширине. Толщина материала до 10 мм (разные типы ножниц)</p>
 <p>Вибрационные</p>	<p>Число ходов 2000—25 000 в минуту Ход ножа 2—3 мм Передний угол $\beta = 6 \div 7^\circ$ Угол створа $\varphi = 24 \div 30^\circ$</p>	<p>Резка криволинейных заготовок по разметке или шаблону с малым радиусом (до $r = 15$ мм). Толщина материала до 10 мм</p>
 <p>Отрезные штампы</p>	<p>Передний угол $\beta = 2 \div 3^\circ$ Угол створа $\varphi = 0$</p>	<p>Резка полос на штучные заготовки</p>

Наиболее распространена резка листов на гильотинных ножницах. В цехах металлических конструкций и заготовительных цехах некоторых заводов производится резка сортового и профильного проката на специальных прессножницах усилием до 1600 тс при наибольшем размере сечения 250×250 мм. Способы резки профилей и типы применяемого инструмента приведены в специальной литературе.

2. УСИЛИЕ РЕЗАНИЯ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА НОЖНИЦАМИ

Определение усилий при резке ножницами производят по формулам, приведенным в табл. 2,

2. Определение усилий резания ножницами

Способ резки	Схема	Усилие резания, кгс
Параллельными ножницами		$P = LS\sigma_{ср}$
Гильотинными ножницами		$P = 0,5 \frac{S^2}{\text{tg } \varphi} \sigma_{ср}$ (для φ от 2 до 5°)
Дисковыми ножницами		$P = 0,5 \frac{h_n S}{\text{tg } \alpha} \sigma_{ср}$

Обозначения: L — длина реза, мм; φ — угол створа ножниц, град; $\sigma_{ср}$ — сопротивление срезу, кгс/мм² [$\sigma_{ср} = (0,6 \div 0,8) \sigma_B$]; h_n — глубина вдавливания ножей к моменту скалывания, мм; α — угол захвата роликных ножниц, град.

Учитывая наличие изгиба при резке, а также неравномерность толщины материала и притупление ножей, расчетное усилие увеличивают на 30% и полное усилие

я принимают равным $P_n = 1,3 P$, для чего в формулах вместо $\sigma_{ср}$ может быть $\sigma_B \approx 1,3 \sigma_{ср}$.

Рис. 2 приведена схема резания листа гильотинными ножницами или ножом режущей кромкой, на которой показаны графики местного (единичного)

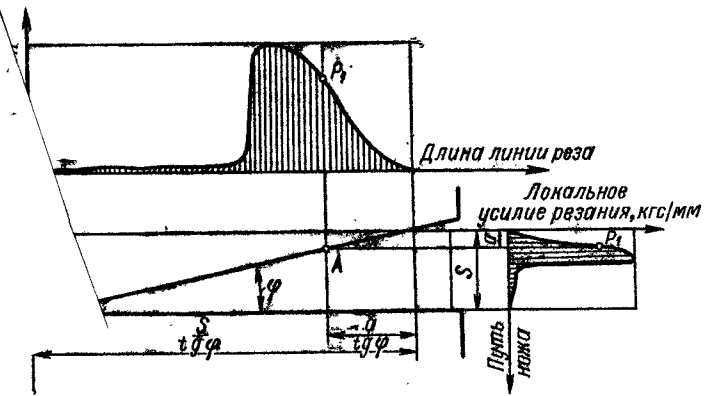


Рис. 2. Схема резания листа на гильотинных ножницах

усилия резания [205]. На рисунке обозначено: P_1 — текущее усилие резания в точке A при погружении режущей кромки на глубину a . В процессе резания положение графика перемещается по линии реза.

В производственных условиях усилие резания гильотинными ножницами обычно не подсчитывают, так как в паспорте ножиц содержится указания о предельной толщине и наибольшей длине разрезаемых стальных листов ($\sigma_B \geq 45$ кгс/мм²).

3. РЕЗКА ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА ШТАМПАМИ

Процесс резания штампами при вырубке, пробивке и других операциях в некоторой степени аналогичен процессу резания ножницами. В данном случае пуансон и матрица являются как бы ножами замкнутой конфигурации, имеющими сопряженные режущие кромки. Однако процессы резания существенно отличаются.

Последовательность процесса вырубке показана на рис. 3.

Процесс резания штампами также состоит из трех стадий: упругой, пластической и скалывания.

В первой стадии происходит упругий изгиб металла с легким выдавливанием его в отверстие матрицы. При этом напряжения в металле не превосходят предела упругости.

В пластической стадии происходит вдавливание пуансона в металл и выдавливание его в отверстие матрицы.

Вдавливание вырубного пуансона происходит не по всей торцевой поверхности, а лишь по кольцевому (или иной формы в плане) пояску шириной b . Такое же вдавливание наблюдается и со стороны матрицы. Отпечатки от локализованного вдавливания пуансона и матрицы остаются на вырубленной детали и отходе в виде смятой полоски вдоль контура резания.

В результате локализованного вдавливания пуансона и матрицы возникает круговой изгибающий момент, образованный силами резания, условно представленными на рис. 3, I и II равнодействующими нормальных напряжений.

Под действием кругового изгибающего момента заготовка получает пространственный изгиб (выпучивание), при котором с наружной (выпуклой) стороны заготовки возникает напряженное состояние двухосного растяжения, а на внутренней стороне — двухосного сжатия.

Непосредственно под режущей кромкой пуансона создается напряженное состояние объемного сжатия, а над режущей кромкой матрицы — напряженное состояние с напряжениями радиального растяжения. Первое более благоприятно для пластического течения металла, а второе — менее благоприятно и способствует возникновению микротрещин в зоне резания.

К концу второй стадии напряжения вблизи режущих кромок достигают максимальной величины, соответствующей сопротивлению металла срезу.

В третьей стадии процесса вырубki у режущих кромок матрицы образуются скальвающие трещины (рис. 3, III). После дальнейшего погружения пуансона и

исчерпывания местной пластичности металла скальвающие трещины возникают и у режущих кромок пуансона (рис. 3, IV и V). Эта последовательность скальвания подтверждается тем, что блестящий пояс, соответствующий пластической стадии резания, на отходе значительно шире, чем на детали.

Скальвающие трещины, направленные по линиям наибольших деформаций сдвига (поверхностям скольжения), быстро распространяются на внутренние слои металла и вызывают отделение вырезаемой детали.

Во время первой и второй стадий вырубki скорость погружения пуансона уменьшается; а с начала третьей стадии — резко увеличивается. При дальнейшем движении пуансон проталкивает вырезанную деталь через рабочую шейку матрицы.

При нормальном зазоре между пуансоном и матрицей z_1 поверхности сдвига (линии скольжения), возникающие у режущих кромок пуансона, совпадают с поверхностями сдвига и трещинами, возникшими у режущих кромок матрицы, и образуют общую криволинейную поверхность скальвания (рис. 3, а).

При малом зазоре z_2 и большой толщине материала поверхности сдвига, идущие от кромок пуансона, не совпадают с поверхностями сдвига, возникшими у кромок матрицы. Оставшаяся кольцевая перемычка перерезается при дальнейшем погружении пуансона с возникновением новых скальвающих трещин, причем на детали образуются надры и двойной срез

с протянутым заусенцем (рис. 3, б). Поверхность отверстия получается сравнительно гладкой, лишь в нижней части образуется небольшой шероховатый скол. Поэтому, если требуется получить отверстие с гладкими ровными стенками, следует производить пробивку с малым зазором между пуансоном и матрицей.

При вырубке с малым зазором твердых материалов двойного среза обычно не получается. В случае очень большого зазора на поверхности образуются равные заусенцы от затягивания и обрыва металла в зазоре.

После возникновения скальвающих трещин величина изгибающего момента M резко падает, вследствие чего происходит уменьшение кривизны вырезаемой детали, увеличение ее размеров и распор детали в отверстии матрицы.

Металлографические исследования макро- и микроструктуры вырубленных деталей показывают, что металл в зоне резания претерпевает значительные структур-

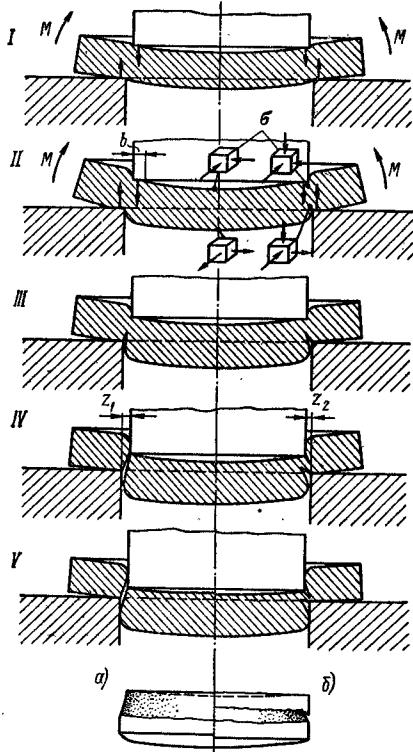


Рис. 3. Последовательность процесса вырубki и поверхность среза

ные изменения и наклепывается. Глубина наклепанного слоя зависит от толщины материала, его свойств и первоначальной структуры, зазора и качества режущих кромок, а также от скорости вырубki.

На рис. 4 показано влияние скорости вырубki на форму среза вырубленной детали и на глубину наклепанного слоя при вырубке тонколистовой стали с числом ходов пресса 60, 120, 330 и 450 ход/мин [69].

При небольшом числе ходов пресса (60 ход/мин, рис. 4, а) глубина вдавливания пуансона до момента образования скальвающих трещин составляет 64% толщины материала. Пластическая стадия процесса вырубki сильно развита, а наклепанная зона довольно значительна.

При увеличении числа ходов пресса до 120 и 330 ход/мин (рис. 4, б и в) и повышении начальной скорости вырубki

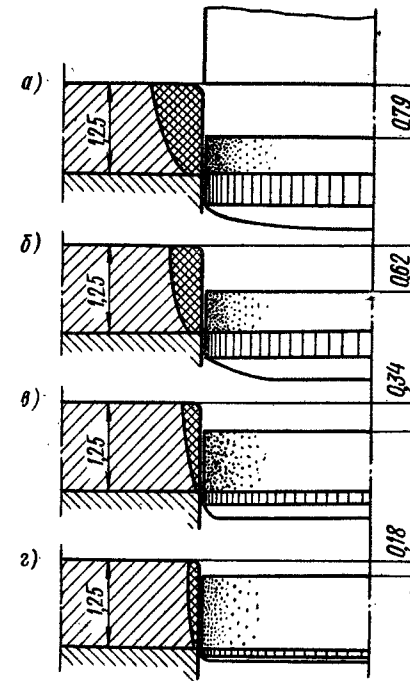


Рис. 4. Поверхность среза и глубина наклепанного слоя при вырубке с различным числом ходов пресса

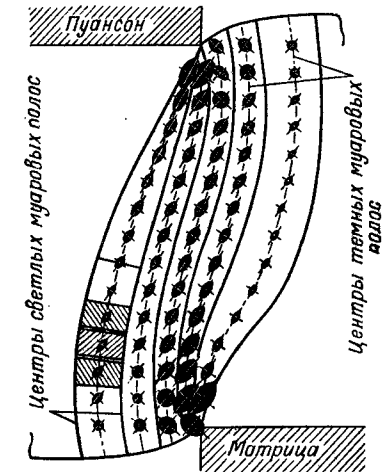


Рис. 5. Неравномерность деформаций в зоне резания (по В. И. Веру)

глубина вдавливания пуансона уменьшается соответственно от 50 до 27%. Пластическая стадия процесса значительно уменьшается, в связи с чем уменьшается величина наклепанной зоны металла.

Наконец, при быстрходной штамповке с числом ходов пресса 450 ход/мин (рис. 4, г) пластическая стадия и глубина вдавливания пуансона снижается до 14%, наибольшее развитие получает третья стадия процесса — скальвание. Большая часть поверхности среза представляет собой сравнительно ровный скол. Глубина наклепанного слоя невелика.

Локальный характер процесса разделения листовых металлов сопровождается резкой неравномерностью деформаций в зоне резания.

Новые исследования процесса разделения металла методом муаровых полос, выполненные В. И. Бером и Д. И. Суяровым [12], позволяют четко фиксировать границы пластической области и с высокой степенью точности вычислить локальные эллипсы деформации и направления локальных осей для большого количества точек в зоне резания, как показано на рис. 5 для одной из промежуточных стадий процесса.

Установлено, что по мере углубления пуансона, происходит изменение границ пластической области и непрерывный рост локальных деформаций, сопровождаемый поворотом главных осей локальных эллипсов.

Локальные пластические деформации могут быть определены также по методу Моравецкого путем нанесения мельчайшей координатной сетки (плотность до 1200 ячеек на 1 мм²) с измерением деформации под микроскопом или по фотоснимку с 400-кратным увеличением [207].

Приводим оригинальные способы резки.

На рис. 6, а показан новый способ резки тонкостенных труб, без вдавливания отхода внутрь трубы. Вначале, движением поперечного ползуна с зубчатым резачком в зажатой трубе срезается шлиц высотой $h = 2S$. Вслед за этим опускаю-

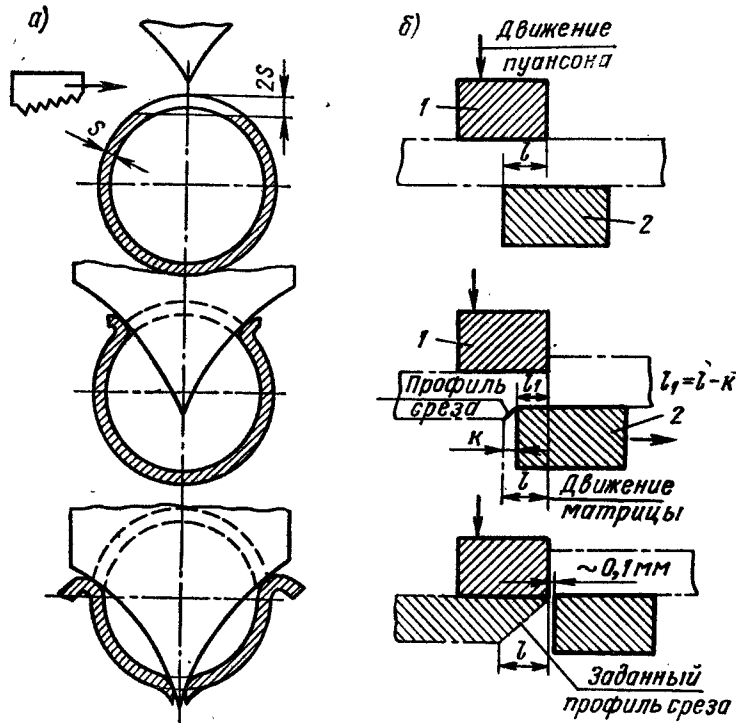


Рис. 6. Схемы резки труб (а) и резки скосов на краях листов (б)

щийся отрезной пуансон копьевидной формы входит в прорезь трубы и отрезает отход, загибая его наружу. Поверхность среза получается более качественной. Штамп для резки указанным способом приведен в работе [84]. Там же описаны способы криволинейной резки труб и типовые пуансоны для резки профальированных заготовок. На рис. 6, б показан новый, внедренный на производстве способ холодной резки скосов на краях листовых заготовок¹. Сущность этого способа заключается в том, что срез кромки (фаски) происходит в результате вертикального перемещения плоского пуансона при одновременном горизонтальном перемещении ползуна. По мере движения штампа происходит постепенное сближение режущих кромок пуансона 1 и матрицы 2. Чистота среза соответствует 6-му классу шероховатости.

¹ Кравец М. Л. А. с. 415068.

4. УСИЛИЕ РЕЗАНИЯ ПРИ ВЫРУБКЕ И ПРОБИВКЕ

В процессе вырубке листового металла возникает сложное неоднородное силовое поле, сконцентрированное вблизи режущих кромок пуансона и матрицы. На рис. 7 приведена схема сил, действующих на заготовку при вырубке без прижима.

Пуансон обычно вдавливается в листовую заготовку не по всей торцевой поверхности, а лишь по кольцевому (или иной формы) пояску шириной b . Такое же вдавливание происходит и со стороны матрицы. Давление пуансона и матрицы по ширине пояска распределено неравномерно, как показано на рис. 7. Оно может быть заменено равнодействующими удельными усилиями P_1 и P_2 , приходящимися на единицу длины контура, диаметром d_1 и d_2 .

Таким образом при вырубке — пробивке возникает пара сил P_1 и P_2 с плечом a , создающих круговой (пространственный) изгибающий момент M , под действием которого относительно тонкая заготовка изгибается и выпучивается. В результате изгиба заготовки возникает давление металла на наружную поверхность пуансона и распирающее давление на кромки матрицы (на рис. 7 показаны реактивные удельные усилия Q и R). Кроме нормальных сил на поверхности заготовки действуют касательные усилия, созданные силами трения ($\mu P_1, \mu Q, \mu P_2, \mu R$).

Ввиду сложности и неоднородности силового поля при вырубке — пробивке в технологических расчетах применяется условная технологическая величина — сопротивление срезу (кгс/мм²)

$$\sigma_{ср} = P_{\max} / LS.$$

Она объединяет все виды сопротивления вырезаемого металла и автоматически учитывает упрочнение металла к моменту скола.

Сопротивление срезу является условной величиной вследствие того, что усилие отнесено к площади боковой поверхности детали. Экстремальное значение сопротивления срезу получаем, если отнесем максимальное усилие к оставшейся площади поверхности заготовки в момент начала скалывания шириной $S = h_n$. Экстремальное и условное сопротивления срезу находятся в зависимости

$$\sigma_{эк} = \sigma_{ср} / (S - h_n).$$

Однако глубина вдавливания h_n не является постоянной для данного металла, так как зависит также от зазора и скорости вырубке (см. рис. 4), что затрудняет практическое применение этой величины. Кроме того, для определения расчетного усилия вырубке и пресса нет необходимости прибегать к экстремальным значениям $\sigma_{эк}$, так как P_{\max} имеет одно и то же значение, при любом способе подсчета.

На рис. 8 приведена типовая диаграмма изменения усилия вырубке на протяжении рабочего хода. Навысшая точка кривой соответствует наибольшему усилию P_{\max} и окончанию пластической стадии процесса вырубке. Перегиб кривой

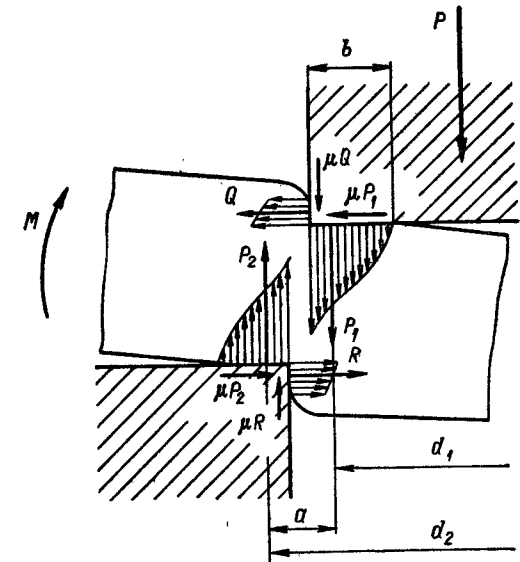


Рис. 7. Схема сил, действующих на заготовку в процессе вырубке

характеризует возникновение скалывающих трещин у режущих кромок матрицы, а затем и у пуансона, что является началом скола. Вертикальная линия соответствует окончанию вырубki, резкому падению усилия и разгрузке прессы. Остальная часть диаграммы фиксирует вибрации ползуна прессы и проталкивание детали в матрицу.

Как показали исследования автора [122; 123], сопротивление срезу зависит не только от механических свойств металла и степени предварительного наклепа, но также от относительной толщины вырубki, зазора и скорости процесса резания. Следовательно, σ_{cp} не может быть однозначной величиной для какого-либо металла, а различна в разных случаях процесса вырубki или пробивки.

В результате экспериментальных исследований процесса вырубki-пробивки круглых деталей и отверстий в заготовках из листовой стали различных толщин и марок [122] установлена количественная зависимость

$$\sigma_{cp} = (mS/d + 0,6) \sigma_B,$$

где m — коэффициент, зависящий от относительного зазора z/S .

При оптимальной величине двустороннего зазора $z = 0,15S$ коэффициент $m = 1,2$, а сопротивление срезу находится по формуле

$$\sigma_{cp} = (1,2S/d + 0,6) \sigma_B \approx (1 + 2S/d) \sigma_B.$$

Выявленная зависимость σ_{cp} от относительной толщины детали S/d объясняется значительным увеличением жесткости вырубаемых деталей при увеличении отношения S/d , в результате чего резко возрастают удельные расширяющие усилия, а следовательно, повышается сопротивление металла разделению.

На рис. 9, а приведена аппроксимированная зависимость σ_{cp}/σ_B от относительной толщины детали S/d для стали при разной величине зазоров. На

рис. 9, б приведена величина сопротивления срезу в зависимости от отношения S/d для наиболее применяемых марок углеродистых сталей при оптимальном зазоре.

Расчетное усилие процесса среза штампами с параллельными режущими кромками определяется по формуле

$$P_{cp} = LS\sigma_{cp},$$

где σ_{cp} — сопротивление срезу с учетом отношения S/d и величины зазора.

Полное усилие вырубki обычно учитывает поправку на неоднородность материала и затупление режущих кромок введением поправочного коэффициента $k = 1,2$. В случае применения пружинного, резинового или пневматического съемника, прижима или выталкивателя к расчетному усилию вырубki прибавляют усилие сжатия буферов или пружин. Полное усилие вырубki составляет

$$P = 1,2P_{cp} + Q_6 = 1,2LS\sigma_{cp} + Q_6,$$

где Q_6 — усилие сжатия буфера, прижима, съемника, кгс.

Для упрощения подсчета усилий можно пользоваться усредненными значениями σ_{cp} по табл. 3.

Как видно из табл. 3, для большинства случаев вырубki деталей крупных и средних размеров вследствие малой жесткости их влияние относительной толщины на σ_{cp} сравнительно невелико. Поэтому в указанных случаях практически можно пользоваться приближенной средней величиной $\sigma_{cp} = (0,7 \div 0,8) \sigma_B$. Но при пробивке отверстий с отношением $S/d \geq 0,2$, в результате резкого увеличения цилинд-

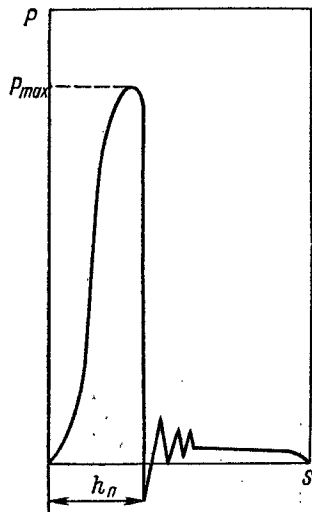


Рис. 8. Изменение усилия вырубki на протяжении рабочего хода

3. Усредненные расчетные значения σ_{cp}

Различные случаи вырубki — пробивки		Усредненное значение σ_{cp}	
		при $z = 0,15S$ ($m = 1,2$)	при $z = 0,005S$ ($m = 3,0$)
Вырубка	Крупные детали ($d \geq 1000S$)	$0,6\sigma_B$	$0,65\sigma_B$
	Средние детали ($d \geq 50S$)	$0,7\sigma_B$	$0,8\sigma_B$
	Мелкие детали [$d = (5 \div 10)S$]	$0,8\sigma_B$	$(1 \div 1,2)\sigma_B$
Пробивка	Отверстие $d \leq (5 \div 2,5)S$	σ_B	$(1,5 \div 1,8)\sigma_B$
	$d \leq (2 \div 1,5)S$ $d = S$	$(1,2 \div 1,4)\sigma_B$ $1,8\sigma_B$	$(2,0 \div 2,6)\sigma_B$ $3,6\sigma_B$

рической жесткости отхода и упрочнения металла σ_{cp} значительно возрастает и должна определяться по приведенным выше формулам или диаграмме (рис. 9, б).

Точные методы расчетов имеют наибольшее значение для определения фактической локальной нагрузки режущих кромок для выбора наиболее стойкой штамповой стали. Указанные расчеты приведены в третьем разделе.

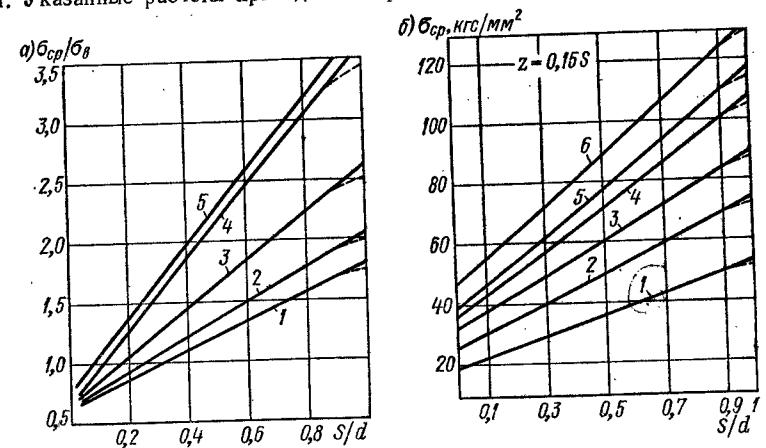


Рис. 9. Зависимость сопротивления срезу от отношения S/d : а — зависимость σ_{cp}/σ_B от относительной толщины детали S/d для углеродистой стали; 1 — $z = 0,15S$; 2 — $z = 0,1S$; 3 — $z = 0,05S$; 4 — $z = 0,005S$ (беззазорная вырубка); б — сопротивление срезу для наиболее распространенных сталей; 1 — сталь 08кп; 2 — сталь 20 и Ст3; 3 — сталь 30; 4 — сталь 45; 5 — сталь X18H10T; 6 — сталь 65Г

Усилие прессы обычно берется значительно больше расчетного усилия вырубki для увеличения запаса жесткости и повышения надежности и долговечности прессы и штампа (см. второй раздел).

Так как на практике приходится иметь дело с материалами определенных марок по ГОСТам, то для удобства практического использования в справочных таблицах приведены укрупненные данные по сопротивлению срезу при вырубке и механическим свойствам для основных гостированных материалов, применяемых в холодной штамповке¹.

¹ См. пятый раздел.

Сведения по сопротивлению срезу при вырубке неметаллических материалов приведены в гл. VIII.

Для определения экстремальной величины сопротивления срезу

$$\sigma_{\text{ср. вк}} = \left(m \frac{S}{d} + 0,6 \right) \sigma_{\text{в}} \frac{S}{S - h_{\text{п}}}$$

необходимо найти $h_{\text{п}}$, зависящую от пластичности металла, толщины заготовки, зазора и скорости деформирования (числа ходов пресса). Эта величина соответствует высоте пластической зоны поверхности среза, являющейся качественной частью поверхности среза, так как только эта поверхность участвует в сопряжении с другими деталями и контролируется по размерам.

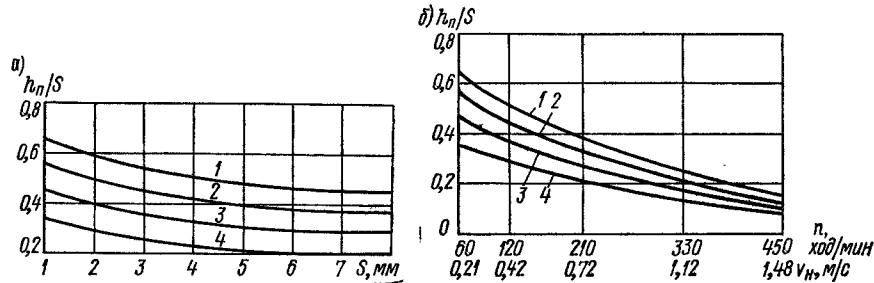


Рис. 10. Зависимость $h_{\text{п}}/S$ от толщины материала (а) и числа ходов пресса (б): 1 — для стали 08кп ($\sigma_{\text{в}} = 30$ кгс/мм²); 2 — для стали 20кп ($\sigma_{\text{в}} = 40$ кгс/мм²); 3 — для стали 30 ($\sigma_{\text{в}} = 50$ кгс/мм²); 4 — для стали 50 ($\sigma_{\text{в}} = 65$ кгс/мм²)

На рис. 10, а приведены усредненные значения зависимости относительной величины $h_{\text{п}}/S$ от толщины материала для наиболее применяемых в листовой штамповке марок сталей. Приведенные данные относятся к вырубке с малой скоростью при нормальных зазорах между пуансоном и матрицей. При вырубке на быстроходных прессах (400—600 ход/мин) относительная глубина вдавливания уменьшается от трех до пяти раз.

На рис. 10, б приведена экспериментальная зависимость $h_{\text{п}}/S$ от числа ходов пресса для материала толщиной 1—1,2 мм.

В результате совместного решения указанных зависимостей получены следующие уравнения [126]:

для стали 08кп ($\sigma_{\text{в}} = 30$ кгс/мм²)

$$h_{\text{п}}/S = 0,76 - 0,035S - 0,0014n;$$

для стали 20кп ($\sigma_{\text{в}} = 40$ кгс/мм²)

$$h_{\text{п}}/S = 0,67 - 0,04S - 0,0012n;$$

для стали 30 ($\sigma_{\text{в}} = 50$ кгс/мм²)

$$h_{\text{п}}/S = 0,54 - 0,032S - 0,001n,$$

где n — число ходов пресса в минуту (от 60 до 450 ход/мин).

Для уменьшения усилий резания при вырубке толстого материала или деталей больших размеров применяют штампы со скошенными режущими кромками пуансонов или матриц.

Различные типы скоса режущих кромок приведены на рис. 11.

При вырубке деталей пуансон должен быть плоским, а скос делается на матрице (рис. 11, а, б). Деталь получается плоской, а отход изогнутым. Скос должен быть двусторонним и симметричным относительно центра давления штампа.

При пробивке отверстий матрица должна быть плоской, а скос делается на пуансоне (рис. 11, в, г, д), вследствие чего деталь остается плоской, изгибается же отход.

Односторонний скос режущих кромок применяется лишь при надрезке с отгибкой (рис. 11, е). В других случаях односторонние скосы делать не рекомендуется. Обычно применяемые величины двусторонних скосов приведены в табл. 4.

На рис. 12 приведены различные способы заточки торца пуансонов для пробивки толстых материалов ($S = 10 + 20$ мм). Основная цель — уменьшение нагрузки и увеличение прочности режущих кромок для повышения стойкости пробивных пуансонов.

4. Применяемые величины скосов

Толщина материала, мм	Скос H , мм	Угол скоса ϕ , ...	Среднее усилие резания в % от P_{max}
До 3	2S	До 5	30—40
3—10	S	» 8	60—65

5. Приближенные формулы для определения усилий при вырубке в штампах со скошенными режущими кромками

Тип вырезки	Тип скоса (рис. 11)	Формулы усилий вырубк
Общий случай вырубк со скосом режущих кромок	а б в г д	Упрощенная формула $P = LS\sigma_{\text{ср}}k$, где k — коэффициент для L до 200 мм При $H = S$ $k = 0,4 + 0,6$ при $H = 2S$ $k = 0,2 + 0,4$
Прямоугольная вырубк с двусторонним скосом режущих кромок	а б	При $H > S$ $P = 2\sigma_{\text{ср}} \left(a + b \frac{0,5S}{H} \right) S$ При $H = S$ $P = 2S\sigma_{\text{ср}} (a + 0,5b)$
Квадратная вырубк с четырехсторонним скосом	в	$P = \frac{4S^2\sigma_{\text{ср}}}{\text{tg } \phi} k$
Круглая вырубк с двусторонним скосом	а б в	При $H = S$ $P = 0,66\pi d S \sigma_{\text{ср}}$
Надрезка прямоугольной формы с односторонним скосом	е	При $H > S$ $P = S\sigma_{\text{ср}} \left(a + b \frac{S}{H} \right)$ При $H = S$ $P = S\sigma_{\text{ср}} (a + b)$

Обозначения: H — высота скоса; ϕ — угол скоса, град; a и b — ширина и длина прямоугольной вырубк, мм; d — диаметр круглой вырубк, мм.

Примечание. Уточненные формулы см. [46].

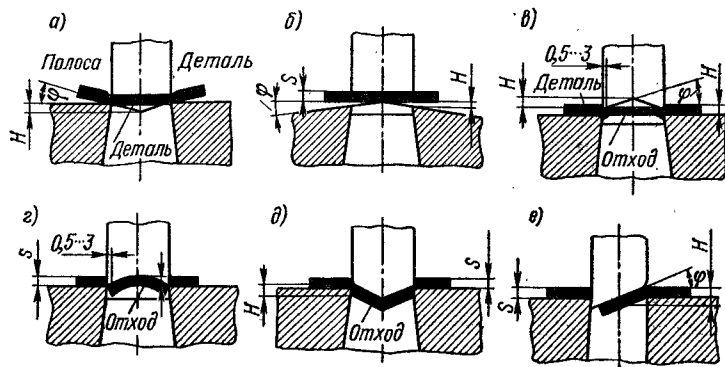


Рис. 11. Различные типы скоса режущих кромок: H — глубина скоса; φ — угол скоса

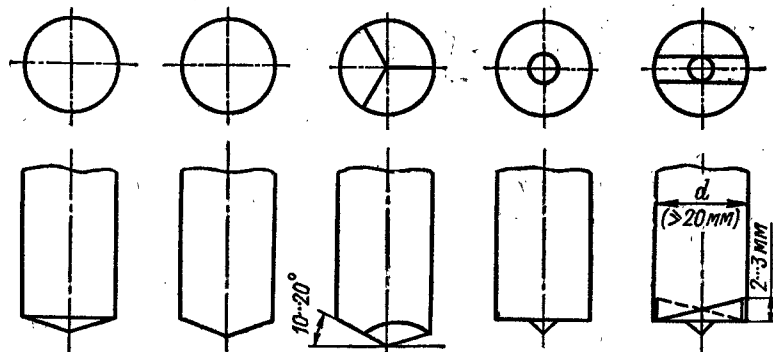


Рис. 12. Различные способы заточки торца пуансонов для пробивки толстых материалов

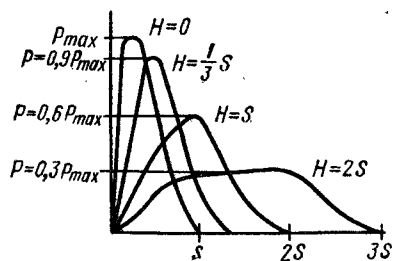


Рис. 13. Диаграмма уменьшения усилий при вырубке в штампах со скосом режущих кромок (H — величина скоса)

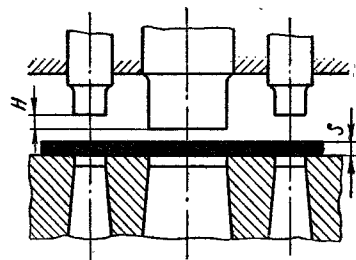


Рис. 14. Ступенчатое расположение пуансонов

На диаграмме (рис. 13) показано уменьшение требуемых усилий при вырубке в штампах с различным скосом режущих кромок. При многопуансонной вырубке или пробивке пуансоны делают разной длины (рис. 14), вследствие чего усилия не совпадают во времени и не суммируются.

Ступенчатая длина пуансонов применяется не только для уменьшения усилия вырубке, но главным образом для уменьшения износа и повышения стойкости пуансонов. С этой целью тонкие пуансоны делают более короткими. Величина H (см. рис. 11) для тонких материалов обычно берется равной толщине материала, а для толстых — половине толщины материала.

Определение усилий при вырубке в штампах со скошенными режущими кромками производится по формулам, приведенным в табл. 5.

Усилие пресса берется больше расчетного усилия и обычно принимается в соответствии с указанным на стр. 16. Следовательно, полное усилие вырубке может быть определено по формулам, приведенным в табл. 5, с заменой $\sigma_{ср}$ на $\sigma_{в}$ и добавленном усилии на сжатие буфера.

Усилие, необходимое для снятия полосы с пуансона, определяется по формуле

$$P_{св} = k_{св} P,$$

где P — полное усилие вырубке, кгс; $k_{св}$ — коэффициент, определяемый в зависимости от типа штампа и толщины материала (табл. 6).

При многопуансонной пробивке усилие съема с пуансонов увеличивается вследствие образования распора материала, достигающего значительной величины.

Усилие, необходимое для проталкивания детали через матрицу с цилиндрической шейкой, определяется по формуле

$$P_{пр} = k_{пр} P n,$$

где P — полное усилие вырубке, кгс; $k_{пр}$ — коэффициент, устанавливающий соотношение между $P_{пр}$ и P ; $n = h/S$ — количество деталей, находящихся в шейке матрицы; S — толщина вырубаемых деталей, мм.

В случае вырубке с обратным выталкиванием $n = 1$.

Коэффициент $k_{пр}$ составляет в среднем при вырубке на провал $k_{пр} = 0,05 + 0,10$; при вырубке с обратным выталкиванием $k_{пр} = 0,07 + 0,14$; причем наибольшие значения относятся к более тонким материалам.

Для обратного выталкивания вырезанной детали усилие выталкивания увеличивается вследствие выпучивания детали и распора, создаваемого при выталкивании в обратном направлении.

Работа резания (кгс·м) при вырубке плоскими кромками определяется по формуле

$$A = x \frac{PS}{1000},$$

где P — полное усилие вырубке, кгс; x — коэффициент, определяемый из соотношения $x = P_{ср}/P$ ($P_{ср}$ — усредненное усилие вырубке).

Величина коэффициента x зависит от рода и толщины материала. Его значения приведены в табл. 7 (при вырубке с небольшим числом ходов пресса).

Для разных материалов ($\sigma_{ср} = 30$ кгс/мм² и $\sigma_{ср} = 60$ кгс/мм²) при одной и той же толщине материала и одном и том же диаметре вырубке усилие вырубке P во втором случае в два раза больше, чем в первом. Однако $P_{ср}$ увеличивается только

6. Значения коэффициента $k_{св}$ для определения усилия съема с пуансона

Толщина материала, мм	Коэффициент $k_{св}$ в зависимости от типа штампа		
	однопуансонного вырубного или пробивного	последовательного (пробивка — вырубка)	многопуансонного пробивного
До 1	0,02—0,06	0,06—0,08	0,10—0,12
1—5	0,06—0,08	0,10—0,12	0,12—0,15
Св. 5	0,08—0,10	0,12—0,15	0,15—0,20

7. Значения коэффициента $x = P_{ср}/P$

Материал	Коэффициент x при толщине материала, мм			
	До 1	1—2	2—4	Св. 4
Сталь мягкая ($\sigma_{ср} = 25 + 35$ кгс/мм ²)	0,70—0,65	0,65—0,60	0,0—0,50	0,45—0,35
Сталь средней твердости ($\sigma_{ср} = 35 + 50$ кгс/мм ²)	0,60—0,55	0,55—0,50	0,50—0,42	0,40—0,30
Твердая сталь ($\sigma_{ср} = 50 + 70$ кгс/мм ²)	0,45—0,40	0,40—0,35	0,35—0,30	0,30—0,15
Алюминий, медь (отожженные)	0,75—0,70	0,70—0,65	0,65—0,55	0,50—0,40

на 30—40% вследствие уменьшения относительной глубины вдавливания h/S и более раннего момента скалывания. Поэтому коэффициент x изменяется (уменьшается) пропорционально относительной глубине вдавливания. Работа резания изменяется пропорционально $P_{ср}$, т. е. в данном случае увеличивается на 30—40%.

Приведенные данные относятся к вырубке с нормальным зазором между пуансоном и матрицей (см. табл. 9). При малых зазорах коэффициент x значительно увеличивается, а при вырубке на быстроходных прессах уменьшается.

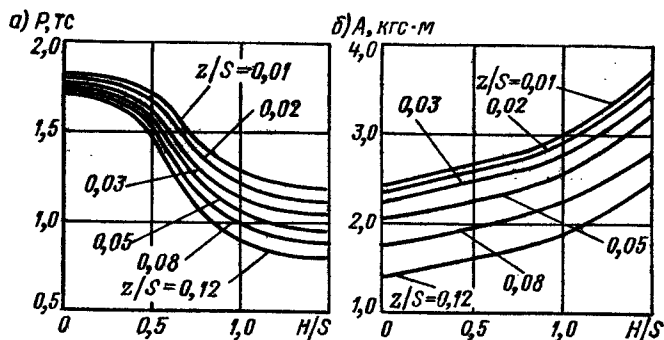


Рис. 15. Зависимость усилия и работы резания скошенными кромками от H/S и z/S

Из приведенной выше формулы работы резания видно, что усилие вырубке лимитируется предельной величиной работы прессы, иначе электродвигатель будет перегружен по мощности, что приведет к уменьшению частоты вращения и перегреву обмотки. Поэтому подбор прессы следует производить не только по усилию, но и по работе резания.

Работа резания при скошенных режущих кромках определяется по формуле

$$A = x_1 P \frac{S + H}{1000},$$

где P — усилие резания скошенными кромками, кгс; H — высота скоса, мм; x_1 — коэффициент, приблизительно принимаемый для мягкой стали: при $H = S$ $x_1 \approx 0,5 + 0,6$; при $H = 2S$ $x_1 \approx 0,7 + 0,8$.

На рис. 15 приведена зависимость усилия (а) и работы резания (б) скошенными кромками от скоса H/S . Как видно из рис. 15, усилие резания с повышением угла скоса значительно уменьшается, а работа резания, наоборот, увеличивается.

Пример. Определить расчетное усилие вырубке круглой заготовки диаметром $d = 50$ мм, толщиной 5 мм из стали 20кп ($\sigma_v = 40$ кгс/мм²). Двусторонний зазор $z = 0,15 S$. Найти требуемое усилие прессы, учитывая, что вырубка происходит с обратным выталкиванием детали и пружинным съемом отхода с пуансона.

Для отношения $S/d = 0,1$ при $z = 0,15 S$ сопротивление срезу составляет (см. рис. 9, б) $\sigma_{ср} \approx 30$ кгс/мм².

Расчетное усилие среза

$$P_{ср} = \pi d S \sigma_{ср} = 23\ 600 \text{ кгс.}$$

Давление нижнего буфера $0,1 P$. Давление сжатия пружин съемника $0,06 P$.

Усилие вырубке

$$P = 1,2 P_{ср} + 0,16 P_{ср} = 1,36 P_{ср} = 32\ 100 \text{ кгс.}$$

Берем кривошипный пресс усилием 40 тс.

5. ЗАЗОРЫ МЕЖДУ МАТРИЦЕЙ И ПУАНСОНОМ

Зазоры имеют большое технологическое значение в процессе резания листовых материалов как в отношении качества поверхности среза (см. рис. 3), так и в отношении сопротивления срезу и влияния на стойкость штампов. Заусенцы и дефекты поверхности среза возникают в результате неравномерного распределения зазора по периметру и при затуплении режущих кромок пуансона и матрицы. На рис. 16

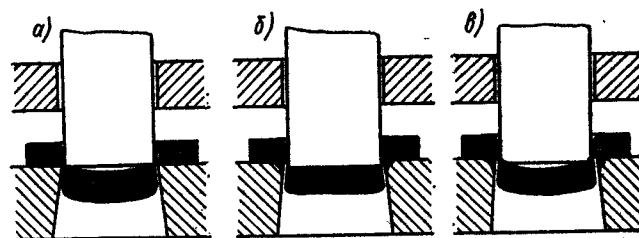


Рис. 16. Образование заусенцев при затуплении режущих кромок

изображена схема образования заусенцев в результате значительного затупления режущих кромок. При затуплении режущих кромок пуансона заусенцы образуются на вырезаемой детали (рис. 16, а). При затуплении матрицы заусенцы возникают вокруг пробитого отверстия (рис. 16, б). Наконец, если затупились и матрица, и пуансон, заусенцы образуются и на детали, и вокруг отверстия на материале (рис. 16, в).

Необходимо указать, что незначительное притупление режущих кромок ($r = 0,05 + 0,1$ мм) в случае вырубке из стали толщиной свыше 1 мм не вызывает появления заусенцев и повышает стойкость штампа. Так, при чистовой вырубке с зазором $0,01$ мм, а также при зачистке рекомендуется искусственное притупление режущих кромок матрицы. Такое же притупление рекомендуется у режущих кромок пуансона, работающего в паре с твердосплавной матрицей. При вырубке тонких материалов притупление режущих кромок недопустимо.

Многообразие производственных условий и различие предъявляемых к деталям требований по чистоте среза и точности размеров не позволяют установить единую величину зазора, одинаково пригодную для всех случаев штамповки.

Примерные величины односторонних зазоров приведены в табл. 8.

Разница в величине зазоров для разных материалов (за исключением алюминия и высокоуглеродистой стали) сравнительно невелика, к тому же она практически

перекрывается колебаниями допусков на изготовленные пуансоны и матрицы. Поэтому для практического пользования следует применять значения зазоров без разграничения по роду материала, согласно табл. 9, в которой приведены предельные значения начальных зазоров, допустимых при изготовлении вырубных и пробивных штампов, выраженные в долях миллиметра. В процессе эксплуатации и износа рабочих частей штампов зазоры увеличиваются и становятся больше приведенных в таблице.

8. Примерные величины односторонних зазоров для разных случаев штамповки

Область применения	Толщина материала, мм	Односторонний зазор в % от S
Пробивка отверстий с гладкими стенками	До 3 3—10 10—20	2—4 4—6 6—8
Вырубка и пробивка алюминия	До 3 3—10	2—4 4—6
Вырубка и пробивка нержавеющей стали 12X18H10T и 12X18H9T	До 3 3—10	0,02—0,03 мм 0,04—0,05 мм
Вырубка и пробивка электротехнической стали Э1100—Э2200 и Э3100—Э3300	0,5	5—8
Штамповка на быстроходных прессах	До 3	6—10
Вырубка весьма крупных деталей из тонколистового металла	До 2	8—10
Чистовая вырубка (с прижимом и поперечной осадкой)	До 10	$\leq 0,01$ мм (0,5 ÷ 1%) S
Чистовая вырубка мелких деталей типа гаек из толстого материала	Св. 6	1

При штамповке материалов толщиной менее 0,2 мм практически применяют беззазорные штампы. В этом случае рабочий контур закаленной матрицы получается прошивкой его через закаленную матрицу. При пробивке мелких отверстий ($d < 0,5S$) зазоры берутся от 0,01 до 0,015S.

Основные правила направления зазоров.

1. При вырубке наружного контура зазор берется за счет уменьшения размеров пуансона. Размер матрицы принимается равным наименьшему предельному размеру детали.

2. При пробивке отверстий зазор образуется за счет увеличения размеров матрицы. Размер пуансона берется равным наибольшему предельному размеру отверстия.

9. Значения начальных зазоров при изготовлении вырубных и пробивных штампов (зазоры диаметральные или двусторонние), мм

Толщина материала, мм	Начальный зазор		Толщина материала, мм	Начальный зазор	
	наименьший	наибольший		наименьший	наибольший
0,3	0,02	0,04	6	0,8	1,0
0,5	0,03	0,06	7	1,0	1,3
0,8	0,05	0,08	8	1,3	1,6
1,0	0,06	0,10	9	1,5	1,8
1,2	0,08	0,12	10	1,8	2,2
1,5	0,10	0,16	11	2,1	2,5
1,8	0,12	0,20	12	2,4	2,7
2,0	0,14	0,22	13	2,7	3,0
2,2	0,17	0,25	14	3,0	3,4
2,5	0,20	0,28	15	3,3	3,7
2,8	0,22	0,32	16	3,6	4,0
3,0	0,24	0,36	17	3,9	4,4
3,5	0,32	0,46	18	4,2	4,7
4,0	0,40	0,56	19	4,5	5,0
4,5	0,50	0,68	20	4,9	5,4
5	0,60	0,80			

Примечания:

1. Наименьшие начальные зазоры являются номинальными. Наибольшие начальные зазоры учитывают увеличение их за счет допусков на изготовление пуансона и матрицы.

2. При пробивке отверстий с гладкими стенками в материале толщиной до 5 мм зазоры брать по нижнему пределу, указанному в данной таблице, для более толстых материалов — согласно табл. 8.

3. Для вырубной и пробивной мягкой алюминия толщиной до 5 мм зазоры брать по нижнему пределу, а для вырубной и пробивной твердых материалов ($\sigma_v > 50$ кгс/мм²) — по верхнему пределу, указанному в таблице.

6. ЧИСТОВАЯ ВЫРУБКА, ПРОБИВКА И ОТРЕЗКА

Обычная вырубка и пробивка листового материала дают неровную, слегка криволинейную и шероховатую поверхность среза (см. рис. 3, а). В ряде случаев изготовления штампованных деталей повышенной точности (4,3 и 2-го класса) требуется гладкая и перпендикулярная поверхность среза с шероховатостью поверхности до 8-го класса по ГОСТ 2789—73. Зачастую это достигается последующей доработкой на фрезерных, шлифовальных и доводочных станках, что малопроизводительно и дорого. В этом случае более эффективно применять способы чистовой вырубной и пробивной, имеющие значительные преимущества по сравнению с механической обработкой резанием и дающие гладкую полированную поверхность среза, перпендикулярную к плоскости изделия, при повышенной точности изготовления.

Сущность способов чистовой вырубной заключается в создании высокого давления на заготовку и изменении схемы напряженного состояния металла в зоне резания.

В результате весьма высокого поверхностного давления на заготовку

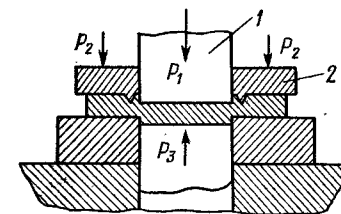


Рис. 17. Способ создания высокого давления при чистовой вырубке

зоне резания возникает напряженное состояние объемного сжатия, которое способствует устойчивости пластической деформации и пластическому течению металла. Вследствие этого в процессе вырубной скалывающиеся трещины не возникают, а срез получается чистым по всей толщине заготовки. Этот способ применяется для изготовления деталей точного приборостроения толщиной от 1,5 до 15 мм. Шероховатость поверхности среза соответствует 8-му классу по ГОСТ 2789—73.

На рис. 17 приведен наиболее распространенный способ чистовой вырубной с поперечной осадкой заготовки. В этом способе применен метод местного вдавливания прижима 2, снабженного клиновым ребром, идущим вдоль наружной конфигурации пуансона. При вдавливании ребра происходит вытеснение металла заготовки к режущим кромкам и создание интенсивного гидростатического давления в зоне резания. Опускающийся вслед за этим вырубной пуансон 1 вырезает деталь с гладкой

и перпендикулярной поверхности среза, соответствующей 8—9-му классу шероховатости поверхности по ГОСТ 2789—73.

Величина одностороннего зазора берется в пределах 0,005—0,01 мм. Режущие грани матрицы притуплены или закруглены радиусом $r = 0,1 \div 0,2$ мм.

На рис. 18 приведена форма клиновых ребер двух типов: *a* — изготовленных фрезерованием и применяемых для материалов толщиной до 4 мм и *б* — изготовленных электроискровым способом и применяемых для материалов толщиной свыше 4 мм.

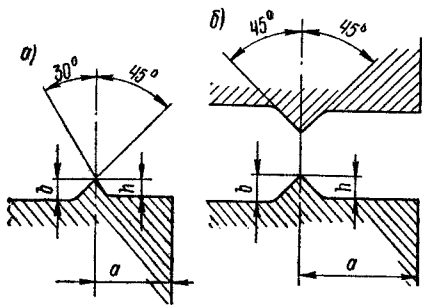


Рис. 18. Форма клиновых ребер

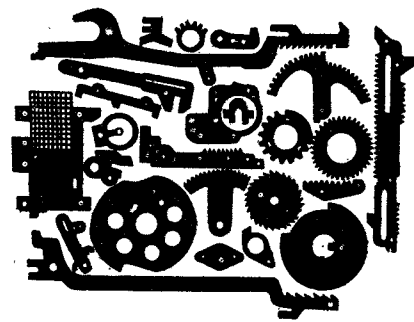


Рис. 19. Типы деталей, изготавливаемых чистой вырубкой

Высота клина и расстояние до его вершины зависят от толщины материала и приведены в табл. 10 [194].

10. Размеры клиновых ребер, мм

Для листов толщиной до 4 мм (рис. 18, а)				Для листов толщиной свыше 4 мм (рис. 18, б)			
S, мм	a	h	b	S, мм	a	h	b
0,5	0,5	0,20	0,25	4,5	3,2	0,50	0,55
1	0,7	0,30	0,35	5,0	3,7	0,55	0,60
2	1,4	0,40	0,45	6,0	4,2	0,60	0,65
3	2,1	0,45	0,50	8,0	5,0	0,70	0,75
4	2,8	0,50	0,55	10,0	6,0	0,85	0,90

Для материалов толщиной до 4 мм клиновое ребро делается только на прижиме, а для материалов толщиной свыше 4 мм — с обеих сторон: и на прижиме, и на матрице, причем рекомендуется у одного из ребер расстояние *b* сместить на 0,2—0,3 мм.

Типы деталей, изготавливаемых чистой вырубкой, обычно отличаются весьма сложной формой контура (рис. 19). Изготавливать клиновые ребра такой же конфигураций было бы весьма сложно и не всегда нужно. На рис. 20 приведены способы упрощения контура клиновых ребер для деталей различных очертаний. При этом соблюдается следующее правило: если ширина или впадина на детали меньше ($3 \div 4$) *S*, то клиновое ребро обходит их; если ширина паза больше $4S$, то клиновое ребро входит внутрь паза.

Чистовую вырубку обычно выполняют на гидравлических или механогидравлических прессах тройного действия.

Схема последовательности чистой вырубki приведена на рис. 21.

1. Нижний стол и нижняя часть штампа 2 и 3 движутся вверх, поднимают полосу и прижимают ее к матрице 4, клиновые ребра вдавливаются в полосу; выталкиватель 1 прижимает полосу к пуансону 2 (рис. 21, а).

2. Пуансон движется вверх и врезается в металл. Нижний стол неподвижен. Давление прижима и противодействие выталкивателя сохраняются (рис. 21, б).

3. Вырубка детали окончена, давление пуансона и противодействие выталкивателя выключаются. Нижний стол находится в верхнем положении (рис. 21, в).

4. Нижний стол опускается вниз и раскрывает штамп, пуансон опускается вниз, полоса снимается с пуансона и остается на прижиме (рис. 21, г).

5. Происходит подача освобожденной полосы, выталкиватель удаляет деталь из матрицы (рис. 21, д).

6. Подача полосы и удаление детали из штампа закончены. Нижний стол находится в исходном положении. Начинается новый ход пресса (рис. 21, е).

Все механизмы пресса работают автоматически.

Для чистой вырубki применяют один из двух типов штампов: с подвижным пуансоном (рис. 22, а) или с неподвижным пуансоном (рис. 22, б). Матричная сторона штампов обычно одинакова. Первый тип применяется преимущественно при вырубке небольших деталей, а второй — для более крупных деталей. Глубина захода пуансона в матрицу допускается не более 0,1 мм.

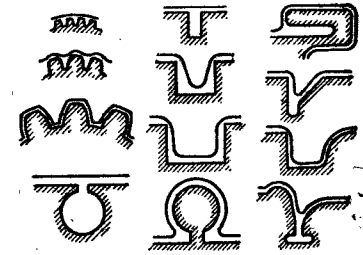


Рис. 20. Способы упрощения контура клинового ребра

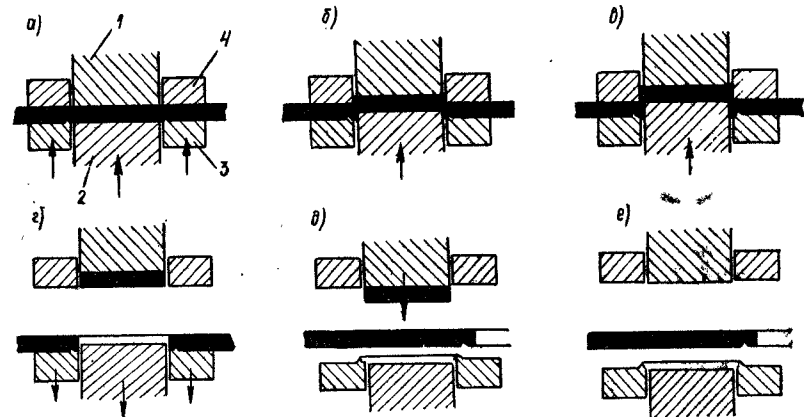


Рис. 21. Последовательность чистой вырубki

Основная трудность при изготовлении штампов для чистой вырубki заключается в получении равномерного по контуру почти нулевого зазора. Имеются различные указания по величине зазора при чистой вырубке: ряд швейцарских фирм („Есса“) рекомендуют зазоры независимо от толщины материала в пределах 0,005—0,01 мм на сторону. Фирма „Анда“ [193] и др. рекомендуют зазоры для тонкого материала 0,005—0,0075 мм, а для толстого материала 0,01—0,02 мм. Фирма „Файнтул“ рекомендует дифференцированное значение зазоров в зависимости от толщины материала, как показано в табл. 11 [194].

11. Значения зазоров в зависимости от толщины материала, %

Толщина материала, мм	Наружный контур	Внутренний контур		
		$d < S$	$d = S$	$d > 5S$
1	1%	2,5	2	1
2		2,5	1	0,5%
3		2,0	2	
4		1,7	0,75	
6		1,7	0,5	
10		1,5	0,5	
15	1,0	0,5		

толщины; на рис. 23, б показана чистовая вырубка толстых деталей в предварительно изогнутой или профилированной заготовке. Недостатком первой схемы является заход части режущей кромки пуансона в матрицу на величину скоса, У второй схемы этого недостатка нет.

Чистовой вырубкой изготавливаются также детали с различной толщиной отдельных элементов, получаемые расплющиванием, осадкой и чеканкой.

Клиновые ребра увеличивают расход материала, так как перемычки между деталями и боковые перемычки при чистовой вырубке несколько больше, чем при обычной вырубке, и составляют от 1,5 до 2 толщины материала.

Для получения качественных деталей при чистовой вырубке должны соблюдаться определенные требования по наименьшему расстоянию отверстий или пазов от края детали, а также минимальные диаметры пробиваемых отверстий (рис. 24).

На рис. 25, а приведена диаграмма [194] зависимости минимального расстояния до края от толщины детали. Пример на рисунке: $S = 4$ мм, минимальное расстояние до края по диаграмме $a/S = 0,62$, откуда $a = 2,5$ мм.

На рис. 25, б приведены значения минимальных диаметров отверстия в зависимости от толщины материала. Пример на рисунке: $S = 6$ мм, минимальный относительный диаметр по диаграмме $S = 0,67$, откуда $d = 4$ мм.

На рис. 26, а приведена зависимость минимальной ширины шлица от его длины и толщины материала. Пример на рисунке: $S = 10$ мм; $l = 70$ мм, минимальная относительная ширина по диаграмме $b/S = 0,86$; $b = 8,6$ мм.

На рис. 26, б приведена диаграмма значения наименьшего расстояния от шлица до края детали в зависимости от его длины и толщины материала. Пример на рисунке: $S = 2,5$ мм, $l = 15$ мм, минимальное расстояние по диаграмме $\delta/S = 0,97$, откуда $\delta = 2,4$ мм.

Усилие, требуемое для чистовой вырубке, составляет от 1,5 до 3,0 расчетного усилия обычной вырубке.

Общее усилие при чистовой вырубке

$$P = P_p + P_{вд} + P_{пр},$$

где P_p — усилие, необходимое для разделения материала (вырубке контура детали); $P_{вд}$ — усилие, требуемое для вдавливания клинового ребра; $P_{пр}$ — усилие прижима (противодавления).

Основной характеристикой для выбора пресса является усилие вырубке P_p , а не суммарное усилие всех гидроцилиндров пресса.

Указание о том, что усилие резания подсчитывается по формулам для обычной вырубке — пробивки ошибочно и приводит к неверным результатам [128].

Силовой режим чистовой вырубке значительно отличается от обычной вырубке. Спротивление срезу при чистовой вырубке выше, чем при обычной вырубке, вследствие того, что чистовая вырубка происходит при весьма малом зазоре

Очевидно, это объясняется тем, что во время чистовой вырубке неизбежны упругие и тепловые деформации рабочих частей штампа, вследствие чего зазор может уменьшиться до нуля.

В результате закругления режущей кромки матрицы детали, полученные чистовой вырубкой, имеют небольшой грат со стороны, примыкавшей к пуансону. Удаление грата производится у крупных деталей на специальном лентошлифовальном станке, а у мелких деталей — на вибрационной установке с влажным абразивом. Чистовой вырубкой изготавливают не только плоские, но и изогнутые детали (рис. 23).

На рис. 23, а приведены схемы чистовой вырубке с одновременным изгибом, применяемой для деталей небольшой

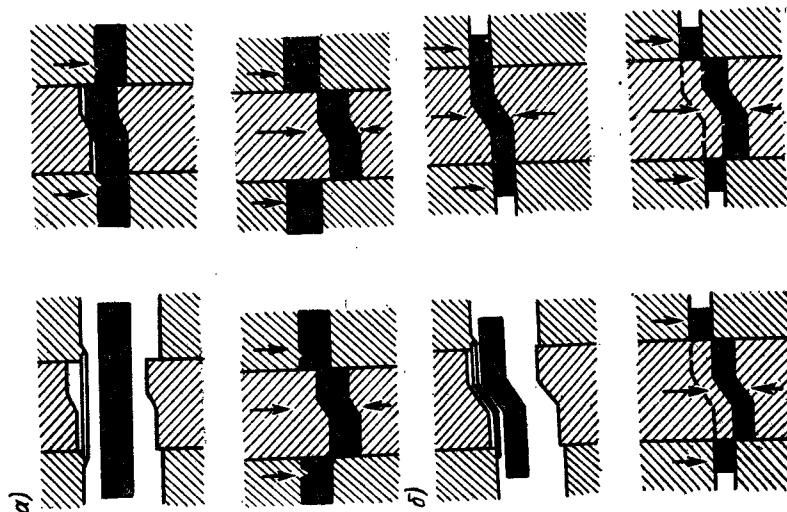


Рис. 23. Изогнутые детали, получаемые чистовой вырубкой; а — из плоской заготовки; б — из изогнутой заготовки

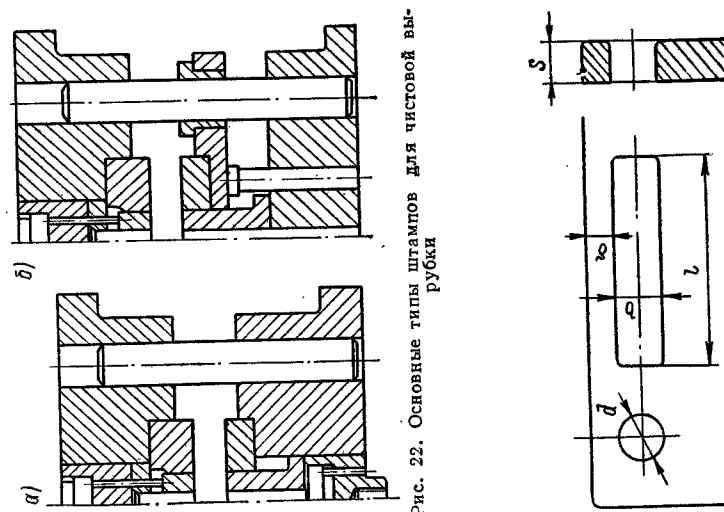


Рис. 24. Основные типы штампов для чистовой вырубке

Рис. 25. Схема к диаграммам на рис. 25 и 26

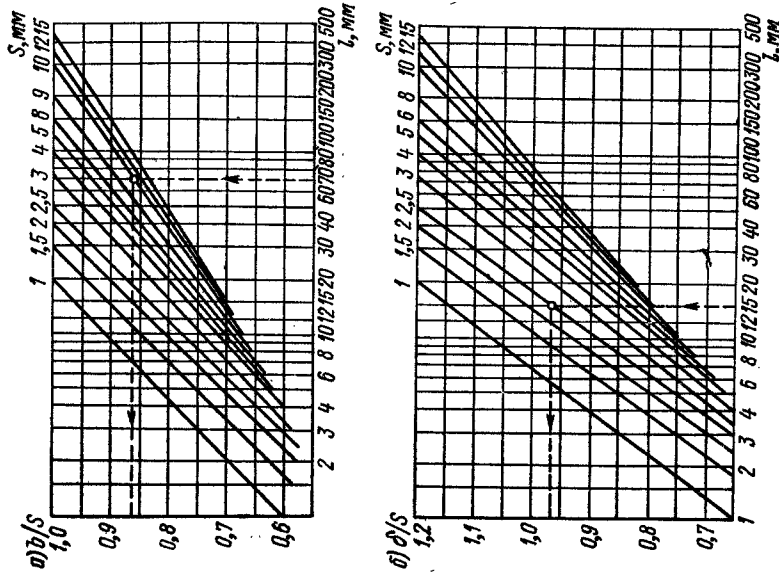


Рис. 26. Диаграммы для определения минимальной ширины шлица (а) и расстояния до края детали (б)

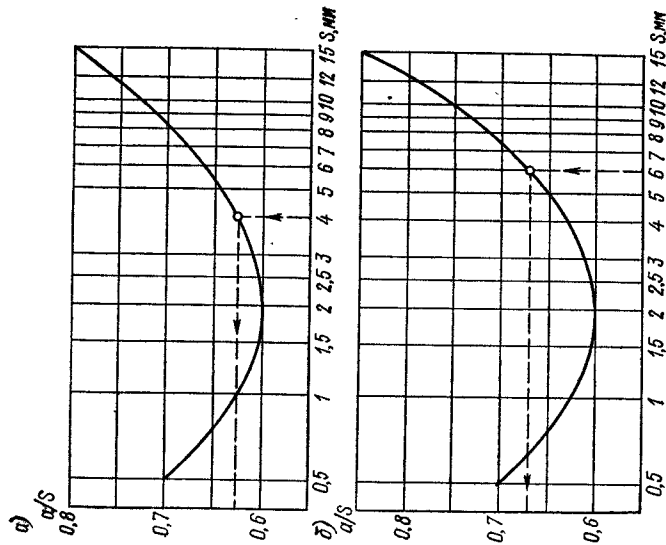


Рис. 25. Диаграммы для определения минимального расстояния (а) и диаметра отверстия (б)

($z \approx 0,005S$), а также в результате вдавливания клинового ребра, изменяющего напряженное состояние в зоне среза. Кроме того, сопротивление срезу зависит от отношения S/d , аналогично обычной вырубке — пробивке.

Автором установлена следующая зависимость сопротивления срезу при чистой вырубке — пробивке [128]:

$$\sigma_{ср} = \left(m \frac{S}{d} + 0,75 \right) \sigma_{в} \approx \left(5 \frac{S}{d} + 1,25 \right) \sigma_{т},$$

где $m = 3,0$ при $z = 0,005S$; $m = 2,85$ при $z = 0,01S$. Этой зависимости соответствует линия 5 на рис. 9, а, линия 4 соответствует простой вырубке в беззазорных штампах при $z = 0,005S$.

Подсчет усилия резания вследствие зависимости $\sigma_{ср}$ от отношения S/d должен производиться раздельно по каждому отверстию или замкнутому контуру, а затем суммироваться.

Усилие нижнего прижима определяется по формуле

$$P_{пр} = Fq,$$

где F — площадь детали, $мм^2$; q — давление, составляющее от 3 до 7 $кгс/мм^2$, а при подчеканке поверхности — от 10 до 15 $кгс/мм^2$.

Значительное усилие требуется для вдавливания клинового ребра. Величина этого усилия ($кгс$) может быть определена по экспериментально установленной формуле [199]

$$P_{вд} \approx 4\sigma_{в}lh,$$

где l — длина ребра по вершине, $мм$; h — высота ребра, $мм$.

Приближенные значения этого усилия, выраженные в $кгс/мм$, приведены в табл. 12.

12. Усилие вдавливания клиновидного ребра

Материал	Усилие вдавливания при толщине материала, мм					
	2	4	6	8	10	12
Алюминий А00	25	40	60	80	100	120
Дюралюмин Д16М	70	120	140	200	270	320
Малоуглеродистая сталь (10,20)	100	160	200	280	360	420
Низколегированная сталь 15Х	150	240	300	400	520	640
Нержавеющая сталь (Х18Н10)	200	350	400	500	650	840
Высота ребра, мм	0,6	1,0	1,2	1,8	2,4	3,0

Суммарная работа, затрачиваемая при чистой вырубке, составляет

$$A = A_p + A_{вд} + A_{пр},$$

где A_p — работа резания, $кгс \cdot м$; $A_{вд}$ — работа, затрачиваемая на вдавливание клинового ребра, $кгс \cdot м$; $A_{пр}$ — работа, затрачиваемая на прижим (противодавление), $кгс \cdot м$.

Работа резания

$$A_p \approx \frac{\Sigma P_p S}{1000} \text{ кгс} \cdot \text{м}.$$

Работа вдавливания клина

$$A_{вд} \approx \frac{2\sigma_{в}lh^2}{1000} \text{ кгс} \cdot \text{м}.$$

Работа, необходимая для прижима,

$$A_{\text{пр}} \approx \frac{FqS}{1000} \text{ кгс} \cdot \text{м.}$$

Приблизительно суммарная работа, затрачиваемая при чистовой вырубке, в 2—3,5 раза больше работы, затрачиваемой при обычной вырубке.

Чистовая вырубка с вдавливанием клинового ребра и поперечной осадкой заготовки производится на гидравлических прессах тройного действия или механических прессах с гидравлическими устройствами. Эти прессы имеют небольшое число ходов:

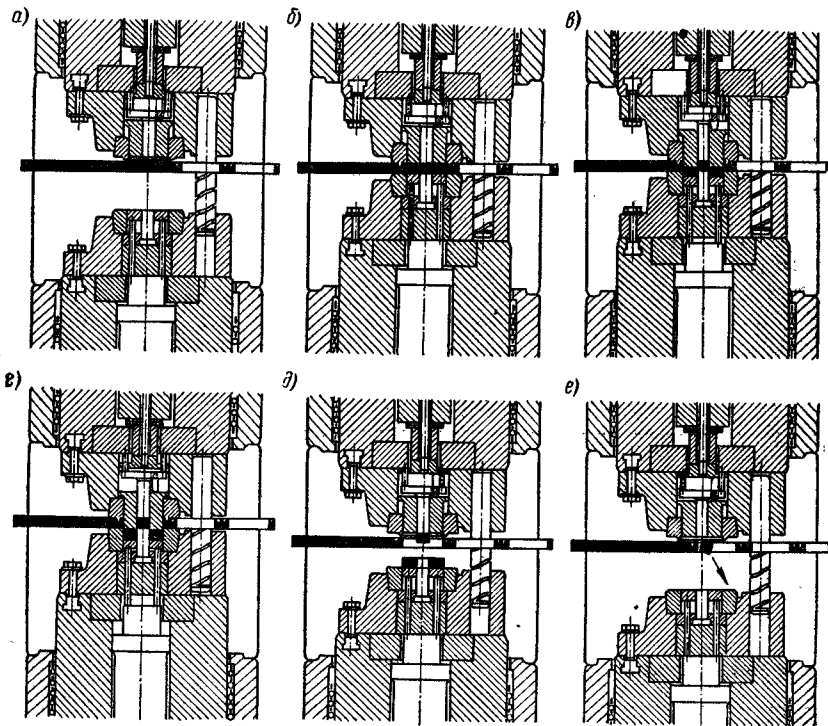


Рис. 27. Последовательность работы гидравлического пресса с нижним ходом при чистовой вырубке

пресс усилием 100 тс работает с числом ходов от 18 до 50 ход/мин, пресс 400 тс — от 6 до 22 ход/мин. Скорость резания при чистовой вырубке составляет около 10—12 мм/с.

Последовательность работы автоматизированного гидравлического пресса с нижним ходом и штампа для чистовой вырубке приведена на рис. 27 [199]. Вырубной пуансон жестко соединен с неподвижной частью пресса (в разрезе виден паз для планки выталкивания).

На рис. 27, а изображено исходное положение при раскрытом штампе, а на рис. 27, б показан момент, когда в результате движения нижнего плунжера вверх, нижняя часть штампа поднята в верхнее рабочее положение. Штамп закрыт, клиновое ребро вдавлено в материал,

Процесс чистовой вырубке показан на рис. 27, в. Дальнейший подъем нижнего плунжера отжимает верхний плунжер, находящийся под меньшим давлением, и обнажает кромки вырубного пуансона, врезающегося в металл. При этом пробивной пуансон производит встречное резание. Нижний съемник отжимает внутренний гидравлический шток и опускается вниз.

На рис. 27, г изображен конец процесса резания по наружному и внутреннему контуру; на рис. 27, д показано раскрытие штампа и выталкивание детали и отхода на лицевую поверхность штампа. Деталь обычно сдувается сжатым воздухом или удаляется иным способом. На рис. 27, е показано полное раскрытие штампа и подача полосы.

При чистовой вырубке стальных деталей применяют смазки ВНИИПКнефтехим ХС-147, ХС-163 и ХС-164 по ТУ 38-4022—73 или пасту ВНИИП-232 по ГОСТ 14068—68, растворенную в инструментальном масле 20 или 45.

Прессы для чистовой вырубке предназначены для работы со скоростью среза от 5 до 20 мм/с. Вследствие этого число ходов и производительность таких прессов сравнительно низкие (20—70 в минуту). При изготовлении чистовой вырубкой тонколистовых деталей (до 2 мм) допустима более высокая скорость резания, а следовательно, и более высокая производительность прессы, которую не могут обеспечить прессы для чистовой вырубке.

Для чистовой вырубке тонколистовых деталей с высокой производительностью предназначены штамповочные автоматы типа ВН/FS фирмы „Есса“ (Швейцария), оснащенные гидроустройствами для чистовой вырубке, обладающие производительностью от 160 до 600 ход/мин [197]. Эти прессы позволяют применять вместо специальных штампов для чистовой вырубке нормальные комбинированные вырубные штампы (с утолщенной плитой), причем клиновое ребро на прижиме не обязательно. Быстроходные прессы типа ВН/FS с успехом применяются в массовом производстве при штамповке точных деталей радиоэлектронной аппаратуры. При выключении гидравлики эти прессы могут работать как обычные высокопроизводительные штамповочные автоматы.

В связи с высокой стоимостью специальных гидравлических прессов тройного действия, применение их в мелкосерийном производстве или при ограничении количестве деталей, изготавливаемых чистовой вырубкой, экономически не эффективно. Это вызвало стремление как у нас, так и за рубежом освоить чистовую вырубку на обычных кривошипных прессах. С этой целью разработаны и экспериментально освоены способы чистовой вырубке на стандартных двустоечных прессах путем оснащения их гидравлическими буферными устройствами для прижима и противодействия.

Для чистовой вырубке небольших деталей возможно использование небольших прессов двойного действия, а также предложенные способы штамповки на обычных прессах с применением штампов тройного действия, оснащенных гидроцилиндрами или упругими элементами из резины или полиуретана. Шероховатость поверхности среза несколько ниже и соответствует 6-му классу по ГОСТ 2789—73,

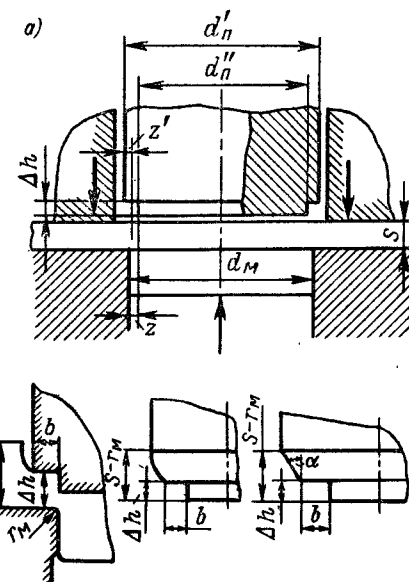


Рис. 28. Способ чистовой вырубке ступенчатым пуансоном: а — схема штампа; б — уточненные профили пуансонов

Фукуи, Кондо и Маеда предложили и экспериментально освоили способ чистой вырубке ступенчатым пуансоном на прессах простого действия или на гидравлических прессах (рис. 28, а). Сущность этого способа заключается в том, что вырубной пуансон имеет уступ высотой меньше глубины вдавливания пуансона, до образования скола ($\Delta h > h_n$). Для материалов толщиной $S = 3 \div 6$ мм $\Delta h = 0,5 \div 0,6$ мм.

Следовательно, при вдавливании уступа d'_n в заготовку скалывающих трещин не возникает. Диаметр уступа меньше диаметра матрицы на зазор $2z = 0,06 \div 0,14$ мм. Диаметр верхней части пуансона больше диаметра матрицы на $2z' = 0,14 \div 0,4$ мм.

Таким образом, при рабочем ходе пуансона происходит вырубка пуансоном d'_n большим размера матрицы. Вследствие этого очаг деформации значительно увеличивается, происходит выдавливание металла в радиальном направлении и возникновение напряжений радиального сжатия, предотвращающих образование скалывающих трещин.

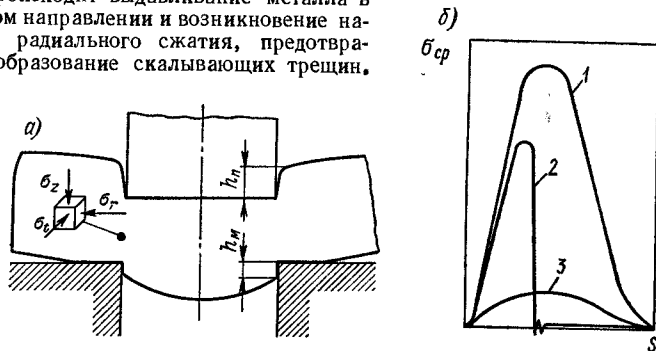


Рис. 29. Способ чистой вырубке с нагревом заготовки

Недостатком данного способа является необходимость точной регулировки пресса повышенной жесткости. Другой недостаток — увеличенные заусенцы.

На рис. 28, б показано дальнейшее развитие способа чистой вырубке ступенчатым пуансоном и уточненные профили пуансона [52].

Для стали рекомендуются следующие величины:

$$\Delta h = 0,3S; \quad b = (0,4 \div 0,5) S; \quad r_m = 0,1S.$$

Усилие чистой вырубке ступенчатым пуансоном небольших деталей ($d = 20$ мм) определяется по формуле

$$P = (2,5 \div 2,8) LS\sigma_B.$$

В СССР освоен процесс чистой вырубке и пробивки толстолистовых деталей (10—30 мм) в нагретом состоянии. Обычная пробивка—вырубка деталей такой толщины сопровождается крайне низким качеством поверхности среза, зачастую требующим применения механической обработки контура на металлорежущих станках. Чистовая вырубка на гидравлических прессах тройного действия в данном случае не применима из-за большой толщины материала и больших затрат. Способ чистой вырубке в нагретом состоянии позволяет получить высокое качество поверхности среза 6—7-го класса шероховатости по всей толщине детали, не требует последующей механической обработки контура и снижает рабочее усилие пресса в 5—6 раз.

Экспериментально установлено¹, что для получения чистого среза по всей толщине детали величина одностороннего зазора должна находиться в пределах $0,5—1\% S$, а температура нагрева заготовки от 750 до $900^\circ C$.

На рис. 29, а приведена схема внедрения пуансона при чистой вырубке—пробивке в нагретой заготовке, а на рис. 29, б — кривые сравнения сопротивления

¹ Исследования выполнены инж. В. И. Бером и В. С. Исуповым.

срезу при чистой вырубке (1), обычной вырубке на кривошипном прессе (2) и чистой вырубке с нагревом заготовки (3).

На рис. 29, а видно, что глубина внедрения пуансона h_n больше высоты h_m выдавленного в матрицу металла, что свидетельствует о вытеснении металла из под пуансона в радиальном направлении. В результате этого в зоне резания возникают напряжения радиального сжатия, исключающие образование скалывающих трещин.

Кривые на рис. 29, б построены по установленному автором соотношению: $\sigma_{cp1} = (1,3 \div 1,5) \sigma_{cp2} = (7 \div 8) \sigma_{cp3}$.

На рис. 30 представлена диаграмма зависимости отношения σ_{cp}/σ_T от относительной толщины S/d при чистой вырубке с нагревом. Величина σ_T означает предел текучести стали Ст3 при соответствующей температуре: при $700—750^\circ C$ $\sigma_T \approx 0,18\sigma_B$; при $850—900^\circ C$ $\sigma_T \approx 0,12\sigma_B$ (σ_B — предел прочности стали в холодном состоянии). Рабочие части вырубных и пробивных штампов рекомендуется изготавливать из быстрорежущих сталей, обеспечивающих стойкость в несколько тысяч ударов.

При изготовлении рабочих частей штампа для чистой вырубке с нагревом необходимо учитывать усадку металла при охлаждении, которая для различных марок стали составляет от 1 до 1,2% на рабочий размер. Одновременно с чистой вырубкой наружного контура отверстие на отходе получается такой же степени шероховатости (6—7-й класс).

Другим способом чистой вырубке является реверсивная вырубке (с встречной надрезкой), приведенная на рис. 31.

Процесс реверсивной чистой вырубке происходит следующим образом. Вначале (рис. 31, а) верхние рабочие части штампа опускаются вниз и зажимают заготовку. Затем (рис. 31, б) нижний пуансон-матрица движется снизу вверх и врезается в заготовку на 20—25% толщины материала. После этого (рис. 31, в) верхний пуансон-матрица движется сверху вниз на величину, равную $1,5S$, и производит полный срез по наружному и внутреннему контуру. Остальные части штампа остаются неподвижными. Движение частей штампа показано на рис. 31 стрелками. При этом способе чистой вырубке-пробивки шероховатость поверхности среза соответствует 8—9-му классу по ГОСТу. Кроме того, деталь получается без заусенцев и абсолютно плоской.

Для данного способа чистой вырубке созданы специальные гидравлические прессы тройного действия. На рис. 31, г изображен штамп для реверсивной чистой вырубке—пробивки, применяемый на указанных прессах тройного действия. Как видно из рис. 31, г, верхняя и нижняя части штампа полностью симметричны и имеют одинаковые детали.

Известны и другие, более примитивные способы чистой вырубке и пробивки. К ним относится способ *чистой вырубке* матрицей с завалом и закруглением режущих кромок (по высоте $0,8 + 1,0S$, по поверхности $0,1 + 0,2S$). В данном случае у заваленных кромок матрицы нет резко концентрированных деформаций сдвига и не происходит образование скалывающих трещин. Металл плавно выдавливается в шейку матрицы. При этом волокна (зерна) металла сильно удлиняются, вытягиваются в матрицу, расплюсчиваются в зазоре и образуют полированную поверхность среза. Отход же получается с затянтым острым заусенцем.

Этот способ применяется как в случае вырубке из полосы, так и при обрезке на предварительно вырубленной с небольшими припусками заготовки, например при чистой вырубке-обрезке небольших шестерен малого модуля (с одновременной калибровкой по толщине и чеканкой кромок зубцов). Достижимая шероховатость

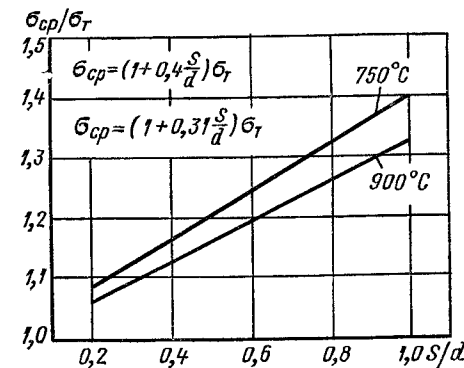


Рис. 30. Зависимость σ_{cp}/σ_T от относительной толщины при чистой вырубке с нагревом

поверхности среза соответствует 8-му классу. Достижимая точность штампованных деталей — 4—3-й класс точности. Необходимо учитывать, что деталь после выхода из матрицы увеличивается в размерах на 0,02—0,05 мм. Этот способ применим как для цветных металлов, так и для мягкой стали.

Зазор между пуансоном и матрицей делается не более 0,01 мм.

Пуансоном с заваленными режущими кромками производится чистовая пробивка отверстий $d > 3S$ как в стали, так и в цветных металлах.

Для относительно более толстых материалов ($d < 3S$) применяются пуансоны с конусной заточкой под углом 120° . Способ действия и характер деформаций аналогичны процессу вырубке матрицей с заваленными кромками. В данном случае волокна (зерна) металла также удлиняются и втягиваются в матрицу, расплющиваются и образуют блестящую поверхность среза. Выпадающий из матрицы отход имеет затупленные острые заусенцы.

Шероховатость поверхности достигает 8-го класса.

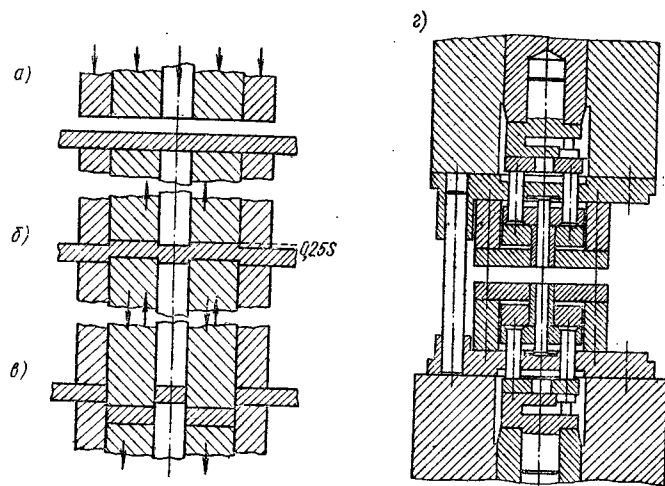


Рис. 31. Реверсивный способ чистовой вырубке и штампы для нее

Известен другой способ чистовой вырубке — вырубке пуансоном, перекрывающим матричное отверстие. Он применяется главным образом для деталей из мягких цветных металлов и сплавов небольшой толщины. В данном случае вместо обычной вырубке происходит выдавливание пластичного металла в отверстие матрицы по способу так называемого прямого выдавливания, причем скалывания не возникает. Лишь в конце хода, когда происходит сжатие и наклеп металла между режущими кромками, возникают скалывающиеся трещины.

Обычно диаметр (размер) пуансона делается больше диаметра (размера) матрицы на $(0,1 \div 0,2)S$. При закругленной форме детали припуск пуансона делается равномерным, в случае же детали с углами и выступами припуск у наружных углов принимается в два раза больше, т. е. от 0,2 до $0,4S$, а у внутренних углов — в два раза меньше, т. е. от 0,05 до $0,1S$.

Для получения большей шероховатости поверхности среза на режущих кромках матрицы делается небольшая фаска.

В нижнем рабочем положении пуансон не должен доходить до поверхности матрицы на $0,1—0,2$ мм. Деталь после выхода из штампа увеличивается в размерах на $0,02—0,05$ мм. Шероховатость поверхности среза доходит до 8-го класса по ГОСТу.

Данный способ вырубке применяется как при вырезке из полосы, так и в случае вырезки из предварительно вырубленной заготовки с соответствующими припусками до контура. Это особенно целесообразно при чистовой вырубке деталей сложного

контура (шестеренки, храповички и т. п.), так как при этом увеличивается стойкость зубчатого пуансона.

Хорошо зарекомендовал себя способ чистовой пробивки весьма малых отверстий ($d < S$). Обычно предельной величиной пробиваемого отверстия принято считать $d = S$, а в случае применения пуансона с конусной заточкой торца $d = 0,8S$. Однако это распространяется на случай обыкновенной пробивки пуансоном, имеющим свободно выступающий рабочий конец.

Недостаточная прочность и устойчивость свободного конца пуансона ограничивают возможность пробивки отверстий диаметром меньше толщины материала. Поэтому отверстия малых диаметров обычно изготовлялись сверлением.

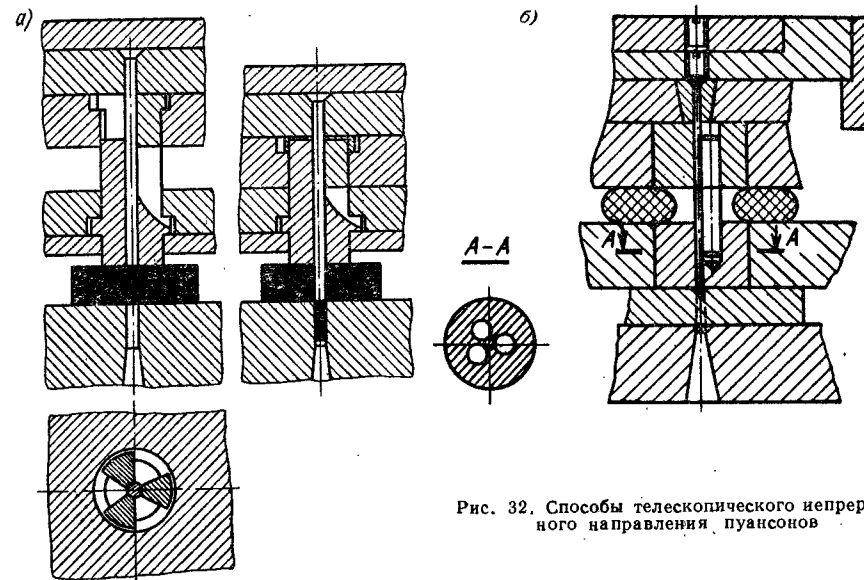


Рис. 32. Способы телескопического непрерывного направления пуансонов

На отечественных заводах разработан и внедрен оригинальный способ пробивки отверстий весьма малого диаметра ($d = 0,3S$), основанный на применении особой конструкции крепления и способа направления пуансона с предварительным сильным прижимом металла вокруг пробиваемого отверстия.

На рис. 32, а изображена конструкция пуансона Э. Олины [89], имеющего непрерывное по длине направление в процессе рабочего хода, за исключением конца пуансона, врезавшегося в металл. В верхней части пуансон имеет постоянное направление между двумя неподвижными сухарями. В нижней части пуансон направляется по отверстию подвижной прижимной втулки, имеющей фрезерованные пазы для неподвижных сухарей. Прижим материала к матрице осуществляется сильными пружинами. При дальнейшем ходе пресса пуансон выступает из направляющей втулки и пробивает отверстие малого диаметра.

На рис. 32, б показана другая конструкция направления пробивного пуансона между тремя калеными штифтами взаимной телескопической втулки.

Последовательность процесса пробивки (1—5) приведена на рис. 33. При малой величине зазора ($1—1,5\% S$) отверстие получается чистым, а отход — с двойным или тройным сколом. Характерно, что при значительном внедрении пуансона выдавливание металла в матрицу весьма невелико, что свидетельствует о том, что металл изпод пуансона выдавливается в радиальном направлении.

Аналогичным образом осуществляется постоянное телескопическое направление узких шлицевых пуансонов и пуансонов некруглой формы.

Штампами такой конструкции пробивают отверстия диаметром от 0,4 мм в стали, латуни, алюминии, текстолите и гетинаксе толщиной $S = (2 \div 3) d$, а также прорезают узкие длинные шлицы и некруглые отверстия при высоком качестве поверхности среза. При этом способе происходит не срез, а выдавливание металла в отверстие матрицы. В результате сильного прижима заготовки и вытеснения металла

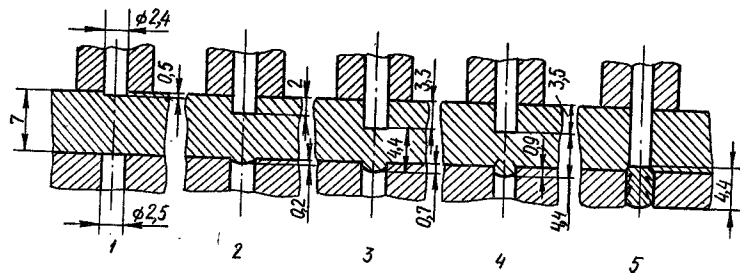


Рис. 33. Последовательность процесса пробивки малых отверстий

в радиальном направлении возникает объемное напряженное состояние сжатия, исключающее образование скалывающихся трещин.

На рис. 34 приведена экспериментально установленная схема развития очага деформации при вдавливании пуансона в толстую заготовку. В начале внедрения пуансона (рис. 34, а) возникают полусферические области деформированного металла: I — заторможенная область; II — слабо деформированная область; III — область

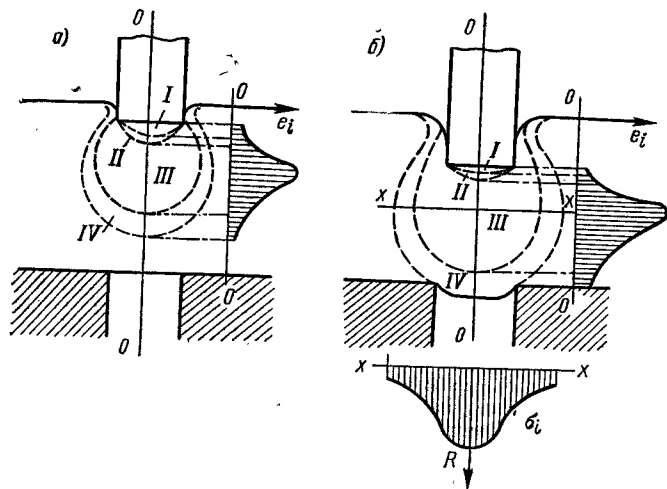


Рис. 34. Схема развития очага деформации при вдавливании пуансона в толстую заготовку (по Д. П. Кузнецову и А. В. Лясникову)

наибольшей деформации; IV — область слабо деформированного металла. Справа приведена примерная кривая изменения истинной деформации ϵ_i . Деформации не достигают поверхности матрицы. При заглублении пуансона примерно на величину диаметра (рис. 34, б) очаг деформации расширяется и опускается вниз. На нижней поверхности заготовки остается след от матричного отверстия. Снизу приведена эпюра распределения радиальных напряжений по сечению $x-x$. Лишь в конце

рабочего хода при толщине перемычки порядка $0,6d$ происходит процесс скалывания, как это видно из рис. 33.

В данное время освоена пробивка малых отверстий в материалах толщиной от 1 до 20 мм.

Пуансоны, изготовленные из стали У8А, показывают стойкость от 10 до 15 тыс. деталей, а из легированной стали — до 50 тыс. деталей. При этом необходима высокая точность изготовления и пригонки рабочих частей штампа, полное отсутствие перекосов и надежное направление пуансона.

В последнее время разработаны и освоены новые способы точной чистой резки пруткового материала сдвигом с дифференцированным зажимом, создающим высокое усилие зажима заготовки.

При резке сдвигом качество поверхности среза и точность заготовок получаются значительно более высокими, чем при обычном способе резки. Этому способствует возникновение в процессе резки сдвигом осевых распорных усилий, достигающих

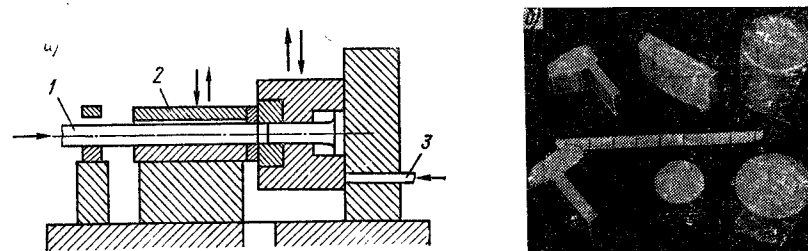


Рис. 35. Схема чистой отрезки сдвигом (Венгерский патент): а -- схема установки; б — образцы профилей

20% усилия реза. Так как надежный зажим заготовки исключает возможность осевого перемещения, то в плоскости реза создаются осевые сжимающие напряжения, способствующие пластическому течению металла и получению чистого среза.

Способ чистой резки сдвигом дисковых заготовок из прутков алюминиевых и других цветных сплавов разработан в Институте технологии машиностроения Венгрии¹. Этот способ обеспечивает безотходное использование пруткового материала в интервале 6—60 мм и дает высококачественные заготовки с поверхностью, соответствующей 6—8-му классу шероховатости. Сущность этого способа заключается в предварительном создании напряжений осевого сжатия в прутковом материале, благодаря чему при безззорном срезе в зоне резания возникает объемное напряженное состояние сжатия, способствующее чисто пластическому срезу, без скола и трещин.

На рис. 35, а представлена схема чистой отрезки, приведенная в патенте. Толщина отрезаемой заготовки соответствует толщине отрезного ножа. Отрезанная заготовка в нижнем рабочем положении выталкивается выталкивателем 3. Патентованный способ зажима прутка 1 между вкладышами 2 перед отрезкой создает необходимое осевое давление. Экспериментально освоена чистовая отрезка заготовок размерами $h = 0,2d$.

Как показали исследования, осевые сжимающие напряжения достигают значений $(2 \div 3) \sigma_T$.

Способ чистой отрезки одинаково применим для резки прутков круглого, квадратного, прямоугольного или профильного сечения (рис. 35, б). Устройство для чистой отрезки не имеет жесткой связи с ползуном прессы и может быть установлено на любом кривошипном прессе соответствующей мощности.

¹ Патент № 152686 на имя Вереш Ференца и др.

7. ЗАЧИСТНАЯ ШТАМПОВКА

Зачистная штамповка применяется для чистовой обрезки по контуру предварительно вырезанных или пробитых деталей с целью удаления шероховатой поверхности среза и получения точных размеров, острых кромок и гладкой поверхности среза. Этот способ позволяет получать детали небольших размеров с точностью, соответствующей 2—4-му классу по ГОСТу.

Основным способом зачистной штамповки является зачистка наружного контура или отверстия срезанием предусмотренного припуска. Кроме того, применяют комбинированные способы: вырубку с одновременной зачисткой в штампах со сдвоенной матрицей, а также пробивку отверстий одновременно с зачисткой ступенчатым пуансоном.

Достижимая при зачистке шероховатость поверхности обычно соответствует 7-му классу, а при зачистке деталей из пластичных цветных металлов и сплавов — 8-му классу шероховатости. Однако в большинстве случаев на верхней кромке детали образуется небольшой скол, которого нет при чистовой вырубке.

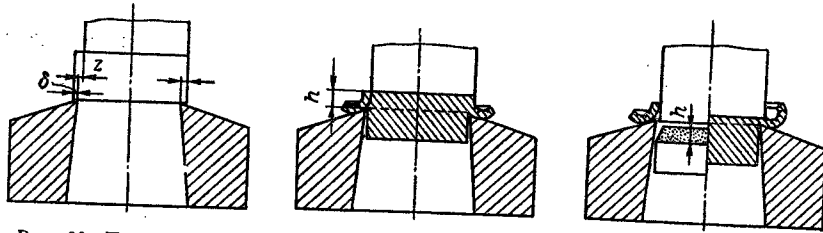


Рис. 36. Последовательность снятия стружки при зачистке с зазором и без него

Зачистка наружного контура срезанием припуска широко применяется в производстве часов и других изделий точной механики, имеющих обычно весьма сложную конфигурацию. Получаемая при этом точность соответствует 3-му или даже 2-му классу точности.

Процесс зачистки заключается в срезании небольшой стружки по контуру детали или отверстия. Зачистка производится в том же направлении, что и вырезка, т. е. при зачистке по наружному контуру заготовка укладывается на матрицу закругленной стороной вниз, а при зачистке отверстий — закругленными кромками вверх, так как при этом сечение стружки к концу процесса становится меньше. При обратном расположении заготовки в конце зачистки на деталях образуется скол значительной величины.

По технологии зачистки существуют различные рекомендации. Так, в часовой промышленности зачистка производится при повышенном припуске на зачистку, в соответствии с которым производится технологический расчет размеров вырубной заготовки. Это объясняется весьма малыми размерами деталей и погрешностью при установке заготовки в гнездо фиксатора штампа.

По опыту зарубежной промышленности припуск на зачистку может быть взят меньшей величины [214].

При зачистке небольших деталей, удаляемых „на провал“ через отверстие матрицы, обычно применяется старый способ зачистки с зазором между пуансоном и матрицей. Новый способ заключается в зачистке пуансоном, превышающим размеры матрицы. На рис. 36 приведена последовательность снятия стружки по старому (слева) и новому (справа) способам при одной и той же величине припуска δ . Заготовка взята с равномерным припуском по всей высоте.

По старому способу еще до конца зачистки оставшаяся часть стружки отламывается, образуя скол высотой h на верхнем краю заготовки. По новому способу такого скола не образуется, так как стружка упирается в торцовую поверхность пуансона. Стружка отделяется полностью от детали давлением следующей заготовки (рис. 37). При этом целесообразно применять заготовки, вырубленные с малым зазором между пуансоном и матрицей (с двойным срезом), так как они позволяют более точную фик-

сацию в зачистном штампе. Преимущества этого способа зачистки заключаются в том, что пуансон, имеющий большие размеры, чем матрица, не доходит до ее поверхности, расплющивая часть срезанного припуска в тонкую пленку. Следовательно, в данном случае не требуется точного изготовления и пригонки пуансона по матрице, что значительно снижает стоимость зачистного штампа.

В результате перекрытия пуансоном режущих кромок матрицы в зоне резания создается напряженное состояние объемного сжатия, благоприятствующее устойчивости пластической деформации и тем самым увеличивающее пластические свойства металла. Как показывает опыт, при этом способе зачистки скола у верхней края детали не образуется, но возникает ровный наплыв от среза расплющенного отхода. В случае зачистки более крупных деталей, когда применяется прижим заготовки, способ зачистки пуансоном, большим матрицы, не применим.

При толщине материала до 3—4 мм обычно применяется одна зачистка, а при повышенных требованиях к шероховатости поверхности или более толстых материалах — две зачистки, так как при однократной зачистке в конце процесса происходит не срез, а скалывание последнего элемента стружки.

Проведенные исследования показали, что режущие кромки матрицы следует закруглять радиусом $r = 0,1$ мм или заваливать на конус, как у обжимных матриц. Это повышает шероховатость поверхности зачищаемой детали. С той же целью необходимо применять смазку зачищаемых деталей. В качестве смазки может быть рекомендовано масло редукторное Б-3В, активизированное серой.

Более высокое качество зачищаемой поверхности с ничтожным сколом последнего элемента стружки достигается зачисткой на специальных вибрационных (ре-

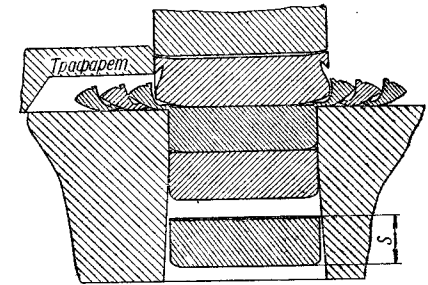


Рис. 37. Схема зачистки пуансоном, большим матрицы

пассажных) прессах. У этих прессов во время рабочего хода ползуна зачистной пуансон от второго электромогора совершает колебательные толчковые движения, которыми как бы „сбрасывает“ стружку. Частота колебаний 800—1500 в минуту, амплитуда каждого колебания от 0,3 до 0,6 мм. На рис. 38 приведена диаграмма пути наружного ползуна и вибрационного движения внутреннего ползуна пресса. При этом способе зачистки пуансон не доходит до поверхности матрицы на 0,05—0,1 мм, а зачищаемая деталь проталкивается через матрицу следующей деталью.

Пуансон не пригоняется к матрице, благодаря чему при этом способе зачистки штампы стоят значительно дешевле.

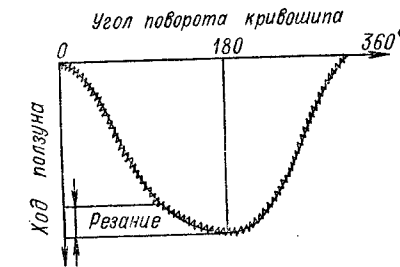


Рис. 38. Движение наружного ползуна и вибрации внутреннего ползуна пресса

Шероховатость поверхности при вибрационной зачистке достигает 8-го класса по ГОСТу. Таким образом, вибрационная зачистка дает более высокое качество поверхности, чем две операции обычной зачистки.

Качество зачищаемой поверхности в значительной степени зависит от толщины срезаемого слоя или припуска на зачистку. Чем меньше толщина срезаемого слоя, тем выше качество зачистки.

В настоящее время существуют два способа определения припуска на зачистку. Первый способ основан на вырубке детали с большим зазором [$z/2 = (6 \div 8\%) S$] и получении конического скола на боковой поверхности. Кроме подлежащего удалению конического скола дается особый припуск на зачистку. В результате суммарный

припуск на зачистку (толщина срезаемого слоя) получается несколько завышенным $\delta/2 \geq 0,1S$, что приводит к образованию скола при зачистке.

Второй способ основан на максимальном уменьшении припуска на зачистку, для чего вырубка производится с малым зазором [$z/2 = (2 \div 4\%) S$], а боковая поверхность заготовки получается с надрывом и второй зоной резания. Это позволяет более надежно и точно фиксировать заготовку в трафарете; кроме того, толщина срезаемого слоя уменьшается до $\delta/2 < 0,08S$, что облегчает процесс зачистки и улучшает качество поверхности.

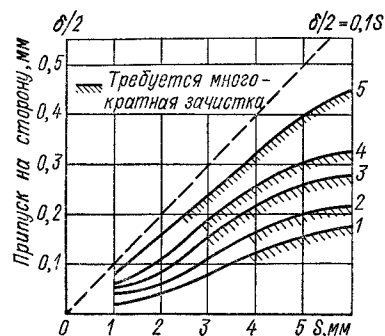


Рис. 39. Диаграмма толщины срезаемого слоя при зачистке наружного контура:

1 — отожженный алюминий; 2 — латунь; 3 — наклепанный алюминий; 4 — сталь $\sigma_B = 40$ кгс/мм²; 5 — сталь $\sigma_B = 50$ кгс/мм²

Каждый из указанных способов может иметь преимущество в различных случаях в зависимости от размеров детали, типа зачистного штампа и способа подачи и фиксации заготовки.

При зачистке деталей средних размеров в совмещенных зачистных штампах с прижимом и надежной фиксацией следует применять малый припуск на зачистку и малые зазоры при вырубке. При зачистке весьма мелких деталей в штампах с подвижным загрузочным устройством, не дающим надежной фиксации детали, следует применять увеличенные припуски на зачистку и большие зазоры при вырубке.

В табл. 13 приведены значения двусторонних припусков на зачистку, соответствующие первому способу (вырубка с увеличенным зазором). Наименьший припуск применяется при зачистке деталей простой конфигурации, а наибольший — для деталей сложной конфигурации или деталей с острыми выступающими углами.

13. Двусторонние припуски на зачистку, мм

Толщина материала, мм	Латунь, мягкая сталь		Сталь средней твердости		Твердая сталь	
	Припуск					
	наименьший	наибольший	наименьший	наибольший	наименьший	наибольший
0,5—1,6	0,10	0,15	0,15	0,20	0,15	0,25
1,6—3,0	0,15	0,20	0,20	0,25	0,20	0,30
3,0—4,0	0,20	0,25	0,25	0,30	0,25	0,35
4,0—5,2	0,25	0,30	0,30	0,35	0,30	0,40

В случае двукратной зачистки припуск на вторую зачистку берется наименьший из указанных в табл. 13.

По данным некоторых заводов, припуск на зачистку выбирается независимо от толщины материала и составляет для деталей с плавным контуром 0,08—0,12 мм на сторону, для деталей с малыми закруглениями — 0,10—0,13 мм на сторону.

На рис. 39 приведена диаграмма для определения одностороннего припуска на зачистку (толщины срезаемого слоя) $\delta/2$ по второму способу [214].

Зачистные штампы работающие на провал применяются главным образом для зачистки мелких деталей типа часовых. При зачистке более крупных деталей такие

штампы не дают хороших результатов. В этом случае применяют зачистные штампы совмещенного типа с прижимом и принудительным выталкивателем. Фиксация производится по трафарету или по технологическим отверстиям. Последний способ фиксации дает лучшие результаты.

В зачистных совмещенных штампах должен быть предусмотрен просвет для размещения отходов от зачистки. Для этого на съемнике устанавливают цилиндрические дистанционные упоры, создающие просвет высотой $0,3 — 0,4S$.

Усилие для зачистки снятием стружки может быть определено по формуле

$$P_3 = 0,5\delta L \sigma_{cp} + \Sigma Q,$$

где $0,5\delta$ — односторонний суммарный припуск, мм; L — длина периметра зачистки, мм; ΣQ — сумма усилий для проталкивания, сжатия буферов и т. п., кгс.

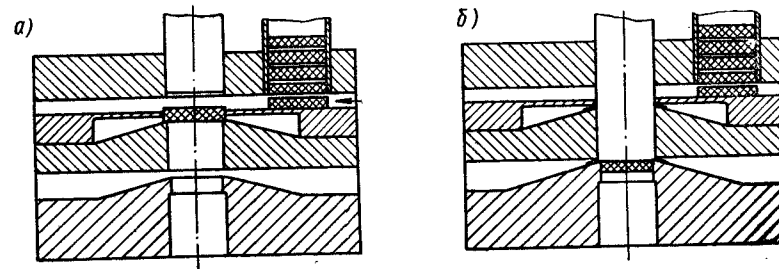


Рис. 40. Последовательная зачистка в двух матрицах

На рис. 40 приведен способ зачистки в двух матрицах. В верхней матрице производится первая зачистка (рис. 40, а). В конце хода пуансон производит вторую зачистку в нижней матрице (рис. 40, б). Зазор между пуансоном и верхней матрицей берется минимально возможным для вхождения и направления пуансона ($< 0,01$ мм). В нижнюю матрицу пуансон не входит. Вторая зачистка производится по способу зачистки пуансоном, большим матрицы. Способ двойной зачистки путем проталкивания столбика деталей не рекомендуется.

В некоторых случаях требуется зачистка не всего контура детали, а лишь некоторой его части. Для небольших деталей эта зачистка осуществляется в процессе комбинированной штамповки в штампах последовательного действия. Для более крупных деталей, а также в тех случаях, когда последовательная штамповка не применима, необходимо избежать односторонней зачистки, приводящей к смещению детали и потере точности, и производить одновременную зачистку с противоположной стороны.

Зачистка отверстий, применявшаяся ранее главным образом в часовой промышленности, в настоящее время используется в различных видах точного приборостроения (счетно-пизирующие машины, кассовые аппараты, вычислительные машины, приборы-автоматы и т. п.).

Пробивка отверстий в совмещенных штампах с последующей зачисткой обеспечивает более высокую точность как размеров отверстия, так и межцентровых расстояний по сравнению со сверлением в кондукторах.

При зачистке отверстий также существуют два способа определения припуска на зачистку. Первый основан на пробивке с большим зазором и получении отверстия с коническим сколом, а второй — на пробивке с малым зазором.

В часовой промышленности зачищаются отверстия небольшой диаметра. Так как в этом случае толщина материала обычно значительно больше диаметра зачищаемого отверстия, то зачистка отверстий производится пуансоном без сопряжения с режущими кромками матрицы (рис. 41). Стружка имеет трубчатую форму, состоящую из кольцевых элементов.

Диаметр лунки для выхода стружки $D = 1,5d$. Припуск по диаметру на зачистку отверстий обычно принимают после сверления 0,1—0,15 мм, после пробивки 0,15—0,20 мм.

В точной механике припуск на зачистку зависит также от допуска на расстояние между отверстиями.

При зачистке отверстий деталь укладывается на матрицу закругленными кромками к пуансону.

После зачистки размер отверстия уменьшается вследствие упругой деформации металла (в зависимости от размера отверстия): для цветных металлов на 0,005—0,01 мм и для мягкой стали на 0,008—0,015 мм. Это обстоятельство должно учитываться при изготовлении зачистного пуансона. Точность зачистки небольших отверстий обычно находится в пределах 0,01—0,02 мм на диаметр. Зачистка одновременно с пробивкой отверстия применяется при соотношениях $d \geq (3 + 4) S$ при толщине материала до 8 мм.

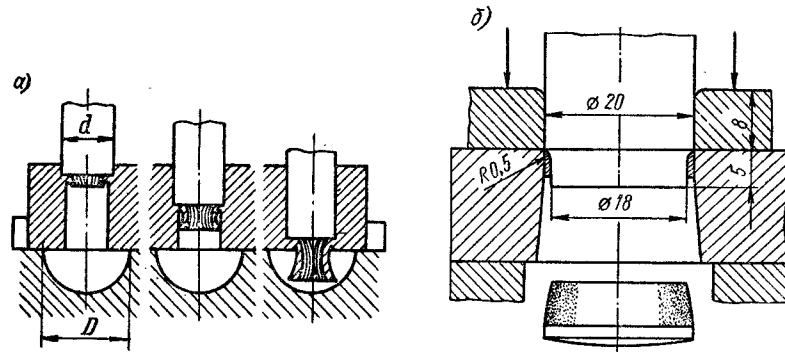


Рис. 41. Зачистка мелких отверстий (а) и способ пробивки и зачистки отверстия (б)

Диаметр пробивного пуансона определяется по диаметру зачистной матрицы с учетом удвоенного зазора по сравнению с обычным. Таким образом, величина уступа у зачистной кромки делается равной нормальному зазору для данной толщины материала.

На рис. 41, б изображен способ пробивки и зачистки отверстия диаметром 20 мм в детали толщиной 8 мм. Во избежание деформации детали пробивка с зачисткой должна производиться с прижимом детали к поверхности матрицы. Вначале происходит пробивка грубого отверстия (зазор 12,5% S) и удаление отхода, а затем зачистка отверстия (зазор 0,01 мм). Конец пуансона конической формы высотой 5 мм давит на кромки отверстия и создает напряжения радиального сжатия, что исключает возникновение скалывающихся трещин.

8. ВЫРЕЗКА РЕЗИНОЙ И ПОЛИУРЕТАНОМ

Обычные методы штамповки, широко применяемые в крупносерийном и массовом производстве, недостаточно эффективны и нерациональны в условиях мелкосерийного и быстропереналаживаемого производства, так как для изготовления конструктивно сложных и дорогостоящих штампов требуется длительное время, а произведенные затраты не окупаются.

Необходимость быстро освоения новых видов изделий требует применения в указанных условиях новых технологических процессов с использованием дешевой универсальной или частично универсальной оснастки. К таким процессам относятся безматричные способы вырезки и пробивки: вырезка резиной и полиуретаном; вырезка пластичными металлами; безматричная пробивка. При этом значительно упрощается конструкция инструмента и удешевляется его изготовление, так как при при-

менении двух первых способов требуется лишь один вырезной шаблон, а в последнем способе — только пробивные пуансоны. Отпадает необходимость изготовления и пригонки вырезных матриц, роль которых выполняет резина или полиуретан.

Вырезка резиной

Вырезка резиной применяется главным образом в мелкосерийном производстве при изготовлении сравнительно крупных деталей из тонких материалов (толщиной до 2 мм). В крупносерийном и массовом производстве применяется вырезка резиной небольших деталей из весьма тонкого материала (фольга толщиной 0,01—0,005 мм).

На рис. 42, а—б изображена последовательность штамповки — вырезки резиной на плунжерных гидравлических прессах давлением 85—120 кгс/см². На подштамповой плите установлен вырезной шаблон, представляющий собой стальную пластину тол-

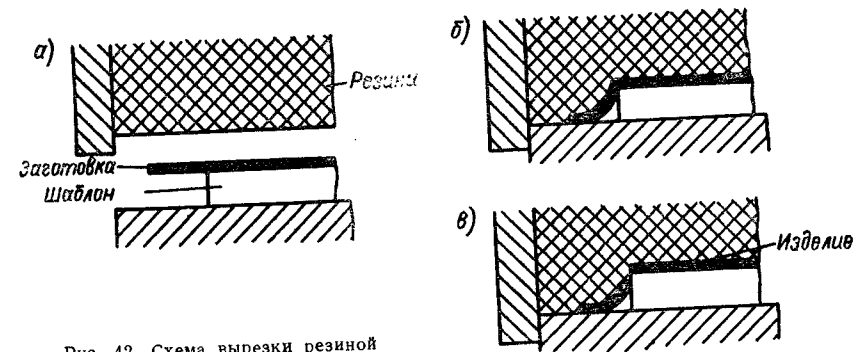


Рис. 42. Схема вырезки резиной

щиной 6—10 мм, наружный контур которой соответствует контуру вырезаемой детали. Толстая резиновая пластина, являющаяся своеобразной матрицей, заключена в коробку (контейнер), прикрепленную к ползуу пресса и удерживающую резину от выдавливания в стороны. При опускании ползуна пресса резина отгибает свисающие края заготовки и прижимает их к подштамповой плите. При дальнейшем сжатии резина давит на отогнутые края заготовки и обрезает (обрывает) их по наружной кромке шаблона. Этим способом производятся различные операции (рис. 43): вырезка по наружному контуру, пробивка отверстий, совмещенная вырезка и пробивка и комбинированные операции формовки и обрезки.

Вырезка обычно производится на специальных гидравлических плунжерных прессах, причем, как правило, применяется групповая резка нескольких деталей из одного листа. С этой целью на подштамповую плиту устанавливают несколько вырезных шаблонов для деталей различных конфигураций. Так как шаблоны должны быть установлены с большими промежутками и припусками (25—30 мм), вырезка резиной неэкономична по расходу материала.

Детали, вырезанные резиной на плунжерных гидравлических прессах, обычно получают с нечистыми рваными краями, поэтому применяется последующая зачистка кромок деталей, сложенных пачками, на специальных фрезерных станках. Из-за плохого качества среза и большой величины обрезаемых припусков вырезка резиной на гидравлических прессах с давлением 85—120 кгс/см² в последнее время вытесняется вырезкой на гидростатических прессах, создающих наибольшее давление до 400—700 кгс/см².

При высоком давлении резины одновременно вырезается как наружный контур, так и все отверстия, сделанные в вырезном шаблоне. Наименьшие размеры вырезаемых круглых отверстий зависят от прочности материала и давления резины.

Благодаря высокому давлению резины (> 300 кгс/см²) качество среза значительно улучшено и не уступает качеству среза, полученному при вырезке в штампах.

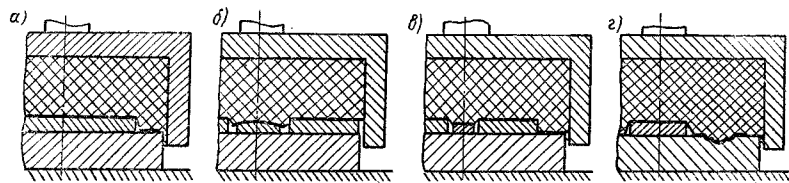


Рис. 43. Схемы различных операций вырезки резины: а — вырезка; б — пробивка; в — вырезка и пробивка; г — пробивка и формовка

Иногда вырезка и штамповка мелких деталей производится на кривошипных или фрикционных прессах. В этом случае более удобно резину располагать в нижней части штампа, а вырезной шаблон прикреплять к пуансону. Требуемое усилие при вырезке резиной определяется исходя из поверхности резины и ее давления. Длина контура вырезки или наличие внутренних отверстий в ней в данном случае существенного значения не имеют, так как усилие сжатия резины значительно превышает усилие вырезки, которым можно пренебречь.

Затраты большей части энергии на сжатие резины являются недостатком данного процесса.

Требуемое усилие определяется по формуле

$$P = Fq,$$

где F — площадь резины, см²; q — давление резины, необходимое для вырезки, кгс/см².

Наименьшее давление, необходимое для вырезки деталей из отожженного дуралюмина толщиной от 0,6 до 1,2 мм, обычно находится в пределах от 70 до 130 кгс/см².

Зависимость давления от степени сжатия (деформации) резины приведена на рис. 44. Толщина резинового слоя должна быть не менее пяти толщин шаблона. Из диаграммы, приведенной на рис. 44, видны все преимущества применения замкнутой резины, так как одно и то же давление достигается уже

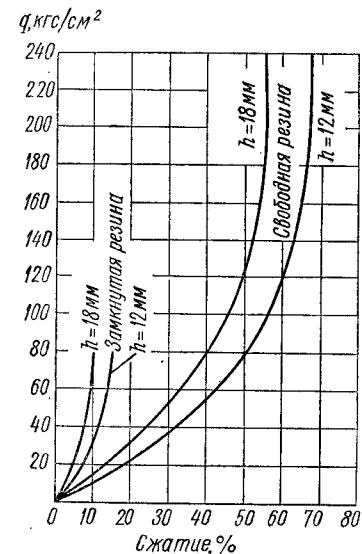


Рис. 44. Зависимость давления от сжатия резины

при небольшой деформации. Это имеет большое значение для увеличения срока службы резины, так как наилучшие условия и наибольший срок службы резины имеют место при степени деформации 20—25%; предельная степень сжатия свободной резины составляет 40—45%.

В процессе штамповки происходят износ и разрушение поверхностного слоя резины, который периодически срезается на глубину 15—25 мм.

Вырезка полиуретаном [58]

Вырезка листовых деталей полиуретаном явилась дальнейшим способом вырезки эластичной средой. Полиуретан — синтетический материал, обладающий высокой эластичностью, прочностью, износостойкостью и маслостойкостью. Проч-

ностные характеристики полиуретана значительно выше, чем у резины: сопротивление разрыву до 350 кгс/см² (у резины — до 170 кгс/см²), удлинение при растяжении от 250 до 700%, твердость по Shore, шкала А 65—98. Более подробные сведения о полиуретане приведены в третьем разделе.

Высокая прочность полиуретана позволила применить его для вырезки деталей толщиной от 0,05 до 2 мм при давлении до 7000 кгс/см². Этого давления вполне достаточно для качественной вырезки тонколистовых деталей и пробивки отверстий диаметром до 1 мм. Вырезанные полиуретаном детали не имеют заусенцев и не требуют последующей доработки контура.

На рис. 45, а показаны некоторые тонколистовые детали с отверстиями и прорезями, полученные за один удар штампа.

Полиуретановый блок, заключенный в обойму (контейнер), является универсальной матрицей. Роль пуансона выполняет листовой вырезной шаблон (копир), имеющий форму детали со всеми отверстиями.

На рис. 45, б показан разрез такого шаблона. Коническое уширение делается лишь при вырубке относительно толстого материала (1,0—2 мм) для облегчения удаления шаблона из заготовки.

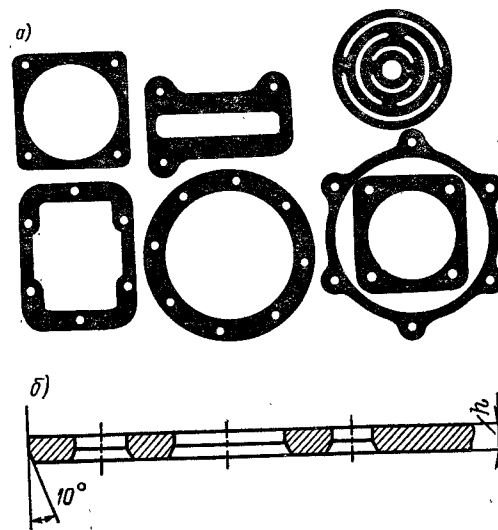


Рис. 45. Вырезка полиуретаном: а — примеры деталей; б — вырезной шаблон

Вырезной шаблон изготовляют из стали марок У7, У8, Х12М, ХВТ с термической обработкой до HRC 60—65 и последующей шлифовкой до 7—8-го класса шероховатости.

Режущие кромки должны быть острыми. Толщина вырезного шаблона зависит от толщины штампуемого материала и в среднем для углеродистых и легированных сталей берется равной:

S, мм	0,05	0,2	0,5	1,0
h, мм	1,5—2,0	2—2,5	3,0	4,0

Давление, необходимое для вырезки детали, зависит от механических свойств и толщины штампуемого металла, а также от толщины вырезного шаблона. Для прямолинейного участка давление вырезки [56] $q = S\sigma_p/h$.

Если вырезаемая деталь имеет отверстия или пазы (рис. 45), то давление вырезки определяется из условия пробивки минимального отверстия или паза $q = 3S\sigma_p/d_{\min}$.

14. Минимальные диаметры отверстий, пробиваемых полиуретаном, мм

Давление, кгс/см ²	Минимальные диаметры при толщине материала, мм			
	0,05—0,2	0,3—0,5	0,8—0,8	0,9—1,2
500	2,0—7,5	11,5—19,5	23,0—31,5	35,0—46,0
1000	1,0—3,5	16,0—10,0	12,0—16,0	17,5—23,0
5000	0,2—0,7	1,1—2,0	2,5—3,0	3,5—4,5

На рис. 46 приведены экспериментальные и расчетные давления в зависимости от диаметра пробиваемого отверстия для различных материалов.

В табл. 14 приведены минимальные диаметры отверстий, пробиваемые полиуретаном в нержавеющей стали X18H9T разных толщин.

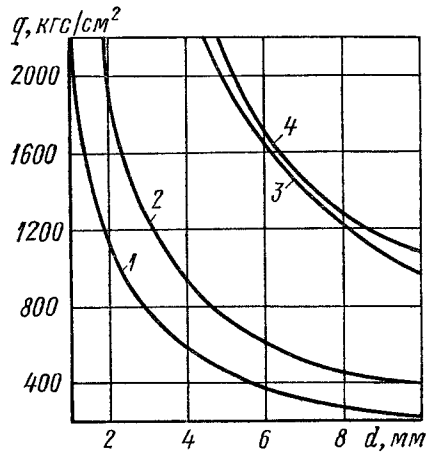


Рис. 46. Давление полнуретана в зависимости от диаметра отверстий для материалов: 1 — АМцАМ, $S = 0,72$ мм; 2 — Д16АМ, $S = 0,77$ мм; 3 — Д16АТ, $S = 0,9$; 4 — X18H9T, $S = 0,5$ мм

На рис. 47 приведены схемы штампов для вырубki полиуретаном: для вырубki из штучных заготовок (рис. 47, а) и для вырубki из полос (рис. 47, б).

В ряде случаев применяется обратное расположение контейнера с полиуретаном по сравнению с показанным на рис. 47, а. Усилие пресса определяется по расчетному давлению и поверхности полнуретанового блока

$$P = 1,2qF,$$

где 1,2 — коэффициент надежности.

9. ОБРЕЗКА ПОЛЫХ ДЕТАЛЕЙ

В большинстве случаев вытяжки полые детали подвергаются последующей обрезке кромок или фланца, для чего предусматривается специальный припуск на обрезку. Необходимость обрезки объясняется рядом причин: анизотропией холоднокатаного металла и образованием фестонов, неточностью фиксации заготовки на матрице, неравномерностью толщины материала, зазора и смазки и т. п.

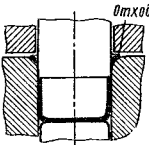
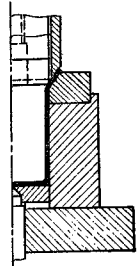
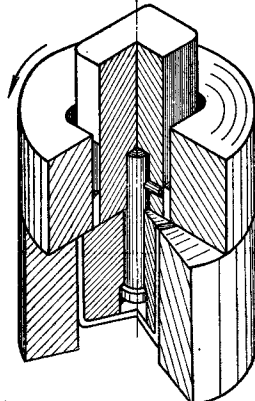
Без обрезки можно вытягивать лишь неглубокие детали с коэффициентом вытяжки $m \geq 0,6$; причем достижимая точность соответствует 3—4-му классу при одновременной вырубке и вытяжке и 5-му классу — при вытяжке из штучных заготовок.

В табл. 15 приведены основные способы обрезки кромок после вытяжки и указана область применения каждого способа.

15. Основные способы обрезки кромок в штампах

Способы обрезки	Эскиз	Точность обрезки по высоте, мм	Область применения
Обрезка плоского фланца		—	Для деталей с фланцем любых размеров при любой серийности производства. Для обрезки средних и крупных деталей применяют верхнее расположение матрицы
Обрезка фланца с последующей вытяжкой		0,2—0,4	Для небольших деталей из тонкого материала. Этот способ позволяет производить фигурную обрезку
Обрезка по частям с поворотом заготовки		0,5—0,8	Для небольших и средних размеров деталей круглой и прямоугольной формы в мелкосерийном производстве. Кромка среза недостаточно ровная
Обрезка секторами клинового штампа		0,2—0,4	Для небольших и средних размеров деталей круглой и прямоугольной формы в крупносерийном производстве. Хорошее качество среза
Обрезка в штампе с планетарно движущейся матрицей		0,1—0,2	Для небольших и средних размеров деталей любой формы в крупносерийном и массовом производстве. Высокое качество среза

Продолжение табл. 15

Способы обрезки	Эскиз	Точность обрезки по высоте, мм	Область применения
Обрезка одновременно с первой вытяжкой		0,1—0,2	Для цилиндрических, реже для прямоугольных деталей небольших размеров. Кромка имеет завал изнутри наружу
Обрезка одновременно с последней вытяжкой		0,1—0,2	Для цилиндрических и прямоугольных деталей небольших и средних размеров
Обрезка сдвигом по Я. В. Боровинскому		0,2—2,0	Для прямоугольных коробчатых деталей небольших и средних размеров

На рис. 48 показан способ обрезки на плоскообрезном штампе при помощи планетарно движущейся матрицы. Обрезка происходит между режущими кромками пуансона и матрицы, перемещающейся в горизонтальной плоскости перпендикулярно вертикальным стенкам детали (рис. 48, а и б). В данном случае применена «плавающая» матрица 1, установленная на подвижные профильные кулачки 2, которые опускаются под действием нажимных стоек; матрица получает горизонтальное перемещение от неподвижного профильного кулачка 3. Для обрезки цилиндрических деталей применяют три пары профильных кулачков, которые создают последовательно перемещение матрицы в трех направлениях под углом 120° .

Обрезка квадратных коробок производится за четыре движения матрицы (рис. 48, в), каждое из которых осуществляется от двух пар кулачков (А, В, С, D,

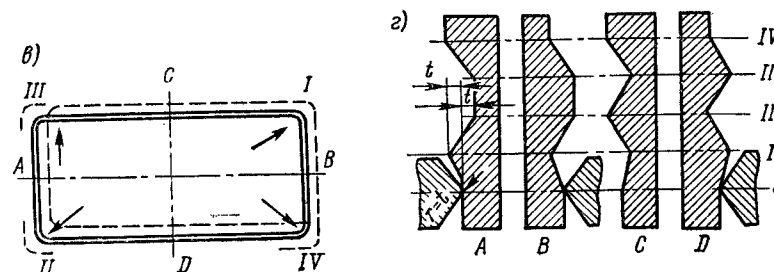
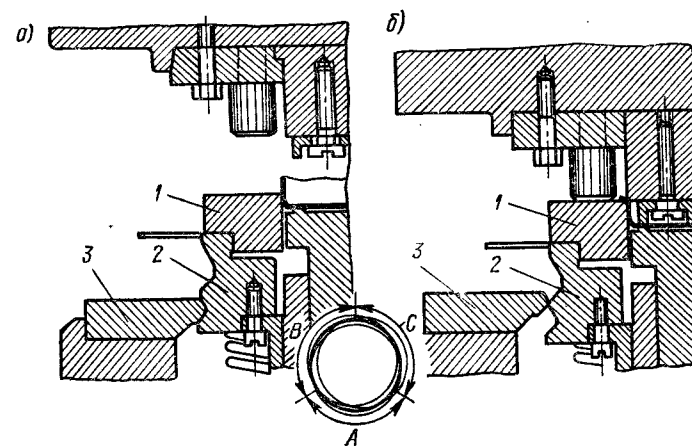


рис. 48. Обрезка на плоскообрезном штампе с планетарно движущейся матрицей

рис. 48, в). Цифрами I, II, III и IV показана последовательность движения обрезной матрицы (рис. 48, в) и соответствующие им вертикальные положения кулачков (рис. 48, г). Плоскообрезные штампы позволяют производить профильную обрезку вертикальных стенок детали.

ГЛАВА II

ГИБКА

10. ПРОЦЕСС ГИБКИ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА

Гибка листового металла осуществляется в результате упругопластической деформации, протекающей различно с каждой из сторон изгибаемой заготовки.

Слой металла внутри угла изгиба (со стороны пуансона) сжимаются и укорачиваются в продольном и растягиваются в поперечном направлении. Наружные слои (со стороны матрицы) растягиваются и удлиняются в продольном и сжимаются

в поперечном направлении. Между удлиненными и укороченными слоями (волокнами) находится нейтральный слой, длина которого равна первоначальной длине заготовки. При гибке узких полос происходит сильное искажение поперечного сечения, заключающееся в уменьшении толщины в месте изгиба, уширении внутри угла с образованием поперечной кривизны и сужении с наружной стороны (рис. 49).

В результате утонения материала и искажения формы поперечного сечения нейтральный слой в месте изгиба не проходит посередине сечения, а смещается в сторону малого радиуса. При гибке широких полос и листов также происходит утонение материала, но почти без искажения поперечного сечения, так как деформации в поперечном направлении противодействует сопротивление материала большой ширины. Лишь по краям широких полос происходит деформация, аналогичная поперечной деформации узких полос.

В большинстве случаев гибка происходит при большой величине деформаций, когда в металле кроме продольных растягивающих и сжимающих напряжений образуются радиальные напряжения сжатия, которые возникают в результате давления крайних слоев металла на внутренние и достигают наибольшей величины у нейтрального слоя.

На рис. 50 приведены схемы напряженно-деформированного состояния при изгибе. При изгибе узких заготовок (рис. 50, а) деформированное состояние — объемное, так как поперечное сечение образца деформируется во всех трех направлениях.

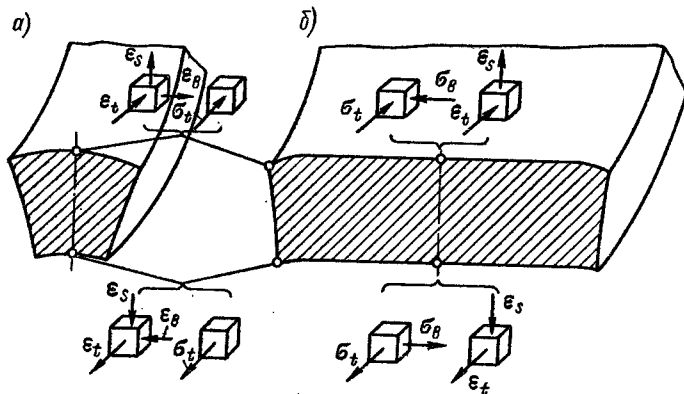


Рис. 50. Схемы напряженно-деформированного состояния при изгибе: σ — напряжение; ϵ — деформации

По мере увеличения ширины изгибаемой заготовки поперечная деформация постепенно уменьшается и становится весьма малой в результате значительного сопротивления, оказываемого большой шириной заготовки (рис. 50, б).

С целью упрощения при изгибе широких заготовок деформацией боковых поверхностей можно пренебречь и рассматривать деформацию всего сечения как деформацию сдвига.

Следует отличать гибку с малым радиусом закругления при большой степени пластической деформации от гибки с большим радиусом закругления при небольшой степени пластической деформации.

При гибке с малыми радиусами закруглений напряжения и деформации не сосредотачиваются под ребром пуансона, а распространяются на значительную длину

заготовки между опорами. В результате этого заготовка получает изгиб по параболической кривой, с постепенно увеличивающейся кривизной и уменьшением плеча изгиба.

Последовательность процесса угловой гибки приведена на рис. 51. На всем протяжении процесса гибки заготовка имеет внутреннее закругление, которое больше радиуса пуансона, причем при гибке происходит постепенное уменьшение радиуса кривизны и плеча изгиба (l_1, l_2, l_k). Заготовка постепенно уменьшающимся закруглением прилегает в двух точках к стенкам матрицы и с некоторого момента оказывается прижатой к пуансону в трех точках. Только в конце хода, при калибрующем глухом ударе, заготовка прилегает к пуансону.

Опытами автора установлено, что полного прилегания заготовки к пуансону и в конце хода не получается, а между ними по оси пуансона остается зазор.

На рис. 51, б) приведена последовательность процесса двухугловой гибки скобы. Этот случай гибки значительно отличается от рассмотренного не только тем, что он требует обязательного применения прижима, но и иной величиной изгибающего момента, так как в данном случае изгиб происходит с малым расстоянием между опорами. Большое значение имеет усилие прижима. В левой части верхних схем показана последовательность гибки при недостаточной силе прижима, в результате чего деталь получается некачественной — недоштампованной. В правой части схем показана последовательность гибки при достаточно большой силе прижима, обеспечивающей полный загиб полос при плоском дне.

На нижней схеме (рис. 51, б) приведен более надежный способ гибки деталей средней толщины с глухим калибрующим ударом в нижнем положении. Однако он требует применения материала с небольшим отклонением по толщине и запаса мощности прессы, во избежание заклинивания в нижней мертвой точке.

На рис. 52 приведены диаграммы зависимости усилий гибки от глубины продвижения пуансона h для рассмотренных случаев гибки: угловой (рис. 52, а) и двухугловой (рис. 52, б). По мере увеличения глубины h можно выделить три участка: I — упругого изгиба; II — пластического изгиба и III — участок калибровки, когда усилие резко возрастает.

Угловая гибка обычно производится с калибровкой материала, для чего требуется усилие P_k . Эта величина, равно как и положение точки K на кривой, не поддается теоретическому расчету и устанавливается экспериментально (см. ниже).

На рис. 52, б) приведены две кривые изменения усилия: 1 — для двухугловой гибки скобы с прижимом и калибровкой (P_k). Снижение усилия в конце пластического изгиба вызывается небольшим перемещением вниз загнутой скобы перед калибрующим ударом; 2 — для двухугловой гибки без прижима, но с калибровкой в конце хода (P). Прямая 3 соответствует усилию прижима, возрастающему по мере сжатия буфера.

Гибка без прижима применяется лишь для деталей невысокой точности (7-й класс), так как допускает смещение заготовки при гибке. Гибка с прижимом применяется для деталей повышенной точности (5-й класс), так как не допускает смещения заготовки в процессе гибки.

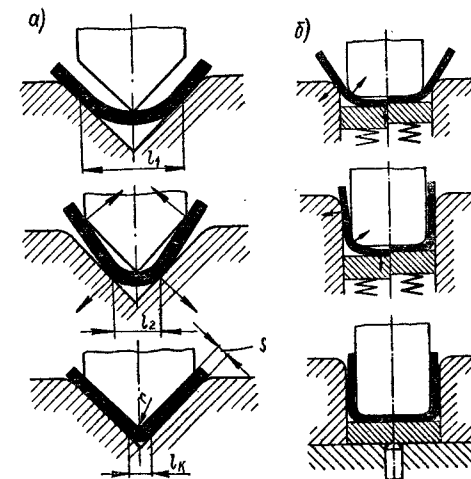


Рис. 51. Последовательность процесса гибки: а — одноугловая; б — двухугловая гибка

Более высокая точность при гибке (3—4-й класс) достигается применением технологических баз и дополнительной фиксацией заготовки, а также за счет введения дополнительной калибровки.

Наряду с простыми гнутыми деталями типа угольника или скобы на производстве применяется большое количество сложно изогнутых деталей разнообразной формы, имеющих отверстия, пазы, отбортовки и т. п.

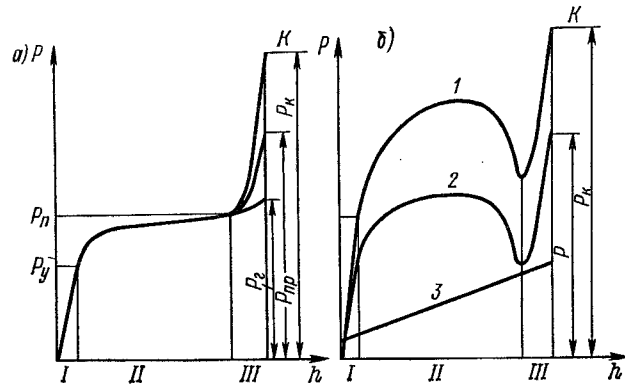


Рис. 52. Диаграммы усилия гибки: P_r — усилие гибки, $P_{\text{пр}}$ — усилие с прижимом в конце хода, P_y — упругий изгиб, $P_{\text{п}}$ — усилие пластического изгиба

В мелкосерийном производстве их изготавливают за несколько отдельных операций на простых штампах. В крупносерийном и массовом производстве обычно применяют конструктивно сложные комбинированные гибочные штампы.

Гибка полиуретаном имеет свои технологические особенности. Они рассмотрены в пятом разделе.

Кроме способов гибки в штампах, на производстве применяется ряд других способов гибки листового металла, выполняемых на специальном оборудовании.

11. НЕЙТРАЛЬНЫЙ СЛОЙ

В холодной штамповке в большинстве случаев применяется гибка с малым радиусом закругления, сопровождаемая уменьшением толщины материала и смещением нейтрального слоя в сторону сжатых волокон, а для узких полос, кроме того, изменением прямоугольной формы поперечного сечения в трапециевидную.

Радиус кривизны нейтрального слоя при чистом изгибе образца прямоугольного сечения (рис. 53) находится по следующей формуле [107]:

$$\rho = \frac{R+r}{2} \alpha = (r + 0,5\alpha) \alpha,$$

где R — наружный радиус изогнутой детали, мм; r — внутренний радиус гибки, мм; $\alpha = S_1/S$ — коэффициент утонения.

Так как при угловой гибке утонение материала различно в разных сечениях и достигает наибольшей величины в осевом сечении, то радиус элементарного нейтрального слоя также различен в этих сечениях. Таким образом, нейтральная линия в месте изгиба не является дугой того или иного радиуса, а представляет собой кривую типа параболы, заключенную между двумя дугами радиусов ρ и ρ_0 (рис. 54).

Необходимо особо отметить, что нейтральный слой не является тем или иным физическим слоем, который можно обнаружить визуально или другим способом,

а представляет собой условную криволинейную поверхность, проходящую через различные слои заготовки.

Вследствие того, что длину параболической кривой подсчитать трудно, длину нейтрального слоя в месте изгиба подсчитывают по длине дуги радиуса ρ (наименьшего радиуса кривизны нейтрального слоя в осевом сечении). Получаемое при этом некоторое уменьшение расчетной длины нейтрального слоя технологически оправ-

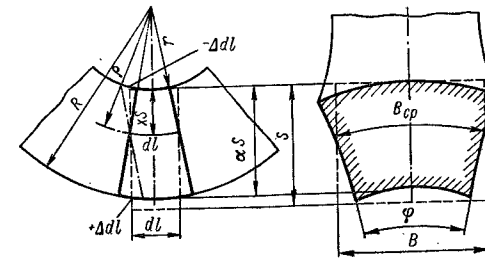


Рис. 53. Деформация объемного элемента при гибке: до изгиба — после изгиба

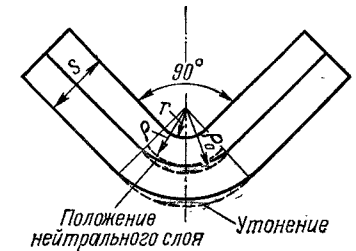


Рис. 54. Положение нейтрального слоя

дано, так как при гибке в штампах утонение материала не ограничивается закругленной частью, а распространяется и на примыкающие к закруглению прямолинейные участки заготовки, что несколько увеличивает длину детали.

Коэффициент утонения при гибке зависит от пластичности материала, степени деформации и угла изгиба. Для практических целей могут быть использованы коэффициенты утонения, полученные экспериментально путем замеров образцов из мягкой стали при изгибе их на 90° (рис. 55).

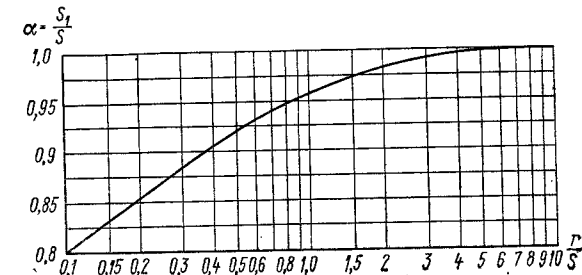


Рис. 55. Коэффициент утонения при гибке на 90° (стали 10—20)

Обычно вместо радиуса нейтрального слоя применяют коэффициент x , определяющий расстояние этого слоя от внутреннего радиуса изгиба $xS = \rho - r$. В случае гибки широких заготовок этот коэффициент находится по формуле

$$x = (\rho - r) / S = 0,5\alpha^2 - (1 - \alpha)r / S.$$

В табл. 16 приведены проверенные на практике значения коэффициента x для гибки на 90° широких заготовок из сталей 10—20. Значения коэффициента x относятся к случаю, когда гибка происходит без растяжения отгибаемых полок, а также без утонения или заклинивания их между матрицей и пуансоном. В последних случаях растяжение может быть настолько значительным, что нейтральный слой становится фиктивным и выходит из пределов толщины материала.

16. Значения коэффициента x для гибки на 90° (стали 10—20)

r/S	x	r/S	x	r/S	x
0,05	0,27	0,60	0,39	2,0	0,45
0,10	0,30	0,70	0,40	2,5	0,46
0,15	0,32	0,80	0,408	3,0	0,47
0,20	0,33	1,00	0,42	4,0	0,47
0,25	0,35	1,2	0,43	5,0	0,48
0,30	0,36	1,5	0,44	7,0	0,49
0,40	0,37	1,8	0,45	10,0	0,50
0,50	0,38				

чае изгиба прутков с меньшим радиусом изгиба ($r < 1,5d$) круглое сечение заготовки искажается и принимает овальную и даже яйцевидную форму, обращенную удлиненной стороной внутрь угла изгиба.

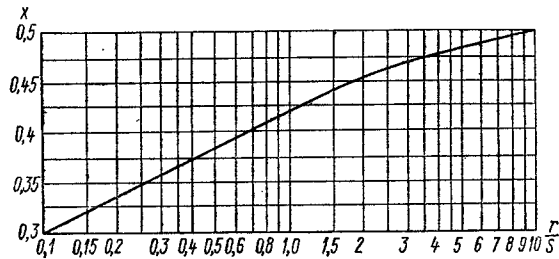


Рис. 56. Коэффициент x , определяющий положение нейтрального слоя при гибке на 90°

Коэффициент x , определяющий положение нейтрального слоя (расстояние до внутренней кромки наименьшего радиуса) при изгибе круглых алюминиевых прутков, приведен ниже:

Радиус изгиба	$\geq 1,5d$	d	$0,5d$	$0,25d$
Коэффициент x	$0,5d$	$0,51d$	$0,53d$	$0,55d$

Таким образом, при гибке круглых прутков радиусом $> 1,5d$ нейтральный слой проходит через центр круглого сечения, а при гибке радиусом $< 1,5d$ — через смещенный вниз центр тяжести искаженного сечения.

Значения коэффициента x для двухугловой гибки проволочных деталей в зависимости от относительного радиуса изгиба находятся в пределах 0,33—0,4.

Гибка полос на ребро мало исследована. Приведенные выше формулы к ней не применимы. Однако в качестве первого грубого приближения при изгибе на ребро с отношением $r/S \geq 2$ можно пользоваться приведенными в табл. 16 значениями коэффициента x .

Изгиб прокатных профилей производится главным образом на профилегибочных роликовых машинах или специальных гибочных прессах при больших радиусах кривизны ($r > 10h$). Поэтому в данном случае с достаточной степенью точности можно считать, что нейтральный слой проходит через центр тяжести сечения профиля.

В холодной штамповке широко применяется операция закатки петель шарниров, производимая путем торцового давления пуансона, имеющего полукруглую выемку

Формула для радиуса кривизны нейтрального слоя справедлива и одинаково применима для любого угла изгиба, но коэффициенты утонения для разных углов различны (например, при гибке на 90 и 180°).

На рис. 56 представлен график зависимости коэффициента x , определяющего положение нейтрального слоя, от отношения для случая гибки мягкой стали на 90° .

При гибке заготовок других сечений (круг, ромб, трапеция) характер деформации поперечного сечения будет иной, коэффициенты утонения — также иные, а следовательно, и положение нейтрального слоя должно быть иным.

При изгибе круглых прутков диаметром d вокруг оправки или пуансона радиусом до $r = 1,5d$ поперечное сечение почти не изменяется и практически остается круглым. В слу-

(рис. 57, а). При этом имеет место более сложная пластическая деформация, состоящая из консольного цилиндрического изгиба и несимметричного сжатия от силы трения. В результате тангенциального сжатия этот случай изгиба приближается к изгибу со сжатием. Вместо утонения происходит небольшое утолщение и укорочение заготовки. Нейтральный слой смещается в сторону наружной поверхности.

Консольный цилиндрический изгиб осуществим до соотношения $R < 3,3S$, до которого не происходит потери устойчивости заготовки. Поэтому закатка шарнирных петель обычно производится при соотношении $R = (2 + 3,2) S$. При большом значении R закатку следует производить с применением оправки диаметром, равным внутреннему диаметру петли.

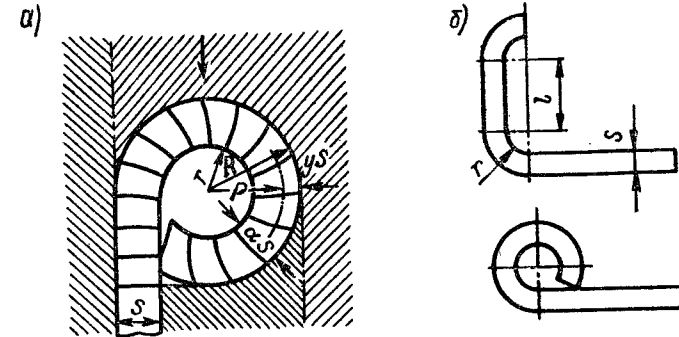


Рис. 57. Торцовая гибка шарнирных петель: а — в одну операцию; б — в две операции

При торцовой закатке плоских заготовок край шарнирной петли остается незакругленным. Для устранения этого заготовка должна иметь предварительно подогнутые кромки с закруглением по радиусу на участке 90° .

Иногда подгибка кромок осуществляется при вырубке заготовки. При этом достаточно иметь закругление на участке $45—50^\circ$.

Радиус кривизны нейтрального слоя при торцовой закатке находится по формуле $\rho = R - yS$.

В табл. 17 приведены приближенные значения ρ/S и y в зависимости от заданного отношения R/S для сталей 10—20.

17. Коэффициенты ρ/S и y

Коэффициенты	Значения коэффициентов при относительном радиусе R/S								
	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2
ρ/S	1,2	1,38	1,56	1,74	1,92	2,11	2,3	2,5	2,7
y	0,4	0,42	0,44	0,46	0,48	0,49	0,5	0,5	0,5

Для определения размеров заготовки при торцовой закатке шарнирных петель автором предложены формулы, приведенные в табл. 21.

При последовательной штамповке в ленте иногда применяется закатка шарнирных петель за два или три перехода (рис. 57, б). В этом случае первый и второй переходы являются обычной гибкой пуансоном с радиусом r , а положение нейтрального слоя определяется по табл. 16. Во время третьего перехода происходит торцовый изгиб вертикального участка длиной l , к которому применимо сказанное выше. Однако наличие соседних изогнутых участков искажает результаты гибки.

Рассмотренный выше нейтральный слой является нейтральным слоем деформаций (первоначальной длины) и имеет большое практическое значение, так как точное

определение его положения необходимо для нахождения правильной длины заготовки, предельно допустимого радиуса изгиба и пр. От этого слоя необходимо отличать нейтральный слой напряжений, в котором происходит перемена знака напряжений (сжатие — растяжение).

Положение нейтрального слоя напряжений может быть определено по формуле, полученной из анализа распределения напряжений по сечению

$$\rho_n = \sqrt{Rr} = r \sqrt{1 + \alpha S/r},$$

где ρ_n — радиус кривизны нейтрального слоя напряжений.

Радиус кривизны нейтрального слоя напряжений меньше радиуса кривизны нейтрального слоя деформаций, а следовательно, первый находится ближе к центру кривизны изгиба.

12. ВЕЛИЧИНА ДЕФОРМАЦИЙ И МИНИМАЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ РАДИУСЫ ГИБКИ

Минимально допустимые радиусы гибки должны соответствовать пластичности металла и не допускать образования трещин. Следовательно, минимальные радиусы гибки должны быть установлены по предельно допустимым деформациям крайних

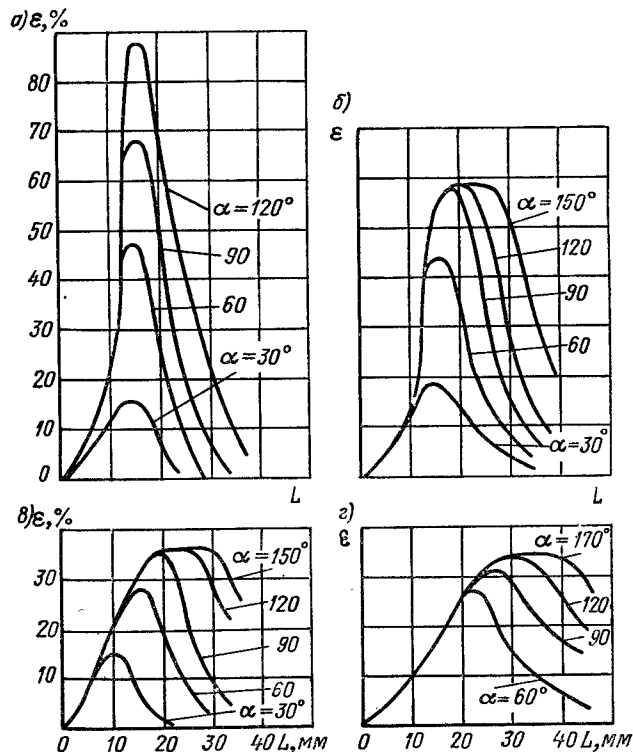


Рис. 58. Зависимость деформации крайних волокон от r/S и угла изгиба: а — $r = 0,37S$; б — $r = 0,75S$; в — $r = 1,5S$; г — $r = 2S$

волокон. Величину деформаций крайних волокон при гибке широких заготовок можно определять по формулам, учитывающим утонение материала и смещение нейтрального слоя [114].

Для растянутого наружного слоя радиуса R

$$\varepsilon_R = \frac{r/\alpha S + 1}{r/S + \alpha/2} - 1; \quad \psi_R = 1 - \frac{r/S + \alpha/2}{r/\alpha S + 1},$$

где ε — полное относительное удлинение, тождественное наибольшему относительному удлинению в шейке образца при растяжении; ψ — относительное сужение поперечного сечения.

На рис. 58 показаны диаграммы распределения величины деформации крайних волокон в зависимости от отношения r/S и угла изгиба α для стали Ст3 толщиной 8 мм [200].

По оси ординат отложены местные величины относительного удлинения наружных волокон $\varepsilon = [(l - l_0)/l_0] 100\%$. По оси абсцисс отложена длина дуги наружной стороны изогнутой детали. Сопоставление диаграмм показывает значительное увеличение наибольшего удлинения при уменьшении относительного радиуса изгиба r/S (рис. 58, а). При этом деформация наружных слоев возрастает при увеличении угла изгиба α .

Характерно, что при большем относительном радиусе изгиба r/S (меньшей степени деформации) величина наибольшего удлинения одинакова при углах изгиба 90, 120, и 150° (рис. 58, б и в).

Из приведенных диаграмм очевидна целесообразность увеличения относительного радиуса изгиба до $r/S = 1,5 \div 2$, и даже больше.

В табл. 18 приведены результаты подсчета деформации крайних растянутых волокон для сталей 10—20 при гибке на 90°. Относительное сужение поперечного сечения является более правильной характеристикой пластичности металла, чем относительное удлинение.

18. Деформации наружных растянутых волокон при гибке на 90° (стали 10—20)

Показатель деформации	Относительная ширина полосы	Деформации при относительном радиусе изгиба						
		0,1*	0,25*	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0
Полное относительное удлинение ε_R , %	> 3	120	88	61,3	38	21,6	14	11,5
Относительное сужение поперечного сечения ψ_R , %	> 3	55	47	38	27,6	18	13	10,3

Примечание. Отмеченные звездочкой данные приводятся условно, так как при изгибе указанной кривизны характер деформации изменяется.

Для определения радиуса гибки по значению относительного поперечного сужения для сталей 10—20 составлена табл. 19. Зная ψ из испытаний на растяжение, по табл. 19 находим для данного материала минимальный радиус гибки *поперек волокон проката*.

При гибке вдоль направления проката предельно допустимые деформации ψ' берутся меньшими: $\psi' \approx 0,7\psi_{\max}$.

В табл. 20 для практического пользования приведены приближенные значения минимально допустимых радиусов гибки для различных материалов при разном расположении линии сгиба.

Обычно гибке подвергаются заготовки, полученные вырубкой в штампах или резкой на ножницах. И в том и в другом случае вблизи поверхности среза образуется зона наклепанного и деформированного металла, твердость которого на 20—30%

19. Относительные радиусы гибки r/S в зависимости от относительного сужения ψ

ψ , %	Радиус гибки r/S	ψ , %	Радиус гибки r/S
62	0	25	1,15
55	0,1	20	1,7
50	0,2	18	2,0
45	0,3	15	2,5
40	0,43	10,3	4,0
35	0,62	8,5	5,0
30	0,85	4,5	10,0

шие заусенцы недопустимы, так как приводят к образованию трещин при любой установке заготовки.

Общие технологические правила, относящиеся к заготовкам, подлежащим гибке, следующие:

1) вырубку заготовок, подлежащих гибке с малым радиусом, следует производить при таком расположении на полосе, чтобы линия сгиба проходила поперек или под углом к направлению волокон проката, иначе возможны трещины; если соблюдение этого правила приводит к неэкономному раскрою материала, нужно от него отказаться, применив увеличенные радиусы гибки. В этом случае направление волокон проката безразлично и не вызывает образования трещин;

2) вырубку заготовок несимметричного контура следует производить в таком направлении, чтобы при гибке заусенцы были направлены внутрь угла гибки, а не наружу. В противном случае неизбежно образование трещин;

3) заготовки желательно подвергать виброгалтовке или обкатывать в барабане для удаления заусенцев или зачищать другим способом.

13. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЗАГОТОВОК ПРИ ГИБКЕ

Определение размеров плоских заготовок, подлежащих гибке, основано на равенстве длины заготовки длине нейтрального слоя изогнутой детали и сводится к определению положения и длины нейтрального слоя в зависимости от относительного радиуса изгиба r/S .

Различают два основных случая определения размеров заготовки: 1) при гибке с закруглением (по радиусу); 2) при гибке под углом без закругления (с калибровкой угла).

В первом случае длина заготовки равна сумме длин прямых участков и длины нейтрального слоя в изогнутом участке.

Длина нейтрального слоя в изогнутом участке определяется по формуле

$$l = \frac{\pi\varphi}{180} (r + xS) = 0,017\varphi (r + xS),$$

или при $\varphi = 90^\circ$

$$l = \frac{\pi \cdot 90}{2} (r + xS) = 1,57 (r + xS),$$

где l — длина нейтрального слоя изогнутого участка; φ — угол изогнутого участка; x — коэффициент, определяющий положение нейтрального слоя (см, табл. 16).

выше, а пластичность ниже, чем в неаклепанной зоне. В табл. 20 приведены также данные для отожженного и для наклепанного состояний.

Как видно из табл. 20, правило расположения линии сгиба поперек волокон проката следует строго применять лишь в случае гибки с очень малыми радиусами (для мягкой стали $r < 0,5 \div 1,0$).

При гибке с большими радиусами закруглений расположение волокон проката безразлично, что иногда позволяет получить более экономный раскрой материала.

Значительно большую опасность в отношении образования трещин при гибке представляют заусенцы и их произвольное расположение при изгибе, поэтому заготовку следует устанавливать заусенцами внутрь угла изгиба. Большие заусенцы недопустимы, так как приводят к образованию трещин при любой установке заготовки.

20. Минимальные относительные радиусы гибки r/S

Материал	В отожженном или нормализованном состоянии		В наклепанном состоянии	
	Расположение линии сгиба			
	поперек волокон проката	вдоль волокон проката	поперек волокон проката	вдоль волокон проката
Алюминий	0	0,3	0,3	0,8
Медь отожженная			1,0	2,0
Латунь Л68			0,4	0,8
Стали 05 08кп			0,2	0,5
Стали 08—10, Ст1, Ст2	0	0,4	0,4	0,8
Стали 15—20, Ст3	0,1	0,5	0,5	1,0
Стали 25—30, Ст4	0,2	0,6	0,6	1,2
Стали 35—40, Ст5	0,3	0,8	0,8	1,5
Стали 45—50, Ст6	0,5	1,0	1,0	1,7
Стали 55—60, Ст7	0,7	1,3	1,3	2,0
Нержавеющая сталь X18H9T	1	2	3	4
Дуралюмин мягкий	1,0	1,5	1,5	2,5
Дуралюмин твердый	2,0	3,0	3,0	4,0
Магниево-алюминиевые сплавы: МА1-М МА8-М	Нагрев до 300°C		В холодном состоянии	
	2	3	6	8
	1,5	2	5	6
Магналий: АМг1М АМг5М	0,8 1,3	1,2 1,8	1,5 2,0	2 3
Титановые сплавы: BT1 BT5	Нагрев до 300—400°C		В холодном состоянии	
	1,5	2	3	4
	3	4	5	6
Молибденовые сплавы BM1 и BM2 ($S \leq 2$ мм)	Нагрев до 300—400°C		В холодном состоянии	
	2	3	4	5

- Примечания:
- Минимальные радиусы гибки следует применять лишь в случае абсолютной конструктивной необходимости, во всех остальных случаях — применять увеличенные радиусы гибки.
 - При гибке под углом к направлению проката следует брать средние промежуточные значения в зависимости от угла наклона линии сгиба.
 - В случае гибки узких заготовок, полученных вырубкой или резкой без отжига, радиусы гибки нужно брать как для наклепанного металла.
 - При гибке толстых листов (свыше 8—10 мм) рекомендуем применять радиусы гибки относительно большей величины.
 - При гибке весьма широких заготовок (1000—2000 мм) радиусы гибки следует увеличить в 1,5—2 раза во избежание трещин.

Угол изогнутого участка только при $\varphi = 90^\circ$ равен углу гибки; во всех же других случаях он составляет (рис. 59)

$$\varphi = 180^\circ - \alpha,$$

где α — внутренний угол гибки.

В табл. 21 приведены примеры определения размеров заготовок для наиболее распространенных случаев гибки по радиусу.

Расположение нейтральной линии (xS) определяется в зависимости от отношения r/S и находится по табл. 16 или по рис. 56.

Для упрощения подсчетов и удобства пользования в производственных условиях в табл. 22 приведена вычисленная длина нейтрального слоя угловых закруглений в зависимости от толщины материала и радиуса гибки

$$l_n = \frac{\pi}{2} (r + xS).$$

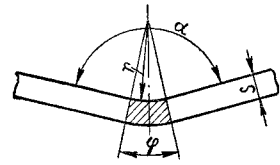
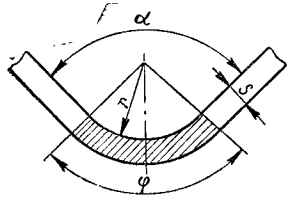


Рис. 59. Соотношение между углом изогнутого участка и углом гибки ($\varphi = 180^\circ - \alpha$)

Приведенные в таблице значения l_n подсчитаны для гибки под углом 90° .

В случае необходимости найти длину нейтрального слоя для другого угла гибки, найденные из табл. 22, следует умножить на отношение $\varphi/90$ (где φ — требуемый угол гибки, град).

Если размеры гнутых деталей заданы, включая радиусы закруглений (рис. 60), то подсчет длины развертки производится по заданным размерам с введением поправки, приведенной в четвертом издании справочника (табл. 40). При подсчете длины развертки точных деталей с двусторонним допуском (\pm) расчет производится по номинальным размерам детали.

Если размеры детали заданы с односторонним допуском (рис. 60, а), то для того, чтобы деталь не вышла из поля допуска, необходимо односторонние допуски пересчитать на двусторонние (рис. 60, б). Расчет развертки производится по пересчитанным номинальным размерам детали на технологические размеры.

Необходимо сделать следующие технологические указания, без которых невозможно получить точные гнутые детали.

1. Размеры деталей будут соответствовать расчетным лишь в том случае, если гибка происходит без растяжения и утонения отгибаемых полок.

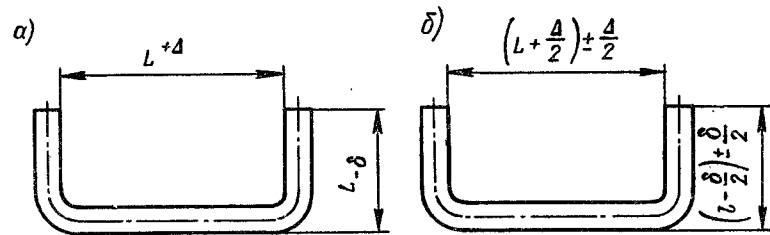


Рис. 60. Схема пересчета односторонних допусков на двусторонние

2. Двухугловая гибка должна производиться в штампах с сильным прижимом (см. рис. 51). В противном случае средний участок, отжимая слабый прижим, выгибается и имеет длину, большую ширины матрицы. Без калибровки деталь получается некачественной, а при калибровке происходит осадка выпуклости и утолщение материала. Вследствие этого деталь получается с более короткими полками, чем

21. Определение размеров заготовки при гибке с закруглением (по радиусу)

Тип гибки	Эскиз	Длина заготовки, в мм
Одноугловая		$L = l_1 + l_2 + l_n =$ $= l_1 + l_2 + \frac{\pi}{2} (r + xS)$
Двухугловая		$L = l_1 + l_2 + l_3 + \pi (r + xS) =$ $= l_1 + l_2 + l_3 + 2l_n$
Четырехугольная (за две операции)		$L = l_1 + 2l_2 + l_3 + l_4 +$ $+ 2l_{n1} + 2l_{n2} =$ $= l_1 + 2l_2 + l_3 + l_4 +$ $+ \pi (r_1 + x_1S) + \pi (r_2 + x_2S)$
Полукруглая (U-образная)		$L = 2l + 2l_n = 2l + \pi (r + xS)$
Торцовая (закатка)		$L = 1,5\pi r + 2R - S;$ $\rho = R - yS$

Примечания:

1. Коэффициент x — см. табл. 16; коэффициент y — см. табл. 17.
2. Значение l_n брать по табл. 22.

для П-образной

$$\operatorname{tg} \beta = 0,75 \frac{l_1 \sigma_T}{kS E},$$

где β — угол пружинения (односторонний); k — коэффициент, определяющий положение нейтрального слоя в зависимости от r/S , равный $1 - x$; l — расстояние между опорами — губками матрицы, мм; l_1 — плечо гибки, равное $r_m + r_n + 1,25S$, мм.

Коэффициент x находится по табл. 16.

При гибке с большими радиусами закруглений или при U-образной гибке необходимо определить не угловое пружинение, а упругое изменение радиуса после гибки. В данном случае по заданному чертежу отношению определяют остаточную деформацию крайних волокон по приближенной формуле

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{2r/S + 1}.$$

Затем по диаграмме растяжения данного материала находят значение полной деформации

$$\varepsilon_n = \varepsilon_0 + \varepsilon_{упр}$$

и определяют искомый (уменьшенный) радиус пуансона по формуле

$$r = 0,5S (1/\varepsilon_n - 1).$$

При гибке в упор с калибровкой материала и чеканкой угла упругое пружинение зависит не только от отношения r/S , но также от настройки прессы и степени наклепа металла. Из практики известны примеры, когда упругое пружинение при гибке в упор с малым радиусом закругления пуансона ($r/S < 0,2 \div 0,3$) и чеканкой угла дает не увеличение, а уменьшение угла детали.

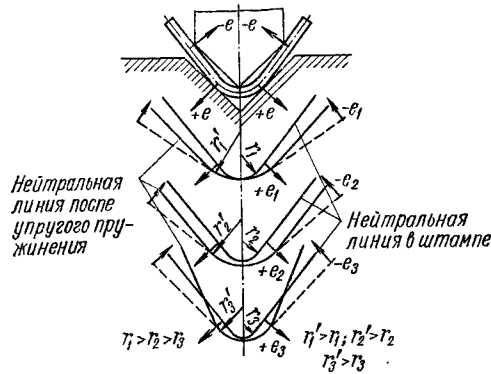


Рис. 62. Различные случаи пружинения при гибке в упор с малым радиусом (при $+e_1 > -e_1$ угол пружинения положительный; при $+e_2 = -e_2$ равен нулю, при $+e_3 < -e_3$ — отрицательный)

в зависимости от r/S , l/S и α возможны три случая: общий угол пружинения положительный, равен нулю или отрицателен (рис. 62).

Необходимо указать, что при гибке в упор с чеканкой угла даже в одном и том же штампе может быть получена различная величина упругого пружинения в зависимости от настройки прессы и положения нижней мертвой точки. Вследствие этого в данном случае наиболее простым способом является определение угла пружинения опытным путем.

На рис. 63 приведен график для определения углов пружинения при гибке стальных деталей (сталь 10) в зависимости от относительной деформации изгиба [212],

В основу графика положены следующие зависимости (по радиусу нейтрального слоя):

$$\rho/\rho_0 = 1 - 2\rho\sigma_{из}/SE; \quad r = \rho - S/2; \quad r_0 = \rho_0 - S/2,$$

где ρ — радиус нейтрального слоя до пружинения; ρ_0 — то же — после пружинения. Здесь рассмотрен свободный изгиб без чеканки. Сопротивление изгибу

$$\sigma_{из} = M_{из}/1,5W \text{ кгс/мм}^2.$$

Относительная деформация изгиба

$$\varepsilon = 0,5 S/\rho.$$

Деформация пружинения

$$\varepsilon_{пр} = \sigma_{из}/E = 0,5 S/\rho - 0,5 S/\rho_0.$$

Величина пружинения в данном случае $\beta = \gamma - \gamma_0$.

По заданному значению $\varepsilon = 0,5S/\rho$ находят γ/γ_0 или ρ_0/ρ и корректируют угол штампа. Кривая σ_T^* дает текущие значения истинного сопротивления деформации.

Экспериментально установлено, что в случае одноугловой гибки на 90° наименьшее пружинение получается при соотношении $r = (1 \div 1,5) S$. Поэтому для уменьшения угла пружинения при угловой гибке следует уменьшить радиус закругления пуансона и усилить чеканку ребра изгиба.

При гибке деталей большого радиуса пружинение достигает значительной величины. В этом случае пружинение может быть подсчитано по формулам С. К. Абрамова.

Радиус закругления гибочного штампа, при гибке заготовок прямоугольного сечения

$$R = \frac{R_0}{1 + 3 \frac{\sigma_T R_0}{E S}} = \frac{1}{\frac{R_0}{R} + 3 \frac{\sigma_T}{ES}}.$$

Угол пружинения

$$\gamma = (180 - \alpha_0) (R_0/R - 1).$$

Отсюда видно, что при $R_0/R = 2$

$$\alpha_0 + \gamma = 180^\circ,$$

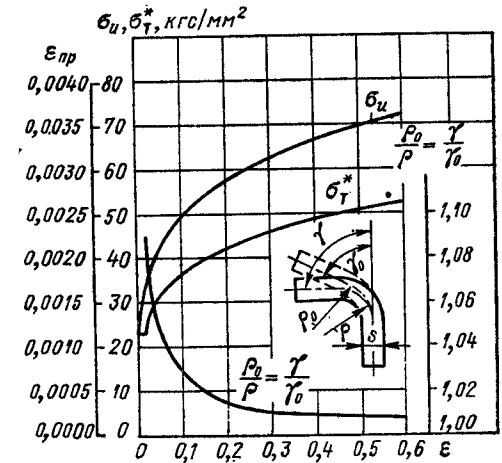


Рис. 63. Диаграмма для определения угла пружинения в зависимости от относительной деформации изгиба

т. е. происходит полное выпрямление изогнутой заготовки. Следовательно, отношение $R_0/R = 2$ является предельным, выше которого угол изгиба не происходит.

Здесь E — модуль упругости (для стали $E = 2,1 \cdot 10^4$ кгс/мм²); $\gamma = \alpha_0 - \alpha$ — угол пружинения, град (α_0 — требуемый угол детали, после пружинения; α — угол штампа); R_0 — требуемый радиус закругления (после пружинения); R — радиус закругления пуансона (штампа).

На рис. 64 приведена диаграмма, построенная по формулам А. Д. Комарова, для определения угла пружинения γ по заданному отношению r_0/S для разных металлов и сплавов при гибке под углом 90° .

На рис. 65 приведена диаграмма того же автора для определения отношений $r_0/r = \alpha/\alpha_0$ при весьма больших радиусах изгиба.

Часто встречающимся случаем гибки является штамповка — гибка резиной или полиуретаном прямолинейных и криволинейных бортов деталей. Для изготовления их на требуемый угол необходимо формблочки подпнуть на угол пружинения.

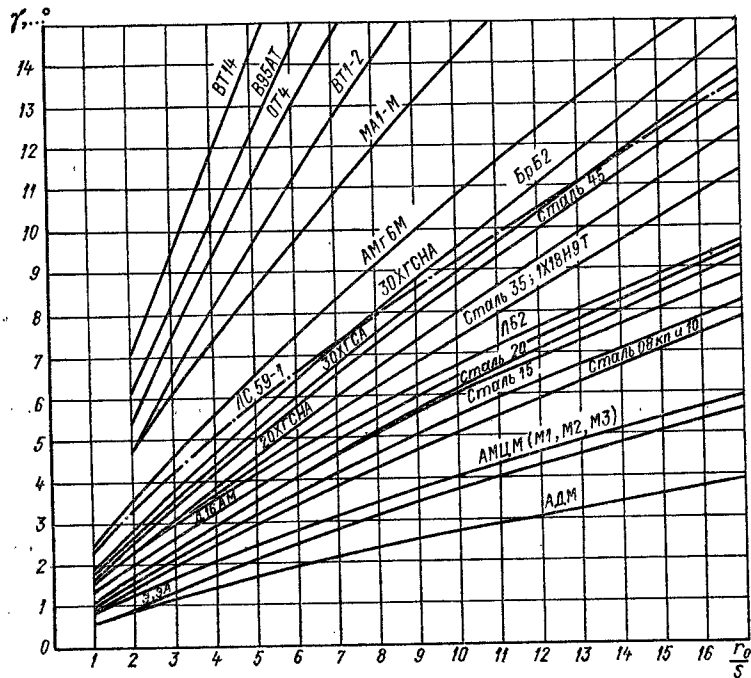


Рис. 64. Диаграмма для определения угла пружинения для различных металлов и сплавов при гибке на 90°

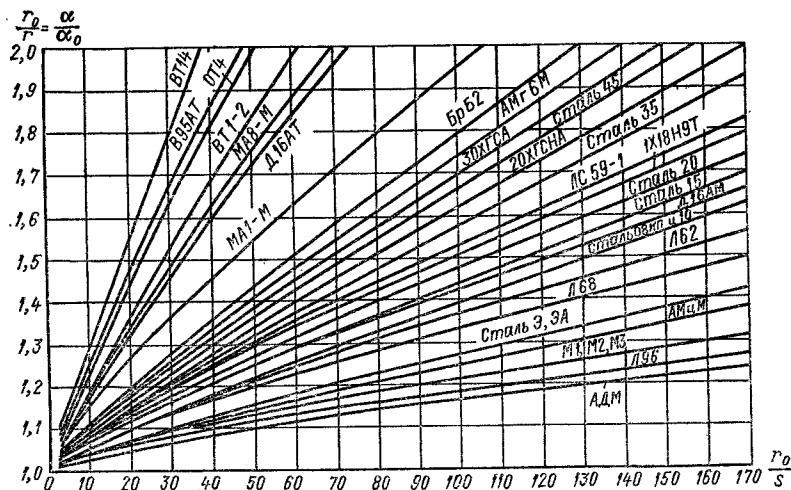


Рис. 65. Диаграмма для определения радиуса закругления после гибки при весьма больших радиусах изгиба

Для компенсации угла пружинения при одноугловой гибке следует уменьшить угол пуансона на угол пружинения, а при двухугловой гибке сделать либо поднутрение на пуансоне, равное углу пружинения (рис. 66, а), либо небольшой ра-

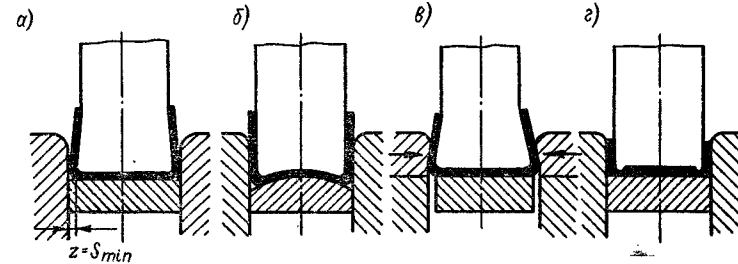


Рис. 66. Способы компенсации угла пружинения

диусный выгиб средней полки (рис. 66, б—г). При одноугловой гибке с прижимом поднутрение делается на матрице, а зазор берется равным наименьшей толщине материала.

15. ИЗГИБ С РАСТЯЖЕНИЕМ

Во многих отраслях промышленности применяются полосовые или профилированные детали (рис. 67), изогнутые под весьма большим радиусом (малой кривизны). Обычной гибкой такие детали получить нельзя, так как при изгибе с большим радиусом деформации поперечного сечения будут целиком или в значительной мере упругими, вследствие чего заготовка будет распружиниваться и выпрямляться.

Для изготовления деталей малой кривизны применяется изгиб с растяжением. При этом растягивающая сила создает деформации удлинения, по величине превышающие другие, благодаря чему изгиб происходит в области пластических (остаточных) деформаций, а деталь сохраняет свою форму. Деформации удлинения, вызванные растяжением заготовки, накладываются на равноименные деформации, получающиеся при изгибе, и дают измененную схему распределения деформаций по сечению.

На рис. 68 приведены следующие схемы распределения деформаций по высоте сечения при изгибе с растяжением: схема деформаций удлинения ϵ_p при растяжении, равномерно распределенных по сечению (рис. 68, а); схема распределения деформаций удлинения (+) и укорочения (-) от изгиба радиусом R (рис. 68, б); общая схема распределения деформаций в момент действия приложенных нагрузок (рис. 68, в), полученная наложением схем рис. 68, а и б; схема, показывающая уменьшение деформаций в результате снятия упругих деформаций после прекращения нагрузки (рис. 68, г); окончательная схема распределения остаточных деформаций удлинения по всему сечению (рис. 68, д).

Как видно из рис. 68, д, нейтрального слоя в сечении заготовки нет, так как все сечение получило удлинение. Нейтральный слой стал фиктивным и переместился наружу на расстояние x от внутренней поверхности изогнутого сечения.

Из рассмотрения схем распределения деформаций при изгибе с растяжением можно сделать следующие выводы.

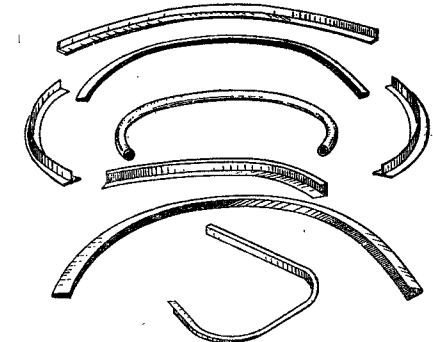


Рис. 67. Примеры контурной гибки профилей

Для того чтобы при малой кривизне изгиба (большом R) обеспечить пластическую деформацию по всему сечению, необходимо при растяжении получить удлинение

$$\epsilon_p \geq \epsilon_T + 0,5 S/\rho,$$

где $\epsilon_T = 0,002$ — величина деформации, соответствующая пределу текучести.

Допуская некоторую приближенность, можно принять

$$\epsilon_p \geq 2,5\epsilon_T \geq 0,005.$$

Следовательно, при изгибе с растяжением для получения остаточных деформаций по всему сечению достаточно растянуть заготовку на 0,5% ее длины. Однако в этом случае пружинение будет достигать большого значения, так как упругая деформация по сравнению с остаточной довольно велика. Поэтому при изгибе профилированного материала обычно допускают значительно большее удлинение (2—5%),

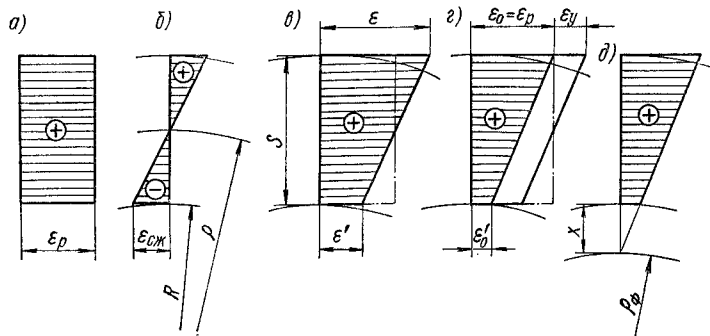


Рис. 68. Схемы распределения деформаций и смещение нейтрального слоя при изгибе с растяжением (ρ_ϕ — радиус фиктивного нейтрального слоя)

что соответствует большей степени пластической деформации, увеличивая степень наклепа и уменьшая упругое пружинение. Это, однако, приводит к значительному искажению профиля и требует принятия предупредительных мер.

При изгибе с растяжением на профилегибочных растяжных станках заготовка предварительно растягивается до получения удлинения $\sim 1\%$, в растянутом состоянии изгибается по пуансону, а затем калибруется дополнительным растяжением.

После изгиба с растяжением пружинение значительно уменьшено, но не исключено полностью. Величина пружинения после изгиба с растяжением зависит от относительного радиуса изгиба, характера профиля и формы детали. Так, отклонение концевых участков дуралюминовых профилей от контура пуансона составляет при криволинейных концевых участках 2—5 мм, при прямолинейных концевых участках — до 10 мм.

16. ИЗГИБАЮЩИЕ МОМЕНТЫ И УСИЛИЯ ГИБКИ

Величина внешнего изгибающего момента при гибке определяется из условия равновесия его с моментом внутренних сил, а последний складывается из моментов нормальных напряжений в растягиваемой и сжимаемой зонах.

Для определения моментов внутренних сил необходимо знать распределение напряжений по поперечному сечению и величину наибольшего напряжения для данной степени деформации.

Усилие гибки определяется из равенства внешнего изгибающего момента моменту внутренних сил. Изгибающие моменты для различных схем гибки следующие:

для одноугловой

$$M = Pl/4; \quad l = 2(r + S);$$

для полукруглой

$$M = Pl/4; \quad l = 2(r + 1,2S);$$

для двухугловой

$$2M = Pl; \quad l = r + 1,2S.$$

В табл. 23 приведены формулы усилия гибки для свободного изгиба, для гибки с прижимом и приближенные формулы для гибки с калибровкой материала. В последнем случае усилие гибки определяется не столько процессом изгиба, сколько процессом калибровки, требующим значительного давления и практически зависящим от регулировки хода пресса и от отклонений материала по толщине.

Оптимальным плечом для свободного изгиба следует считать

$$l = (15 \div 20) S,$$

где l — расстояние между опорами, мм.

Усилие, необходимое для двухугловой гибки, больше усилия одноугловой гибки заготовки тех же размеров. В данном случае изгиб осуществляется действием двух изгибающих моментов, что при прочих равных условиях требует удвоенного усилия.

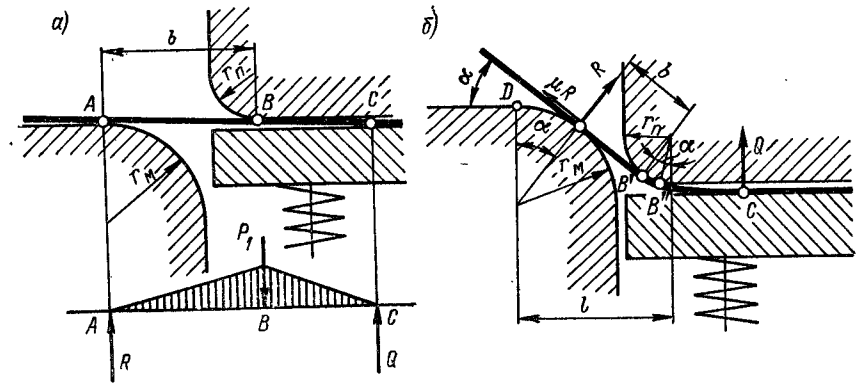


Рис. 69. Схема двухугловой гибки

Но и одностороннее усилие при двухугловой гибке больше усилия одноугловой (V -образной) гибки потому, что при одном и том же изгибающем моменте, плечо двухугловой гибки меньше. Кроме того к усилию двухугловой гибки необходимо прибавить усилие прижима, составляющее 0,25—0,3 усилия изгиба. В некоторых случаях целесообразно применять усилие прижима большей величины ($0,5 \div 0,6$) $P_{из}$.

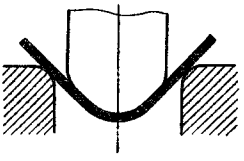
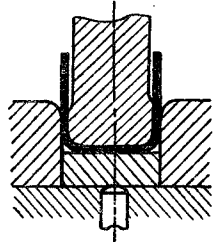
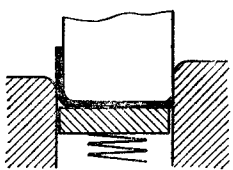
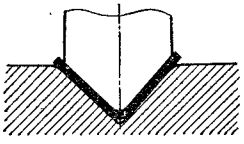
На рис. 69 приведены схемы двухугловой гибки (левой полки). На рис. 69, а показано начальное положение и эпюра одностороннего изгибающего момента (для точек A, B, C), а на рис. 69, б — дальнейшая стадия изгиба со схемой сил, действующих на заготовку.

Установлено, что в зависимости от геометрических соотношений максимальное усилие двухуглового изгиба возникает при величине угла α от 45 до 80°, когда плечо изгиба l имеет наименьшую величину.

В результате исследования [42] установлена более точная величина усилия двухугловой гибки (без усилия прижима)

$$P = 0,5BS^2\sigma_B \frac{\cos \alpha (\cos \alpha + \mu \sin \alpha)}{(r_m + r_n + S)(1 - \sin \alpha) + nS} = 2BS\sigma_B k_2,$$

23. Формулы для определения усилий гибки

Способ гибки	Схема гибки	Усилие гибки, кгс
Одноугловая и полукруглая свободная гибка (без калибровки)		$P = \frac{BS^2}{l} \sigma_B n = BS \sigma_B k_1$
Двухугловая гибка с прижимом: без калибровки с калибровкой		$P = 2BS \sigma_B k_2 + P_{пр} \approx \approx 2,5BS \sigma_B k_2$ $P_K = (2 \div 4) BS \sigma_B k_2$
Одноугловая односторонняя гибка с прижимом (без калибровки)		$P = BS \sigma_B k_2 + P_{пр} \approx \approx 1,25BS \sigma_B k_2$
Одно- и двухугловая гибка: без калибровки с калибровкой		$P = \frac{BS^2}{r+S} \sigma_B$ $P = pF$

Обозначения: P_K — усилие калибровки, кгс; $P_{пр}$ — усилие прижима, кгс, составляющее $(0,25 \div 0,3) P_{из}$; B — ширина полосы (длина линии изгиба), мм; l — расстояние между опорами при угловой гибке, мм; $n = 1,8$ — коэффициент, характеризующий влияние упрочнения; p — давление калибровки (правки), кгс/мм² (по табл. 24); F — площадь калибруемой заготовки (под пуансоном), мм²; k_1 — коэффициент для свободной гибки, находимый по табл. 24; k_2 — коэффициент для двухугловой гибки, приведенный в табл. 25.

где n — коэффициент увеличения номинального зазора (см. табл. 27); k_2 — коэффициент, наибольшее значение которого приведено в табл. 25.

В табл. 23 приведена формула для определения усилия при двухугловой гибке с прижимом. Экспериментальное значение коэффициентов k_2 для сталей 08, 10, 20кп, Ст3, 1Х18Н9Т толщиной 4; 6 и 8 мм в зависимости от r_m/S и r_n/S приведено в табл. 25.

При несимметричной и криволинейной форме изгиба применяют одноугловую (одностороннюю) гибку с прижимом, так как простая угловая гибка не обеспечивает точности из-за смещения заготовки. Этот случай приближенно можно рассматривать как половину двухугловой гибки с прижимом. Соответствующее усилие гибки приведено в табл. 23. Значения коэффициентов k_2 при прямолинейном изгибе те же.

Односторонняя гибка с прижимом применяется также в комбинированных процессах штамповки.

В табл. 24 приведены значения коэффициента k_1 для свободного изгиба, а в табл. 25 — значения k_2 для двухуглового изгиба. В табл. 26 даны приближенные значения давления правки (калибровки).

24. Значение коэффициента K_1 для свободного изгиба

Материал	Коэффициент K_1 в зависимости от отношения l/S					
	8	10	15	20	25	30
Стали 10—15, латунь, алюминий (мягкий)	0,23	0,18	0,12	0,09	0,073	0,06
Стали 20—25, алюминий наклепанный	0,21	0,17	0,11	0,086	0,070	0,057
Стали 30—40, дуралюмин	0,20	0,16	0,10	0,08	0,065	0,053

25. Экспериментальные значения коэффициента k_2 для двухугловой гибки

r_m/S	Значения коэффициента k_2 при r_n/S				
	0,5	1	2	3	5
1	0,27	0,21	0,16	0,13	—
2	0,22	0,18	0,14	0,115	0,10
3	0,18	0,15	0,125	0,10	0,08
5	0,14	0,12	0,10	0,09	0,07

26. Приближенные значения давления (кгс/мм²) правки (калибровки) для деталей небольшого размера

Материал	Давление правки при толщине материала, мм			
	До 1	1—2	2—5	5—10
Алюминий	1—1,5	1,5—2,0	2—3	3—4
Латунь	1,5—2,0	2,0—3,0	3—4	4—6
Стали 10—20	2,0—3,0	3,0—4,0	4—6	6—8
Стали 25—35	3,0—4,0	4,0—5,0	5—7	7—10

17. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПРИ ГИБКЕ

К конструктивно-технологическим элементам относятся: зазоры, радиусы закруглений матриц, глубина рабочей полости и другие элементы рабочих частей штампа, от правильного выполнения которых зависят нормальный ход процесса гибки и качество деталей (рис. 70).

В случае гибки небольших деталей радиус закругления матрицы обычно принимают равным $r_m = (2 \div 3) S$. Радиус закругления в углублении матрицы берется равным $R = (0,6 \div 0,8) (r + S)$.

В табл. 27 приведены радиусы закруглений гибочных матриц, глубина рабочей полости матриц и коэффициенты для определения зазора.

27. Конструктивные размеры гибочных штампов

Тип штампа (рис. 70)	Размеры	Толщина материала, мм								
		До 1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-10
I, II, III	r_m	3	5	7	9	10	11	12	13	15
	h	4	7	11	15	18	22	25	28	32-36
I	H	20	30	40	45	55	65	70	80	90
II	t	3	4	5	6	8	10	15	20	25
Длина отгибаемой полки, мм		Глубина матрицы h (тип III, рис. 70)								
25-50		15	20	25	25	—	—	—	—	—
50-75		20	25	30	30	35	35	—	—	—
75-100		25	30	35	35	40	40	40	40	—
100-150		30	35	40	40	50	50	50	50	60
150-200		40	45	55	55	60	65	65	65	80
Длина отгибаемой полки, мм		Коэффициент n (типы II и III, рис. 70)								
До 25		0,10	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05
25-50		0,15	0,10	0,10	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06
50-100		0,18	0,15	0,15	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08
100-200		0,20	0,18	0,18	0,12	0,12	0,11	0,11	0,10	0,10

Зазор между матрицей и пуансоном при двухугловой гибке составляет:

наименьший $z_{\min} = S_{\max}$;

наибольший $z_{\max} = S_{\max} + Sn$,

где z — односторонний зазор между матрицей и пуансоном, мм; S_{\max} — наибольшая толщина материала (с учетом допуска), мм; n — коэффициент, находимый по табл. 27.

Радиусы закруглений гибочной матрицы должны быть одинаковыми с обеих сторон, в противном случае скольжение заготовки будет различным и деталь получится несимметричной.

Для гибки П-образных деталей с длинными полками (III, рис. 70) применяют неглубокие матрицы ввиду небольшой величины рабочего хода большинства кривошипных прессов. Это возможно только в том случае, когда к прямолинейности полок не предъявляется высоких требований, иначе глубина матрицы должна быть больше высоты изгибаемой детали L . При этом требуется большая величина рабочего хода пресса.

При изготовлении штампов для гибки скоб исполнительные размеры матрицы и пуансона определяют следующим образом. Если задан наружный размер скобы L_n с допуском ($\pm \Delta$), матрица делается размером $L_m = L_n + \delta_m$, а пуансон пригоняется

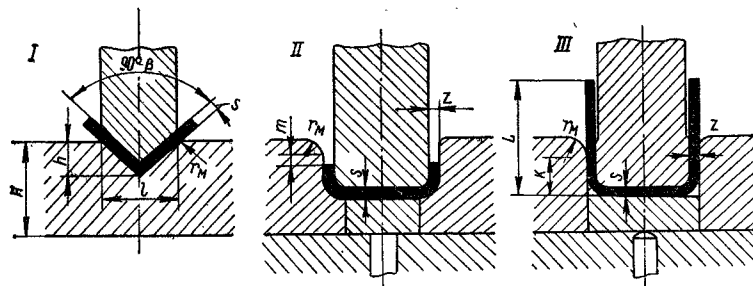


Рис. 70. Конструктивные размеры гибочных штампов: I — для угловой гибки; II — для гибки скобы с короткими полками; III — для гибки скоб с длинными полками

к матрице с соответствующим зазором; если задан внутренний размер скобы L_b с допуском ($\pm \Delta$), пуансон делается размером $L_p = L_b - \delta_p$, а матрица пригоняется к пуансону с требуемым зазором. Здесь δ_m и δ_p — допуски на изготовление матрицы и пуансона,

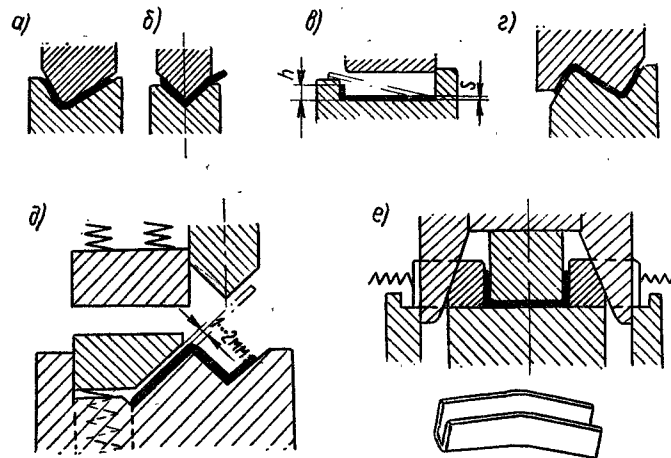


Рис. 71. Способы гибки некоторых типовых деталей

В ряде случаев для уменьшения пружинения гибку производят с небольшим утонением полок, применяя зазор, равный наименьшей толщине материала. Малые радиусы закругленной матрицы (меньше табличных) приводят к большому утонению материала и образованию вмятин и отпечатков.

При гибке с прижимом рекомендуется применять матрицу со скосом и закруглением углов.

На рис. 71 приведены способы гибки некоторых типовых деталей. Гибку уголков с разной длиной полос следует производить, как указано на рис. 71, а (на рис. 71, б показан не рекомендуемый способ гибки). Детали с очень короткой полкой

$[(h = (2 \div 3) S)]$ необходимо гнуть в матрице с упором (рис. 71, в) или по способу завивки края давлением на торец.

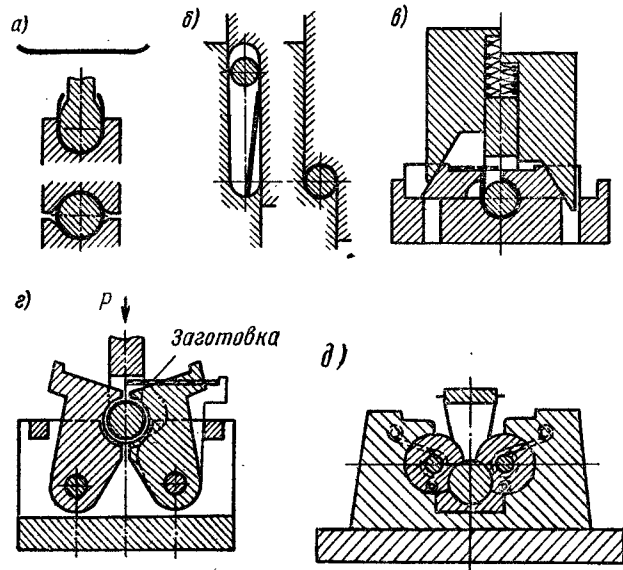


Рис. 72. Основные способы гибки разрезных втулок

Детали Z-образного профиля следует гнуть в одну операцию (рис. 71, г и д).

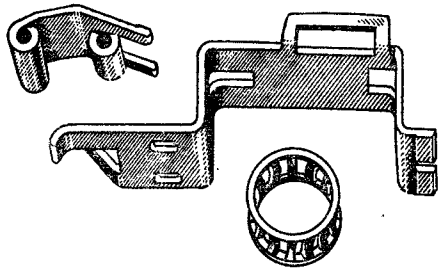


Рис. 73. Примеры деталей, изготавливаемых на универсально-гибочном автомате

Для гибки деталей швеллерного профиля, особенно с криволинейной осью или разной ширины, рекомендуется применять штампы клиновидного типа (рис. 71, е) с ходом ползушек, равным $(2 \div 3) S$.

На рис. 72, а—д изображены основные способы гибки разрезных втулок и трубчатых деталей.

В массовом производстве небольших деталей сложной формы (рис. 73) их изготовление производится на универсально-гибочных автоматах. Эти автоматы выполняют последовательно операции вырезки, гибки, нарезки резьбы, сварки, клепки, зенкования, чеканки и сборки. Заготовкой служит лента или проволока. Гибка производится гибочными инструментами простой формы, установленными в специальных ползунах, размещенных по окружности вокруг гибочной оправки. Производительность автоматов достигает 500—1000 шт/мин.

18. ИЗГИБ ТРУБ И ТОНКОСТЕННЫХ ПРОФИЛЕЙ

Гибка труб производится на гибочных приспособлениях между двумя роликами (рис. 74, а) или на специальных трубогибочных машинах с неподвижной оправкой ложкообразной формы (рис. 74, б), или в штампах (рис. 74, в и г). В последнем ти-

пе гибка трубки в кольцо производится за три приема. Вначале подгибается по радиусу один конец, потом второй, а затем производится полный загиб кольца.

В процессе гибки поперечное сечение трубки сильно деформируется. Толщина стенки с наружной стороны уменьшается, а с внутренней — увеличивается. При

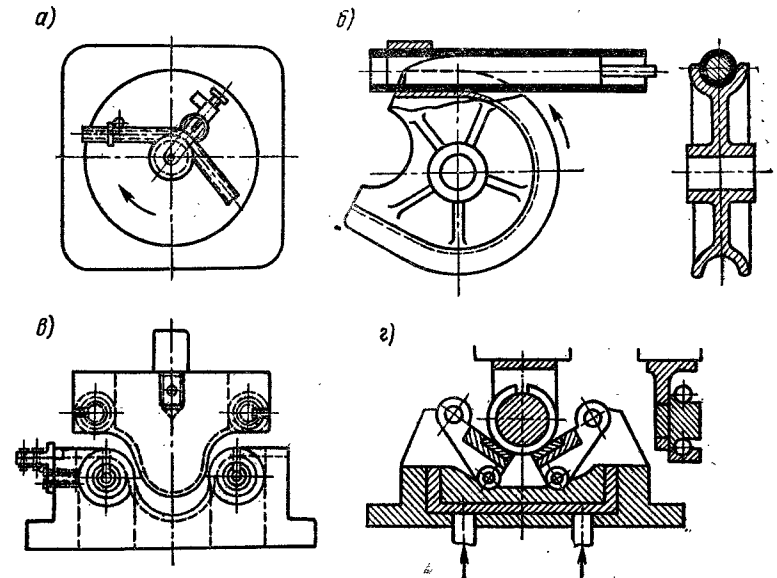


Рис. 74. Способы гибки труб

гибке с наполнителем или оправкой сечение трубы остается круглым, но разнотенным. При гибке без наполнителя сечение трубы сплющивается и приобретает овальную форму. При гибке тонкостенных труб происходит образование складок с внутренней стороны колена в результате потери устойчивости.

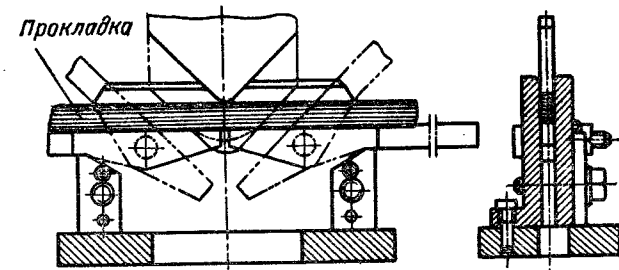


Рис. 75. Гибка труб прямоугольного сечения в штампе с шарнирной матрицей

Иногда встречаются случаи гибки труб прямоугольного сечения при малом радиусе закругления (рис. 75). Такой изгиб осуществляется при помощи наполнителя в виде пачки тонких стальных полированных пластин толщиной от 0,2 до 1 мм. Пакет пластин шлифуют по внутреннему размеру трубы, вводят в трубу при помощи двух затяжных лент и расклинивают клиньями толщиной от 0,5 до 3 мм. Гибку производят на гидравлических или специальных прессах в матрице с боковыми

щекими — ограничителями. После гибки вначале вытаскивают клинья, а затем пластинки.

В радиотехнической промышленности применяется оригинальный метод гибки прямоугольных труб с наименьшим радиусом изгиба 100—125 мм. Для этой цели применяют как штампы, так и специальные гибочные станки. Процесс гибки происходит вследствие одновременной насечки трех стенок трубы при неравномерном их утонении (рис. 76, а, б). Глубина насечки $a = 0,2 \div 0,3$ мм.

Автоматическое перемещение трубы после каждого обжатия — на 0,2—1,0 мм. Верхняя стенка деформируется наиболее глубоко и удлиняется. Боковые стенки деформируются неодинаково по высоте, сверху, как и верхняя стенка, а внизу не деформируются, так же как и нижняя стенка трубы. В результате боковые стенки удлиняются неравномерно и создают изгиб трубы по требуемому радиусу, так как глубина насечек регулируется.

В холодной штамповке часто приходится встречаться с изготовлением деталей из проволоки. Эти детали изготавливают или обычной гибкой, или завивкой.

На рис. 77, а изображен геликоидальный штамп для изготовления проволочных деталей завивкой вокруг пуансона. Заготовка, установленная до упора 1, захватывается кольцевым уступом пуансона 3 и вдавливается в отверстие приемника (матрицы) 2. Края заготовки скользят по геликоидальному скосу приемника и постепенно огибают пуансон.

Угол подъема рабочего ребра штампа обычно берут равным 45° . Для деталей с малым отношением радиуса изгиба к диаметру проволоки ($r \leq 2d$) угол подъема увеличивают до 60° .

На рис. 77, б изображены проволочные детали, изготавливаемые на штампе указанного типа.

При гибке профилей, труб, а также полос на ребро наименьший радиус изгиба лимитируется не прочностью металла (так как при больших радиусах изгиба

28. Наименьшие радиусы при гибке профилей и труб

Тип профиля	Наименьший радиус изгиба	Примечание
Прокатные профили: мелкие средние крупные	4—5 h 6—8 h 8—10 h	Гибка на трехроликовых машинах. При гибке в свободном состоянии предельный радиус изгиба значительно больше (25—50 h)
Тонкостенные профили: симметричные несимметричные	8—10 h 20—25 h	Гибка на специальных профилегибочных станках
Стальные полосы (кольцевая гибка на ребро)	3—4 h	Верхнее значение для гибки на роликовых машинах
Стальные трубы: при $S = 0,02 D$ » $S = 0,05 D$ » $S = 0,1 D$ » $S = 0,15 D$	4 D 3,6 D 3 D 2 D	Радиус изгиба по оси трубы. Гибка без наполнения или оправки. При меньших радиусах изгиба гибку производить с оправкой или наполнением.

Обозначения: h — высота профиля; D — диаметр трубы; S — толщина стенки трубы.

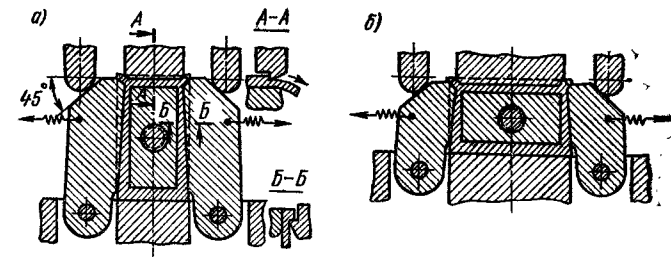


Рис. 76. Схема действия штампа для гибки прямоугольных труб

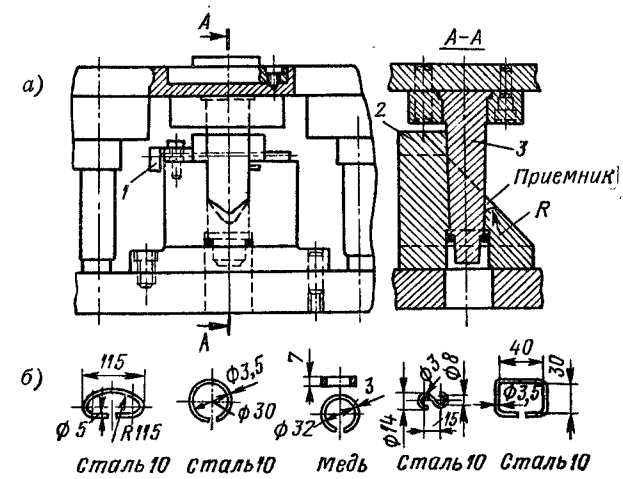


Рис. 77. Изготовление проволочных деталей завивкой

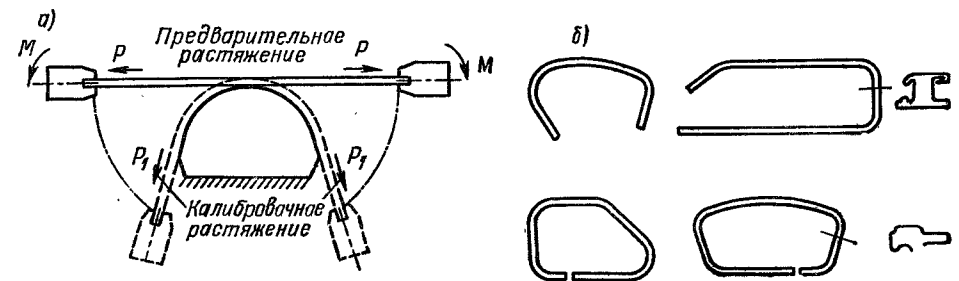


Рис. 78. Изгиб тонкостенных профилей

деформации крайних волокон невелики), а потерей устойчивости и деформацией (искажением) поперечного сечения профиля.

Наименьший радиус при гибке труб зависит от рода материала, относительной толщины стенки и способа гибки.

В табл. 28 приведены наименьшие радиусы гибки профилей и труб.

Гибка тонкостенных профилей осуществляется на специальных профилегибочных растяжных станках. Существует два типа профилегибочных растяжных станков: с поворотным столом и с неподвижным столом и подвижными зажимами.

Применение изгиба с одновременным растяжением необходимо при гибке под большими радиусами закруглений, так как в этом случае относительная деформация крайних волокон невелика и может находиться даже в пределах упругих деформаций, вследствие чего неизбежно упругое пружинение большой величины. При изгибе же с одновременным растяжением деформации увеличиваются (при том же радиусе изгиба) и из упругой области переходят в пластическую. В связи с этим упругое пружинение имеет минимальную величину.

В некоторых отраслях промышленности применяют профилегибочные растяжные станки, создающие предварительное растяжение во время гибки и калибровочное растяжение в конце гибки (рис. 78, а).

На рис. 78, б приведены примеры тонкостенных профильных деталей, получаемых на указанных профилегибочных станках.

Определение технологических параметров процесса гибки с растяжением профилированных заготовок приведено в работе [95]. При изгибе тонкостенных профилированных заготовок полузамкнутого и замкнутого контуров с большой кривизной изгиба, последний производится на специальных профилегибочных станках.

ГЛАВА III

ВЫТЯЖКА

19. ПРОЦЕСС ВЫТЯЖКИ ЛИСТОВЫХ МЕТАЛЛОВ

Вытяжка представляет собой процесс превращения плоской заготовки в полую деталь любой формы (или дальнейшее изменение ее размеров) и производится на вытяжных штампах.

На рис. 79 приведена схема вытяжки цилиндрической детали из плоской заготовки и последовательность перемещения металла в процессе вытяжки. Последнее характеризуется уменьшением наружного диаметра фланца и перемещением элементов заготовки (1—5) по мере увеличения глубины вытяжки.

При вытяжке кольцевая часть заготовки ($D - d$) превращается в цилиндр диаметром d и высотой h . Так как объем металла при вытяжке не изменяется, то при полной вытяжке цилиндра высота детали h больше ширины кольцевой части b и составляет

$$h = b \frac{D+d}{2d} = b \frac{K+1}{2},$$

где $K = D/d$ — степень вытяжки. При $K = 2$, $h = 1,5b$.

Следовательно, вытяжка происходит за счет пластической деформации, сопровождаемой смещением значительного объема металла в высоту. При большой степени деформации, что соответствует глубокой вытяжке, и при небольшой толщине материала смещенный объем является причиной образования гофров (волн) на деформируемой заготовке. При малой степени деформации и при относительно большой толщине материала гофробразование не происходит, так как в этом случае смещенный объем металла невелик, а заготовка устойчива.

Для предотвращения образования гофров и складок при вытяжке применяется прижим заготовки складкодержателем.

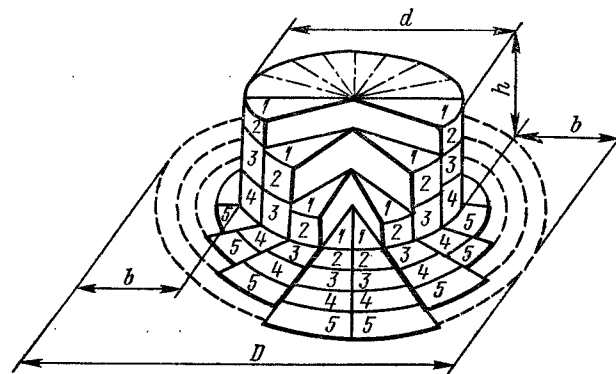


Рис. 79. Последовательность перемещения металла в процессе вытяжки.

Вытяжкой изготавливается большое количество полых деталей самой разнообразной формы, отличающихся друг от друга как очертанием в плане, так и формой боковых стенок.

По геометрической форме все полые детали могут быть разделены на три группы:

- 1) осесимметричной формы (тела вращения);
- 2) коробчатой формы;
- 3) сложной несимметричной формы.

Каждая из групп подразделяется на несколько разновидностей. Например, тела вращения по форме образующей могут быть цилиндрическими, коническими, криволинейными, ступенчатыми, выпукло-вогнутыми. Построение технологического процесса и технологические расчеты для них различны.

Установлено, что процесс глубокой вытяжки с прижимом начинается не с пластической деформации фланца заготовки, а с предшествующей ей начальной стадии процесса, заключающейся в местной пластической деформации кольцевой незажатой части заготовки [117].

На рис. 80 приведена последовательность процесса глубокой вытяжки с прижимом заготовки: на верхних схемах I показана начальная стадия процесса вытяжки, состоящая из локальной пластической деформации свободного кольцевого участка a при зажатом фланце, сохраняющем свои начальные размеры $D_0 = D_0$. Эта стадия вытяжки осуществляется за счет растяжения и утонения кольцевого участка, причем наибольшее утонение возникает на границе этого участка с плоским дном.

По мере погружения пуансона тянущее усилие возрастает, а растяжение и утонение свободного участка заготовки увеличиваются. К концу этой стадии происходит пластическая деформация донной части заготовки. После достижения равновесия между тянущими усилием и сопротивлением фланца деформированию начинается

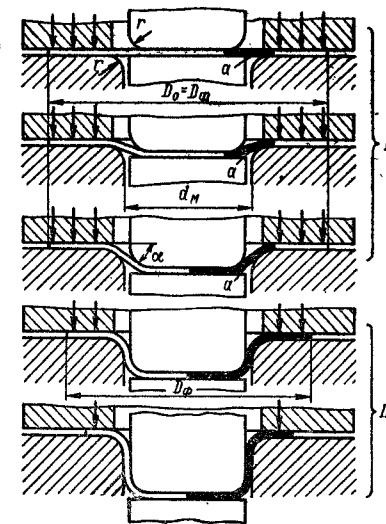


Рис. 80. Последовательность процесса глубокой вытяжки с прижимом заготовки

вторая стадия процесса вытяжки, заключающаяся в пластической деформации фланца и втягивании его в матрицу (см. схемы *II* на рис. 80). Таким образом, процесс глубокой вытяжки с прижимом состоит из двух технологических различных стадий: начальной и завершающей. При вытяжке без прижима с малой степенью деформации начальная стадия практически отсутствует.

В начальной стадии процесса глубокой вытяжки возникает значительное утонение свободного участка, которое в процессе дальнейшей деформации превращается в опасное сечение.

Во второй стадии вытяжки имеет место сложная пластическая деформация, в процессе которой элемент плоской заготовки *I* (рис. 81, *a*) изменяет свои размеры

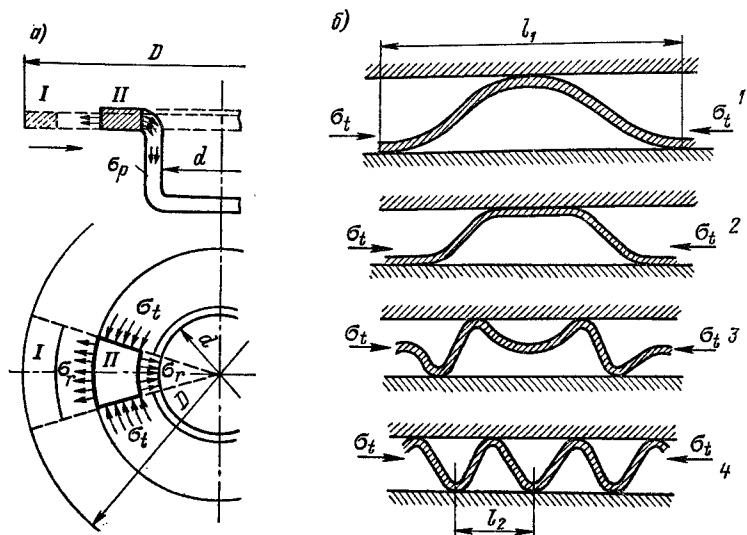


Рис. 81. Деформация элемента фланца (*a*) и схема образования гофров (*b*) при вытяжке

(удлиняется в радиальном и укорачивается в тангенциальном направлении) и занимает положение *II*, а затем подвергается изгибу и превращается в элемент боковой поверхности полого изделия.

Условие пластичности деформируемого фланца, определяющее момент перехода его в пластичное состояние, выражается уравнением (с учетом знаков напряжений) $\sigma_r + \sigma_t = 1,15\sigma_T$.

Вначале для элемента заготовки *I*, находящегося вблизи наружного края фланца (рис. 81, *a*), наибольшей является деформация тангенциального сжатия, средней — деформация удлинения в радиальном направлении, а наименьшей — утолщение металла.

В результате деформации тангенциального сжатия при вытяжке тонкого материала легко возникает потеря устойчивости фланца, благодаря чему на нем образуются гофры. В толстом материале, при тех же размерах заготовки и изделия, возникновение гофров затруднено благодаря большей устойчивости фланца заготовки.

При перемещении элемента к вытяжному ребру матрицы наибольшей становится деформация радиального удлинения, так как тангенциальное сжатие постепенно уменьшается. При переходе элемента через вытяжное ребро матрицы эта деформация элемента усложняется появлением дополнительной деформации пространственного изгиба. После этого элемент заготовки переходит в криволинейно-вертикальную стенку и претерпевает небольшое осевое удлинение вдоль образующей, при утонении материала.

Дно изделия подвергается небольшому плоскому удлинению (1—3%) и утонению (2—5%), которыми в большинстве случаев практически можно пренебречь.

Произведенные опыты показывают, что деформация цилиндрических стенок в зазоре и у донного закругления продолжается на протяжении всего рабочего хода и сопровождается непрерывным уменьшением толщины материала.

На рис. 81, *b* приведена схема образования гофров (волн) по краю вытягиваемого фланца.

Под действием напряжений тангенциального сжатия происходит потеря устойчивости фланца заготовки и образование волнообразного гофра (l_1 , этап 1). В результате ударного приложения нагрузки к заготовке возникший гофр упруго деформирует складкодержатель и его крепление и увеличивает зазор между ним и матрицей. Дальнейшее действие тангенциального сжатия усиливается вследствие непрерывного уменьшения наружного диаметра заготовки при вытяжке. Это приводит к сплющиванию гофрированной волны (этап 2), а затем к потере устойчивости плоской части гофра, которая прогибается в обратную сторону (этап 3). В результате образуется более мелкий гофр, в котором вместо одной возникли три волны длиной l_2 (этап 4).

Процесс гофрообразования продолжается скачкообразно и дальше до тех пор, пока не образуется вполне устойчивый мелкий гофр. В зависимости от различной степени устойчивости фланца заготовки, характеризуемой отношением S/d , а также от различной степени деформации $K = D/d$ первоначально возникает различное количество волн по окружности.

При достаточно большой относительной толщине заготовки гофрирования не происходит, так как фланец не теряет устойчивости в процессе вытяжки.

Наиболее опасным местом детали является зона перехода от дна к стенкам вследствие возникшего здесь в начальной стадии вытяжки значительного утонения материала и больших растягивающих напряжений.

При большой степени деформации или в случае образования складок на заготовке растягивающие напряжения в опасном сечении превышают его прочность и приводят к отрыву дна. Условие прочности опасного сечения определяет возможную степень деформации при вытяжке и выражается зависимостью

$$\sigma_{\max} < \sigma_p; \sigma_p = \sigma_B (1 + \delta_B);$$

для сталей 08—10 $\sigma_{\max} \leq 1,2\sigma_B$; для стали 12Х18Н9 $\sigma_{\max} \leq 1,4\sigma_B$.

Здесь σ_{\max} — максимальное напряжение в опасном сечении; σ_p — истинное сопротивление разрыву.

Основное направление рационального построения или улучшения процесса вытяжки заключается в создании наиболее благоприятных условий деформирования металла с целью снижения растягивающих напряжений в опасном сечении:

- 1) уменьшения напряжений в начальной стадии вытяжки;
- 2) уменьшения сопротивления плоского фланца деформированию;
- 3) повышении прочности металла в опасном сечении;
- 4) снижении тангенциальных напряжений сжатия в деформируемом фланце или повышении его устойчивости с целью предотвращения образования складок.

В результате выполнения указанных условий достигают увеличения глубины вытяжки за одну операцию, уменьшения количества операций, улучшения процесса вытяжки деталей сложной формы. Необходимо указать, что при разных способах вытяжки не все из указанных выше условий будут одинаково благоприятны.

В технологическом отношении способы вытяжки необходимо различать главным образом по виду напряженного состояния деформируемой части заготовки. Геометрическая форма детали является в этом отношении вторичным признаком.

Следует различать три основных способа вытяжки.

1. Вытяжка полых деталей путем превращения плоского фланца в цилиндрическую или коробчатую форму, при создании во фланце плоского напряженного состояния по схеме сжатие—растяжение (рис. 81). Сюда относится вытяжка цилиндрических, овальных, коробчатых и других деталей с вертикальными или слегка наклонными стенками.

2. Вытяжка сферических, криволинейных и сложной формы деталей в штампах с вытяжными (тормозными) ребрами. В этом случае под прижимом преобладают растягивающие напряжения и деформации, а в остальной деформируемой части заготовки возникает напряженное состояние двустороннего растяжения.

3. Вытяжка эластичной матрицей и фрикционная вытяжка, создающие за- талкивание заготовки, в результате чего снижаются растягивающие напряжения в очаге деформации и облегчается процесс вытяжки.

В первом способе вытяжки наиболее благоприятные условия деформирования заключаются в максимально возможном уменьшении сопротивления плоского фланца деформированию. Это достигается путем применения металла пониженной прочности, отжигом заготовки, нагревом фланца, вытяжкой без прижима, эффективной смазкой. В результате снижаются растягивающие напряжения в опасном сечении, улучшается условие прочности этого сечения и становится возможной более глубокая вытяжка.

Во втором способе вытяжки в штампах с вытяжными ребрами значительная часть заготовки вначале находится вне контакта с рабочими частями штампа и легко образует гофры и морщины. Для их предотвращения приходится создавать повышенные радиальные растягивающие напряжения и искусственно увеличивать сопротивление деформируемого металла путем перетягивания его через вытяжные (тормозные) ребра. При этом значительно возрастают растягивающие напряжения в опасном сечении и ухудшается условие его прочности. Для того чтобы в данном случае создать благоприятные условия деформирования и избежать разрыва, надо обеспечить условие прочности опасного сечения. Это возможно лишь при применении металла повышенной прочности и упрочняемости при достаточно высокой пластичности (вязкости).

Автором исследован и предложен способ вытяжки из закаленных и отпущенных тонколистовых заготовок малоуглеродистой стали, давший положительные результаты [109]. Отжиг или нагрев заготовок с целью увеличения пластичности в данном случае недопустим, так как приводит к понижению их прочности и преждевременному разрыву.

Третий способ вытяжки обладает наиболее благоприятными условиями деформирования, потому что в этом случае прочность опасного сечения позволяет получить значительную степень деформации.

Следовательно, для рассмотренных способов вытяжки необходимо выбирать металл с различными механическими свойствами или в различном состоянии: в первом способе вытяжки — повышенной пластичности при пониженной прочности (стали 08—10 в отожженном или нормализованном состоянии с дрессировкой); во втором способе вытяжки — повышенной прочности при достаточно высокой пластичности и вязкости (стали 08—10 после специальной обработки, нержавеющая сталь 12X18H9T); в третьем способе применим металл без повышенных механических свойств.

На рис. 82 приведены схемы напряженно-деформированного состояния в разных участках изделия при обычной вытяжке с прижимом (складкодержателем).

Для наглядного представления о характере деформации и возможности определения ее величины на отдельных участках применяют метод нанесения на заготовку прямоугольной или радиально-кольцевой координатной сетки, а затем изучают ее искажение при вытяжке. Измерения искаженной сетки показывают, что в первой операции вытяжки деформация тангенциального сжатия превосходит деформацию радиального растяжения.

При вытяжке происходит изменение толщины стенок деталей. В случае вытяжки цилиндрических деталей без фланца наибольшее утонение составляет 10—18%, а утолщение у края 20—30% от толщины материала. Толщина материала в месте перехода от дна к стенкам уменьшается с увеличением степени деформации, относительной толщины заготовки S/D , пластичности металла, количества операций вытяжки и с уменьшением радиусов закругления пуансона и матрицы.

Приблизительная толщина края определяется из следующих зависимостей:

$$\text{для деталей без фланца } S' = S \sqrt{D/d};$$

$$\text{для деталей с фланцем } S' = S \sqrt{D/D_{\phi}},$$

где S' , S — толщина края детали и заготовки, мм; D , d — диаметр заготовки и вытяжки, мм; D_{ϕ} — диаметр фланца, мм.

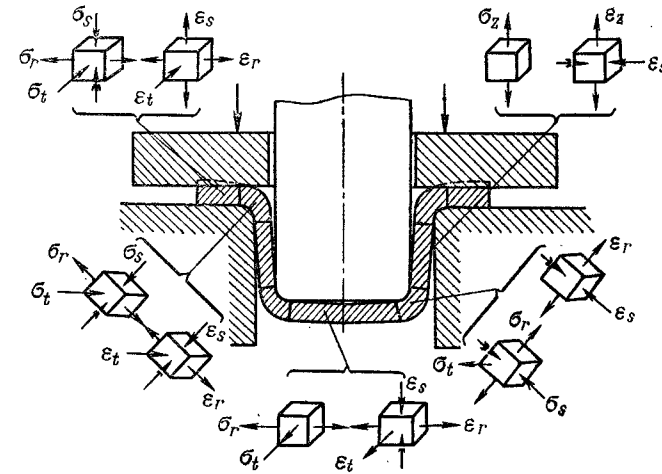


Рис. 82. Схемы напряжений и деформаций при вытяжке (σ — напряжения; ϵ — деформации; индексы у σ и ϵ означают: r — радиальные; t — тангенциальные; s — осевые)

Более показательное исследование изменения координатной сетки в логарифмических деформациях¹.

Удлинение в радиальном направлении

$$\epsilon_r = \ln(r/r_0),$$

где r_0 — начальный радиус сетки на заготовке; r — конечный радиус той же сетки после вытяжки.

Сжатие (укорочение) в тангенциальном направлении

$$\epsilon_t = \ln(d/d_0) = -\ln(d_0/d),$$

где d_0 — начальный, а d — конечный диаметр сетки.

Изменение толщины материала

$$\epsilon_s = \ln(S/S_0).$$

При этом вследствие постоянства объема металла существуют зависимости (с учетом знаков деформаций)

$$\epsilon_r - \epsilon_t \pm \epsilon_s = 0$$

или

$$r/r_0 \cdot d/d_0 \cdot S/S_0 = 1.$$

На рис. 83 приведены кривые изменения логарифмических деформаций (ϵ_r , ϵ_t и ϵ_s) в разных точках вытянутого цилиндрического изделия A, B, C, D. Эти кривые показывают, что на участке донного закругления и несколько выше, где происходит утонение материала,

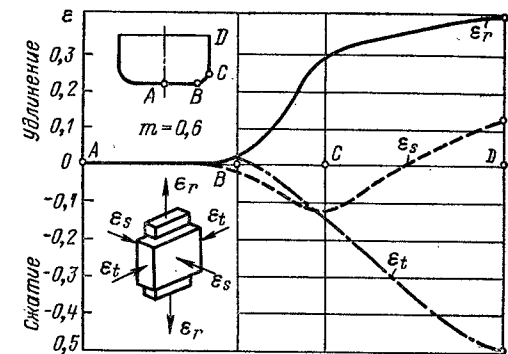

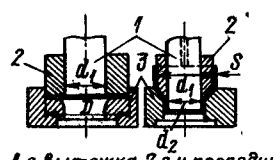
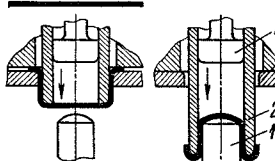


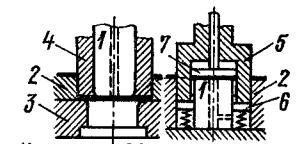
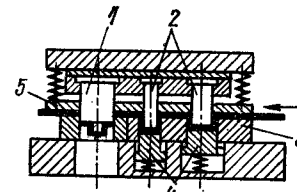
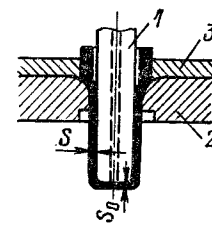
Рис. 83. Деформации при цилиндрической вытяжке

¹ Логарифмическими деформациями принято называть деформации, величина которых выражена в логарифмической форме.

29. Основные способы вытяжки

Способ вытяжки	Схема вытяжки	Обозначение	Область применения
Вытяжка без прижима заготовки		1 — вытяжной пуансон; 2 — вытяжная матрица; 3 — заготовка	Неглубокая вытяжка из тонкого материала и глубокая при сравнительно большей толщине материала. Для первой вытяжки при $S = (0,01 \div 0,03) D$ и $d_1 = (0,60 \div 0,80) D$. Для второй вытяжки при $S = (0,01 \div 0,03) D$ и $d_2 = (0,78 \div 0,90) d_1$. Большшему значению S соответствует меньшее значение
Вытяжка с прижимом заготовки		1 — вытяжной пуансон; 2 — прижим (складкодержатель); 3 — вытяжная матрица	Глубокая вытяжка из сравнительно тонкого материала. Для первой вытяжки при $S = (0,001 \div 0,020) D$ и $d_1 = (0,45 \div 0,6) D$. Для второй вытяжки при $S = (0,001 \div 0,02) D$ и $d_2 = (0,70 \div 0,8) d_1$. Примечание. Для прессов простого действия применяется обратное расположение рабочих частей штампа
Обратная вытяжка (с выворачиванием)		1 — вытяжной пуансон; 2 — пуансон-матрица; 3 — вытяжная матрица; 4 — выталкиватель	Сдвоенная вытяжка, а также вытяжка двустенных полых деталей

Продолжение табл. 29

Способ вытяжки	Схема вытяжки	Обозначение	Область применения
Вырубка и вытяжка комбинационными штампами		1 — вытяжной пуансон; 2 — вырубная матрица; 3 — вытяжная матрица; 4 — вырубной пуансон; 5 — пуансон-матрица; 6 — прижим; 7 — выбрасыватель	Изготовление полых деталей небольших и средних размеров на прессах простого и двойного действия
Многопозиционная вытяжка в ленте		1 — вырубной пуансон; 2 — вырубные пуансоны; 3 — матрица; 4 — выталкиватель; 5 — прижим	Изготовление небольших деталей ($d < 100$ мм) типа колпачков, крышек, пустотелых заклепок и т. п. В случае глубоких вытяжек применяется надрезка ленты, а для мелких — штамповка в целой ленте
Вытяжка с утонением (протяжка)		1 — протяжной пуансон; 2 — протяжное кольцо (матрица); 3 — фиксатор	Изготовление весьма глубоких изделий (гильз, сильфонов, стаканов и т. п.) с неодинаковой толщиной стенок и дна $S = (0,2 \div 0,05) S_0$. Рекомендуется применение одновременной вытяжки через несколько дней

Продолжение табл. 29

Способ вытяжки	Схема вытяжки	Обозначение	Область применения
Комбинированная вытяжка		—	Изготовление небольших деталей при одновременном уменьшении диаметра и толщины стенки

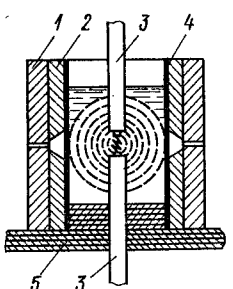
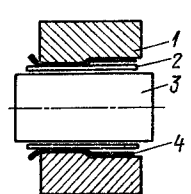
30. Особые способы вытяжки

Способ вытяжки	Схема вытяжки	Обозначение	Область применения
Вытяжка эластичным пуансоном		1 — матрица; 2 — эластичный пуансон; 3 — обойма	Серийное и мелкосерийное производство полых деталей из тонкого пластического металла (алюминий, алюминиевые сплавы, нержавеющая сталь) толщиной до 1—1,5 мм
Вытяжка эластичной матрицей		1 — пуансон; 2 — эластичная матрица; 3 — обойма; 4 — прижим; 5 — буферные штифты	При высоком давлении резины или полиуретана глубокая вытяжка из любого материала
Гидравлическая и резиногидравлическая вытяжка		а — штамповка на гидравлическом прессе; б — штамповка без прессы; 1 — пуансон; 2 — обойма; 3 — резиновая диафрагма; 4 — резиновый чехол; 5 — жидкость	Серийное и мелкосерийное производство полых деталей сложной формы из тонкого листового металла (алюминий, алюминиевые сплавы, нержавеющая сталь)

Продолжение табл. 30

Способ вытяжки	Схема вытяжки	Обозначение	Область применения
Вытяжка на листоштамповочных молотах со складкообразованием		1 — пуансон; 2 — матрица; 3 — прижим	Мелкосерийное изготовление цилиндрических, конических и коробчатых деталей из алюминиевых сплавов
Вытяжка свинцовой матрицей		1 — матрица; 2 — свинцовая подушка; 3 — контейнер	Серийное и мелкосерийное производство небольших деталей конической, полусферической и криволинейной формы
Вытяжка-обтяжка на гидравлических прессах		1 — обтяжной шаблон; 2 — зажимы; 3 — плуижер прессы	Вытяжка-формовка путем обтяжки тонкого листового материала (алюминий, дуралюмин, магниевые сплавы, нержавеющая сталь, углеродистая сталь) по металлическим или деревянным пуансонам (шаблонам) в мелкосерийном производстве при изготовлении крупных деталей несложной конфигурации
Вытяжка-формовка давлением взрыва		1 — контейнер; 2 — заряд ВВ; 3 — заготовка; 4 — штамп (форма)	Вытяжка-формовка крупногабаритных деталей типа днищ, полусфер, оболочек и т. п., изготавливаемых малыми сериями. Весьма эффективна штамповка труднодеформируемых высокопрочных сплавов

Продолжение табл. 30

Способ вытяжки	Схема вытяжки	Обозначение	Область применения
Вытяжка-формовка электрогидравлическим разрядом		1 — обойма; 2 — форма; 3 — электроды; 4 — заготовка; 5 — подставка	Формовка оболочек, трубчатых и рельефных деталей в мелкосерийном производстве
Магнитно-импульсная формовка		1 — форма; 2 — заготовка; 3 — индуктор (соленоид); 4 — изделие	Формовка неглубоких деталей, обжимка и раздача трубчатых заготовок и т. п.

деформация радиального удлинения превышает деформации тангенциального сжатия. На участке, где происходит утолщение материала, деформации тангенциального сжатия (укорочения) превышают по величине деформации радиального удлинения.

Как видно из рис. 83, деформация при вытяжке в действительности является объемной, а не плоской, как зачастую принимается при анализе процесса вытяжки.

В табл. 29 приведены основные, наиболее распространенные способы вытяжки и показана область их применения. Указанные способы применяются при вытяжке их из заготовок и в ленте, для изготовления полых деталей различной формы: цилиндрической, конической, сферической, прямоугольной и сложной.

В табл. 30 приведены специальные (особые) способы вытяжки, более подробное описание которых дается ниже.

20. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ И ФОРМЫ ЗАГОТОВОК ПРИ ВЫТЯЖКЕ

Основным правилом для определения размеров заготовок при вытяжке является равенство объемов заготовки и готовой детали, так как в процессе пластической деформации объем металла остается постоянным.

При вытяжке без утонения стенок изменением толщины материала обычно пренебрегают и определение размеров заготовки производят по равенству площади поверхности заготовки и готовой детали с припуском на обрезку. При вытяжке с утонением стенок (протяжке) определение размеров заготовки производится по равенству объемов заготовки и изделия.

На практике встречаются следующие случаи вытяжки деталей различной конфигурации, требующие разных способов подсчета размеров заготовки:

- 1) вытяжка круглых деталей (являющихся телами вращения) простой формы;
- 2) вытяжка круглых деталей сложной формы;

- 3) вытяжка прямоугольных коробчатых деталей;
- 4) вытяжка деталей сложной и несимметричной конфигурации;
- 5) вытяжка с утонением материала,

Размеры заготовок для вытяжки круглых деталей (являющихся телами вращения) простой формы

Рассматриваемый случай относится к вытяжке без утонения материала. Следовательно, определение размеров заготовок производится по равенству площадей поверхности заготовки и готовой детали (с припуском на обрезку).

Для данного случая вытяжки заготовка имеет форму круга, диаметр которого находится по формуле

$$D = 1,13 \sqrt{F} = 1,13 \sqrt{\Sigma f},$$

где F — площадь поверхности готовой детали, мм²; Σf — сумма площадей отдельных элементов поверхности детали, мм².

В табл. 31 приведены формулы для определения поверхностей простой геометрической формы.

Вместо вычисления диаметра заготовки путем разбивки поверхности детали на отдельные элементы диаметры заготовок для наиболее распространенных форм вытягиваемых деталей определяются по формулам, приведенным в табл. 32.

Процесс реальной вытяжки сопровождается рядом погрешностей, не учитываемых расчетными геометрическими формулами, как то: неравномерность толщины проката, анизотропия механических свойств, неравномерность зазора и слоя смазки, неравномерность прижима заготовки, погрешности фиксации заготовки в штампе и др. В результате этого, в подавляющем большинстве случаев вытянутая деталь получается с неровным или перекошенным краем, требующим последующей обрезки.

Анизотропия механических свойств (см. пятый раздел) является результатом особенностей металлургического производства листового проката, зависит от способа (полистной или рулонный) и режимов прокатки, а также от неоднородности термической обработки листового металла.

Наибольшее проявление анизотропии обнаруживается при примитивном способе вытяжки без прижима (свертки) небольших колпачков из относительно толстого металла ($d = 15 \div 40$ мм, $S = 1,5 \div 4$ мм) в виде фестонов, возникающих по краям колпачков. Фестоны свидетельствуют о преобладании основной деформации, в данном случае — тангенциального сжатия, и незначительной деформации осевого удлинения.

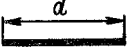
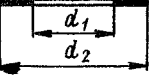
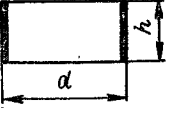
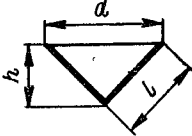
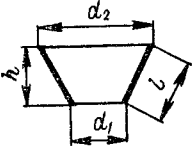
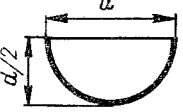
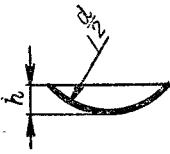
При основном способе вытяжки с прижимом заготовки или при комбинированной вытяжке с утонением стенок фестонобразование резко уменьшается или практически отсутствует.

Предложен ряд способов борьбы с фестонобразованием: метод геометрической корректировки заготовки и метод технологического выравнивания анизотропии в процессе вытяжки [198]. Последний метод более предпочтителен, так как для него не требуется проведения предварительных испытаний на плоскостную анизотропию. Более подробно об этих методах сказано в пятом разделе.

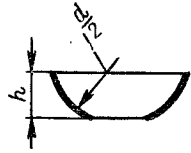
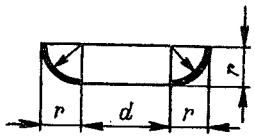
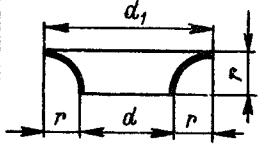
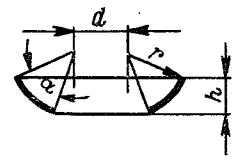
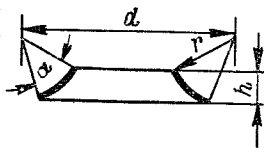
В результате отмеченных выше погрешностей процесса вытяжки в большинстве случаев применяется последующая обрезка неровного края или фланца детали, для чего при подсчетах размеров заготовки следует предусматривать соответствующий припуск на обрезку. Приведенные в табл. 32 формулы не содержат отдельного припуска, поэтому при пользовании указанными формулами в случае вытяжки с последующей обрезкой к номинальным размерам по высоте или радиусу фланца готовой детали необходимо прибавить припуск на обрезку.

Рассмотренные в табл. 32 геометрические формулы, естественно, не отражают технологических особенностей вытяжки и, в частности, фактического утонения металла. При вытяжке как в начальной, так и конечной стадии (см. рис. 80) в результате утонения материала происходит увеличение поверхности заготовки, которое

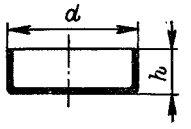
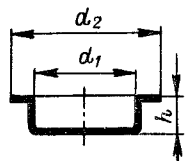
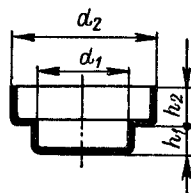
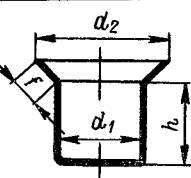
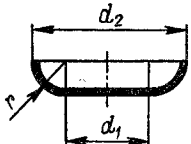
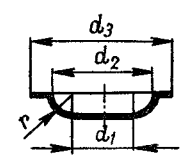
31. Площади поверхности простых геометрических форм

№ п/п	Форма поверхности	Эскиз	Площадь поверхности F
1	Круг		$\frac{\pi d^2}{4}$
2	Кольцо		$\frac{\pi}{4} (d_2^2 - d_1^2)$
3	Цилиндр		πdh
4	Конус		$\frac{\pi dl}{2}$
5	Усеченный конус		$\frac{\pi l}{2} (d_2 + d_1)$
6	Полушарие		$\frac{\pi d^2}{2}$
7	Шаровой сегмент		πdh

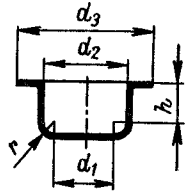
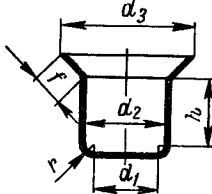
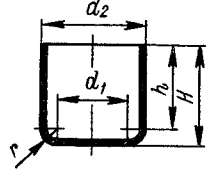
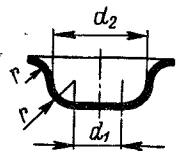
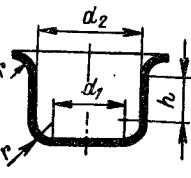
Продолжение табл. 31

№ п/п	Форма поверхности	Эскиз	Площадь поверхности F
8	Шаровой пояс		πdh
9	Четверть сферического кольца (выпуклая)		$\frac{\pi}{4} (2\pi dr + 8r^2)$
10	Четверть сферического кольца (вогнутая)		$\frac{\pi}{2} (\pi dr + 2,28r^2)$ или $\frac{\pi}{4} (2\pi d_1 r - 8r^2)$
11	Часть выпуклого сферического кольца		$\pi (dL + 2rh)$, где $L = \frac{\pi r \alpha}{180} = 0,017r\alpha$
12	Часть вогнутого сферического кольца		$\pi (dL - 2rh)$, где $L = \frac{\pi r \alpha}{180} = 0,017r\alpha$

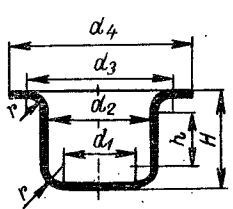
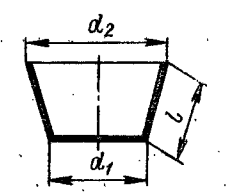
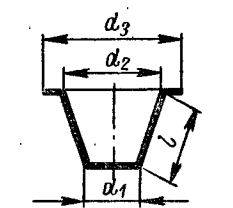
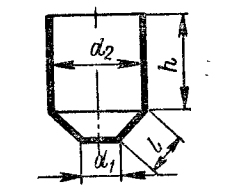
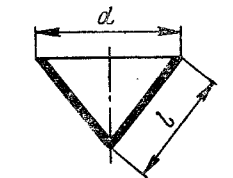
32. Формулы для определения диаметра заготовки

Номер формулы	Форма детали	Диаметр заготовки D
1		$\sqrt{d^2 + 4dh}$
2		$\sqrt{d_2^2 + 4d_1h}$
3		$\sqrt{d_2^2 + 4(d_1h_1 + d_2h_2)}$
4		$\sqrt{d_1^2 + 4d_1h + 2f(d_1 + d_2)}$
5		$\sqrt{d_1^2 + 2\pi r d_1 + 8r^2}$
6		$\sqrt{d_1^2 + 2\pi r d_1 + 8r^2 + d_3^2 - d_2^2}$

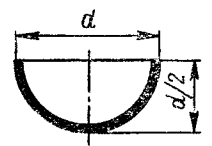
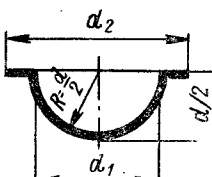
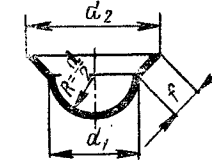
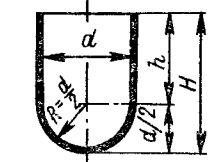
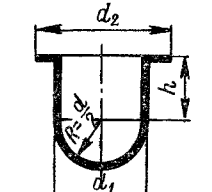
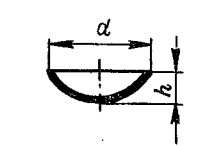
Продолжение табл. 32

Номер формулы	Форма детали	Диаметр заготовки D
7		$\sqrt{d_1^2 + 2\pi r d_1 + 8r^2 + 4d_2h + d_3^2 - d_2^2}$
8		$\sqrt{d_1^2 + 2\pi r d_1 + 8r^2 + 4d_2h + 2f(d_2 + d_3)}$
9		или $\sqrt{d_1^2 + 2\pi r d_1 + 8r^2 + 4d_2h}$ $\sqrt{d_3^2 + 4d_2H - 1,72rd_2 - 0,56r^2}$ *
10		$\sqrt{d_1^2 + 2\pi r(d_1 + d_2) + 4\pi r^2}$
11		$\sqrt{d_1^2 + 2\pi r(d_1 + d_2) + 4d_2h + 4\pi r^2}$

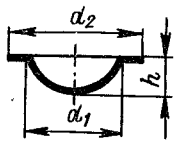
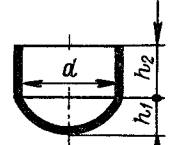
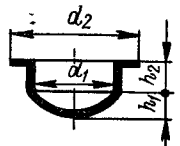
Продолжение табл. 32

Номер формулы	Форма детали	Диаметр заготовки D
12		$\sqrt{d_1^2 + 4d_2h + 2\pi r(d_1 + d_2) + 4\pi r^2 + d_3^2 - d_4^2}$ или $\sqrt{d_3^2 + 4d_2H - 3,44rd_2^*}$
13		$\sqrt{d_1^2 + 2l(d_1 + d_2)}$
14		$\sqrt{d_1^2 + 2l(d_1 + d_2) + d_3^2 - d_2^2}$
15		$\sqrt{d_1^2 + 2l(d_1 + d_2) + 4d_2h}$
16		$\sqrt{2dl}$

Продолжение табл. 32

Номер формулы	Форма детали	Диаметр заготовки D
17		$d\sqrt{2} = 1,4d$
18		$\sqrt{d_1^2 + d_2^2}$
19		$1,4\sqrt{d_1^2 + l(d_1 + d_2)}$
20		$1,4\sqrt{d^2 + 2dh} \text{ или } 2\sqrt{dH^*}$
21		$\sqrt{d_1^2 + d_2^2 + 4d_1h}$
22		$\sqrt{d^2 + 4h^2}$

Продолжение табл. 32

Номер формулы	Форма детали	Диаметр заготовки D
23		$\sqrt{d_2^2 + 4h^2}$
24		$\sqrt{d^2 + 4(h_1^2 + dh_2)}$
25		$\sqrt{d_2^2 + 4(h_1^2 + d_1 h_2)}$

Примечание. Формулы, отмеченные звездочкой, выведены автором для полной высоты детали H .

не учитывается расчетными формулами и несколько завышает полученный расчетный диаметр заготовки

$$D_d = 1,13 \sqrt{F_d} = 1,13 \sqrt{F_p \beta}; \quad D_d = D_p \sqrt{\beta},$$

где D_d и D_p — действительный и расчетный диаметры заготовки; F_d и F_p — действительная и расчетная площади поверхности вытянутой детали; β — коэффициент увеличения поверхности.

В табл. 33 приведены средние опытные значения коэффициентов увеличения поверхности заготовок при вытяжке стали 10.

Помимо этого большинство расчетных формул упрощают геометрическую форму и не учитывают закругления в углах детали. Естественно, что формулы, не учитывающие радиусов закруглений и растяжения металла в углах (1—4, 13—16 и др.), также дают несколько завышенные размеры заготовок, поэтому при пользовании такими формулами припуск на обрезку можно не учитывать. Так как не учитываемые в расчетах „резервные“ коэффициенты увеличения поверхности деталей примерно равны коэффициентам влияния анизотропии, то расчетные формулы табл. 32 вполне пригодны для вытяжки реального анизотропного металла (даже не учитывая припуск на обрезку).

Многолетний опыт практического применения расчетных геометрических формул с припуском на обрезку показывает, что они дают отклонение в сторону увеличения размеров заготовки против минимально необходимых. Поэтому в ряде случаев припуск на обрезку можно не учитывать или уменьшить его величину. Для вытяжек, не требующих большой точности определения диаметра заготовки, подсчет производится по наружным размерам детали. Получаемая при этом погрешность несколько

увеличивает размер припуска на обрезку, который поэтому может быть взят меньшей величины.

33. Увеличение поверхности заготовок при вытяжке

Способ вытяжки	Наибольшее утонение ($\Delta S/S$) 100%	Коэффициент увеличения поверхности β	
		при $m = 0,6$	при $m = 0,48$
Цилиндрическая вытяжка без прижима [(S/D) 100 > 2]	0	0,98 (меньше 1)	1,00
Цилиндрическая вытяжка с прижимом [(S/D) 100 < 2]	10—15	1,01	1,03
Цилиндрическая вытяжка с широким фланцем	15—20	1,02	1,05
Полусферическая вытяжка с фланцем	25—30	1,04	1,08
Многооперационная вытяжка деталей сложной формы	—	1,03	1,06

Примечания:
1. Приведенные данные относятся к вытяжке с обычной смазкой.
2. При малых величинах r_m коэффициент β несколько увеличивается.
3. Для алюминия и отожженной стали коэффициент β увеличивается.

В случае более точной вытяжки (без обрезки), а также при вытяжке небольших деталей или деталей из материала толщиной свыше 1 мм подсчеты следует производить по средней линии, принимая расчетный диаметр вытягиваемой детали,

$$d = d_{нар} - S,$$

где $d_{нар}$ — наружный диаметр детали.

В табл. 34 приведены рекомендуемые припуски на обрезку в зависимости от абсолютной и относительной высоты деталей без фланца, а в табл. 35 — деталей с большим фланцем.

34. Припуски по высоте на обрезку цилиндрических деталей без фланца, мм

Полная высота детали, мм	Припуск при относительной высоте детали h/d			
	0,5—0,8	0,8—1,6	1,6—2,5	2,5—4,0
10	1,0	1,2	1,5	2,0
20	1,2	1,6	2,0	2,5
50	2,0	2,5	3,3	4,0
100	3,0	3,8	5,0	6,0
150	4,0	5,0	6,5	8,0
200	5,0	6,3	8,0	10,0
250	6,0	7,5	9,0	11,0
300	7,0	8,5	10,0	12,0

35. Припуски на обрезку деталей с широким фланцем, мм

Диаметр фланца d_f , мм	Припуск на сторону при относительном диаметре фланца d_f/d			
	До 1,5	1,5—2,0	2,0—2,5	2,5—2,8
25	1,6	1,4	1,2	1,0
50	2,5	2,0	1,8	1,6
100	3,5	3,0	2,5	2,2
150	4,3	3,6	3,0	2,5
200	5,0	4,2	3,5	2,7
250	5,5	4,6	3,8	2,8
300	6,0	5,0	4,0	3,0

Размеры заготовок для вытяжки круглых деталей сложной формы

В данном случае определение диаметра заготовки производится на основании правила Гюльдена—Папуша, по которому *площадь поверхности тела вращения, образованного кривой произвольной формы при вращении ее вокруг оси, находящейся в той же плоскости, равна произведению длины образующей на путь ее центра тяжести* (длины окружности, описанной центром тяжести образующей)

$$F = 2\pi R_s L,$$

где F — площадь поверхности тела вращения, мм²; L — длина образующей, равная $l_1 + l_2 + \dots + l_n$, мм; R_s — расстояние от оси до центра тяжести образующей, мм.

Диаметр заготовки находится по формуле

$$D = \sqrt{8LR_s} = \sqrt{8\sum lr},$$

где $LR_s = \sum lr$; r — расстояние до центра тяжести элементов образующей.

Применяются два способа определения длины образующей и положения ее центра тяжести: графический и графо-аналитический. Первый способ дает приближенные, а второй — более точные результаты.

Графический способ нахождения центра тяжести образующей приведен на рис. 84.

Образующая разбивается на отдельные отрезки (прямые или закругленные), для которых графически находят центр тяжести отрезка и проводят линии, параллельные оси.

Сбоку чертежа строят многоугольник сил, откладывая длину отрезков (рис. 84) и проводят лучи из произвольно взятого центра O . Затем строят веревочный многоугольник, проводя прямые, параллельные лучам ($6' \parallel 6$; $7' \parallel 7$; $8' \parallel 8$ и т. д.). Пересечение крайних лучей $6'$ и $11'$ дает положение центра тяжести S и величину R_s .

Диаметр заготовки находят или по приведенной выше формуле, или графически (рис. 84, справа), исходя из зависимости

$$R^2 = 2R_s L,$$

где R — радиус заготовки, находимый по длине перпендикуляра в точке B (рис. 84) до пересечения с полуокружностью, построенной на диаметре, равном $L + 2R_s$.

Приведем графоаналитический способ определения размеров заготовки для деталей сложной формы.

1. Линию контура детали (по средней линии) разбивают на отдельные участки, преимущественно на прямые отрезки и части окружности. Криволинейные участки разбивают на небольшие отрезки, близкие к прямой.

2. Центр тяжести каждого участка отмечают точкой. Для прямых отрезков центр тяжести расположен посередине. Для частей окружности (дуг) положение центра тяжести находится по табл. 36,

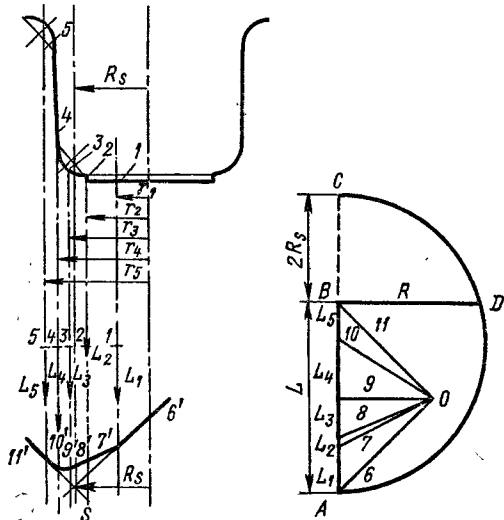


Рис. 84. Графический способ нахождения размеров заготовки

Радиус центра тяжести дуги составляет:

для выпуклых закруглений $r = B + A$;

для вогнутых закруглений $r = B - A$,

где B — расстояние от оси до центра закругления (рис. 85).

3. Определяют длину участков образующей: для прямых участков — по чертежу, а для дуг — как для части длины окружности или по таблицам.

4. Перемножают длину участков l и радиусы центров тяжести r , суммируют и находят

$$\sum lr = l_1 r_1 + l_2 r_2 + \dots + l_n r_n.$$

5. По величине суммы находят в табл. 37 искомый диаметр заготовки. Эта таблица подсчитана по формуле $D = \sqrt{8\sum lr}$.

Пример. Рассчитать диаметр заготовки для детали, приведенной на рис. 85, а. Линию контура разбиваем на отдельные участки, вычислим или берем по чертежу длины этих участков l_1, l_2, \dots, l_n , находим центры тяжести отрезков и определяем расстояние их от оси вращения. Перемножаем длины участков на расстояния центров тяжести до оси $l_i r_i$.

Результаты подсчетов сводим в табл. 38. Суммируя, получаем $\sum lr = 11\,710$. По табл. 37 находим диаметр заготовки $D = 306$ мм.

36. Положение центра тяжести отрезка дуги

Центральный угол дуги α , град	Расстояние A до вертикальной оси YY		Расстояние от центра тяжести дуги до центра закругления x
	для углов, приходящих к вершинам (рис. 85, а)	для углов, приходящих к горловины (рис. 85, б)	
30	0,256R	0,955R	0,988R
45	0,373R	0,901R	0,978R
60	0,478R	0,827R	0,955R
90	0,637R	0,637R	0,90R

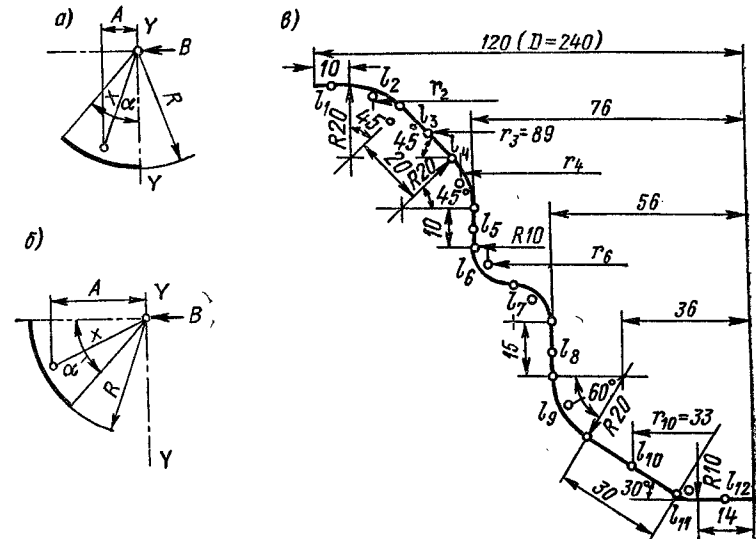


Рис. 85. Положение центра тяжести отрезка дуги (а, б) и пример расчета диаметра заготовки (в)

Рассмотренный метод расчета, как и приведенные ранее формулы для определения диаметра заготовки, не учитывает утонения материала, так как в большинстве случаев вытяжка производится с последующей обрезкой неровных кромок,

37. Определение диаметра заготовки по суммарному значению Σlr

D, мм	Σlr	D, мм	Σlr	D, мм	Σlr	D, мм	Σlr
20	50	72	645,5	124	1922	176	3872
21	55	73	666	125	1953	177	3916
22	60,5	74	684,5	126	1984	178	3960
23	66	75	703	127	2016	179	4005
24	72	76	722	128	2048	180	4050
25	78	77	741	129	2080	181	4095
26	84,5	78	760,5	130	2112	182	4140
27	91	79	780	131	2145	183	4186
28	98	80	800	132	2178	184	4232
29	105	81	820	133	2211	185	4278
30	112,5	82	840,5	134	2244	186	4324
31	120	83	861	135	2278	187	4371
32	128	84	882	136	2312	188	4418
33	136	85	903	137	2346	189	4465
34	144,5	86	924,5	138	2380	190	4512
35	154	87	946	139	2415	191	4560
36	162	88	968	140	2450	192	4608
37	171	89	990	141	2485	193	4656
38	180,5	90	1012,5	142	2520	194	4704
39	190	91	1035	143	2556	195	4758
40	200	92	1058	144	2592	196	4802
41	210	93	1081	145	2628	197	4851
42	220,5	94	1104,5	146	2664	198	4900
43	231	95	1128	147	2701	199	4950
44	242	96	1152	148	2738	200	5000
45	263	97	1176	149	2775	202	5100
46	264,5	98	1200	150	2812	204	5202
47	276	99	1225	151	2850	206	5304
48	285,5	100	1250	152	2888	208	5408
49	300	101	1275	153	2926	210	5512
50	312,5	102	1300	154	2964	212	5618
51	325	103	1326	155	3003	214	5724
52	338	104	1352	156	3042	216	5832
53	351	105	1378	157	3081	218	5940
54	364,5	106	1404	158	3120	220	6050
55	378	107	1430	159	3161	222	6166
56	392	108	1458	160	3200	224	6272
57	406	109	1485	161	3240	226	6384
58	420,5	110	1512	162	3280	228	6485
59	435	111	1540	163	3321	230	6612
60	450	112	1568	164	3362	232	6715
61	465	113	1596	165	3403	234	6844
62	480,5	114	1624	166	3444	236	6962
63	496	115	1653	167	3486	238	7080
64	512	116	1682	168	3528	240	7200
65	528	117	1711	169	3570	242	7320
66	544,5	118	1740	170	3612	244	7442
67	561	119	1770	171	3655	246	7564
68	578	120	1800	172	3698	248	7688
69	595	121	1830	173	3741	250	7812
70	612,5	122	1860	174	3784	252	7938
71	630,5	123	1891	175	3828	254	8064

Продолжение табл. 37

D, мм	Σlr	D, мм	Σlr	D, мм	Σlr	D, мм	Σlr
256	8 192	305	11 628	420	22 050	535	35 778
258	8 320	310	12 012	425	22 578	540	36 450
260	8 450	315	12 409	430	23 112	545	37 128
262	8 580	320	12 800	435	23 653	550	37 812
264	8 712	325	13 203	440	24 200	555	38 503
266	8 844	330	13 612	445	24 753	560	39 200
268	8 978	335	14 028	450	25 312	565	39 903
270	9 112	340	14 450	455	25 878	570	40 612
272	9 248	345	14 878	460	26 450	575	41 328
274	9 384	350	15 312	465	27 028	580	42 050
276	9 522	355	15 753	470	27 612	585	42 778
278	9 660	360	16 200	475	28 203	590	43 512
280	9 800	365	16 653	480	28 800	595	44 253
282	9 940	370	17 112	485	29 403	600	45 000
284	10 082	375	17 578	490	30 012	610	45 762
286	10 224	380	18 050	495	30 628	620	46 530
288	10 368	385	18 528	500	31 250	630	47 303
290	10 512	390	19 012	505	31 878	640	48 082
292	10 658	395	19 503	510	32 512	650	48 867
294	10 804	400	20 000	515	33 153	660	49 658
296	10 952	405	20 503	520	33 800	670	50 455
298	11 100	410	21 012	525	34 453	680	51 258
300	11 250	415	21 528	530	35 112	690	52 067

38. К примеру расчета диаметра заготовки (по рис. 85, в)

Отрезки	l	r	lr	Отрезки	l	r	lr
1	10,0	115,0	1150	7	15,7	59,6	935
2	15,5	102,5	1609	8	15,0	56,0	840
3	20,0	89,0	1780	9	21,0	52,5	1103
4	15,5	78,0	1225	10	30,0	33,0	990
5	10,0	76,0	760	11	5,2	16,6	86
6	15,7	72,4	1137	12	14,0	7,0	98
$\Sigma lr = 11\ 710$							
Примечание. Порядковые номера отрезков соответствуют последовательности элементов.							

При вытяжке без обрезки кромок диаметр заготовки подсчитывают более точно, с учетом утонения материала, и находят по формуле

$$D = 1,13 \sqrt{F\alpha}; \quad D = \sqrt{8\Sigma lr\alpha},$$

где α — средний коэффициент утонения (0,90—1,0),

Размеры и конфигурация заготовок для вытяжки прямоугольных коробчатых деталей [107]

Вытяжка прямоугольных коробчатых деталей является сложным процессом холодной штамповки, так как в данном случае деформация вдоль периметра прямоугольной детали переменна.

На рис. 86 показана деформация прямоугольной координатной сетки, нанесенной на заготовку. Из рисунка видно, что боковые стенки не просто отгибаются, а пре-

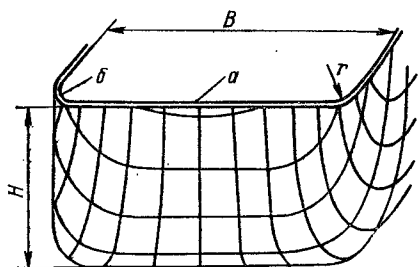


Рис. 86. Деформация координатной сетки при вытяжке прямоугольных коробчатых деталей

терпевают более сложную деформацию, состоящую из сжатия (укорочения) вдоль периметра, удлинения в вертикальном направлении и некоторого увеличения толщины стенок в верхней части детали. Таким образом, распространенное представ-

40. Относительная высота прямоугольных коробок, вытягиваемых в одну операцию (стали 08—10)

Относительный радиус угловых закруглений r/B	Относительная высота H/B при относительной толщине заготовок $(S/D) 100\%$			
	2,0—1,5	1,5—1,0	1,0—0,5	0,5—0,2
0,30	1,2—1,0	1,1—0,95	1,0—0,9	0,9—0,85
0,20	1,0—0,9	0,9—0,82	0,85—0,70	0,8—0,7
0,15	0,9—0,75	0,8—0,7	0,75—0,65	0,7—0,6
0,10	0,8—0,6	0,7—0,55	0,65—0,5	0,6—0,45
0,05	0,7—0,5	0,6—0,45	0,55—0,4	0,5—0,35
0,02	0,5—0,4	0,45—0,35	0,4—0,3	0,35—0,25

Примечания:

1. Кроме относительных величин r/B и S/D возможная высота вытяжки зависит от абсолютных размеров прямоугольных коробок. Поэтому наибольшие значения из приведенных в таблице относятся к коробкам небольших размеров ($B < 100$ мм), а меньшие значения — к крупным коробкам.

2. Для других материалов следует применять поправки в ту или другую сторону в соответствии с большей или меньшей пластичностью металла. Так, например, для стали 1Х18Н9Т и алюминия поправочный коэффициент приблизительно равен 1,1—1,15. Для сталей 20—25 соответствует 0,85—0,9.

39. Приближенные значения относительной деформации сжатия, %

Относительная высота коробок	Относительная деформация при прямоугольной вытяжке		Относительная деформация при вытяжке цилиндрических деталей
	в середине по краю стенки (а, рис. 86)	по краю углового закругления (б, рис. 86)	
$H = B$	26—30	45—50	55
$H = 0,5B$	15—20	33—38	42
$H = 0,3B$	5—8	25—30	32

ление о том, что вытяжка происходит лишь в углах прямоугольной детали, а прямые стенки просто отгибаются, является упрощенным и недостаточно точным.

В табл. 39 приведены приближенные значения относительной деформации сжатия вдоль периметра, замеренные в двух точках: по середине верхнего края прямой стенки и по краю углового закругления. Для сопоставления указана относительная деформация при вытяжке цилиндрических деталей той же относительной высоты. Величина деформации дана в известных пределах, так как она находится в зависимости от отношения r/B . Таким образом, если для низких прямоугольных коробок ($H = 0,3B$) можно пренебречь деформацией прямых стенок и с некоторой погрешностью считать, что они просто отгибаются, то для более высоких коробок ($H \geq 0,5B$) этой деформацией пренебрегать нельзя.

В технологическом отношении следует строго отличать вытяжку низких прямоугольных коробок, вытягиваемых в одну операцию, от вытяжки высоких коробок, изготовляемых за несколько последовательных операций. Технологические расчеты и построение заготовок для них совершенно различны, так как в первом случае окончательная форма изделия получается путем вытяжки плоской заготовки, а во втором — заготовки, имеющей полую пространственную форму.

Наибольшая относительная высота прямоугольных коробок, вытягиваемых за одну операцию, зависит от ширины коробки B , относительного радиуса закругления в углах и у дна r/B и относительной толщины заготовки S/D . Приближенные значения этой высоты приведены в табл. 40.

В высоту коробки H входит припуск на обрезку, величина которого приведена в табл. 41. Общая высота прямоугольной коробки, принимаемая в технологических расчетах,

$$H = H_0 + \Delta H_0 = (1 + \Delta) H_0,$$

где H_0 — высота коробки по чертежу.

Расчет заготовок для прямоугольных коробчатых деталей, вытягиваемых в одну операцию

Существующие методы расчета заготовок для вытяжки прямоугольных коробок охватывают лишь отдельные частные случаи без четкого указания пределов их применения.

Зачастую оказывается, что методы расчета, применяемые в одном случае, не пригодны при вытяжке аналогичных коробок, но с другим соотношением размеров. Это происходит потому, что способ расчета и построения формы заготовки в значительной степени зависит от относительной высоты коробки H/B и относительного радиуса углового закругления r/B , так как от их соотношения зависит степень вытеснения металла из угловых закруглений в боковые стенки коробки и увеличение их высоты.

В работах автора в зависимости от сочетания указанных параметров коробки и различной степени вытеснения металла в боковые стенки установлены отдельные области (рис. 87), которым соответствуют разные способы построения формы заготовки. В результате этого были уточнены пределы применения существующих методов расчета и установлены способы построения заготовок для случаев, ранее не рассматривавшихся в технической литературе [107].

Кривые 1 и 2 указывают наибольшую высоту коробок, вытягиваемых в одну операцию при относительной толщине заготовок:

$$(S/D) 100 = 2 \text{ и } (S/D) 100 = 0,6.$$

Выше этих граничных кривых находится область многооперационной вытяжки ($1a-1c$), а ниже — область однооперационной вытяжки. Последняя подразделена

41. Припуски на обрезку прямоугольных коробок

Количество операций вытяжки	Припуск на обрезку ΔH_0
1	$(0,03 \div 0,05) H_0$
2	$(0,04 \div 0,06) H_0$
3	$(0,05 \div 0,08) H_0$
4	$(0,06 \div 0,10) H_0$

автором на три отдельные области *IIa*, *IIb*, *IIc* по степени вытеснения металла из угловых закруглений в боковые стенки коробки.

К области *IIa* относится вытяжка низких коробок с относительно малыми радиусами угловых закруглений, выражаемыми зависимостью $r/(B-H) \leq 0,22$. Эта вытяжка характеризуется незначительным вытеснением металла из угловых закруглений в боковые стенки коробок без изменения их высоты. Построение заготовок в этом случае производится путем геометрической развертки элементов коробки на плоскость.

Область *IIb* охватывает вытяжку невысоких коробок, но с относительно большими радиусами угловых закруглений, определяемыми зависимостью $0,22 < r/(B-H) < 0,4$. Вытяжка таких коробок характеризуется значительным вытеснением металла из угловых закруглений в боковые стенки и увеличением высоты последних. Построение заготовки производится путем геометрической развертки коробки с корректировкой контура.

Область *IIc* охватывает однооперационную вытяжку относительно высоких коробок с большими радиусами угловых закруглений, выражаемыми зависимостью $r/(B-H) \geq 0,4$, и характеризуется весьма большим перемещением металла из угловых закруглений в боковые стенки и значительным увеличением высоты последних. В большинстве случаев в этой области практически возможно при вытяжке квадратных коробок применить заготовку круглой формы, а при вытяжке прямоугольных коробок — заготовку овальной формы с двумя закругленными и двумя прямолинейными сторонами.

При построении формы заготовок для низких коробок с относительно малыми радиусами угловых закруглений (область *IIa*) условно принимают, что вытяжка происходит только в углах коробки, а прямолинейные участки стенок отгибаются. Конфигурация заготовки получается путем геометрической развертки элементов прямоугольной коробки на плоскость основания с вычерчиванием плавного контура в углах развертки (рис. 88).

Рис. 87. Параметры различных случаев вытяжки прямоугольных коробчатых деталей

Расчет и построение ведут в следующем порядке [47] (по средней линии).

1. По заданным размерам коробки определяют длину отгибаемой части стенок l , включая закругление у дна,

$$l = H + 0,57r_d.$$

2. Определяют радиус заготовки в углах R , как для вытяжки четверти цилиндрического стаканчика диаметром d и высотой H . При равенстве радиусов углового и донного закруглений $r_y = r_d = r$

$$R = \sqrt{2rH} = \sqrt{dH}.$$

В случае разных радиусов закруглений в углах и у дна коробки r_y и r_d

$$R = \sqrt{r_y^2 + 2r_yH - 0,86r_d(r_y + 0,16r_d)}.$$

3. Строят заготовку со ступенчатым переходом от закругления к прямым стенкам.

4. Отрезки ab делят пополам и проводят касательные к окружности радиуса R .

5. Углы между касательными и прямыми стенками закругляют радиусом R . При данном построении контура заготовки вытянутые низкие прямоугольные коробки с малым радиусом углового закругления как правило не требуют обрезки, так как избыточный против расчетного металл в угловом закруглении (+ f) вытесняется в боковые стенки и компенсирует срезаемые участки заготовок (- f).

В зависимости от относительного радиуса углового закругления могут быть получены различные формы в углах заготовки.

На рис. 89 показаны различные формы контура в углах прямоугольной заготовки. На рис. 89, а при $R = 0,54(h + 1,57r)$ — прямая линия; на рис. 89, б при $R > 0,54(h + 1,57r)$ — выпуклый контур, что соответствует большому угловому радиусу коробки; рис. 89, в соответствует малой величине радиуса r , когда $R < 0,54(h + 1,57r)$ — вогнутый контур. Приведенные схемы построены при $r = r_y = r_d$. Площади поверхности $f_1 = f_2 = f_3 = f_4$.

В случае вытяжки коробки с обрезкой фланца размер развертки l подсчитывается с учетом припуска на обрезку. При этом большей точности построения контура заготовки не требуется. Можно применять прямоугольную заготовку со срезанными углами.

При построении заготовок для коробок с относительно большими радиусами угловых закруглений (область *IIb*, рис. 87) необходимо учитывать вытеснение металла из угловых закруглений в боковые стенки коробки и некоторое увеличение высоты стенок. В этом случае расчет и построение заготовок ведут в следующей последовательности.

1. Определяют длину развертки прямых стенок l и радиус заготовки в углах R по приведенным выше формулам.

2. Строят заготовку со ступенчатым переходом от закругления к прямым стенкам.

3. Определяют увеличенный радиус в углах развертки $R_1 = xR$ для компенсации металла, вытесняемого в боковые стенки. Коэффициент x находят по формуле¹

$$x = 0,074 (R/d)^2 + 0,982$$

или берут из табл. 42 по относительным размерам коробки.

4. Определяют ширину полоски h_b и h_a , отрезаемой от геометрической развертки прямых сторон для компенсации металла, перемещаемого из угловых закруглений (рис. 90).

Размеры h_a и h_b определяют из равенства прибавляемой поверхности четверти кольца и убавляемой поверхности полоски шириной h_b и длиной $B - 2r$ (или h_a и $A - 2r$) и находят по формулам

$$h_b = y \frac{R^2}{B - 2r}; \quad h_a = y \frac{R^2}{A - 2r}.$$

Коэффициент y находят по нормали АWF или берут из табл. 43 по относительным размерам коробки.

5. Производят корректировку развертки, увеличивая радиус до R_1 и уменьшая высоту на величину h_a и h_b .

¹ Нормали АWF. Определены размеры заготовок для вытяжки деталей прямоугольной формы.

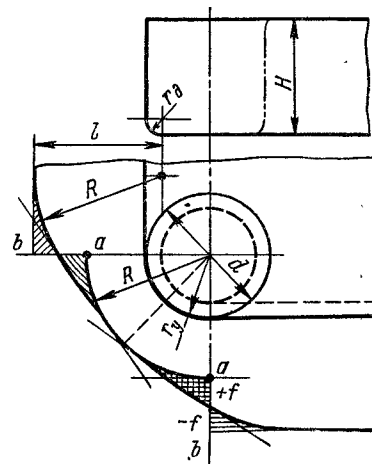


Рис. 88. Построение контура заготовки для низких прямоугольных коробок, вытягиваемых в одну операцию

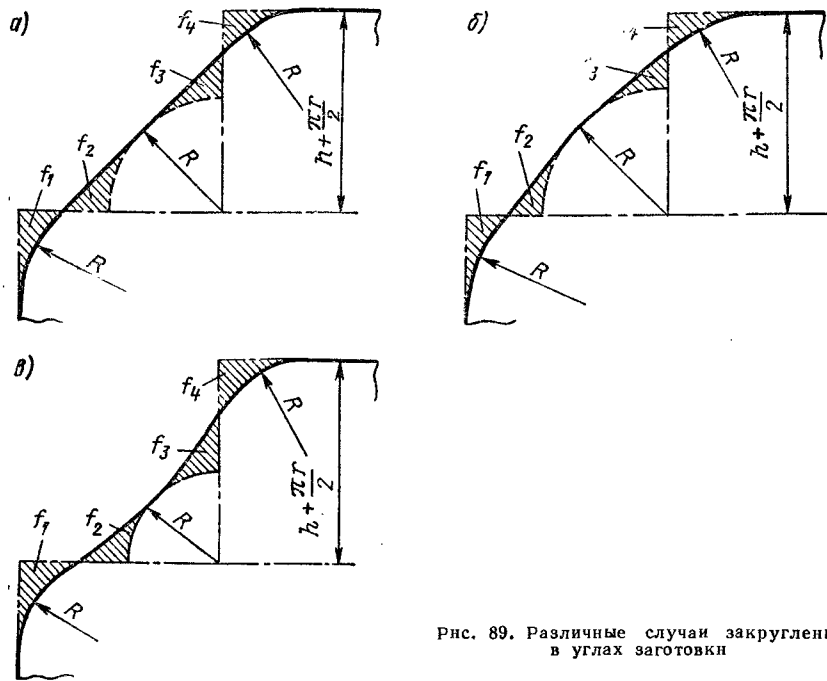


Рис. 89. Различные случаи закруглений в углах заготовки

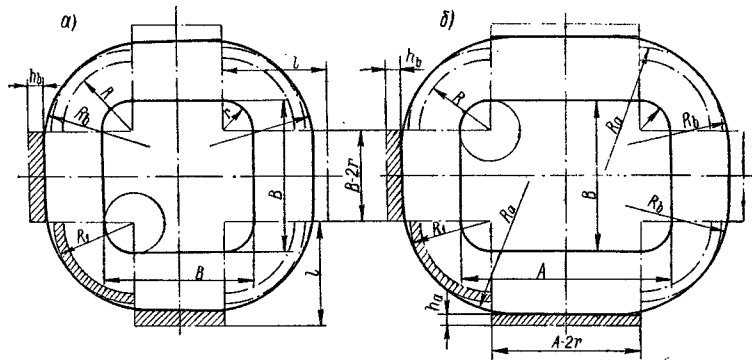


Рис. 90. Построение формы заготовки для вытяжки невысоких коробок с относительно большими радиусами угловых закруглений (область IIb, рис. 87); а — для квадратной; б — для прямоугольной коробки

42. Значения коэффициента x

Относительный радиус углового закругления r/B	Коэффициент x при относительной высоте коробки H/B			
	0,3	0,4	0,5	0,6
0,10	—	1,09	1,12	1,16
0,15	1,050	1,07	1,10	1,12
0,20	1,040	1,06	1,08	1,10
0,25	1,035	1,05	1,06	1,08
0,30	1,030	1,04	1,05	—

43. Значения коэффициента y

Относительный радиус углового закругления r/B	Коэффициент y при относительной высоте коробки H/B			
	0,3	0,4	0,5	0,6
0,10	—	0,15	0,20	0,27
0,15	0,08	0,11	0,17	0,20
0,20	0,06	0,10	0,12	0,17
0,25	0,05	0,08	0,10	0,12
0,30	0,04	0,06	0,08	—

6. По полученным размерам ширины, длины и углового радиуса развертки строят плавный контур, применяя сопрягаемые дуги окружности радиусов R_b и R_a . Это построение применимо для прямоугольных коробок, с соотношением сторон до $A : B = 1,5 \div 2,0$.

При вытяжке коробок, подвергаемых обрезке, контур заготовки можно упростить, допуская небольшое увеличение ее размеров.

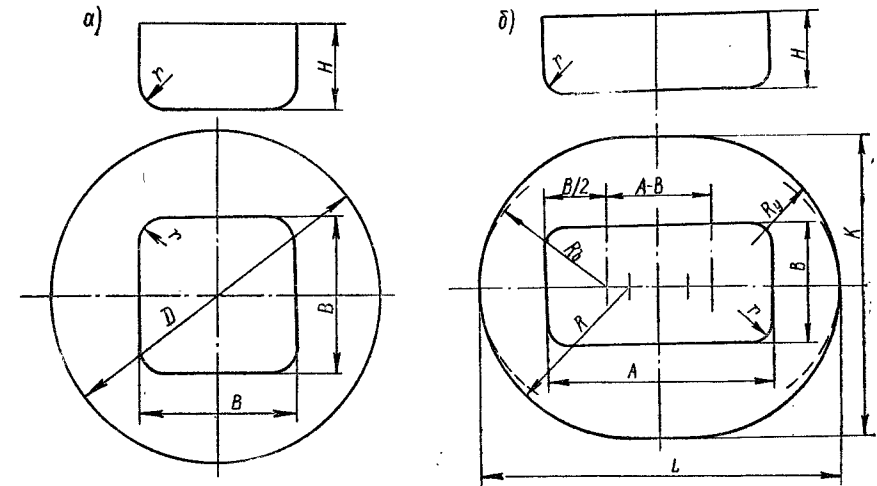


Рис. 91. Форма заготовки для высокой квадратной (а) и прямоугольной (б) коробки с большим относительным радиусом угловых закруглений (область IIc, рис. 87)

Вытяжки, геометрические параметры которых соответствуют параметрам области IIb, можно расчленить между областями IIa и IIc, но с условием обрезки фланца. Вытяжки деталей данной области могут быть рассчитаны методом характеристик.

Для относительно высоких коробок, вытягиваемых в одну операцию и охватываемых областью IIc, форма заготовки близка к кругу или закругленному овалу, вследствие чего можно не прибегать к геометрическому построению заготовки, а получить ее размеры расчетным путем, используя условие равенства поверхностей коробки и заготовки. Для квадратных коробок шириной B и высотой H в случае равенства радиусов углового и донного закруглений (рис. 91, а) диаметр заготовки

находится по формуле [107]

$$D_a = 1,13 \sqrt{B^2 + 4B(H - 0,43r)} - 1,72r(H + 0,33r),$$

где H — высота с припуском на обрезку; r — радиусы закругления в углах и у дна, принимаемые одинаковыми.

В случае разной величины радиусов закруглений в углах и у дна коробки диаметр заготовки определяется по уточненной формуле

$$D_a = 1,13 \sqrt{B^2 + 4B(H - 0,43r_d)} - 1,72(H + 0,5r_y) - 4r_d(0,11r_d - 0,18r_d).$$

Прямоугольные коробки размерами $A \times B$ можно рассматривать как состоящие из двух половинок квадратных коробок шириной B , соединенных промежуточной частью размером $A - B$. В этом случае контур заготовки имеет форму овала, образованного двумя полуокружностями радиуса R и двумя параллельными сторонами (рис. 91, б). Эта форма контура достаточно точна и наиболее проста для изготовления вырубного штампа.

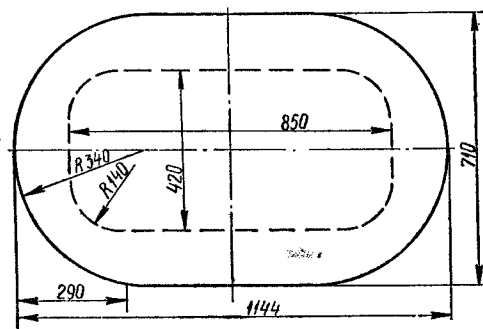
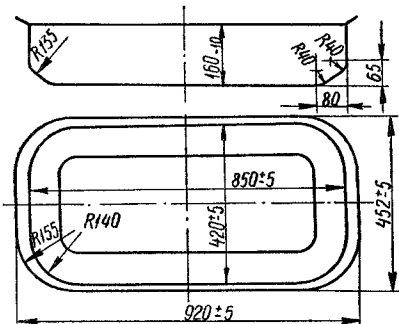


Рис. 92. Размеры и форма заготовки для цельноштампованного корыта

номерного увеличения высоты коробки со всех сторон по формуле

$$K = \frac{D_a(B - 2r_d) + [B + 2(H + 0,43r_d)](A - B)}{A - 2r_d}.$$

В большинстве случаев $K > L$ и заготовка имеет форму овала. Радиус закругления заготовки с узкой стороны овала определяется по формуле $R = 0,5K$. Построение заготовки приведено на рис. 91, б.

Если разность осей заготовки не превышает 3% для мелких коробок и 5% для коробок средних размеров, можно брать круглую заготовку диаметром $D = L$.

В случае малой разности размеров A и B ($A < 1,3B$) и при $H < 0,8B$ ширина овальной заготовки может быть взята равной $2R_a$.

Примером однооперационной вытяжки прямоугольных изделий с большим радиусом угловых закруглений (область IIc) является вытяжка на прессе двойного действия штампованных корыт из оцинкованной стали толщиной 0,7 мм (рис. 92).

Применяемая иногда эллиптическая форма заготовки значительно усложняет и удорожает изготовление вырубного штампа и не дает никаких преимуществ при вытяжке.

В соответствии с указанным принципом построения заготовки, центр окружности радиуса R_b находится на расстоянии $B/2$ от узкой стороны коробки. Длина овальной заготовки составляет

$$L = D_a + (A - B),$$

где $D_a = 2R_b$ — диаметр заготовки условной квадратной коробки размером $B \times B$, найденный по приведенной выше формуле; $A - B$ — расстояние между центрами.

Ширина овальной заготовки находится из условия равенства

Параметры вытяжки:

$$H/B = 0,38; \quad r/B = 0,33; \quad r/(B - H) = 0,54.$$

Следует отметить новый способ однооперационной вытяжки квадратных и прямоугольных коробок из круглой и овальной заготовок [22].

Расчет заготовок для высоких квадратных и прямоугольных коробчатых деталей, требующих многооперационной вытяжки

Область многооперационной вытяжки (см. рис. 87) может быть подразделена на два участка Ia и Ic с разным соотношением относительных высот и радиусов угловых закруглений, влияющих на форму и способ построения заготовки. Участок Ib является переходной зоной между Ia и Ic .

К области Ia относится вытяжка сравнительно невысоких квадратных и прямоугольных коробок ($H \leq 0,7 + 0,8B$), но с малыми радиусами закруглений, которые трудно или невозможно вытянуть за одну операцию. Вторая операция применяется для уменьшения (калибровки) угловых и донных закруглений.

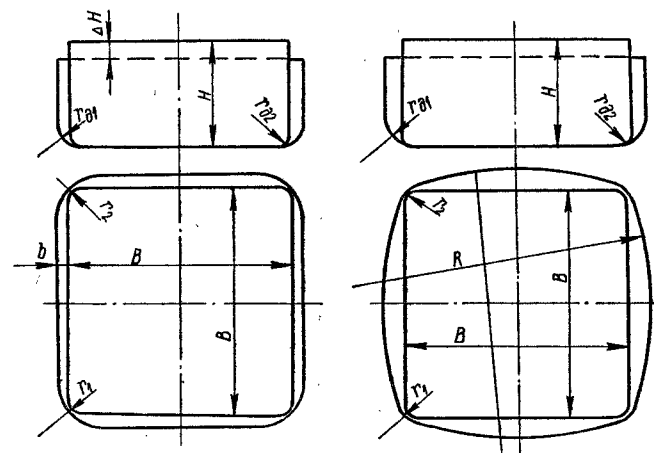


Рис. 93. Вытяжка квадратных коробок с калибровкой угловых радиусов

Так как сравнительно небольшая калибровка радиусов закруглений изменяет лишь размеры, но не форму коробки, то определение размеров и построение заготовки можно производить геометрической разверткой элементов коробки на плоскость основания, как для коробок, относящихся к области IIa (см. рис. 87). Последовательность расчета и построения приведена выше (см. рис. 88).

Учитывая двукратную вытяжку в углах коробки и некоторое вытеснение металла в боковые стенки, рекомендуется увеличить радиус развертки R на 10—20% и при равенстве радиусов углового и донного закруглений определять его по формуле

$$R = (1,1 + 1,2) \sqrt{2rH}.$$

Радиусы закруглений в углах коробок на первой и второй операциях должны иметь смещенные центры (рис. 93).

Вторая операция (калибровка) производится вытяжкой без прижима, поэтому рекомендуется применять небольшой просвет между стенками $[b = (4 + 5)S]$.

При этом, если $b = 0,43 (r_{д1} - r_{д2})$, то высота коробки на первой и второй операциях остается без изменения. Увеличение высоты на второй операции составляет

$$\Delta H = b - 0,43 (r_{д1} - r_{д2}),$$

где $r_{д1}$ и $r_{д2}$ — радиусы закруглений у дна на первой и второй операциях.

При многооперационной вытяжке высоких квадратных и прямоугольных коробок с относительной высотой $H/B \geq 0,7 \div 0,8$ (область Ic, рис. 87) заготовка имеет форму круга или овала.

Размеры заготовок определяют из равенства суммарной поверхности элементов коробки и плоской заготовки так же, как для коробок, относящихся к области IIc.

Так, например, для квадратных коробок, принимая радиусы закруглений в углах и у дна одинаковыми, диаметр заготовки находим по формуле

$$D_3 = 1,13 \sqrt{B^2 + 4B(H - 0,43r) - 1,72r(H + 0,33r)}.$$

В данном случае высота H берется с припуском на обрезку, выбираемым в пределах от $0,05 H_0$ до $0,1 H_0$, где H_0 — высота коробки по чертежу.

При многооперационной вытяжке высоких прямоугольных коробок расчет заготовки и построение переходов следует производить, рассматривая узкие стороны прямоугольной коробки как половины квадратной коробки, соединенные одна с другой переходной частью. В этом случае контур заготовки имеет форму овала, образованного с узких сторон дугами радиуса R_b , а с широкой — радиуса R_a или овала, образованного двумя полуокружностями радиуса $R = 0,5K$ и параллельными сторонами (рис. 94). Последняя форма контура более предпочтительна, так как она наиболее проста для изготовления вырубного штампа. Определение размеров овальной заготовки (длины L и ширины K) производится по приведенным ранее формулам (стр. 110).

Радиус закругления большей стороны овала может быть определен по формуле

$$R_a = \frac{0,25(L^2 + K^2) - LR_b}{K - 2R_b}.$$

В ряде случаев овальная форма заготовки может быть упрощена. Так, например, при малой разности размеров A и B , а также при весьма большой относительной высоте коробки может быть взята круглая заготовка.

Пример 1. Рассчитать заготовку для вытяжки квадратной коробки размером $45 \times 45 \times 50$ мм (рис. 95, а). Материал — сталь 08, толщина 0,5 мм.

Припуск на обрезку берем равным $0,1 H_0 = 5$ мм. Полная высота коробки $H = 55$ мм, а ее относительная высота $H/B = 1,22$. Следовательно, коробка относится к области многооперационной вытяжки (Ic, рис. 87), для которой заготовка имеет форму круга. Диаметр заготовки подсчитываем по формуле, приведенной выше

$$D_3 = 1,13 \cdot 106,7 = 120 \text{ мм}.$$

Пример 2. Рассчитать заготовку для вытяжки прямоугольной коробки размером $45 \times 80 \times 50$ мм (рис. 95, б). Материал — сталь 08, толщина 0,6 мм.

Припуск на обрезку берем равным $0,1 H_0 = 5$ мм. Полная высота коробки $H = 55$ мм. Следовательно, она также относится к области многооперационной вытяжки (Ic, рис. 87). Форма заготовки — закругленный овал.

Расчет заготовки проводим, рассматривая узкие стороны коробки как половины квадратной коробки размером 45×45 мм. Подсчитываем диаметр заготовки по той же формуле: $D_3 = 120$ мм. Радиус закругления узкой стороны овала $R_b = 0,5 D_3 = 60$ мм.

Длина овальной заготовки

$$L = D_3 + (A - B) = 155 \text{ мм}.$$

Ширина овальной заготовки $K = 135$ мм.

Радиус закругления заготовки $R = 0,5K = 67,5$ мм.

Подсчитываем для сравнения радиус закругления большей стороны овала $R_a = 84$ мм. Берем овальную заготовку — размерами 155×135 мм.

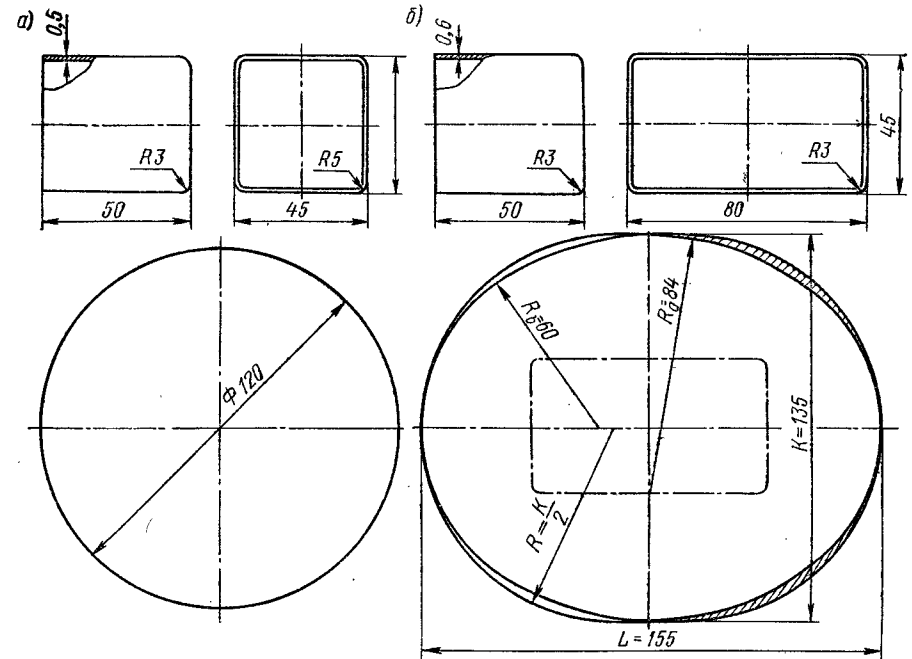


Рис. 95. К расчету размеров заготовки для коробчатых деталей

Закругления радиусом $R = K/2 = 67,5$ сопрягаются с параллельными кромками длиной 20 мм. Эта заготовка более проста для изготовления вырубного штампа по сравнению с заготовкой эллиптической формы.

На правой части заготовки нанесен контур эллиптического овала, полученного сопряжениями радиусов R_b и R_a . Заштрихованные участки показывают практически ничтожную разницу в размерах заготовки, ради которой нет смысла идти на усложнение контура и удорожание штампа.

Расчет заготовок для прямоугольных коробчатых деталей с фланцем [118]

Прямоугольные коробки с фланцем в большинстве случаев представляют собой относительно невысокие детали ($H/B < 0,6$) при небольшой ширине фланца, предназначенного для соединения с другими деталями. Как правило, эти коробки можно изготавливать за одну операцию вытяжки, кроме коробок с очень малыми радиусами угловых или дольных закруглений, требующих дополнительной операции калибровки.

При вытяжке прямоугольных коробок с фланцем ввиду значительной неравномерности деформации вдоль контура обязательно необходима последующая обрезка

неровного фланца. Это упрощает технологические расчеты заготовки и построение ее формы, так как большой точности последних не требуется. Форму заготовки в данном случае можно значительно упростить, руководствуясь удешевлением вырубного или комбинированного штампа. Необходимо соблюдать следующие требования: 1) предотвратить нехватку поверхности металла заготовки; 2) устранить скопление заведомо лишнего металла в углах, затрудняющего процесс вытяжки.

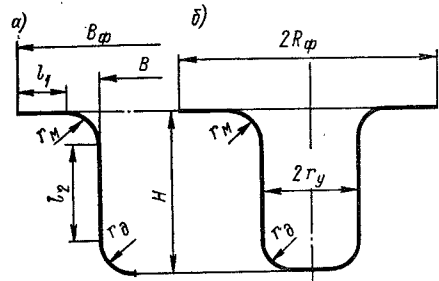


Рис. 96. Схемы к определению длины выпрямленной стенки (а) и радиуса углового закругления (б)

радиус закругления у дна и фланца. Выражая уравнение в размерных параметрах коробки, получаем

$$L = \frac{B_{\phi} - B}{2} + H + 0,14r_{\text{ср}}$$

где \$B_{\phi}\$ — ширина коробки с фланцами.

Радиус заготовки в углах коробки подсчитывается, как для вытяжки стаканчика с фланцем, приведенного на рис. 96, б

$$R_0 = \sqrt{R_{\phi}^2 + 2r_y(H - 0,86r_{\text{ср}})}$$

Построение заготовки производится путем развертки коробки на плоскость (рис. 97). Вначале вычерчивается контур коробки в плане; потом из центров угловых закруглений \$O\$ прямыми линиями отделяются угловые участки от прямолинейных; от границы донного закругления откладывается выпрямленная длина стенки \$L\$; из центров \$O\$ проводятся дуги окружностей радиусом \$R_0\$ (рис. 97). Затем строится сопряжение линий контура, которое может быть как прямолинейным, так и криволинейным. На рис. 97 справа показано наиболее простое прямолинейное сопряжение в виде касательной к окружности радиуса \$R_0\$.

На узкой стороне прямоугольной коробки происходит более интенсивное, чем на длинной стороне, вытеснение металла из угловых участков заготовки в боковые стенки. Вытесняемый металл несколько увеличивает высоту (длину) узкой стенки. Это перемещение металла учитывается тем, что заготовка в этом месте берется короче на величину \$a\$, примерно равную припуску на обрезку (для мелких коробок 2—3 мм; для средних 3—5 мм; для крупных 5—8 мм). На длинной стороне коробки такого среза при расчете не делают.

В заготовке создаются два участка площадью поверхности \$f_1\$ — отрезаемой и \$f_2\$ — прибавляемой к расчетной поверхности. В отличие от низких прямоугольных

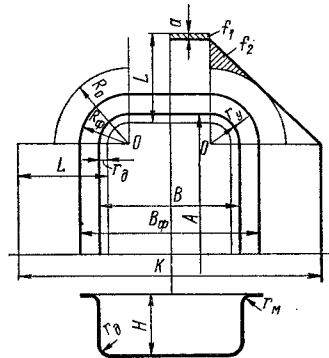


Рис. 97. Схема построения заготовки

коробок без фланца, в данном случае необходимо, чтобы \$f_2 > f_1\$, т. е. чтобы прибавляемая поверхность заготовки всегда превышала отрезаемую.

Ширина заготовки \$K\$

$$K = B - 2r_{\text{д}} + 2L = B_{\phi} + 2H - 1,72r_{\text{ср}}$$

Длина заготовки соответственно составляет:

$$N = K + A - B - 2a = A + B_{\phi} - B + 2H - 1,72r_{\text{ср}} - 2a$$

В зависимости от различного сочетания геометрических параметров коробки (\$H/B\$, \$r_y/B\$, \$B_{\phi}/B\$) возможны разные способы построения переходной части в углах заготовок (рис. 98).

При небольшой глубине коробки \$H\$ и при угловом радиусе \$r_y > 0,6H\$ применяется сопряжение сторон радиусом, равным половине ширины заготовки (рис. 98, а). При повышенной глубине коробки и угловом радиусе \$r_y < 0,6H\$ применяется сопряжение сторон касательной к окружности радиуса \$R_0\$ (рис. 98, б или в).

При вытяжке крупных коробчатых деталей в штампах с вытяжными ребрами применяется способ построения угловой части заготовки, показанный на рис. 98, в. Углы заготовки остаются на вытяжных ребрах и не закругляются.

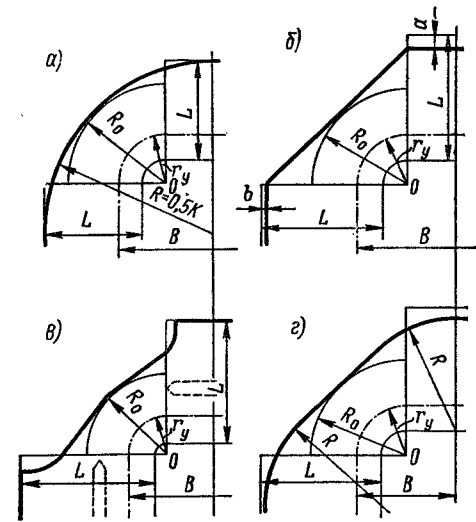


Рис. 98. Различные способы построения переходной части в углах заготовки

Построение заготовок для вытяжки деталей сложной и несимметричной пространственной формы

В большинстве случаев для деталей сложной пространственной формы (типа деталей автомобильного кузова) не предъявляется особых требований к точности размеров заготовок. Поэтому методов точного расчета таких заготовок не существует.

Вначале определяют ориентировочные габаритные размеры заготовки, учитывающие кривизну формы и необходимую величину технологических припусков (для прижима заготовки). Размеры заготовки корректируют при испытании вытяжного штампа, откорректированные заготовки служат шаблоном для изготовления вырубных штампов.

В автомобильной промышленности при проектировании штампов для деталей кузова весьма сложной пространственной формы применяется метод моделирования. Пользуясь небольшой (масштаб 1 : 10) деревянной или гипсовой моделью формы детали кузова, конструктор может точнее установить: наиболее деформируемые участки заготовки и вероятное направление течения металла, наилучшее положение вытяжки в пространстве, наиболее целесообразную поверхность прижима, необходимость применения вытяжных ребер, форму и размеры плоской заготовки.

Размеры заготовок для вытяжки с утонением стенок (протяжки)

Для вытяжки с утонением стенок определение размеров заготовки производят, исходя из равенства объемов материала заготовки и готовой детали с прибавкой на обрезку.

Чертеж детали разбивается на отдельные объемные участки геометрически простой формы, объем которых определяется по формулам и затем суммируется.

Толщина заготовки обычно устанавливается по чертежу готовой детали и условиям ее обработки.

Диаметр заготовки определяется по следующей формуле:

$$D = 1,13 \sqrt{V/S},$$

где V — объем заготовки с учетом отходов при обрезке, равный $(1+a)V_{\text{изд}}$; a — коэффициент, учитывающий отходы при обрезке; S — толщина заготовки (от 1,0 до 1,2 толщины дна).

Ниже приведена величина отходов при обрезке в процентах от массы или объема детали.

Относительная высота детали h/d	До 3	3—10	Св. 10
Величина отхода при обрезке a , %	8—10	10—12	12—15

Более точные методы расчета заготовок для вытяжки с утонением материала изложены в специальной литературе.

21. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПРИ ВЫТЯЖКЕ И ПОСТРОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Степень деформации и коэффициенты вытяжки

В зависимости от соотношения высоты и диаметра вытягиваемой детали, а также от относительной толщины заготовки вытяжка может быть выполнена за одну или несколько операций. Необходимо, чтобы вытяжка была произведена за наименьшее количество операций, выполняемых с возможно большей степенью деформации (относительное уменьшение диаметра и увеличение глубины вытяжки), без применения промежуточного отжига¹.

Степень деформации при вытяжке цилиндрических деталей может быть выражена одним из следующих показателей:

$$(D-d)/d; (D-d)/D; \ln(D/d); K=D/d; m=d/D=1/K,$$

где D — диаметр заготовки, мм; d — диаметр детали, мм; m — коэффициент вытяжки; K — степень вытяжки — величина, обратная коэффициенту вытяжки.

Эти показатели находятся в однозначной зависимости между собой и дают правильную характеристику общей степени деформации лишь при непременном условии — *полной перетяжке фланца в боковую цилиндрическую поверхность детали*. Их численные значения в зависимости от отношения D/d приведены на рис. 99.

Наиболее распространенным показателем степени деформации является коэффициент вытяжки $m = d/D$, однако его численное значение находится в обрат-

ной зависимости от степени деформации (чем меньше m , тем больше степень деформации).

В табл. 44 представлена предельная степень деформации при вытяжке цилиндрических деталей за первую операцию.

¹ Исключением является вытяжка сильно наклепывающихся сплавов, особенно тех, у которых процесс холодной деформации сопровождается структурно-фазовыми превращениями и требует применения промежуточного отжига.

Теоретическая величина наибольшей степени вытяжки K значительно превышает практически осуществимую степень вытяжки пластичных металлов. Это объясняется тем, что в первом случае не учтены реальные условия процесса вытяжки: напряжения, возникающие в начальной стадии, а также зависимость от степени анизотропии и относительной толщины заготовки.

Предельная деформация при первой вытяжке ограничена тремя основными причинами:

1) недостаточная пластичность металла обуславливает повышенное сопротивление плоского фланца деформированию, что приводит к увеличению растягивающих напряжений в опасном сечении и отрыву дна;

2) образование складок (гофров) в результате потери устойчивости фланца заготовки резко увеличивает сопротивление вытяжке и вызывает преждевременный обрыв заготовки; наименее устойчивы и наиболее подвержены складкообразованию заготовки малой относительной толщины;

3) малая величина радиуса закругления вытяжных кромок матрицы вызывает, наряду с другими причинами, увеличение сопротивления вытягиванию плоской заготовки в отверстие матрицы и приводит к повышению растягивающих напряжений в опасном сечении.

Величина предельной деформации при первой вытяжке в значительной мере зависит также от степени анизотропии листового металла.

Каждой степени деформации соответствует определенная величина напряжения, возникающего в опасном сечении, ограничивающего возможность вытяжки и при известных условиях приводящего к образованию трещин и отрыву дна.

Условие прочности опасного сечения определяется зависимостью

$$\sigma_{\max} < \sigma_p; \sigma_p = \sigma_b (1 + \delta_b),$$

где σ_{\max} — наибольшие растягивающие напряжения в опасном сечении; σ_p — истинное сопротивление разрыву; δ_b — равномерное относительное удлинение.

Поэтому наиболее правильным и точным способом определения допустимой степени деформации и количества операций вытяжки является способ, основанный на определении действительных напряжений, возникающих при вытяжке и использовании основных законов теории пластичности. Однако ввиду сложности этого способа практические подсчеты производят по экспериментально установленным коэффициентам вытяжки, которые характеризуют допустимую степень деформации.

Применяемые на практике коэффициенты вытяжки большей частью являются приближенными, так как не учитывают зависимости коэффициентов вытяжки от относительной толщины заготовки, показателя анизотропии R и упрочнения n , радиуса закругления вытяжных кромок матрицы, скорости вытяжки и т. п. Кроме того, необходимо соблюдать геометрическое подобие деталей и заготовок. Только при этом условии коэффициенты вытяжки будут выражать сопоставимые деформации.

Коэффициенты вытяжки деталей без фланца нельзя применять для расчета вытяжки деталей с широким фланцем и т. п. Обязательным условием является геометрическое подобие деформируемых заготовок, выражаемое отношением S/D . Разным значениям S/D соответствуют разные величины допустимой степени деформации и коэффициентов вытяжки, обуславливаемые различной устойчивостью фланца одних и тех же размеров при равной толщине материала.

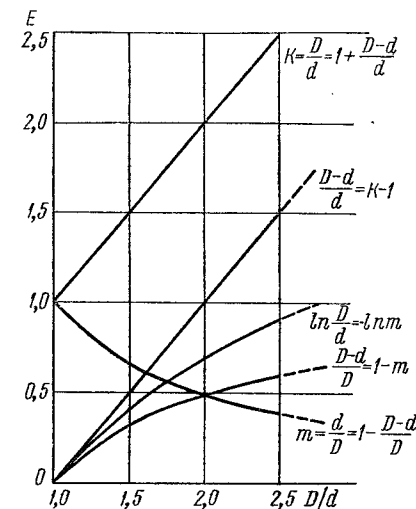


Рис. 99. Сопоставление различных показателей степени деформации при вытяжке

Значения коэффициентов вытяжки в значительно большей степени зависят от относительной толщины заготовки, чем от влияния пластичности того или иного металла, так как для вытяжки применяются главным образом высокопластичные металлы с небольшим колебанием пластических свойств (за исключением некоторых специальных сплавов).

Технологические расчеты при вытяжке цилиндрических деталей без фланца

Технологические расчеты при вытяжке цилиндрических деталей состоят в определении допустимой степени деформации, нахождения требуемого количества последовательных операций вытяжки и подсчете пооперационных размеров деталей. Допустимая степень деформации находится по экспериментально установленным и практическим проверенным коэффициентам вытяжки.

Коэффициенты вытяжки цилиндрических деталей без фланца выражаются отношениями: для первой вытяжки $m_1 = d_1/D$, для второй вытяжки $m_2 = d_2/d_1$, для последующих вытяжек $m_n = d_n/d_{n-1}$.

Установив правильную величину коэффициентов вытяжки по операциям, находят размеры последующих вытяжек:

$$d_1 = m_1 D; \quad d_2 = m_2 d_1; \quad d_n = m_n d_{n-1},$$

а также количество операций вытяжки. Коэффициенты вытяжки должны быть разными для деталей различной геометрической формы (прежде всего, для цилиндрических деталей с фланцем и без фланца), а также для различной относительной толщины материала, от которой зависит большая или меньшая степень устойчивости фланца заготовки.

В табл. 45 приведены проверенные многолетней практикой и вновь откорректированные оптимальные значения коэффициентов вытяжки цилиндрических деталей без фланца (при вытяжке с прижимом) в зависимости от относительной толщины заготовки для стали глубокой вытяжки (08, 10Г, 15Г), мягкой латуни и аналогичных им сплавов. Меньшие значения коэффициентов вытяжки соответствуют повышенной величине показателя анизотропии ($R_{cp} \approx 1,5 \div 1,7$) и большому радиусу закругления на первых операциях, а большие значения — меньшей величине показателя анизотропии ($R_{cp} \approx 1,0 \div 1,2$). На рис. 100 представлена усредненная корреляция зависимости коэффициентов (степени) вытяжки цилиндрических деталей от показателя анизотропии R_{cp} и относительной толщины стальных заготовок S/D [202].

45. Коэффициенты вытяжки цилиндрических деталей без фланца

Коэффициенты вытяжки	Значения коэффициентов при относительной толщине заготовки (S/D) 100 %				
	2,0—1,5	1,5—1,0	1,0—0,5	0,5—0,2	0,2—0,06
m_1	0,46—0,50	0,50—0,53	0,53—0,56	0,56—0,58	0,58—0,60
m_2	0,70—0,72	0,72—0,74	0,74—0,76	0,76—0,78	0,78—0,80
m_3	0,72—0,74	0,74—0,76	0,76—0,78	0,78—0,80	0,80—0,82
m_4	0,74—0,76	0,76—0,78	0,78—0,80	0,80—0,82	0,82—0,84

На рис. 101 приведена видоизмененная зависимость коэффициентов первой вытяжки стальных цилиндрических деталей от показателя анизотропии и относительной толщины заготовки, соответствующая значениям: 1 — для $(S/D)100 = 2,4$; 2 — для $(S/D)100 = 2,0$; 3 — для $(S/D)100 = 1,6$; 4 — для $(S/D)100 = 1,2$; 5 — для $(S/D)100 = 0,8$; 6 — для $(S/D)100 = 0,4$.

Аппроксимируя представленные на рис. 101 функции $m = f(R_{cp}, S/D)$ как линейные, получаем семейство прямых, соответствующих разным значениям S/D . Они могут быть выражены общим уравнением

$$m_1 = A - BR_{cp}$$

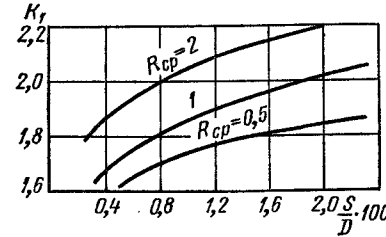


Рис. 100. Зависимость степени первой вытяжки от показателя анизотропии и относительной толщины заготовки

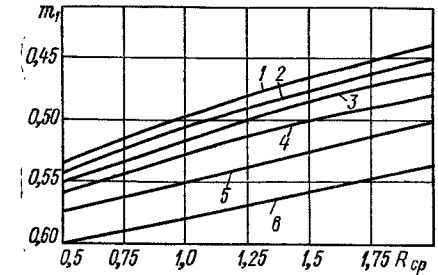


Рис. 101. Зависимость коэффициента первой вытяжки от показателя анизотропии и относительной толщины заготовки

Экспериментальные значения коэффициентов A и B в зависимости от отношения S/D приведены ниже:

S/D	0,024	0,020	0,016	0,012	0,008	0,004
A	0,56	0,57	0,574	0,58	0,60	0,62
B	0,06	0,058	0,056	0,05	0,05	0,04

Применяя указанную выше зависимость и значения коэффициентов A и B , получаем уточненную величину коэффициентов первой вытяжки m_1 (табл. 46) с учетом показателя плоской анизотропии (R_{cp}).

46. Значения коэффициентов первой вытяжки

Практика показывает, что для глубокой вытяжки наиболее пригодны стали с показателем плоской анизотропии $R_{cp} = 1,2 \div 1,7$.

Приведенные в табл. 45 коэффициенты вытяжки m_1 в целом соответствуют этим значениям.

Необходимо указать, что при выполнении проектных технологических расчетов „задаваться“ показателем анизотропии нельзя, так как эти показатели являются физической величиной, выявляемой лишь при испытании той или иной конкретной заготовки. Они обычно имеют разную величину даже в пределах одной партии металла той же марки.

По полученному при испытании показателю R_{cp} можно уточнить предварительные технологические расчеты при внедрении процесса, а главное — судить о пригодности и штампуемости данной испытанной заготовки.

Рассматривая коэффициенты вытяжки, приведенные в табл. 45, необходимо указать, что при вытяжке менее пластичных металлов (стали 20—25, Ст2, Ст3, декарпованная сталь, наклепанные алюминий и латунь и т. п.) коэффициенты вытяжки следует брать на 1,5—2% больше, а при вытяжке более пластичных металлов (стали 05, 08кп, алюминий и др.) — на 1,5—2% меньше по сравнению со значениями, приведенными в табл. 45. В случае применения межоперационного отжига коэффициенты вытяжки на последующих операциях можно брать на 3—5% меньше.

S/D	Коэффициенты вытяжки m_1 при R_{cp}			
	1	1,5	1,7	2
0,024	0,50	0,47	0,45	0,44
0,20	0,51	0,48	0,46	0,45
0,016	0,52	0,49	0,47	0,46
0,012	0,53	0,50	0,49	0,48
0,008	0,55	0,52	0,51	0,50
0,044	0,58	0,56	0,54	0,54

При вытяжке деталей из нержавеющей стали 1X18H9T необходимо применять межоперационный отжиг.

При вытяжке на многопозиционных прессах рекомендуется некоторое смягчение коэффициентов вытяжки, что может привести к появлению лишнего перехода, но не отразится на производительности пресса.

В связи с наблюдающейся тенденцией постепенного улучшения металлургическими заводами качества листового проката приведенные в табл. 45 коэффициенты вытяжки могут быть в дальнейшем ужесточены.

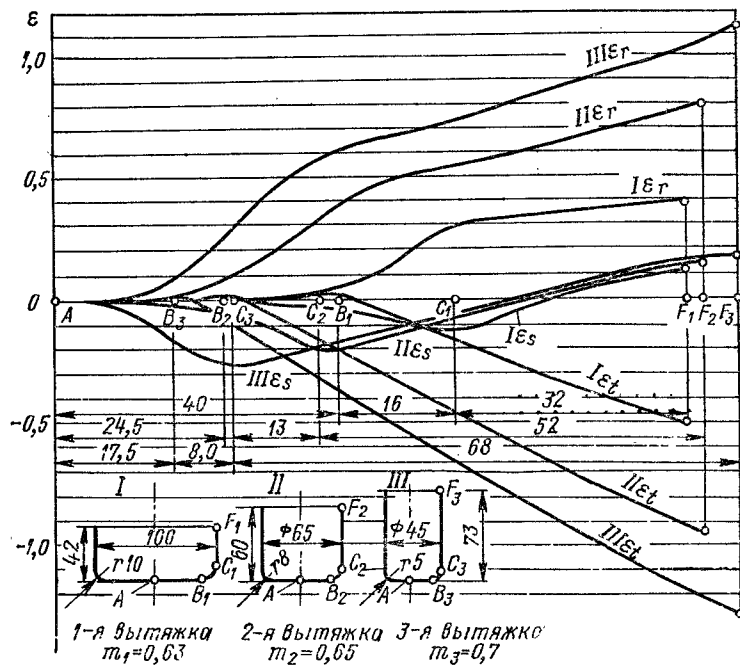


Рис. 102. Деформации при многооперационной вытяжке

Количество последующих операций вытяжки определяется принятыми коэффициентами и может быть найдено по формуле

$$n - 1 \approx \frac{\ln d_n - \ln (m_1 D)}{\ln m_2},$$

где n — общее количество операций вытяжки; d_n — диаметр готовой детали, мм; D — диаметр заготовки, мм; m_2 — коэффициент вытяжки на второй и последующих операциях.

При технологических расчетах процессов зачастую требуемые размеры изделия не совпадают с рассчитанными по коэффициентам. В этом случае необходимо выровнять деформации по операциям, а коэффициенты вытяжки откорректировать в сторону увеличения.

На рис. 102 приведено сопоставление логарифмических деформаций при вытяжке цилиндрических деталей за три операции. Этот рисунок наглядно поясняет физический смысл многооперационной вытяжки — введение в очаг деформации новых недеформированных участков заготовки,

В рассматриваемом примере степень деформации распределена по операциям не наилучшим образом — недостаточна степень вытяжки на первой операции и несколько завышена на последующих. Вследствие этого на третьей операции получено слишком большое утонение в опасном сечении (точка C_3) — утонение металла здесь почти достигает величины деформации в радиальном направлении. Таким образом, удлинение материала на закруглении происходит за счет утонения материала. В то время как утонение материала в опасных сечениях резко возрастает, утолщение края вытяжки увеличивается незначительно.

Перемещение точек F указывает на увеличение длины образующей (уд-

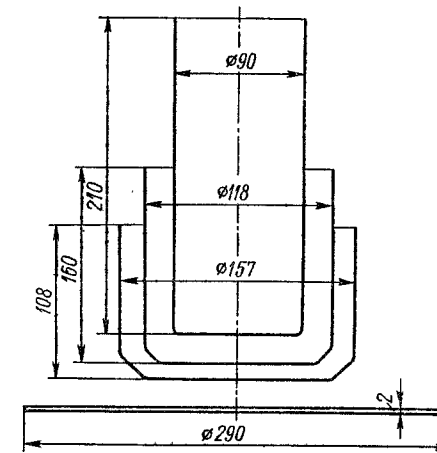


Рис. 103. К расчету процесса вытяжки

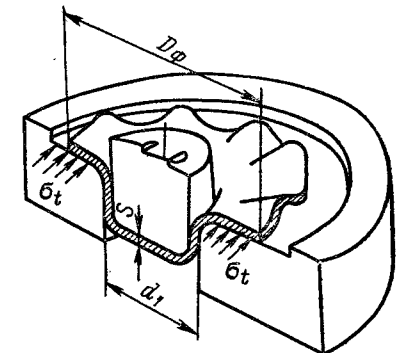


Рис. 104. Образование складок при глубокой вытяжке

линие в радиально-осевом направлении), в рассматриваемом примере равное 5,5 мм, что значительно меньше увеличения высоты вытяжки, составляющего 31 мм.

Последующие операции вытяжки в случае относительно малой толщины материала ($S/d_1 < 2$) производятся с прижимом, а при относительно большой толщине ($S/d_1 > 2$) — без прижима заготовки.

Пример. Рассчитать количество операций и размеры переходов для вытяжки цилиндрической детали наружным диаметром 92 мм и высотой 202 мм из стали 08 толщиной 2 мм.

Расчетный диаметр по средней линии составляет 90 мм.

Находим припуск на обрезку по табл. 34. Для отношения $h/d = 2,4$ припуск равен 8 мм. Таким образом, высота детали с припуском на обрезку составляет $h = 210$ мм.

Подсчитываем диаметр заготовки D по формуле (1) табл. 32; для $d = 90$ мм и $h = 210$ мм $D = 290$ мм.

Находим относительную толщину заготовки $(S/D) 100 = 0,69$.

По табл. 45 (третья колонка справа) находим коэффициенты вытяжки $m_1 = 0,54$; $m_2 = 0,75$; $m_3 = 0,77$; $m_4 = 0,80$.

Диаметры переходов по средней линии: $d_1 = 0,54 \cdot 290 = 157$ мм; $d_2 = 0,75 \cdot 157 = 118$ мм; $d_3 = 0,77 \cdot 118 = 91$ мм; берем $d_3 = 90$ мм (задано); тогда коэффициент последней вытяжки составит: $m_3 = 90/118 = 0,76$, что по табл. 45 допустимо. В тех случаях, когда последняя операция вытяжки получается недогруженной, необходимо выровнять степень деформации по операциям и откорректировать коэффициенты вытяжки в сторону некоторого их увеличения.

Для облегчения процесса вытяжки принимаем на первых двух операциях форму переходов со скосом у дна (рис. 103), а на последней операции — цилиндра с требуемым радиусом закругления.

По формуле (15) табл. 32 или по формулам табл. 49 подсчитываем пооперационную высоту вытягиваемых деталей: $h_1 = 108$ мм; $h_2 = 160$ мм; $h_3 = 210$ мм.

Результаты полученных подсчетов являются исходными данными для проектирования штампов, а также для определения усилия вытяжки и выбора пресса.

Приведенные в табл. 45 коэффициенты первой вытяжки относятся к способу вытяжки с прижимом-складкодержателем.

Применение складкодержателя вызывается необходимостью предотвращения образования гофров, возникающих в результате потери устойчивости заготовки при

глубокой вытяжке (рис. 104). Однако для процесса вытяжки прижим заготовки нежелателен, так как он значительно увеличивает вредное сопротивление трения, а следовательно, растягивающие напряжения в опасном сечении, и ухудшает условия вытяжки. Кроме того, складкодержатель усложняет конструкцию штампа и удорожает его.

Таким образом, необходимость применения прижима-складкодержателя зависит от потери устойчивости заготовки при вытяжке, которая, в свою очередь, зависит от степени деформации (коэффициента вытяжки), относительной толщины заготовки и геометрии вытяжной матрицы.

Приближенное условие потери устойчивости заготовки

$$(S/D) 100 \leq 4,5 (1 - m_1).$$

В ряде случаев вытяжка может быть произведена без прижима.

В табл. 47 приведены приближенные данные, характеризующие возможности применения вытяжки без складкодержателя.

47. Пределы применения вытяжки с прижимом и без прижима заготовки

Способ вытяжки	Относительная толщина (S/D) 100%	Коэффициенты вытяжки	
		m_1	m_2
Вытяжка с прижимом	2—0,05	0,46—0,6	0,70—0,8
Вытяжка без прижима	> 3—1,0	0,60—0,8	0,78—0,9

При вытяжке без прижима-складкодержателя применяют матрицы конической или криволинейной формы — по эвольвенте (рис. 105). В последнем случае достижима более высокая степень деформации и меньшая величина фестонов.

48. Предельная (наименьшая) величина коэффициентов вытяжки без складкодержателя и штампе с конической матрицей

Отношение d_2/d_1	Коэффициенты при относительной толщине заготовки (S/D) 100 %				
	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0
0,6	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58
0,7	0,58	0,60	0,62	0,64	0,66
0,8	0,66	0,68	0,70	0,72	0,75

Примечание. d_2/d_1 — отношение нижнего диаметра конуса матрицы к верхнему

Вытяжка без прижима нашла применение при изготовлении цилиндрических, конических и даже квадратных изделий без фланца из относительно толстого металла.

Практически ввядрен способ первой операции вытяжки в штампе с конической матрицей и таким же прижимом (рис. 106)¹. В этом случае сначала прижимом формирует фланец заготовки, а затем вытяжной пуансон производит полную или частичную вытяжку. При этом снижаются усилие вытяжки и напряжения в опасном сечении,

¹ Авторы Ю. В. Яницкий и М. А. Платонов.

благодаря чему за одну операцию возможно произвести вытяжку с коэффициентом $m_1 = 0,42 \div 0,46$ (вместо обычных 0,52—0,56). Угол β зависит от относительной толщины заготовки и коэффициента вытяжки.

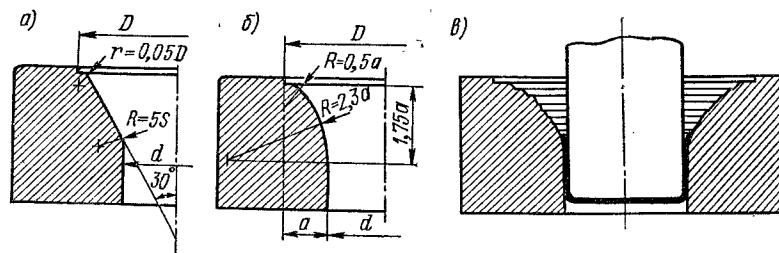


Рис. 105. Профиль матричного отверстия при вытяжке без прижима: а — конический; б — криволинейный; в — криволинейный с закругленными рисками

Для повышения устойчивости относительно тонких материалов и уменьшения угла α рекомендуется применять кроме конического дополнительный кольцевой плоский прижим (по В. Селлину), предохраняющий от образования гофров по краю заготовки.

При технологических расчетах многооперационной вытяжки наряду с определением количества и последовательности операций требуется подсчитать высоту вытяжки на каждой операции. Эти данные необходимы для конструирования штампа, а также для определения величины рабочего хода и закрытой высоты прессы.

В табл. 49 приведены формулы для подсчета высоты цилиндрических деталей (глубина вытяжки) на каждой операции, основанные на принципе равенства площадей поверхности изделий и заготовки. Так как высота вытяжки зависит не только от диаметра заготовки и диаметра детали (коэффициента вытяжки), но также и от геометрической формы дна, то расчетные формулы установлены для деталей шести разных типов.

При выводе расчетных формул приняты следующие условия и допущения:

- 1) для цилиндра с плоским дном принято $r = 0$;
- 2) для цилиндра с закруглениями у дна радиусы их взяты равными:

$$r_1 = (d_1 - d_2)/2; \quad r_2 = (d_2 - d_3)/2 \text{ и т. д.};$$

- 3) для цилиндра со скосами у дна их катеты приняты равными:

$$a_1 = (d_1 - d_2)/2; \quad a_2 = (d_2 - d_3)/2; \quad \alpha = 45^\circ$$

(закругления у скосов не учитываем);

- 4) для цилиндра с широким фланцем радиусы закруглений у дна и фланца приняты одинаковыми;

- 5) для всех форм (кроме цилиндра с утоненными стенками) изменение толщины материала не учитывается, что в большинстве случаев несколько увеличивает фактическую высоту вытяжки против расчетной.

Высота вытяжки h должна включать необходимый припуск на обрезку неровного края; следовательно, диаметр заготовки D должен быть подсчитан с учетом припуска на обрезку.

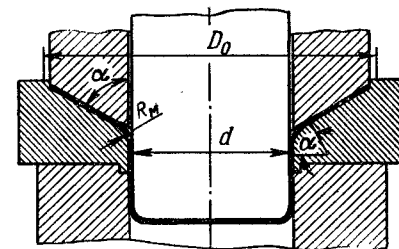
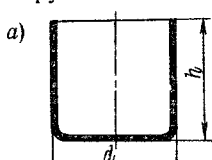
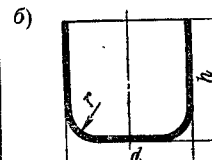
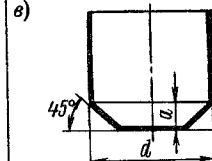
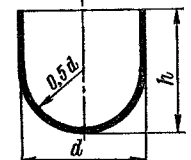
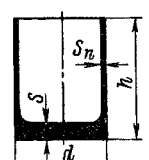
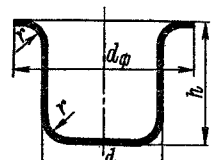


Рис. 106. Способ вытяжки с формирующим коническим прижимом (по Платонову и Яницкому)

49. Формулы для подсчета пооперационной высоты вытяжки деталей цилиндрической формы [120]

Тип	Форма детали	Операция вытяжки	Формулы
1	Цилиндр с плоским дном и малым радиусом закругления а) 	1-я	$h_1 = 0,25 \left(\frac{D}{m_1} - d_1 \right)$
		2-я	$h_2 = 0,25 \left(\frac{D}{m_1 m_2} - d_2 \right)$
		n-я	$h_n = 0,25 \left(\frac{D}{m_1 m_2 \dots m_n} - d_n \right)$
2	Цилиндр с большим радиусом закругления у дна б) 	1-я	$h_1 = 0,25 \left(\frac{D}{m_1} - d_1 \right) + 0,43 \frac{r_1}{d_1} \times (d_1 + 0,32r_1)$
		2-я	$h_2 = 0,25 \left(\frac{D}{m_1 m_2} - d_2 \right) + 0,43 \frac{r_2}{d_2} \times (d_2 + 0,32r_2)$
		n-я	$h_n = 0,25 \left(\frac{D}{m_1 m_2 \dots m_n} - d_n \right) + 0,43 \frac{r_n}{d_n} (d_n + 0,32r_n)$
3	Цилиндр со скосом у дна в) 	1-я	$h_1 = 0,25 \left(\frac{D}{m_1} - d_1 \right) + 0,57 \frac{a_1}{d_1} \times (d_1 + 0,86a_1)$
		2-я	$h_2 = 0,25 \left(\frac{D}{m_1 m_2} - d_2 \right) + 0,57 \frac{a_2}{d_2} (d_2 + 0,86a_2)$
		n-я	$h_n = 0,25 \left(\frac{D}{m_1 m_2 \dots m_n} - d_n \right) + 0,57 \frac{a_n}{d_n} (d_n + 0,86a_n)$

Продолжение табл. 49

Тип	Форма детали	Операция вытяжки	Формулы
4	Цилиндр со сферическим дном 	1-я	$h_1 = 0,25 \frac{D}{m_1}$
		2-я	$h_2 = 0,25 \frac{D}{m_1 m_2}$
		n-я	$h_n = 0,25 \frac{D}{m_1 m_2 \dots m_n}$
5	Цилиндр с утоненными стенками 	1-я	$h_1 = 0,25 \left(\frac{D}{m_1} - d_1 \right) \frac{S}{S_1} + S$
		2-я	$h_2 = 0,25 \left(\frac{D}{m_1 m_2} - d_2 \right) \frac{S}{S_2} + S$
		n-я	$h_n = 0,25 \left(\frac{D}{m_1 m_2 \dots m_n} - d_n \right) \frac{S}{S_n} + S$
6	Цилиндр с широким фланцем 	1-я	$h_1 = 0,25 \left(\frac{D}{m_1} - \frac{d_{\Phi}^2}{d_1} + 3,44r_1 \right)$
		2-я	$h_2 = 0,25 \left(\frac{D}{m_1 m_2} - \frac{d_{\Phi}^2}{d_2} + 3,44r_2 \right)$
		n-я	$h_n = 0,25 \left(\frac{D}{m_1 m_2 \dots m_n} - \frac{d_{\Phi}^2}{d_n} + 3,44r_n \right)$

Обозначения: D — диаметр заготовки; d_1, d_2, \dots, d_n — пооперационные диаметры детали; a_1, a_2, \dots, a_n — пооперационные размеры скосов; m_1, m_2, \dots, m_n — пооперационные коэффициенты вытяжки; S, S_1, S_2, \dots, S_n — толщина заготовки и пооперационные толщины стенок; d_{Φ} — диаметр фланца; r_1, r_2, \dots, r_n — пооперационные радиусы закруглений.

При вытяжке деталей, не требующих большой точности размеров, подсчет производится по наружным размерам детали. В случае более точной вытяжки небольших деталей, учитывая утонение материала, подсчет производят по внутренним размерам; при вытяжке материала толщиной свыше 1 мм подсчеты производятся по средней линии толщины стенок.

Многооперационная вытяжка при $r = 0$ практически не применяется. Радиус закругления, близкий к нулю, получается только после операции калибровки. С некоторой погрешностью формулы, соответствующие типу 1 (табл. 49), можно применять для деталей с малым радиусом закругления у дна. При этом припуск на обрезку можно не учитывать, так как вследствие принятого допущения ($r = 0$) диаметр заготовки получается несколько увеличенным.

Ниже приведены табл. 50—52, позволяющие найти высоту первой вытяжки по заданному диаметру заготовки и коэффициенту вытяжки без каких-либо подсчетов по формулам.

50. Высота цилиндрических деталей (мм) с малым радиусом закругления у дна (табл. 49, эскиз а)

Диаметр заготовки, мм	Высота детали h_1 на первой операции при коэффициенте вытяжки m_1						
	0,45	0,48	0,50	0,53	0,55	0,58	0,60
30	13	12	11	20	9,5	9	—
40	18	16	15	14	13	12	—
50	22	20	19	17	16	15	—
60	26	24	22	20	19	18	—
70	31	28	26	24	22	20	19
80	35	32	30	27	26	23	22
90	40	36	34	30	29	26	24
100	44	40	37	34	32	29	27
120	—	48	45	40	38	35	32
150	—	60	55	50	48	44	40
180	—	72	67	60	58	52	50
200	—	80	75	68	64	58	55

51. Высота цилиндрических деталей (мм) с большим радиусом закругления у дна (табл. 49, эскиз б)

Диаметр заготовки, мм	Высота деталн h_1 на первой операции при коэффициенте вытяжки m_1						
	0,45	0,48	0,50	0,53	0,55	0,59	0,60
30	14	13	12	11	10	10	—
40	19	17	16	15	14	13	—
50	23	21	20	17	16	15	—
60	28	26	24	22	21	20	—
70	33	30	28	26	24	22	21
80	37	34	32	29	28	25	24
90	42	38	36	32	32	29	27
100	47	43	40	37	35	32	30
120	—	52	49	44	42	39	36
150	—	65	60	55	53	49	45
180	—	77	72	65	63	57	55
200	—	86	81	74	70	64	61

52. Высота цилиндрических деталей (мм) со скосами у дна (табл. 49, эскиз в)

Диаметр заготовки, мм	Высота детали h_1 на первой операции при коэффициенте вытяжки m_1						
	0,48	0,50	0,53	0,55	0,58	0,60	0,62
120	53	50	45	43	40	37	—
150	66	61	56	52	50	46	—
180	79	74	67	65	59	57	—
200	88	83	76	72	66	63	58
250	110	103	95	90	83	78	73
300	132	122	114	108	98	92	86
350	154	144	134	126	116	108	102
400	176	166	152	144	132	123	115
450	198	184	172	162	148	140	130
500	220	205	190	180	165	155	145
550	242	226	210	198	182	172	160
600	264	244	228	216	200	185	173

При пользовании приведенными выше формулами коэффициенты вытяжки должны соответствовать допустимым. Их следует выбирать в зависимости от относительной толщины заготовки по табл. 45.

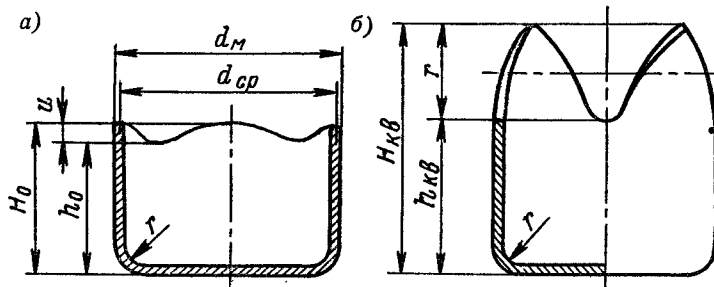


Рис. 107. Вытяжка колпачков из квадратной заготовки

Следует предостеречь от применения многооперационной вытяжки высоких цилиндрических (трубчатых) деталей малого диаметра, которые более целесообразно изготавливать вытяжкой с утонением стенок, так как этот способ требует меньшего количества операций. В ряде случаев такие детали целесообразно изготавливать методом холодного выдавливания, при котором требуются одна-две операции.

В Польше¹ разработан оригинальный способ вытяжки цилиндрических деталей из квадратной заготовки [198]. Этот способ компенсирует влияние анизотропии и потери металла на фестонообразование.

При вытяжке цилиндрических деталей из круглых заготовок, особенно в штампах без прижима, по краю изделий образуются так называемые «фестоны» u . Выступающая часть фестонов у стальных заготовок всегда расположена по направлению прокатки и перпендикулярно к ней. Под 45° к направлению прокатки расположены впадины (рис. 107, а). У алюминия, алюминиевых и некоторых других сплавов расположение выступов и волн смещено на 45° .

¹ Институт Пластической обработки (JNOP), Познань, автор Я. Галыновский.

На рис. 107, б показана вытянутая деталь из квадратной заготовки. Углы заготовки превратились в высокие уши. Вытяжка ушей, расположенных на месте впадин и полностью устраняющая их, способствует увеличению полезной высоты вытяжки $h_{кв} \approx (1,18 \div 1,2)h_0$ [198].

Таким образом, вытяжка из квадратной заготовки увеличивает полезную высоту колпачка примерно на 18—20%, что позволяет получить экономию металла в 12—13% против вытяжки из круглых заготовок. Операция обрезки кромок неизбежна при обоих способах вытяжки. Другой новинкой, введенной Я. Галиновским с целью технологического использования влияния анизотропии в процессе вытяжки, является применение матриц с переменной величиной радиуса вытяжных кромок [195]

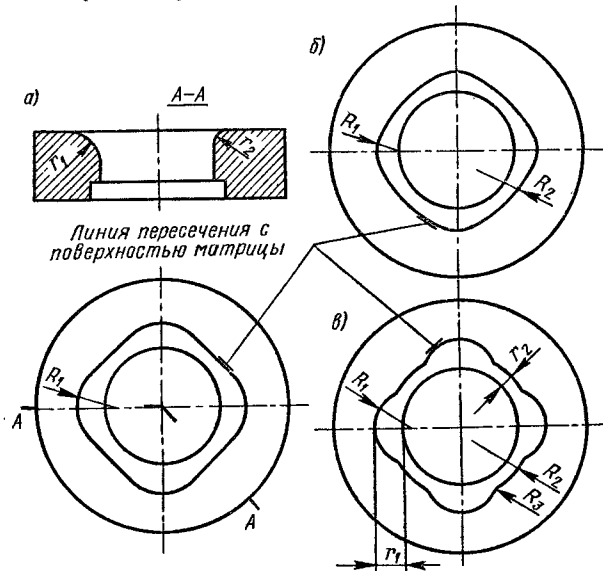


Рис. 108. Матрицы с переменным радиусом закругления (по Я. Галиновскому)

(рис. 108, а—в). Меньший радиус дается в тех местах анизотропной заготовки, в которых требуется затормозить течение металла и увеличить высоту вытяжки и наоборот. Этим способом освоена малоотходная вытяжка из квадратных заготовок цилиндрических ламповых цоколей из стальной и лагуниной ленты толщиной 0,2 мм, производимая на 6-позиционном прессе. При вытяжке из квадратных заготовок достигнута экономия металла на 26% [196].

Аналогичный способ вытяжки цилиндрических деталей из квадратной заготовки, но со срезанными углами предложен В. Г. Кондратенко и Э. А. Назаряном. Этот способ основан на построении линий скольжения в углах квадратной заготовки и исследовании поля деформаций методом муаровых полос [59]. Однако эти исследования не связаны с анизотропией листового металла и не учитывают разного характера фигур плоской анизотропии для разных металлов (см. пятый раздел, гл. I).

Реверсивная вытяжка (с выворачиванием)

Реверсивная вытяжка представляет собой в большинстве случаев соединение двух операций вытяжки, выполняемых за один рабочий ход пресса, причем вторая вытяжка происходит в направлении, обратном первой, и сопровождается выворачиванием заготовки. При этом можно получить более высокую степень деформации. Этот

способ применяется главным образом для вытяжки деталей крупных или средних размеров при относительной толщине заготовки $(S/D)_{100} > 0,25$.

На рис. 109 показана последовательность вытяжки с выворачиванием (этапы а, б, в) на прессе двойного действия крупной детали из стальной заготовки диаметром 965 мм и толщиной 2,5 мм.

Изменение толщины материала по высоте вытяжки достигает в опасных сечениях (точки А, В и С) —10%, а у края детали +30%.

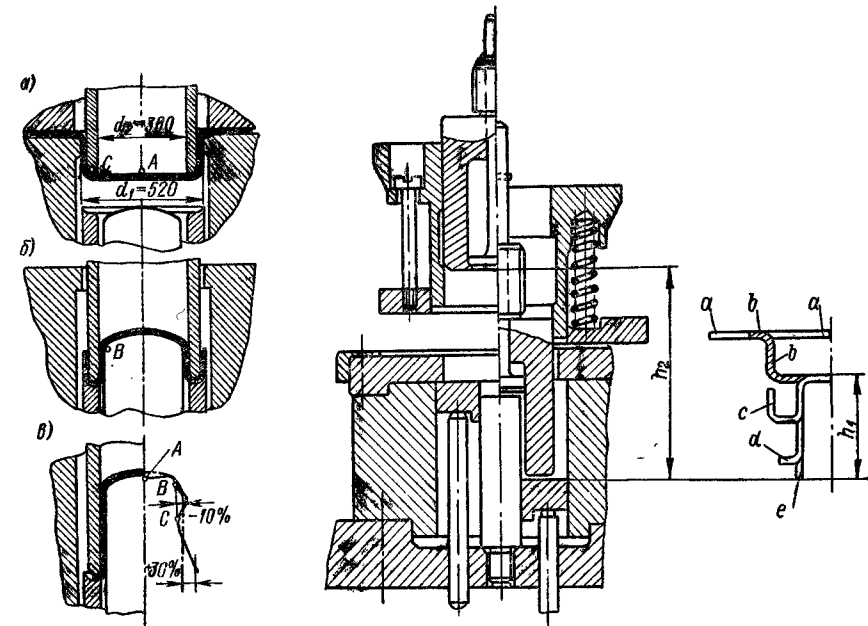


Рис. 109. Процесс реверсивной вытяжки (с выворачиванием)

Рис. 110. Схема штампа для реверсивной вытяжки

Усилие вытяжки в данном случае составляет 200—250 тс. Усилие нижнего прижима-выталкивателя 70—100 тс. Скорость вытяжки $v = 100$ мм/с.

На рис. 110 изображена схема штампа для реверсивной вытяжки на прессе двойного действия. Справа показаны последовательные этапы формоизменения заготовки (а—е).

Реверсивную вытяжку деталей средних размеров иногда производят одновременно с вырубкой кружка, для чего в конструкцию штампа вводится вырубная матрица, устанавливаемая над вытяжкой.

В ряде случаев реверсивная вытяжка применяется и для одной последующей операции вытяжки с целью увеличения растягивающих и уменьшения сжимающих напряжений. Это наиболее целесообразно при вытяжке деталей со сферическим и коническим дном, а также деталей параболической или криволинейной формы. Реверсивная вытяжка применяется также для изготовления двустенных полых деталей.

Для реверсивной вытяжки требуется пресс с большой величиной хода ($h_2 > 2h_1$, рис. 110).

Технологические расчеты при вытяжке цилиндрических деталей с широким фланцем

Технологические расчеты вытяжки цилиндрических деталей с фланцем имеют ряд отличительных особенностей. При вытяжке деталей с широким фланцем следует строго соблюдать основные правила:

1) в первую операцию вытягивается деталь с заданным по чертежу диаметром фланца (с прибавлением припуска на обрезку) при допустимых коэффициентах вытяжки;

2) в последующих операциях производится перераспределение металла вытянутой цилиндрической части заготовки путем увеличения высоты и уменьшения диаметра вытяжки без деформирования фланца, полученного в первой операции, и без изменения его диаметра (рис. 111, а); это позволяет уменьшить очаг деформации и значительно снизить величину напряжений в опасном сечении;

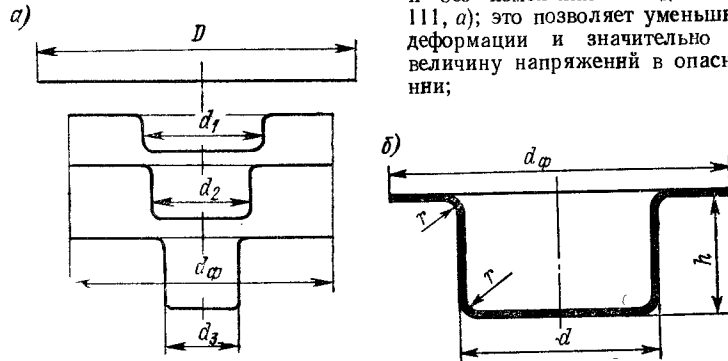


Рис. 111. Последовательность вытяжки детали с широким фланцем (а) и вытянутая деталь (б)

3) в первой операции в матрицу должно быть втянуто столько металла, сколько требуется для образования окончательно вытянутой части изделия и металла, образно посаженного на плоскость фланца в последующих операциях (находится подсчетом и графическим построением).

При вытяжке деталей с широким фланцем (рис. 111, б) обычный коэффициент первой вытяжки $m = d/D$ не дает правильного представления об общей степени деформации, так как эта зависимость сохраняется при любой глубине вытяжки из заготовки диаметром D и может быть отнесена к любому промежуточному положению.

При одном и том же диаметре вытягиваемого изделия d и одном и том же диаметре заготовки D величина указанного коэффициента вытяжки одинакова как для детали с фланцем, так и без фланца, в то время как степень деформации при вытяжке детали с фланцем значительно меньше, чем у детали без фланца. Применять эти коэффициенты для расчета первой вытяжки деталей с фланцем не следует потому, что они действительны лишь при условии полной вытяжки фланца в цилиндрическую поверхность детали, что не осуществляется при вытяжке деталей с фланцем. В крайнем случае при их применении необходимо вводить соответствующие поправки.

На рис. 112 приведена зависимость наибольшей высоты вытяжки h от исходного диаметра заготовки D_0 (при $d = 50$ мм; $r_m = 5$ мм; $S = 0,8$ мм). На рисунке разграничены отдельные области: I — вытяжка цилиндрических деталей без фланца (линия А—В); II — вытяжка деталей с широким фланцем (линия В—С), причем в точке С диаметр фланца равен $D_{\text{ф}} \approx 250$ мм; III — вытяжка деталей с весьма большим фланцем без увеличения высоты вытяжки h .

В технологических расчетах вытяжки деталей с широким фланцем целесообразно пользоваться такими показателями или коэффициентами, которые полностью соответствовали бы осуществляемой степени деформации.

В качестве такого показателя автором предложен *условный коэффициент первой вытяжки*, представляющий собой отношение диаметра вытянутой части d к диаметру

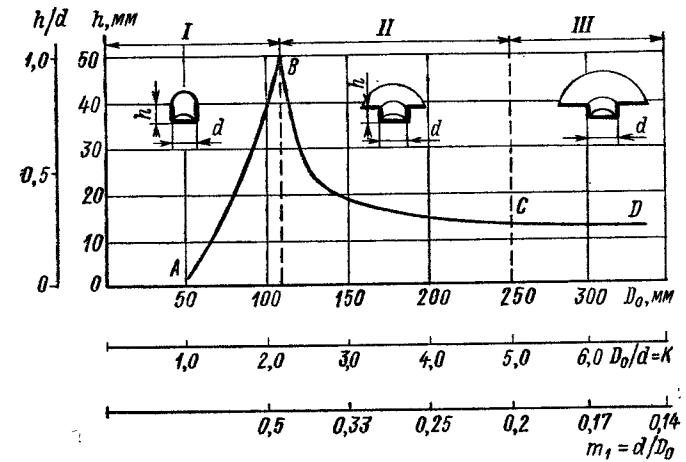


Рис. 112. Зависимость относительной высоты вытяжки от относительного диаметра заготовки

той заготовки, которая понадобилась бы для изготовления стакана диаметром d и высотой h ,

$$m_y = \frac{1}{\sqrt{1 + 4h/d}}$$

В табл. 53 приведены предельно допустимые коэффициенты первой вытяжки $m_1 = d_1/D$ для цилиндрических деталей с фланцем, которые уменьшаются по мере увеличения размеров фланца. Постепенное уменьшение коэффициентов первой вытяжки является результатом увеличения размеров фланца и уменьшения отношения d/D .

53. Наименьшие значения коэффициентов первой вытяжки для цилиндрических деталей с фланцем ($m_1 = d_1/D$)

Относительный диаметр фланца $d_{\text{ф}}/d$	Значения коэффициентов m_1 при относительной толщине заготовки (S/D) 100%				
	2,0—1,5	1,5—1,0	1,0—0,5	0,5—0,2	0,2—0,06
До 1,1	0,50	0,53	0,55	0,57	0,59
1,3	0,49	0,51	0,53	0,54	0,55
1,5	0,47	0,49	0,50	0,51	0,52
1,8	0,45	0,46	0,47	0,48	0,48
2,0	0,42	0,43	0,44	0,45	0,45
2,2	0,40	0,41	0,42	0,42	0,42
2,5	0,37	0,38	0,38	0,38	0,38
2,8	0,33	0,34	0,34	0,35	0,35

При первой вытяжке цилиндрических деталей с фланцем степень деформации может быть выражена также через наибольшую относительную глубину вытяжки h/D (табл. 54).

54. Приближенные значения относительной глубины первой вытяжки h/d цилиндрических деталей с фланцем

Относительный диаметр фланца $d_{\text{ф}}/d$	Значения h/d при относительной толщине заготовки $(S/D) 100\%$				
	2,0—1,5	1,5—1,0	1,0—0,5	0,5—0,2	0,2—0,06
До 1,1	0,90—0,75	0,82—0,60	0,70—0,57	0,62—0,50	0,52—0,45
1,3	0,80—0,65	0,72—0,56	0,60—0,50	0,53—0,45	0,47—0,40
1,5	0,70—0,58	0,63—0,50	0,53—0,45	0,48—0,40	0,42—0,35
1,8	0,58—0,48	0,53—0,42	0,44—0,37	0,39—0,34	0,35—0,29
2,0	0,51—0,42	0,46—0,36	0,38—0,32	0,34—0,29	0,30—0,25
2,2	0,45—0,35	0,40—0,31	0,33—0,27	0,29—0,25	0,26—0,22
2,5	0,35—0,28	0,32—0,25	0,27—0,22	0,23—0,20	0,21—0,17
2,8	0,27—0,22	0,24—0,19	0,21—0,17	0,18—0,15	0,16—0,13

Примечание. Большие значения соответствуют увеличенным радиусам закруглений от $r = (10 \div 12) S$ для $(S/D) 100 = 2 \div 1,5$ до $r = (20 \div 25) S$ для $(S/D) 100 = 0,2 \div 0,06$. Меньшие значения соответствуют уменьшенным радиусам закруглений у дна и фланца $r \approx (4 \div 8) S$.

Если деталь с заданными отношениями $d_{\text{ф}}/d$, r/S и S/D имеет большую относительную глубину h/d , чем указано в табл. 54, то она не может быть вытянута за одну операцию. В этом случае необходимо производить первую вытяжку увеличенного диаметра при одновременном получении требуемого наружного диаметра фланца. Следовательно, вытяжка должна быть осуществлена при меньшем отношении $d_{\text{ф}}/d$, причем относительная глубина вытяжки не должна превышать указанной в табл. 54 величины.

Дальнейшие операции вытяжки деталей с фланцем заключаются в перетяжке цилиндрической части в цилиндр меньшего диаметра без изменения наружного размера фланца. Следовательно, на последующих операциях вытяжки должна быть произведена на такую глубину, чтобы фланец, полученный в первую операцию, не вытягивался, а наружный размер его не уменьшался. Из этого условия определяется точная высота вытяжки и радиусы закруглений.

В большинстве случаев последующие операции вытяжки деталей с фланцем выполняются на штампах с пружинным прижимом или съемником. Последние благоприятствуют процессу вытяжки, так как создают заталкивающее действие на заготовку, уменьшающее растягивающие напряжения в опасном сечении.

Количество последующих операций определяется необходимостью перетяжки диаметра первой вытяжки d_1 в требуемый диаметр детали d_n . Технологические расчеты переходов производятся по коэффициентам вытяжки, не зависящим от размеров фланца $m_n = d_n/d_{n-1}$. Величина этих коэффициентов может быть взята равной коэффициентам вытяжки цилиндрических деталей без фланца (см. табл. 45). Однако для построения технологических переходов одного расчетного измерения диаметра вытяжки недостаточно.

Условие неизменности наружного размера фланца и недопустимости растягивающих напряжений на последующих операциях требует тщательного подсчета перераспределения металла по переходам.

Основой подсчета является постоянство объема или площади поверхности металла заготовок

$$F = F_1 + f_{\text{пл}} = \text{const},$$

где F_1 — площадь поверхности металла, втягиваемого в матрицу на первой операции; $f_{\text{пл}}$ — поверхность плоского фланца.

При многооперационной вытяжке деталей с фланцем из относительно толстых заготовок $[(S/D)100 > 2]$, у которых на последующих операциях вытяжки происходит небольшая посадка металла и утолщение фланца, расчетное количество металла, втягиваемого в матрицу на первой операции вытяжки, следует увеличить на 3—5%.

После установления коэффициентов вытяжки и определения количества операций находят последовательность изменения диаметров вытяжки, одновременно устанавливая постепенно уменьшающиеся радиусы закруглений.

Подсчет равномерного перераспределения металла, производимый на основе неизменности объема металла, сводится к определению высоты (глубины) вытяжки на каждом переходе (операции). При этом подсчет поверхности производится по средней линии толщины заготовки. Поверхность каждого перехода разбивают на элементы, имеющие геометрически простую форму поверхности, и подсчитывают их площади по формулам, приведенным в табл. 31.

Искомой величиной является высота (глубина) вытяжки, которую находят, приравняв сумму площадей элементарных поверхностей площади поверхности заготовки. Однако эти подсчеты можно упростить. Определив диаметры вытяжек и выбрав радиусы закруглений, глубину вытяжки можно найти непосредственно по конечным формулам:

для первой вытяжки

$$h_1 = \frac{D^2 - d_{\text{ф}}^2}{4d_1} + 0,86r_1,$$

для n -й вытяжки

$$h_n = \frac{D^2 - d_{\text{ф}}^2}{4d_n} + 0,86r_{n1},$$

где h_1, \dots, h_n — полная высота деталей (от дна до фланца).

Приравняв площади поверхности по операциям F_1, F_2 , можно выразить глубину последующей цилиндрической вытяжки через известную глубину предыдущей

$$h_2 = \frac{h_1 - 0,86r_1}{m_2} + 0,86r_2,$$

соответственно (кроме $n = 1$)

$$h_n = \frac{h_{n-1} - 0,86r_{n-1}}{m_n} + 0,86r_n,$$

где m_2 и m_n — коэффициенты вытяжки на соответствующих операциях.

Указанные формулы действительны для цилиндрической формы переходов при условии равенства радиусов закруглений у дна и фланца. В случае разной величины радиусов закруглений расчетные формулы приобретают следующий вид:

$$h_1 = \frac{D^2 - d_{\text{ф}}^2}{4d_1} - (r_{1\text{ф}} + r_{1\text{д}}) \left[0,14 \left(\frac{r_{1\text{ф}} - r_{1\text{д}}}{d_1} \right) - 0,43 \right];$$

$$h_n = \frac{D^2 - d_{\text{ф}}^2}{4d_n} - (r_{n\text{ф}} + r_{n\text{д}}) \left[0,14 \left(\frac{r_{n\text{ф}} - r_{n\text{д}}}{d_n} \right) - 0,43 \right].$$

Сумма площадей элементарных поверхностей может быть подсчитана по схеме, в которой высота h относится к цилиндрической части, а не к полной высоте вытяжки (см. табл. 31). Но в этом случае конечные расчетные формулы для определения h получаются более сложными.

Если же геометрическая форма вытяжки более сложная, например полусферическая, коническая, ступенчатая или иная, подсчет перераспределения металла производят по геометрическим формулам элементов поверхности или по правилу Гюльдена.

Глубокая вытяжка деталей с небольшим фланцем ($d_{\text{ф}}/d = 1,1 \div 1,4$ при $h/d > 1$) производится обычным способом путем вытяжки на первой операции цилиндрической заготовки без фланца, перетяжки ее на последующих операциях с образованием конического фланца (в результате вытягивания металла из под конусного прижима) и правки его на плоскость.

Технологические расчеты при последовательной вытяжке в ленте

Технологические расчеты при последовательной вытяжке в ленте заключаются в выборе способа штамповки (однорядная или многорядная, с надрезкой ленты или в целой ленте), в определении числа вытяжных переходов и их диаметров, в распределении перетягиваемого металла по отдельным переходам и подсчете высоты вытяжки по переходам, в распределении по позициям штампа прочих переходов — калибровки, пробивки, обрезки и т. п. В результате расчетов получаем технологическую схему последовательной штамповки, в соответствии с которой разрабатывается конструкция штампа.

Существуют два технологически различных способа последовательной вытяжки в ленте: вытяжка в целой ленте и вытяжка с надрезкой ленты или вырезкой промежутков (рис. 113).

Первый способ применяется при вытяжке мелких деталей из относительно толстого и пластичного материала при малой величине фланца:

$$S \geq 0,05d; \quad d_{\phi} = (1,1 \div 1,2) d,$$

где d_{ϕ} — диаметр фланца; d — диаметр готовой детали.

Второй способ применяется при вытяжке деталей из относительно тонкого материала, а также деталей с широким фланцем:

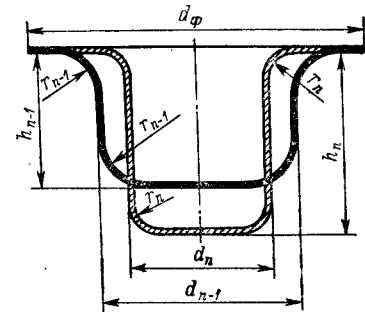
$$S < 0,05d; \quad d_{\phi} > 1,2d.$$

Первый способ более экономичен по расходу материала, но применяется главным образом для многорядной вытяжки небольших цилиндрических деталей. Второй способ дает несколько большую величину отходов, но более универсален и применим для вытяжки деталей цилиндрической, конической, прямоугольной и сложной формы.

Размеры заготовок при вытяжке в ленте подсчитываются различно для случая вытяжки в ленте с надрезами и в целой ленте. И в том и в другом способе подсчет размеров заготовки и перераспределение материала по переходам следует производить весьма точно по средней толщине детали с учетом всех радиусов закруглений.

При вытяжке с надрезной ленты размеры заготовок определяют, как при вытяжке из штучных заготовок, исходя из равенства площадей поверхности заготовки и вытягиваемой детали и принимая, что средняя толщина стенок равна толщине исходной заготовки.

Рис. 113. Схема последующей вытяжки детали с широким фланцем



В этом случае применяют формулы площадей элементов поверхности (см. табл. 31) или способ подсчета, основанный на правиле Гюльдена.

Приравнивая суммарную площадь поверхности детали поверхности круглой заготовки, находим ее диаметр по формуле

$$D = 1,13 \sqrt{\Sigma f} = 2,83 \sqrt{\Sigma r}.$$

При вытяжке в целой ленте определяют диаметр условной заготовки, учитывая коэффициент утонения материала, равный при однорядной вытяжке $\alpha = 0,96 \div 0,98$, а при многорядной вытяжке $\alpha = 0,92 \div 0,95$. Так как при вытяжке в целой ленте первая вытяжка делается несколько больших размеров, чем требуется для образования готовой детали, то диаметр условной заготовки берется больше расчетного на 8—10%.

На рис. 114 приведены наиболее распространенные типы раскроя и надрезов ленты,

55. Диаметральный припуск на обрезку, мм

Расчетный диаметр заготовки, мм	Припуск при толщине ленты, мм										
	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0
До 10	1,2	1,0	1,2	1,5	1,8	2,0	—	—	—	—	—
10—30	1,2	1,2	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	3,0	—	—	—
30—60	1,2	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,8	3,0	3,5	4	5
Св. 60	—	—	2,0	2,2	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5	6

Рассмотрим определение ширины ленты для этих случаев, а также для вытяжки в целой ленте. Фактический размер заготовки берется больше расчетного на величину припуска b на кольцевой отход при вырезке $D_3 = D + b$.

Припуски на обрезку (на диаметр) приведены в табл. 55.

Фактическая ширина кольцевого отхода будет несколько больше расчетной вследствие растяжения материала при вытяжке.

Ширина ленты для трех типов раскроя (рис. 114) определяется по следующим формулам:

для раскроя с двойным надрезом (рис. 114, а)

$$B = D_3 + 4n_2;$$

для раскроя с вырезкой промежутков (рис. 114, б)

$$B = A + 2n_2 = (1,0 + 1,05)(D + b) + 2n_2;$$

для раскроя с вырезкой промежутков и наружной обрезкой (рис. 114, в)

$$B = D_3 = D + b;$$

для однорядной вытяжки в целой ленте

$$B = D_y + 2n_1 = 1,1D + 2n_1.$$

Здесь D — расчетный диаметр заготовки, мм; b — припуск на обрезку, мм; D_3 — фактический диаметр заготовки.

Остальные обозначения приведены на рис. 114.

Наиболее экономичным по расходу материалов и наиболее удобным в производстве является раскрой с вырезкой промежутков и наружной обрезкой (рис. 114, в). Шаг подачи для вытяжки с надрезом ленты $H = D_3 + n$, а для вытяжки в целой ленте $H = D_y$.

Величина перемычек при последовательной вытяжке в ленте приведена в табл. 56.

При применении последовательно-вытяжных штампов с боковыми шаговыми ножами ширина ленты соответственно увеличивается на двойную ширину кромки, срезаемой ножом (при одном шаговом ноже — на одну ширину).

Штампы с боковыми шаговыми ножами применяют в основном для ручной подачи заготовки. При последовательной вытяжке в ленте шаговые ножи не являются необходимыми, так как полученная на первых переходах в ленте сферическая выпуклость позволяет центрировать ее по гнездам матриц следующих переходов, пока

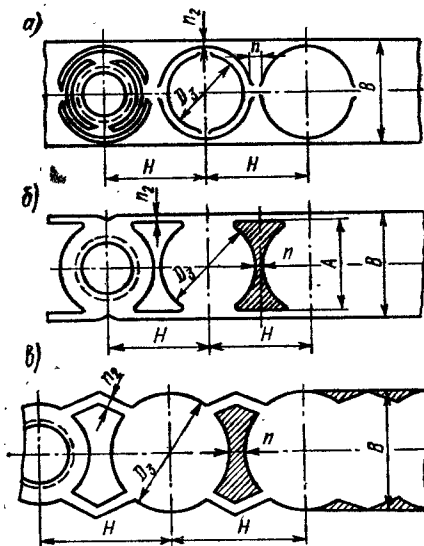


Рис. 114. Наиболее распространенные типы раскроя и надрезов ленты

лента не дойдет до постоянного или автоматического упора. Ширина срезаемой кромки должна быть несколько больше погрешности резки полос или допусков по ширине ленты. Ширина кромки, срезаемой шаговым ножом, приведена в табл. 57.

56. Величина перемычек при последовательной вытяжке в ленте, мм

Размеры заготовок D_3 , мм	Перемычки между деталями n	Величина боковых перемычек	
		при вытяжке в целой ленте n_1	при вытяжке с надрезами или вырезами n_2
До 10	1,0—1,5	1,0—1,5	1,5—2,0
10—30	1,5—2,0	1,5—2,0	2,0—2,5
Св. 30	2,0—2,5	2,0—2,5	2,5—3,0

После определения размеров заготовки и ширины ленты производят расчет числа и диаметров вытяжных переходов. Число вытяжных переходов при последовательной вытяжке в надрезанной ленте определяется по допустимой степени деформации, аналогично вытяжке деталей с фланцем, но с коррективами, учитывающими повышенную скорость вытяжки при работе на быстроходных прессах. Для определения допустимой величины первой вытяжки можно пользоваться условными коэффициентами первой вытяжки, предназначенными для расчета вытяжки деталей с фланцем.

Значения условных коэффициентов $m_y = d_1/D_y$ первой вытяжки применительно к последовательной вытяжке в ленте приведены в табл. 58.

58. Значения условных коэффициентов первой вытяжки в ленте

Относительный диаметр фланца d_f/d_1	Коэффициенты при относительной толщине заготовки $(S/D) 100\%$		
	2,0—1,5	1,5—1,0	1,0—0,5
До 1,1	0,50	0,53	0,55
1,5	0,56	0,58	0,60
2,0	0,62	0,64	0,66
2,5	0,68	0,70	0,73

Наряду с указанными коэффициентами приводим соответствующие им по степени деформации наименьшие значения коэффициентов первой вытяжки $m_1 = d_1/D$ деталей с фланцем (табл. 59).

Уменьшение коэффициента первой вытяжки с увеличением диаметра фланца отнюдь не означает повышения степени деформации, а является результатом увеличения размеров фланца и уменьшения численного отношения d/D .

Технологические расчеты первой вытяжки в ленте можно также производить по допустимой глубине первой вытяжки (табл. 60).

При технологических расчетах первой вытяжки в ленте не всегда приходится пользоваться приведенными выше коэффициентами вытяжки. В ряде случаев достаточно руководствоваться следующими указаниями.

57. Ширина кромки, срезаемой боковым шаговым ножом

Толщина материала, мм	Ширина срезаемой кромки, мм
До 0,5	0,6—1,0
0,5—1,2	1,0—1,5
1,5—2,5	1,5—2,0
2,5—3,5	2,0—2,5

59. Наименьшие коэффициенты первой вытяжки для цилиндрических деталей с фланцем

Отношение d_f/d_1	Коэффициенты при относительной толщине заготовки $(S/D) 100\%$		
	2,0—1,5	1,5—1,0	1,0—0,5
1,1	0,51	0,53	0,55
1,5	0,47	0,49	0,50
2,0	0,42	0,43	0,44
2,5	0,37	0,38	0,38

1. Первая вытяжка в надрезанной ленте производится до получения фланца требуемого размера, который остается неизменным на последующих переходах.

2. Большая часть поверхности заготовки должна быть втянута в матрицу первой вытяжки. Плоской частью заготовки на первой вытяжке в некоторых случаях может оставаться лишь припуск на обрезку и соединительные мостики с перемычками.

3. При вытяжке относительно толстых заготовок $[(S/D)100 > 2]$ расчетное количество металла, втягиваемое в матрицу первой вытяжки, повышается на 3—5%.

4. Как правило, при последовательной вытяжке в ленте не следует стремиться к уменьшению числа вытяжных переходов, так как это не приводит к увеличению производительности. В большинстве случаев для большей надежности процесса последовательной штамповки целесообразно смягчить расчетные коэффициенты и ввести дополнительный вытяжной переход.

Количество последующих переходов вытяжки определяется необходимостью перетяжки цилиндра диаметром d_1 в деталь требуемого диаметра, без изменения наружного размера фланца. Технологические расчеты этих переходов производятся по коэффициентам вытяжки, не связанным с размером фланца, $m_n = d_n/d_{n-1}$. Величина этих коэффициентов приведена в табл. 61.

61. Коэффициенты последующих вытяжек деталей с фланцем в надрезанной ленте

Коэффициенты	Значения коэффициентов при относительной толщине заготовки $(S/D) 100\%$		
	2,0—1,5	1,5—1,0	1,0—0,5
m_a	0,73	0,75	0,76
m_b	0,75	0,78	0,79
m_c	0,78	0,80	0,82
m_d	0,80	0,82	0,84

60. Относительная глубина первой вытяжки (h/d_1) в надрезанной ленте

Отношение d_f/d_1	Глубина h/d_1 , при относительной толщине заготовки $(S/D) 100\%$		
	2,0—1,5	1,5—1,0	1,0—0,5
1,1	0,75	0,65	0,56
1,5	0,58	0,50	0,45
2,0	0,42	0,36	0,32
2,5	0,28	0,25	0,22

62. Допустимая относительная глубина h/d_1 первой вытяжки в целой ленте

Условное отношение d_f/d_1	Глубина h/d_1 , при относительной толщине заготовки $(S/D) 100\%$		
	Свыше 2,0	2,0—1,0	1,0—0,5
1,3	0,45	0,40	0,35
1,5	0,40	0,36	0,32
2,0	0,35	0,32	0,30

Диаметры вытяжек обычно подсчитывают по внутренним размерам переходов, иначе говоря, по рабочим размерам вытяжных пуансонов, чего нельзя делать при подсчете перераспределения металла по переходам.

При последовательной вытяжке в целой ленте условия вытяжки ухудшаются, так как возникает неравномерность деформации в продольном и поперечном направлениях, образование складок у края ленты и увеличение растягивающих напряжений в опасном сечении. Поэтому при последовательной вытяжке в целой ленте степень деформации по переходам уменьшают, применяя большую величину коэффициентов вытяжки.

В табл. 62 приведены приближенные значения допустимой глубины первой вытяжки в целой ленте, а в табл. 63 — приближенные коэффициенты последующих вытяжек в целой ленте для стали 10.

Условие неизменности наружного размера фланца при последовательной вытяжке в ленте требует тщательного подсчета равномерного перераспределения металла по переходам. Этот подсчет сводится к установлению постепенно уменьшающихся радиусов закруглений и определению высоты (глубины) вытяжки на каждом

63. Коэффициенты последующих вытяжек в целой ленте

Коэффициенты	Значения коэффициентов при относительной толщине заготовки (S/D) 100%		
	Свыше 2,0	2,0—1,0	1,0—0,5
m_2	0,80	0,82	0,85
m_3	0,82	0,84	0,87
m_4	0,85	0,87	0,90
m_5	0,87	0,89	0,92

рую находят, приравнивая сумму площадей элементарных поверхностей площади поверхности заготовки. Схема подсчета остается той же, что и для вытяжки деталей с широким фланцем. Так же, как и в первом случае, совсем не обязательно производить эти геометрические подсчеты.

Зная диаметры вытяжек по переходам и выбрав радиусы закруглений, глубину вытяжки можно найти по конечным формулам:

для первой вытяжки

$$h_1 = 0,25 (D^2 - d_{\phi}^2) / d_1 + 0,86r_1;$$

для n -й вытяжки

$$h_n = 0,25 (D^2 - d_{\phi}^2) / d_n + 0,86r_1,$$

а также по другим формулам, приведенным на стр. 133.

Здесь h_1, \dots, h_n — полная высота перехода (от дна до фланца).

Для сложной формы переходов (полусферическая, коническая, ступенчатая) подсчет перераспределения металла производят по правилу Гюльдена.

При вытяжке деталей без фланца или с ничтожно малым фланцем отсутствует поверхность, втягиваемая на первой вытяжке и уменьшаемая на последующих вытяжных переходах. Однако правило последовательной вытяжки в ленте должно быть сохранено. При этом размеры заготовки увеличиваются на ширину технологического фланца, который на первой вытяжке втягивается в матрицу, а на операции обрезки удаляется в отход. Ширина ленты должна быть соответственно увеличена. Этот же подсчет применяется и в случае вытяжки в целой ленте, так как этим способом в основном изготавливаются детали с весьма малым фланцем.

На первой вытяжке происходит небольшое растяжение металла и увеличение его поверхности, особенно при вытяжке в целой ленте. Этот излишек набранный металл расходуется в дальнейшем на утолщение фланца по переходам.

Высота вытяжных переходов зависит от степени уменьшения диаметра вытяжки и радиусов закруглений по переходам, причем их влияние взаимно противоположно: уменьшение диаметра увеличивает, а уменьшение радиусов закругления уменьшает высоту вытяжки (при том же количестве перераспределяемого материала и при условии неизменяемости диаметра фланца).

При уменьшении радиуса закругления пуансона высота вытяжки уменьшается на величину

$$\Delta h = 0,43 (r_1 - r_2),$$

где r_1 и r_2 — больший и меньший радиусы закругления пуансона.

При одновременном уменьшении одинаковых радиусов закругления у дна и фланца (без изменения диаметра) высота вытяжки уменьшится на $\Delta h = 0,86 (r_1 - r_2)$. Поэтому при калибровке детали, сопровождаемой резким уменьшением радиусов закруглений, высота вытяжки заметно уменьшается.

Высота вытяжного перехода при одновременном уменьшении и диаметра и радиусов закруглений определяется по формулам, приведенным на стр. 133.

переходе (позиции). Так же, как и при вытяжке деталей с широким фланцем, основной подсчета является постоянство объема (или площади поверхности) металла заготовки по переходам.

Площадь поверхности металла, втянутого на первой операции в матрицу, постепенно уменьшается и процессе вытяжки. Поверхность каждого перехода (по средней линии толщины заготовки) разбивают на элементы, имеющие геометрически простую форму поверхности. Затем подсчитывают их площади по формулам табл. 31. Незвестной величиной остается высота (глубина) вытяжки, кото-

При последовательной вытяжке в ленте радиусы закруглений матрицы берут меньшей величины, чем для обычной вытяжки (табл. 64).

64. Радиусы закруглений пуансона и матрицы при последовательной вытяжке в ленте

Вытяжные переходы	Радиусы закруглений при относительной толщине заготовки (S/D) 100%		
	Св. 2,0	2,0—1,0	1,0—0,5
Первая вытяжка	$(3 + 4) S$	$(4 + 5) S$	$(5 + 6) S$
Последующие вытяжки	$(0,6 + 0,7) r_{n-1}$	$(0,65 + 0,7) r_{n-1}$	$(0,7 + 0,8) r_{n-1}$

Радиусы закруглений матрицы должны постепенно уменьшаться по переходам. Иногда при вытяжке мелких деталей применяют одинаковые радиусы закругления матрицы от второго до последнего вытяжного перехода с добавлением последующей калибровки. При калибровке практически достижимо уменьшение радиуса закругления от двух до пяти раз.

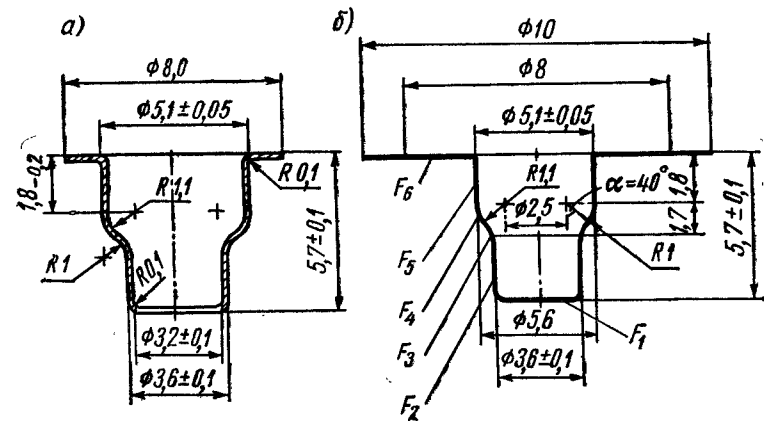


Рис. 115. К расчету последовательной вытяжки в ленте

Радиус закругления пуансона в случае вытяжки деталей средних размеров берется равным, а при вытяжке мелких деталей — несколько больше радиуса закругления матрицы.

Первая вытяжка в последовательных штампах должна производиться с предварительным прижимом заготовки к матрице, а на последующих вытяжках прижим необходим лишь в конце хода для правки фланца.

При последовательной вытяжке достаточно жестких деталей целесообразно, чтобы пружинный съемник производил заталкивание металла в матрицу, а следовательно, уменьшал растягивающие напряжения в опасном сечении. В случае недостаточно жестких мнущихся деталей это недопустимо, вследствие чего ход съемника вниз ограничивают различными способами.

При вытяжке удлиненных деталей весьма малого диаметра на последних переходах пуансоны иногда не ставят, а производят вытяжку путем вдавливания заготовки в матрицу прижимом.

Пример. Рассчитать заготовку, количество переходов и их размеры для последовательной вытяжки детали, показанной на рис. 115, а. Материал — никелевая лента толщиной 0,2 мм.

Принимаем диаметральный припуск на обрезку фланца — 2 мм. Технологический диаметр фланца равен 10 мм.

Для подсчета размеров заготовок разбиваем поверхность детали на шесть геометрически простых поверхностей (F_1, F_2, \dots, F_n на рис. 115, б) и подсчитываем площадь их поверхности по средней линии толщины материала:

$$F_1 = 9,07 \text{ мм}^2; F_2 = 22,43 \text{ мм}^2; F_3 = 9,8 \text{ мм}^2; F_4 = 15,16 \text{ мм}^2; F_5 = 27,7 \text{ мм}^2; F_6 = 58,09 \text{ мм}^2.$$

Общая площадь поверхности $2F = 142,24 \text{ мм}^2$.

Диаметр заготовки $D = 1,13 \sqrt{143} = 13,52 \approx 13,6 \text{ мм}$.

Относительная толщина заготовки $(S/D) 100 = 1,5$.

Принимаем однорядный раскрой ленты с вырезкой промежутков. Ширина ленты 16 мм.

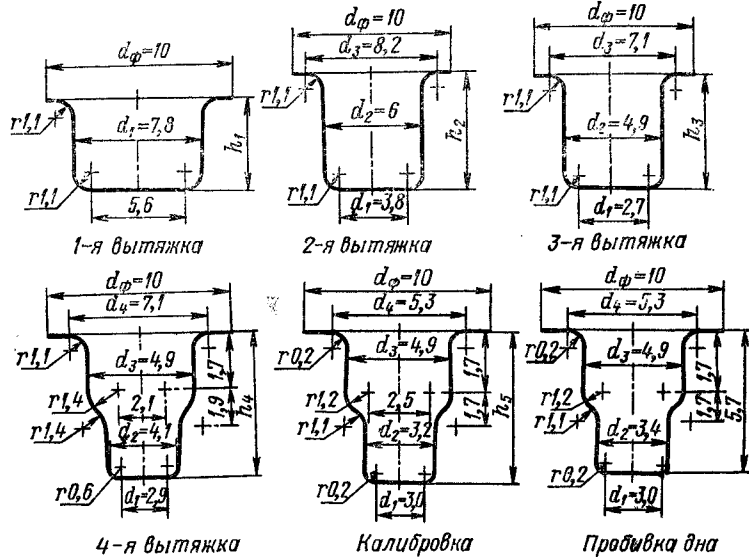


Рис. 116. Определены высоты переходов

Ввиду очень тонкого легко мнущегося материала заготовки необходимо обеспечить большую надежность процесса последовательной вытяжки в ленте. Для этого применяем смягченные (по сравнению с приведенными в таблицах) расчетные коэффициенты вытяжки и определяем наружные диаметры вытяжки.

Первая вытяжка: $m_1 = 0,59$; $d_1 = 13,6 \cdot 0,59 = 8 \text{ мм}$;

вторая вытяжка: $m_2 = 0,78$; $d_2 = 8 \cdot 0,78 = 6,2 \text{ мм}$;

третья вытяжка: $m_3 = 0,82$; $d_3 = 6,2 \cdot 0,82 = 5,1 \text{ мм}$;

четвертая вытяжка: (ступенчатая) $m_4 = 0,84$; $d_4 = 5,1 \cdot 0,84 = 4,3 \text{ мм}$.

Калибровка по диаметру и радиусам $m_5 = 0,84$; $d_5 = 4,3 \cdot 0,84 = 3,6 \text{ мм}$.

Радиусы закругления пуансона и матрицы на первых трех вытяжках принимаем равными $R = 5S = 1 \text{ мм}$, на четвертой ступенчатой вытяжке $R = 0,5 \text{ мм}$, а на калибровке $R = 0,1 \text{ мм}$ (размер по чертежу). В дальнейших подсчетах применяем радиусы закруглений до средней линии.

Производим расчет перераспределения металла по вытяжным переходам. Диаметр фланца до обрезки известен и равен 10 мм. Диаметры переходов вытяжки определены, радиусы закруглений выбраны. Искомой величиной является высота вытяжных переходов (рис. 116).

Подсчет производим по средней линии толщины металла по формулам, приведенным на стр. 183.

Первая вытяжка ($D = 13,6 \text{ мм}$, $d_1 = 7,8 \text{ мм}$, $r_1 = 1,1 \text{ мм}$)

$$h_1 = 0,25 (D^2 - d_1^2) / d_1 + 0,86r_1 = 3,67 \text{ мм}.$$

Высота по средней линии равна высоте головки пуансона.

Контрольная высота первого перехода вытяжки $h_1 + S = 3,9 \text{ мм}$.

Вторая вытяжка ($d_2 = 7,0 \text{ мм}$, $r_2 = 1,1 \text{ мм}$)

$$h_2 = 0,25 (D^2 - d_2^2) / d_2 + 0,86r_2 = 4,5 \text{ мм}.$$

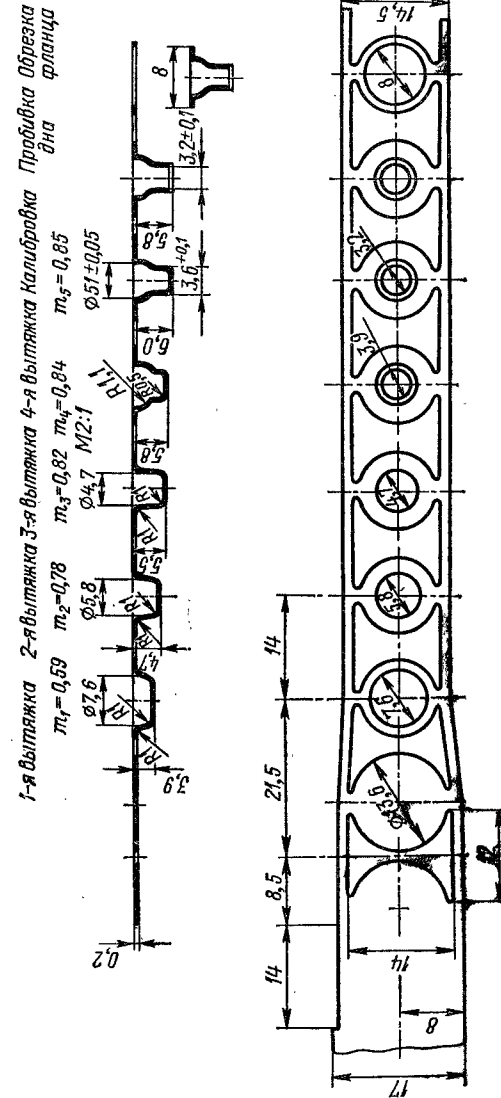


Рис. 117. Схема раскрой ленты и последовательность переходов

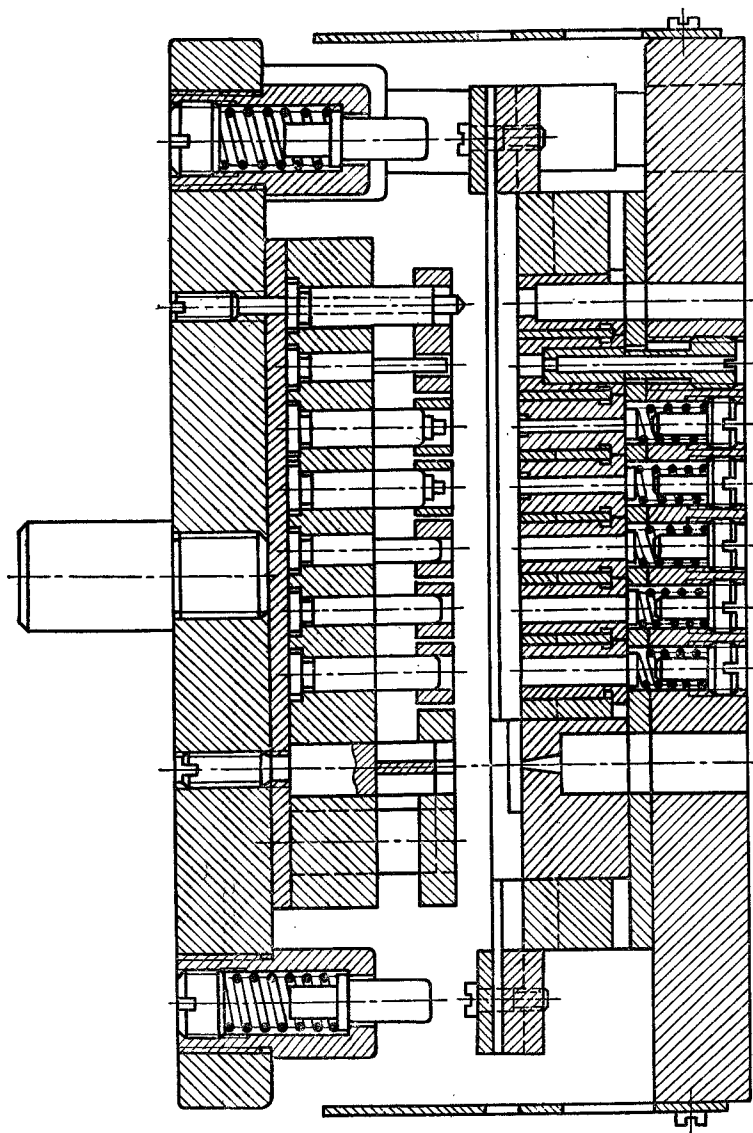


Рис. 118. Схема штампа для последовательной вытяжки

Полная высота второго перехода вытяжки $h_2 + S = 4,7$ мм.
Третья вытяжка ($d_3 = 4,9$ мм, $r_3 = 1,1$ мм). Подсчеты дают значение
 $h_3 = 5,3$ мм.

Полная высота третьего перехода вытяжки $h_3 + S = 5,5$ мм.
Четвертая вытяжка ($d_4 = 4,1$ мм, $r_4 = 0,6$ мм, $r = 1,1$ мм). Высота ступенчатой вытяжки по этим формулам не может быть подсчитана. Здесь необходим подсчет по сумме площадей элементарных геометрических поверхностей одновременно с графическим построением. Полная высота вытяжки равна 5,8 мм.
Калибровка ($d_5 = 3,4$ мм, $r_5 = 0,2$ мм). Подсчет производится аналогично предыдущему. Полная высота вытяжки равна 6,0 мм.
Пробивка дна по внутреннему диаметру у тонкостенных деталей, как показал опыт, сопровождается некоторым уменьшением высоты, в данном случае до размера 5,8 мм.
Последний переход — обрезка фланца диаметром 8 мм.

На рис. 117 приведена схема построения переходов и раскроя левты, являющаяся заданием для проектирования штампа.

На рис. 118 показан разрез последовательного штампа для данной детали. Отличительные особенности конструкции штампа: механизм подъема ленты для ее подачи, отжимаемый во время рабочего хода вниз особыми пружинящими толкателями; отдельные прижимы-съемники на каждом вытяжном переходе; вставные вытяжные матрицы с подпружиненными штифтовыми выталкивателями.

В случае последовательной вытяжки в ленте более толстых и менее точных деталей схема технологических расчетов остается той же, но допустимо округление подсчетов высоты вытяжек до 0,5 мм, а для крупных деталей — до 1 мм.

Технологические расчеты при вытяжке низких прямоугольных коробчатых деталей

Технологические расчеты при вытяжке низких прямоугольных коробок, вытягиваемых в одну операцию, состоят из следующих этапов:

- 1) проверка возможности вытяжки коробки в одну операцию;
- 2) построение контура плоской заготовки и подсчет ее размеров;
- 3) проверка степени деформации в углах коробки по коэффициентам вытяжки.

Проверка возможности вытяжки коробки в одну операцию производится по табл. 40 в зависимости от соотношения геометрических параметров коробки (r/B и S/D). Построение контура плоской заготовки для прямоугольных коробок было рассмотрено выше (стр. 107).

Как было установлено автором, способ расчета и построение формы заготовки определяется большей или меньшей возможностью вытеснения металла из угловых закруглений в боковые стенки коробки. На рис. 87 приведено разграничение области применения различных случаев вытяжки квадратных и прямоугольных коробок. Как показал производственный опыт, несоблюдение указанного различия способов расчета и области их использования приводит к ошибкам и неудачам.

В табл. 65 приведены приближенные значения коэффициентов вытяжки для низких квадратных и прямоугольных коробок, вытягиваемых в одну операцию. В случае вытяжки менее пластичных металлов (стали 20—25 и т. п.) коэффициенты вытяжки нужно брать по верхнему пределу, а при вытяжке более пластичных металлов (алюминий, сталь 08ВГ и т. п.) — по нижнему пределу. Величина B

65. Коэффициенты угловой вытяжки m для низких квадратных и прямоугольных коробок, вытягиваемых за одну операцию (сталь 10)

Отношение r/B .	Коэффициенты при относительной толщине заготовки (S/D) 100%		
	2,0—1,0	1,0—0,5	0,5—0,2
0,40	0,40—0,42	0,42—0,45	0,44—0,48
0,30	0,36—0,38	0,38—0,40	0,40—0,42
0,20	0,33—0,34	0,34—0,36	0,36—0,38
0,10	0,30	0,32	0,33
0,05	0,29	0,30	0,32

обозначает ширину заготовки. Большие значения относятся к вытяжке квадратных коробок, а меньшие — к вытяжке удлиненных прямоугольных коробок.

Выбор коэффициента вытяжки по табл. 65 позволит избежать применения недопустимой степени деформации или выявить необходимость калибровочной операции.

Технологические расчеты при многооперационной вытяжке высоких квадратных и прямоугольных коробок [121]

Разработка технологического процесса многооперационной вытяжки высоких коробчатых деталей состоит из следующих этапов:

- 1) определение формы и размеров плоской заготовки;
- 2) предварительный подсчет требуемого количества операций вытяжки и выбор коэффициентов вытяжки;
- 3) выбор способа технологического расчета, соответствующего геометрическим параметрам коробки;
- 4) расчет формы и размеров вытяжных переходов, начиная с предпоследнего;
- 5) выявление других операций технологического процесса: обрезка, проковка, термообработка и т. д.;
- 6) определение расчетных усилий по операциям.

Определение формы и размеров плоской заготовки производится по методам и формулам, приведенным на стр. 111. После этого вычерчивается контур заготовки и верхняя проекция вытягиваемой коробки, необходимые для дальнейших построений.

Предварительный подсчет требуемого количества операций вытяжки производится по общей величине деформации, необходимой для превращения плоской заготовки в прямоугольную коробку. Здесь пригоден метод подсчета, аналогичный методу, применяемому при расчетах многооперационной вытяжки цилиндрических деталей по коэффициентам вытяжки. Эти коэффициенты представляют собой отношения длины периметров вытянутой детали и заготовки:

$$m_1 = d_1/D = \pi d_1/\pi D; \quad m_n = d_n/d_{n-1} = \pi d_n/\pi d_{n-1}.$$

Таким образом, предельная величина коэффициентов вытяжки представляет собой отношение длины периметра наименьшей детали, которую можно вытянуть за одну операцию, к длине контура заготовки, или к длине периметра детали предыдущей операции. При вытяжке прямоугольных коробок вопрос усложняется тем, что геометрическая форма контура заготовки и коробчатой детали разные, следствием чего является неравномерное распределение деформаций по контуру, однако результирующая усредненная деформация та же: длина контура заготовки уменьшается и становится равной длине периметра коробки.

Для предварительного определения количества операций вытяжки вполне допустимо некоторые упрощения подсчетов длины контура. Так, при подсчете длины контура коробчатых деталей в большинстве случаев можно не учитывать радиусы угловых закруглений (за исключением коробок с очень большими радиусами закруглений), а длину овального контура можно приравнять длине окружности, диаметр которой равен полусумме осей овала.

Для основных случаев многооперационной вытяжки коробчатых деталей общая деформация выражается следующими коэффициентами:

- 1) при вытяжке квадратной коробки ($B \times B$) из круглой заготовки диаметром D

$$m_{об} = \frac{4B}{\pi D} = 1,27 B/D;$$

- 2) при вытяжке прямоугольной коробки ($A \times B$) из круглой заготовки

$$m_{об} = \frac{2(A+B)}{\pi D} = 1,27 \frac{A+B}{2D};$$

- 3) при вытяжке прямоугольной коробки ($A \times B$) из овальной заготовки ($L \times K$)

$$m_{об} = \frac{2(A+B)}{0,5\pi(L+K)} = 1,27 \frac{A+B}{L+K}.$$

Эти коэффициенты при условии учета неравномерности деформации сопоставимы с проверенными многолетней практикой коэффициентами вытяжки цилиндрических деталей.

Только последняя операция вытяжки квадратной коробки из цилиндрической заготовки, а также прямоугольной коробки из полуфабриката овальной формы производится при большем значении усредненного коэффициента вытяжки $m_{ср} = 0,90 \div 0,95$.

Количество операций, необходимых при многооперационной вытяжке коробчатых деталей, может быть определено по табл. 66 в зависимости от общего коэффициента вытяжки $m_{об}$ и относительной толщины заготовки (S/D) 100 или $S/(L+K)$ 200. После определения количества операций производят расчет операционных размеров, начиная с предпоследнего перехода, являющегося наиболее ответственным.

66. Количество операций вытяжки прямоугольных коробчатых деталей в зависимости от общего коэффициента вытяжки

Количество операций вытяжки	Коэффициенты вытяжки $m_{об}$ при относительной толщине (S/D) 100 или $S/(L+K)$ 200%			
	2,0—1,5	1,5—1,0	1,0—0,5	0,5—0,2
2	0,40—0,45	0,43—0,48	0,45—0,50	0,47—0,53
3	0,32—0,39	0,34—0,42	0,36—0,44	0,38—0,46
4	0,25—0,30	0,27—0,32	0,28—0,34	0,30—0,36
5	0,20—0,24	0,22—0,26	0,24—0,27	0,25—0,29

При перетяжке цилиндра на квадрат или овала на прямоугольник степень деформации неравномерна по периметру изделия. Наименьшая деформация — в углах коробки, а наибольшая — в середине ее сторон. Поэтому приходится производить расчет n — 1-го перехода (последней вытяжки) по средней деформации по контуру, характеризуемой средним коэффициентом вытяжки,

$$m_{ср} = \frac{B - 0,43r}{0,5\pi R_{b_{n-1}}},$$

откуда

$$R_{b_{n-1}} = \frac{B - 0,43r}{1,57m_{ср}}.$$

Это равнозначно нахождению стрелы дуги

$$b_n = R_{b_{n-1}} - 0,5B = \frac{(1 - 0,785m_{ср} - 0,43 \frac{r}{B}) B}{1,57m_{ср}}.$$

В диаграмме (рис. 119) дано изменение b_n в зависимости от относительного углового радиуса r/B и количества предшествующих операций вытяжки, так как при увеличении их числа наклеп металла и допустимые коэффициенты вытяжки повышаются.

Расчетное значение коэффициента последней вытяжки составляет для квадратных коробок $m_{ср} = 0,90 \div 0,93$, для прямоугольных коробок $m_{ср} = 0,91 \div 0,95$. Способы технологического расчета многооперационной вытяжки квадратных и прямоугольных коробок различны и рассматриваются отдельно.

Многооперационная вытяжка высоких квадратных коробок. При многооперационной вытяжке квадратных коробок форма детали на промежуточных переходах в большинстве случаев представляет собой цилиндр, превращаемый в последней или предпоследней операции в квадратную коробку.

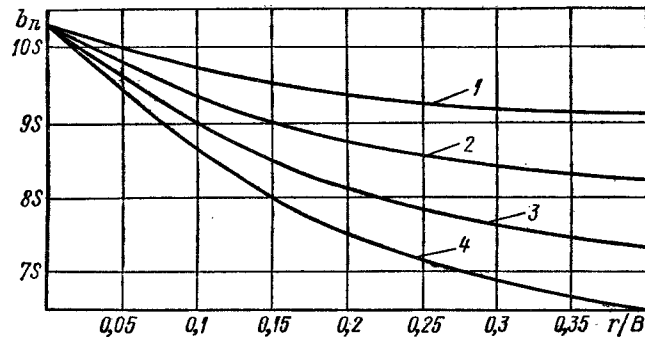


Рис. 119. Зависимость b_n от r/B и числа предшествующих вытяжек (1—4)

Предварительный подсчет количества операций производят по табл. 66, размеры предпоследней вытяжки находят приведенным ниже расчетом, а размеры промежуточных вытяжек определяют по коэффициентам вытяжки для цилиндрических деталей (см. табл. 45).

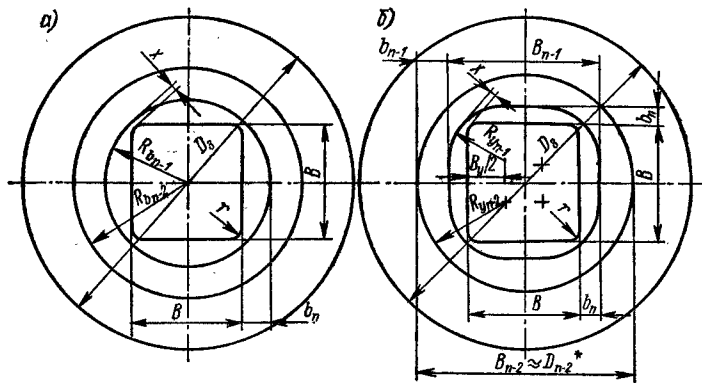


Рис. 120. Последовательность переходов при многооперационной вытяжке квадратных коробок (при различном отношении S/B): а — при $B < 50S$; б — при $B > 50S$

Технологические расчеты и построение формы переходов различны для разной относительной толщины материала (S/D) 100, которая характеризует большую или меньшую устойчивость деформируемой заготовки.

На рис. 120 приведены два основных способа многооперационной вытяжки квадратных коробок с различной формой переходов, применяемые при разном отношении S/B .

Первый способ характеризуется тем, что заготовка на промежуточных переходах имеет цилиндрическую форму, превращаемую в последней операции в квадратную

коробку. Вследствие технологической трудности и значительной неравномерности деформации и при перетяжке цилиндра на квадрат этот способ применяется для вытяжки коробок при относительно большой толщине материала [$(S/B) 100 \geq 2$] и относительно небольшом расстоянии между стенками $b_n \leq 10S$. При большем значении b_n происходят потери устойчивости и складкообразование. В случае вытяжки квадратных коробок с большими радиусами угловых закруглений [$r = (0,2 \div 0,4)B$] можно производить вытяжку и при меньшей относительной толщине, но при условии $b_n \leq 10S$. В случае вытяжки квадратных коробок малых размеров количество операций уменьшается и из круглой заготовки сразу вытягивается предпоследний цилиндрический переход, перетягиваемый на последней операции в квадратную форму.

Второй способ дает облегченную вытяжку на последней операции, так как $n-1$ -й или даже $n-2$ -й переходы (если он необходим) имеют форму квадрата с большими угловыми закруглениями и небольшим просветом между стенками. Этот способ применяется при меньшей относительной толщине материала (S/D) $100 < 2$.

Для расчета угловых закруглений вводится расчетный размер $B_y < B$

$$B_y = (b_n + 0,43r) / 0,207 \approx 50S.$$

Расстояние между стенками на последней операции b_n берется по диаграмме (рис. 119) в зависимости от r/B_y и количества операций вытяжки.

В указанных способах расчет переходов начинается с определения размеров и построения предпоследнего $n-1$ -го перехода,

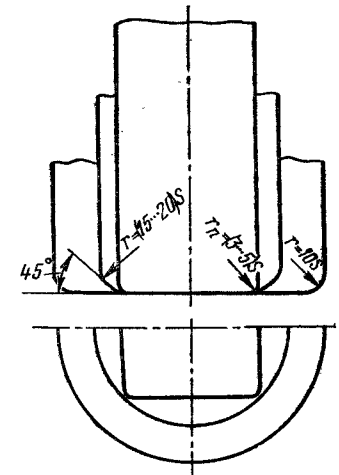


Рис. 121. Форма дна по переходам

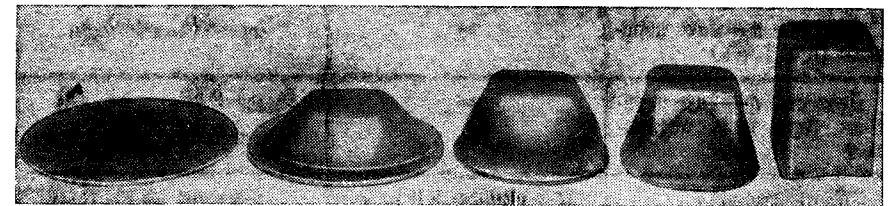


Рис. 122. Последовательность деформирования круглой заготовки в квадратную коробку за один рабочий ход

Для уменьшения деформации и облегчения процесса вытяжки на последней операции предпоследний переход должен иметь плоское дно по готовой детали и боковые скосы под углом 45° с большими радиусами закруглений (рис. 121).

Последовательность расчета и применяемые при многооперационной вытяжке высоких квадратных коробок формулы сведены в табл. 67. Приведенный расчет предназначен для операционной вытяжки на прессах двойного действия или на кривошипных прессах с буферной подушкой.

Вытяжку коробок на многопозиционных прессах-автоматах следует производить по второму способу. При этом рекомендуется ввести дополнительный переход и снизить степень деформации.

Новый однооперационный способ вытяжки квадратных и прямоугольных коробок небольших размеров разработан С. А. Валиевым [22]. Сущность способа

67. Формулы и последовательность расчета при многооперационной вытяжке высоких квадратных коробок

Определяемые величины	Формулы и способы расчета	
	первый (рис. 120, а)	второй (рис. 120, б)
Относительная толщина	$(S/B)100 \geq 2; B \leq 50S$	$(S/B)100 < 2; B > 50S$
Диаметр заготовки при $r = r_y = r_d$	$D_3 = 1,13 \sqrt{B^2 + 4B(H - 0,43r) - 1,72r(H + 0,33r)}$	
Угловой расчетный размер $B_y < B$	—	$B_y \approx 50S$
Расстояние между переходами	$b_n \leq 10S$	
Радиусы $n-1$ -го перехода (предпоследнего)	$R_{b_{n-1}} = 0,5B + b_n$	$R_{y_{n-1}} = 0,5B_y + b_n$
Ширина $n-1$ -го перехода	—	$B_{n-1} = B + 2b_n$
Угловой зазор (включая S)	$x = b_n + 0,41r - 0,207B$	$x = b_n + 0,41r - 0,207B_y$
Радиусы $n-2$ -го перехода	$R_{b_{n-2}} = R_{b_{n-1}}/m_2 = 0,5D_3 m_1$	$R_{y_{n-2}} = R_{y_{n-1}}/m_{n-1}$
Расстояние между переходами	—	$b_{n-1} = R_{y_{n-2}} - R_{y_{n-1}}$
Ширина $n-2$ -го перехода (при $n=4$)	—	$B_{n-2} = B_{n-1} + 2b_{n-1}$
Диаметр $n-2$ -го перехода (при трех переходах)	—	$D_{n-2} = 2 \left[R_{y_{n-1}}/m_{n-1} + 0,7(B - B_y) \right]$
Высота коробки	$H = (1,05 + 1,10) H_0$	$(H_0 - \text{высота по чертежу})$
Высота $n-1$ -го перехода (предпоследнего)	$H_{n-1} = 0,88H$	$H_{n-1} \approx 0,88H$
Высота первой вытяжки ($n-2$ или $n-3$ -го переходов)	$H_1 = H_{n-2} = 0,25 \left(\frac{D}{m_1} - d_1 \right) + 0,48 \frac{r_1}{d_1} (d_1 + 0,32r)$	
Примечания: 1. Размер b_n принимается в зависимости от отношения r/B (для первого способа) или r/B_y (для второго способа) и от числа вытяжек (см. рис. 119). 2. Коэффициенты m_1, m_2, m_{n-1} принимаются по таблице для вытяжки цилиндрических деталей (см. табл. 45). 3. Допускается уточнение расчетных величин при графическом построении переходов. 4. Приведенные способы вытяжки применимы и в случае большей относительной толщины материала по сравнению с указанной в таблице.		

заключается в том, что круглая заготовка вытягивается из-под прижима квадратным или прямоугольным пуансоном в матрицу комбинированного профиля. Верхняя часть отверстия матрицы представляет собой конус (или конический овал), а нижняя имеет квадратную или прямоугольную форму.

На рис. 122 показана последовательность деформирования заготовки в получении квадратной коробки за один рабочий ход (латунь Л-62, $S = 1$ мм; сталь 08, $S = 1,85$ мм).

Вытяжка через коническую часть матрицы позволяет избежать неравномерности деформаций по контуру заготовки, после чего перетяжка глубокой конической чашки с квадратным или прямоугольным дном в иррегулярную форму происходит более благоприятно вследствие повышенной устойчивости конического фланца. При этом значительно снижается усилие вытяжки и напряжения в опасном сечении, а следовательно, становится возможной более глубокая вытяжка в одну операцию.

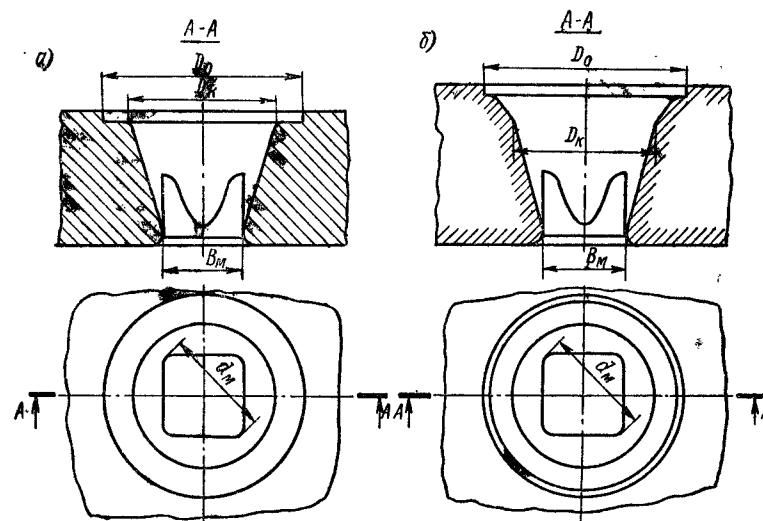


Рис. 123. Типы матриц при новом способе вытяжки прямоугольных коробок

На рис. 123 приведены профили вытяжных матриц, на рис. 123, а — матрица для вытяжки с прижимом, а на рис. 123, б — двухконусная матрица для вытяжки без прижима.

Расчетные элементы профиля матриц приведены в работе [22].

Многооперационная вытяжка высоких прямоугольных коробок. При многооперационной вытяжке прямоугольных коробок могут быть два случая последовательного изменения формы переходов:

1) заготовка овальная; первая и последующие вытяжки овальные, последняя — прямоугольная;

2) заготовка круглая; первая вытяжка цилиндрическая, следующие вытяжки (если они требуются) овальные, последняя — прямоугольная.

Первый случай встречается при вытяжке прямоугольных коробок с отношением сторон $A : B \geq 1,2$, второй — при отношении сторон $A : B < 1,15$, а также при весьма большой относительной высоте, при которой требуется более трех операций вытяжки.

В основу построения переходов кладется предложенный автором метод — расчет узкой стороны коробок как половины квадратной коробки. Технологические расчеты и построение формы переходов различны для разной относительной толщины заготовки.

На рис. 124 приведены два основных способа многооперационной вытяжки прямоугольных коробок, применяемые при разном отношении S/B .

В первом способе вытяжки заготовка и промежуточные переходы имеют форму овала, образованного двумя полуокружностями и параллельными сторонами. При большой относительной высоте коробки или при малой разности размеров сторон заготовка берется круглой формы. Этот способ применяется лишь при относительно большой толщине материала $[(S/B) 100 > 2]$ и небольшом расстоянии между стенками $b_n \leq 10S$. В случае вытяжки прямоугольных коробок с весьма большими радиусами угловых закруглений $[r = (0,2 \div 0,4) B]$ этот способ можно применять и при меньшей относительной толщине, но при условии $b_n < 10S$.

Второй способ применяется при меньшей относительной толщине материала $[(S/B) 100 < 2]$ ¹. Он дает облегченные условия вытяжки на последней операции, так как $n-1$ -й, а иногда и $n-2$ -й переходы имеют форму прямоугольника с большими угловыми закруглениями. С этой целью вводится расчетный размер $B_y - B$. Величина b_n берется по диаграмме рис. 119 в зависимости от отношения r/B_y и количества операций вытяжки. Размер a_n определяется по коэффициенту пропорциональности переходов

$$x = (K - B) / (L - A),$$

где K и L — размеры овальной заготовки.

Этот способ прост и технологичен при изготовлении штампов. В случае вытяжки коробок небольших размеров количество необходимых операций уменьшается и из круглой заготовки сразу вытягивается предпоследний обычно цилиндрический переход, на последней операции перетягиваемый в прямоугольную коробку.

В приведенных способах расчет переходов начинается с определения размеров и построения предпоследнего $n-1$ -го перехода. Последовательность расчета и применяемые при многооперационной вытяжке прямоугольных коробок формулы сведены в табл. 68. Приведенный расчет предназначен для пооперационной вытяжки на прессах двойного действия или на кривошипных прессах с буферной подушкой.

Рис. 124. Последовательность переходов при многооперационной вытяжке прямоугольных коробок (при различном отношении S/B): а — при $B < 50S$; б — при $B > 50S$

68. Формулы и последовательность расчета при многооперационной вытяжке высоких прямоугольных коробок

Определяемые величины	Формулы и способы расчета	
	первый (рис. 124, а)	второй (рис. 124, б)
Относительная величина	$(S/B) 100 \geq 2$	$(S/B) 100 < 2$
Диаметр условной заготовки ($r = r_y = r_n$)	$D_3 = 1,13 \sqrt{B^2 + 4B(H - 0,43r) - 1,72r(H + 0,33r)}$	
Длина заготовки	$L = D_3 + (A - B)$	
Ширина заготовки	$K = D_3 \frac{B - 2r}{A - 2r} + [B + 2(H - 0,43r)] \frac{A - B}{A - 2r}$	
Радиусы заготовки	$R = 0,5K$	
Коэффициент пропорциональности переходов	$x_1 = (K - B) / (L - A)$	
Расстояние между переходами	$b_n = a_n \leq 10S$	
Угловой расчетный размер $B_y < B$	—	$B_y \approx 50S$
Радиусы $n-1$ -го перехода	$R_{b_{n-1}} = 0,5B + b_n$	$R_{y_{n-1}} = 0,5B_y + b_n$
Угловой зазор (включая S)	$x = b_n + 0,41r - 0,207B$	$x = b_n + 0,41r - 0,207B_y$
Размеры $n-1$ -го перехода	$B_{n-1} = 2R_{b_{n-1}}$ $A_{n-1} = A + 2b_n$	$B_{n-1} = B + 2a_n$ $A_{n-1} = A + 2b_n$
Радиус $n-2$ -го перехода	$R_{b_{n-2}} = R_{b_{n-1}} / m_{n-1}$	$R_{y_{n-2}} = R_{y_{n-1}} / m_{n-1}$ $R_{b_{n-2}} = B_{n-2} / 2$
Расстояние между переходами	$b_{n-1} = \frac{R_{b_{n-2}} - R_{b_{n-1}}}{x_1}$; $a_{n-1} = R_{b_{n-2}} - R_{b_{n-1}}$	$b_{n-1} = R_{y_{n-2}} - R_{y_{n-1}}$; $a_{n-1} = x b_{n-1}$
Размеры $n-2$ -го перехода	$B_{n-2} = 2R_{b_{n-2}}$; $A_{n-2} = A + 2(b_n + b_{n-1})$	$B_{n-2} = B + 2(a_n + a_{n-1})$; $A_{n-2} = A + 2(b_n + b_{n-1})$
Высота коробки	$H = (1,05 \div 1,1) H_0$	$(H_0 - \text{высота по чертежу})$
Высота переходов	$H_{n-1} \approx 0,88H$	$H_{n-2} \approx 0,86H_{n-1}$
Примечание. См. примечания к табл. 6.		

¹ Предложен и ввведен П. И. Касиковым [53].

Вытяжку коробок на многопозиционных прессах-автоматах рекомендуется производить по второму способу. При этом следует ввести дополнительный переход и снизить степень деформации.

Однооперационный способ вытяжки, предложенный С. А. Валиевым, распространяется также на вытяжку небольших прямоугольных коробок [23].

Сущность и преимущества способа однооперационной вытяжки те же, что и при вытяжке квадратных коробок, т. е. выравнивание неравномерности деформаций по контуру заготовки, в результате чего значительно снижаются напряжения в опасном сечении и становится возможной более глубокая вытяжка за один рабочий ход.

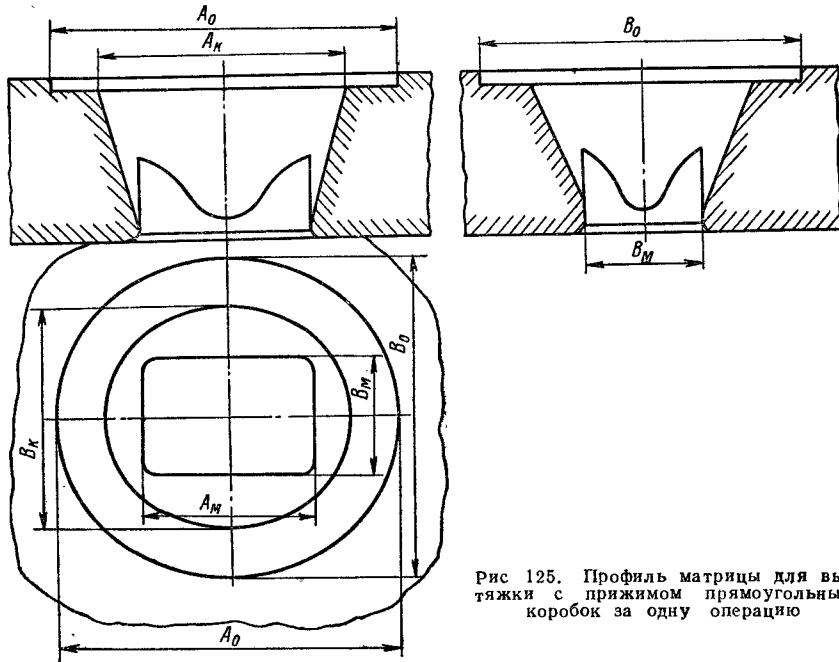


Рис 125. Профиль матрицы для вытяжки с прижимом прямоугольных коробок за одну операцию

На рис. 125 приведен контур и профиль матрицы для вытяжки с прижимом небольших прямоугольных коробок из овальной (или круглой) заготовки. Другой тип двухконусной матрицы создан для вытяжки без прижима. Расчетные элементы профиля матриц приведены в работе [23].

Многооперационная вытяжка деталей овальной конфигурации. В этом случае заготовка имеет форму круга или уширенного овала и рассчитывается по формулам для высоких прямоугольных коробок.

Построение контура переходов производится с учетом различного вытеснения металла на участках контура различной кривизны. Это приводит к условию постоянства степени деформации (коэффициента вытяжки) по всему контуру на данном переходе.

Иначе говоря, отношение радиуса кривизны контура n -го перехода к условному радиусу кривизны (на том же участке) $n - 1$ -го перехода (взятому из того же центра) должно быть одинаковым по всему контуру (рис. 126)

$$r_1/r_{1y} = r_2/r_{2y} \text{ или } a_n/b_n = R_{b_n}/R_{a_n}.$$

Вытяжка прямоугольных коробчатых деталей с фланцем [118]. При вытяжке прямоугольных коробок с фланцем также имеет место значительная неравномерность

деформации по контуру коробки: в угловых закруглениях наиболее, а на прямых участках менее интенсивная.

На рис. 127 приведены эпюры распределения напряжений во фланце коробки (в угловом закруглении и в средней части фланца). В результате вытеснения металла из угловой части фланца и некоторого укорочения прямых участков возникают значительные сжимающие напряжения, которые вызывают потерю устойчивости фланца и образование гофров. Поэтому на прямых участках вытяжки требуется достаточно надежный прижим заготовки (сильнее, чем в углах), а в случае вытяжки удлиненных коробок рекомендуется применение вытяжных ребер (порогов) на удлиненной стороне. В этом случае величина растягивающих напряжений увеличивается, а сжимающих — уменьшается. Кроме того, ребра увеличивают жесткость фланца и препятствуют образованию гофров.

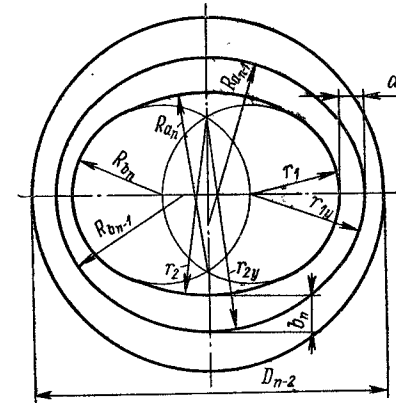


Рис. 126. Последовательность переходов при вытяжке овальных коробок

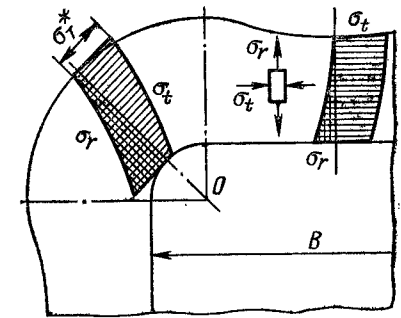


Рис. 127. Распределение напряжений во фланце коробки

Выше было указано, что прямоугольные коробки с фланцем обычно изготавливают за одну операцию вытяжки, и лишь при изготовлении коробок с очень малыми радиусами закруглений применяют дополнительную операцию калибровки.

Вопрос о предельной высоте вытяжки прямоугольных коробок с фланцем в настоящее время недостаточно изучен. В табл. 69 приведены приближенные значения наибольшей относительной высоты коробок с фланцем, основанные на усредненных производственных данных. По мере накопления производственного опыта эти значения подлежат уточнению.

69. Приближенные значения наибольшей относительной высоты H/B прямоугольных коробок с фланцем

Материалы	Значения относительной высоты при относительной толщине заготовки (S/K) 100%			
	1,5—2,0	1,0—1,5	0,5—1,0	0,3—0,5
Алюминий	0,65—0,70	0,60—0,65	0,55—0,60	0,50—0,55
Стали 10—15	0,60—0,65	0,55—0,60	0,50—0,55	0,45—0,50

При вытяжке прямоугольных коробок с фланцем весьма большое значение имеет величина радиусов угловых закруглений коробки, так как для малых радиу-

сов резко увеличивается неравномерность деформаций и интенсивность напряжений в углах, которые в этом случае могут превысить прочность металла и привести к разрывам заготовки. Поэтому здесь обычно применяют увеличенные радиусы угловых закруглений (табл. 70).

70. Оптимальные радиусы угловых закруглений при вытяжке коробок с фланцем (для стали 10)

Относительная высота коробки H/B	Относительное значение r_y при	
	r_y/B	r_y/H
0,2	0,12—0,15	0,60—0,75
0,3	0,16—0,20	0,55—0,70
0,4	0,20—0,25	0,50—0,62
0,5	0,25—0,30	0,50—0,60
0,6	0,30—0,33	0,50—0,55
0,7	0,32—0,35	0,45—0,50

Меньшие значения r соответствуют большей относительной толщине заготовки, и наоборот. Приведенные величины не являются предельными, поэтому некоторое уменьшение радиуса r_y допустимо, особенно при вытяжке с тормозными ребрами. При необходимости значительного уменьшения угловых радиусов по сравнению с приведенными (в два-три раза), они могут быть получены путем до-

полнительной операции калибровки — вытяжки.

Последующие операции вытяжки прямоугольных коробок с фланцем возможны лишь в весьма ограниченных пределах и не имеют ничего общего с рассмотренной ранее многооперационной вытяжкой коробок без фланца.

В большинстве случаев, последующие операции вытяжки прямоугольных коробок с фланцем не позволяют увеличить высоту коробки и применяются с целью:

- 1) уменьшения радиуса угловых закруглений при небольшом уменьшении ширины и длины коробки;
- 2) калибровки (уменьшения) радиусов закруглений у дна и фланца, а чаще — только последнего.

В данном случае должны соблюдаться следующие требования:

- а) точный подсчет перераспределения металла по переходам, исходя из условия постоянства объема металла,
- б) недопустимость деформации фланца и неизменность его наружных размеров;
- в) возможно большая равномерность перемещения металла на плоскость фланца;
- г) сохранение одинаковой высоты во всех частях коробки.

На рис. 128 приведена схема последующей вытяжки коробки с фланцем для уменьшения радиуса угловых закруглений. При этом ширина и длина коробки уменьшаются на одну и ту же величину $B_1 - B_2 = A_1 - A_2$, а ширина фланца увеличивается с каждой стороны на $l_2 - l_1 = (B_1 - B_2)/2$.

На прямых участках коробки, в случае сохранения тех же радиусов закруглений r_d и r_f , никакого изменения высоты коробки H не происходит (если не считать практически незначительного растяжения металла в закруглениях) — рис. 128, а.

Если одновременно с перетяжкой будет уменьшаться радиус закругления у дна и фланца (рис. 128, б), то высота коробки уменьшится на величину

$$\Delta H = H_1 - H_2 = 0,86 (r'_{cp} - r''_{cp}),$$

где $r'_{cp} = (r'_d + r'_f)/2$; $r''_{cp} = (r''_d + r''_f)/2$.

Но в углах коробки цилиндрическая поверхность большего радиуса превращается в цилиндрическую поверхность меньшего радиуса, в результате чего здесь

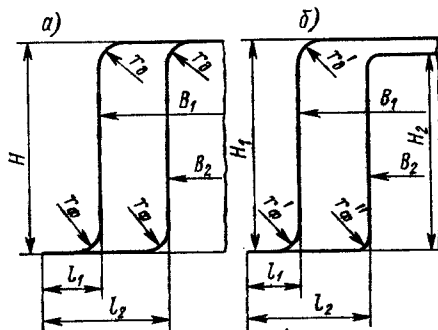


Рис. 128. Схема последующей вытяжки коробки с фланцем

создается избыточный металл, который будет вытеснен в высоту и приведет к браку. Для устранения указанных дефектов надо уменьшить избыток металла в углах и строить вытяжной переход, как изображено на рис. 129, приблизив новый контур в углу к первоначальному. При этом деформация углового участка будет значительно снижена, так как длина дуги ab приблизительно равна длине дуги $x'y'$. Это равенство будет справедливо при соотношении $R'_y/R_y = \alpha/90$, откуда при $\alpha = 45^\circ$ $R_y = 0,5 R_y$, при $\alpha = 30^\circ$ $R'_y = 0,33 R_y$.

Уменьшение радиусов угловых закруглений должно находиться в соответствии с допустимой деформацией контура, приближенно выражаемой значениями $B_1 - B_2 = (0,1 \div 0,15) B_1$ при относительных толщинах материала $S = (0,015 \div 0,03)$.

Необходимо указать, что последующая вытяжка возможна в основном для небольших и средних размеров коробок с фланцем. Для крупных и тем более для несимметричных коробок эта вытяжка не применима (кроме калибровки радиусов у фланца с целью увеличения полезной плоской части фланца).

При калибровке закругления у фланца общая высота коробки будет уменьшена на $\Delta H = 0,43 (r'_f - r''_f)$, что, например, при уменьшении радиуса r_f с 8 до 3 мм приводит к снижению высоты коробки на $0,43 \cdot 4 \approx 2,1$ мм. Уменьшение высоты коробки при калибровке закругления у фланца должно быть учтено на операции вытяжки.

Технология вытяжки деталей, являющихся телами вращения сложной формы

К телам вращения сложной формы относятся полые детали, имеющие ступенчатую, коническую, сферическую или параболическую форму. Вытяжка деталей указанной формы сложнее, чем вытяжка цилиндрических деталей. Особенность вытяжки этих деталей заключается в том, что значительная часть поверхности деформируемой заготовки остается не прижатой ни к пуансону, ни к матрице и легко образует выпучивания и гофры. Кроме того, давление пуансона вначале передается только в центре заготовки, вызывая местное утолщение материала.

Вытяжка деталей ступенчатой формы. Ввиду большого разнообразия и сложности деталей ступенчатой формы трудно установить единый метод для построения технологических переходов вытяжки. Прежде всего должен быть решен вопрос о том, можно ли ступенчатую деталь вытянуть в одну операцию (с применением одного или нескольких самостоятельных буферов) или требуется несколько операций вытяжки. В данном случае может быть применен следующий приближенный метод. Надо определить коэффициент вытяжки по наименьшей ступени и сравнить его с допустимым коэффициентом по табл. 45. Так, для детали, изображенной на рис. 130, а, находим, что при толщине заготовки $(S/D) 100 = 1,8$ допустим коэффициент $m = 0,5$, а по расчету требуется $m = 0,53$, т. е. деталь может быть вытянута за одну операцию.

В случае вытяжки детали ступенчатой формы за несколько операций (рис. 130, б) их количество и последовательность определяются числом ступеней, если при этом коэффициенты вытяжки на каждой ступени не выходят из пределов, приведенных в табл. 45. Технологические расчеты вытяжки таких деталей основаны на строгом соблюдении правил перераспределения металла, аналогично вытяжке деталей с широким фланцем.

При вытяжке деталей ступенчатой формы применяют следующие правила.

1. Контур детали разбирают на внутренние и наружные элементы. Вначале производят вытяжку внутренних, а затем наружных элементов. В последнюю операцию штампуется фланец.

2. В ряде случаев вначале вытягивается предварительная конфигурация профиля детали, ограниченная прямыми и наклонными участками с большими

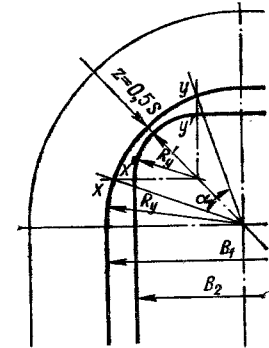


Рис. 129. Схема построения вытяжного перехода

закруглениями, а окончательная форма детали (с углами, выпуклостями и т. п.) штампуется в последнюю операцию.

3. За каждую операцию вытягивается в матрицу столько металла, сколько требуется для его дальнейшей деформации в следующей операции. Однако лучше иметь небольшой избыток металла против расчетного (3—5%), так как при недостатке вытянутого металла возможны обрывы.

При вытяжке ступенчатых деталей с широким фланцем должны быть соблюдены приведенные ранее правила, относящиеся к вытяжке деталей с широким фланцем.

Вытяжка деталей сферической, параболической и криволинейной форм. При вытяжке деталей сферической (полушаровой) формы коэффициент вытяжки постояен и для любого диаметра равен $m = 0,71$. Несмотря на большую величину этого коэффициента по сравнению с коэффициентами для вытяжки цилиндрических деталей, вытяжка сферических деталей значительно труднее, так как большая часть поверхности заготовки остается непржатой и легко образует выпучивания и гофры.

Для предотвращения образования складок необходимо применять матрицы с особыми вытяжными ребрами и создавать надежный прижим, обеспечивающий растя-

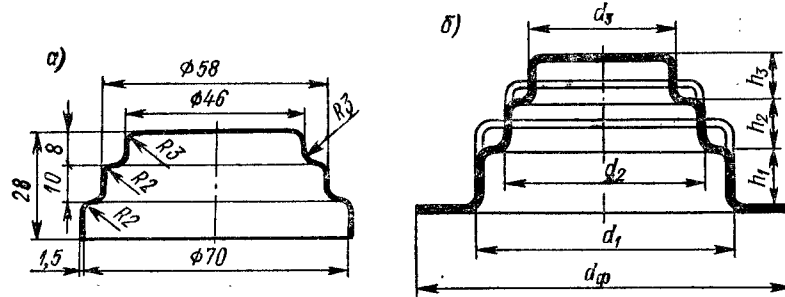


Рис. 130. Изделие ступенчатой формы (а) и последовательность вытяжки (б)

жение материала при вытяжке. Применение вытяжных ребер значительно увеличивает растягивающие напряжения в радиальном направлении и уменьшает напряжения и деформацию сжатия в тангенциальном направлении. Однако в результате этого значительно повышается сопротивление фланца деформированию и увеличиваются радиальные растягивающие напряжения в опасном сечении. Отсюда следует, что наиболее благоприятные условия при вытяжке в штампах с вытяжными ребрами будут достигнуты в случае применения металла повышенной прочности при достаточно высокой пластичности или сильно упрочняющегося металла. Желателен повышенный показатель анизотропии стальных заготовок ($R_{cp} \geq 1,2$).

Предварительный отжиг заготовки или преждевременный межоперационный отжиг могут только ухудшить условия вытяжки в штампах с вытяжными ребрами вследствие снижения прочностных характеристик металла.

Недостаточная ясность в специфической особенности вытяжки в штампах с вытяжными ребрами нередко является причиной неожиданного брака на производстве, технологически неоправданных требований к качеству металла и случаев необоснованного забракования годного металла по „невысокой штампуемости“.

В то время как коэффициент вытяжки для сферических деталей (полушаровой формы) постояен и не определяет возможности вытяжки, относительная толщина заготовки S/D имеет решающее значение для качества вытяжки. Чем меньше значение S/D , тем скорее возникают складки и тем труднее процесс вытяжки.

При $(S/D) 100 > 3$ вытяжка полусферы может быть произведена без прижима, формовкой в упор в глухом штампе. При $(S/D) 100 > 0,5$ необходима вытяжка с прижимом или вытяжка с выворачиванием. При $(S/D) 100 < 0,5$ применяется матрица с вытяжными ребрами (рис. 131) или вытяжка с выворачиванием.

В посудном производстве существует способ многослойной (в два-три слоя) вытяжки деталей пологокриволинейной конфигурации типа мисок, тарелок, крышек и т. п. из материала толщиной 0,4—0,45 мм (рис. 132). Помимо трехкратного

увеличения производительности этот способ улучшает качество изделий, так как трехслойная заготовка обладает большой устойчивостью и изделия получаются без морщин и гофров.

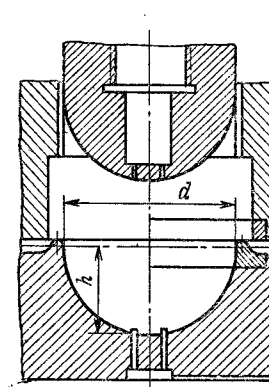


Рис. 131. Штамп для сферической вытяжки в матрице с вытяжными ребрами

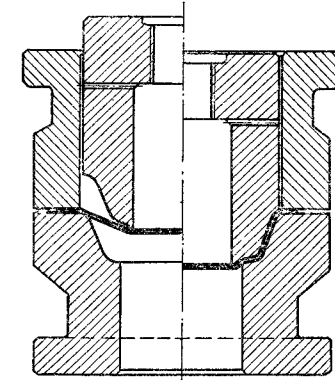


Рис. 132. Трехслойная вытяжка деталей полой формы

Способ многослойной вытяжки может найти применение в машиностроении при изготовлении деталей, у которых не требуется большая точность размеров, или там, где посадочные размеры получаются в последующих операциях.

Для штамповки тонкостенных сферических деталей больших размеров вместо вытяжки в штампах с вытяжными ребрами применяется способ вытяжки без прижима, но с двойным перегибом заготовки (рис. 133).

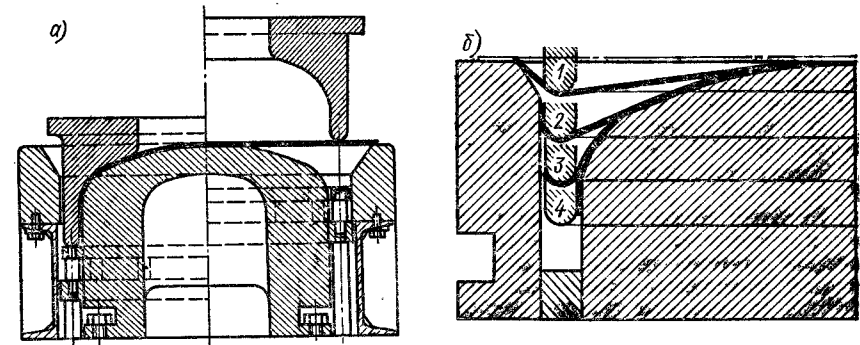


Рис. 133. Вытяжка с двойным перегибом заготовки: а — схема штампа; б — последовательность деформации (1—4)

Применяемый иногда способ изготовления деталей сферической и параболической формы путем вытяжки полуфабриката ступенчатой формы с последующей штамповкой плавного контура не может быть рекомендован вследствие большого количества дефектов (неравномерность толщины, морщины, неразглаженные следы уступов и т. н.). В ряде случаев для устранения дефектов приходится прибегать к доработке детали на давильных станках.

Более качественные результаты при изготовлении деталей параболической формы дает метод обратной вытяжки (с выворачиванием), получивший применение при

изготовлении автомобильных фар и т. п. В настоящее время этот метод вытесняется гидравлической штамповкой, позволяющей получать эти детали за одну-две операции.

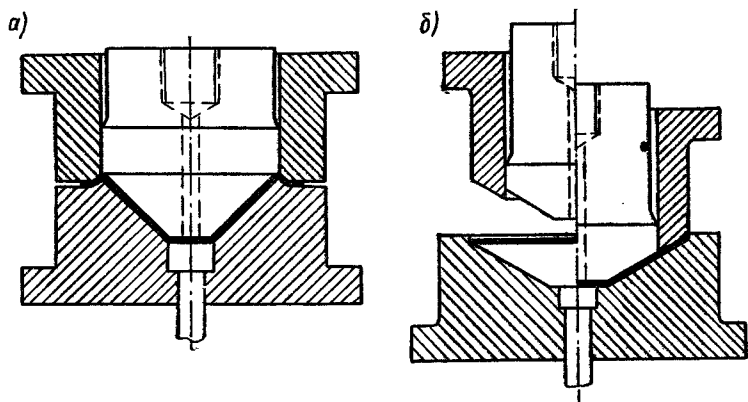


Рис. 134. Способы вытяжки конических деталей: а — вытяжка в матрице с вытяжными ребрами; б — вытяжка широкого конуса в штампе с коническим прижимом

Вытяжка деталей конической формы. Процесс вытяжки конических деталей выполняется по-разному, в зависимости от относительной высоты и конусности их и относительной толщины материала.

В технологическом отношении конические детали можно разделить на три типа:

- 1) *низкие* — небольшой относительной высоты $h/d = 0,1 \div 0,25$ с широким конусом и пологой образующей, имеющей угол с вертикалью в пределах $50-80^\circ$;
- 2) *средние* — с относительной высотой $h/d = 0,3 \div 0,7$ средней конусности и с углом образующей от 25 до 45° ;
- 3) *высокие* — большой относительной высоты $h/d = 0,8$ с узким конусом и крутой образующей, имеющей угол от 10 до 30° .

Вытяжка конических деталей так же, как и сферических, затруднена тем, что давление пуансона передается лишь небольшой поверхности в центре заготовки, вызывая значительное местное утонение, а иногда и обрывы материала. Кроме того, значительная часть поверхности заготовки остается вне прижима и легче образует гофры.

Вытяжка низких конических деталей обычно выполняется за одну операцию, но осложняется тем, что степень деформации заготовки невелика (за исключением мест, прилегающих к закругленным кромкам пуансона), вследствие чего вытяжка „распухивает“ и теряет свою форму. Поэтому надо увеличить давление прижима и создать в деформируемой заготовке значительные растягивающие напряжения, превышающие предел упругости материала, посредством применения матрицы с вытяжными ребрами (рис. 134, а).

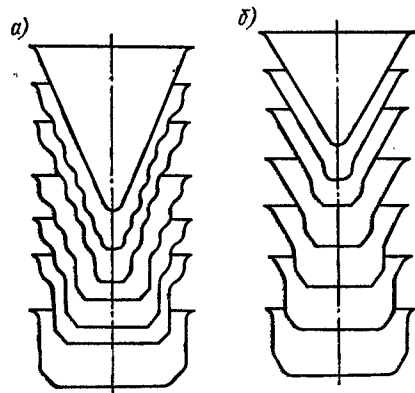


Рис. 135. Способы многооперационной вытяжки высоких конических деталей

На рис. 134, б показан другой способ вытяжки неглубоких, но широких конусов (ламповых рефлекторов), производимой в штампе с коническим прижимом. Вытяжка такого типа деталей хорошо осуществляется также гидравлической штамповкой.

Вытяжка конических деталей средней глубины в большинстве случаев производится за одну операцию. Лишь при малой относительной толщине заготовки, а также при наличии фланца требуются две или три операции вытяжки.

При штамповке деталей из сравнительно толстого материала (S/D) $100 > 2,5$, с небольшой разницей диаметральных размеров, вытяжка может происходить без прижима, аналогично вытяжке цилиндрических деталей. В данном случае необходима калибровка в конце рабочего хода глухим ударом.

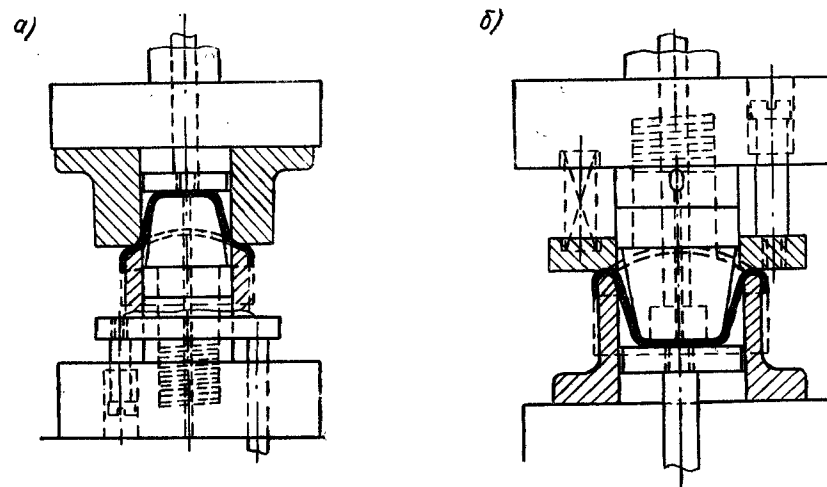


Рис. 136. Способы вытяжки конического стаканчика из цилиндрического колпачка с выпуклым дном

При изготовлении тонкостенных конических деталей со значительной разницей диаметров дна и верха вначале вытягивают более простую округленную форму с поверхностью, равной поверхности готовой детали, а затем в калибровочном штампе получают окончательную форму.

Вытяжка высоких конических деталей происходит за несколько последовательных операций.

На рис. 135 показаны два различных способа многооперационной вытяжки высоких конических деталей: а — старый не рекомендуемый способ вытяжки ступенчатого профиля с последующей калибровкой; б — более целесообразный способ постепенного увеличения высоты конуса.

При втором способе вначале вытягивается полуфабрикат, поверхностью равный или несколько больший поверхности конической детали, причем размеры бортов равны размерам бортов конуса. Затем за каждую последующую операцию вытягивается все увеличивающаяся часть конической поверхности.

Технологические расчеты переходов здесь те же, что и при вытяжке цилиндрических деталей с фланцем, только фланец в данном случае имеет коническую форму. Количество операций определяется коэффициентами вытяжки:

Относительная толщина заготовки (S/d_{n-1})	100	...	0,50	1,0	1,5	2,0
Коэффициент вытяжки $m_n = d_n/d_{n-1}$	0,85	...	0,8	0,75	0,7	

Здесь d_n и d_{n-1} — диаметры текущей и предыдущей вытяжек,

Наиболее важным является точный расчет перераспределения объема или поверхности металла по переходам при неизменных размерах фланца и нижней части конуса (рис. 135, б).

Высокие конические детали с небольшой разницей диаметров рекомендуется изготавливать путем вытяжки усеченного конуса непосредственно из цилиндрической заготовки с выпуклым дном (рис. 186). Способ прямой вытяжки (рис. 136, а) применяется при более толстом, а способ обратной вытяжки (рис. 186, б) — при более тонком материале. Соотношение между верхним и нижним диаметрами детали на второй операции зависит от относительной толщины материала:

Относительная толщина заготовки (S/d_1)	100	...	0,25	0,50	1,0	2,0
Соотношение d_2'/d_2''	...	0,9	0,85	0,8	0,75	

Здесь d_1 — диаметр первой вытяжки.

При изготовлении конических деталей без дна иногда целесообразнее применить штамповку из шайбы (с выворачиванием на конус) или, при небольшой конусности, — обжимку отрезка трубы.

Технология вытяжки с утонением стенок (протяжка и комбинированная вытяжка) [23]

В листовой холодной штамповке протяжка применяется как последующая операция вытяжки, производимая за счет утонения стенок в штампах с вазором, меньшим толщины металла. При этом происходит как утонение стенок, так и небольшое уменьшение наружного и внутреннего диаметров. Но так как основной деформацией является уменьшение толщины стенок, а не уменьшение внутреннего диаметра, то при технологических расчетах изменением последнего пренебрегают.

При вытяжке с утонением стенок количество операций определяют по допустимой степени деформации, которая находится по формуле

$$E = (F_{n-1} - F_n) / F_{n-1} \approx (S_{n-1} - S_n) / S_{n-1},$$

где S_{n-1} и S_n — толщина стенки до и после протяжки, мм; F_{n-1} и F_n — площадь поперечного сечения до и после данной деформации, мм².

71. Средние значения степени деформации E и коэффициенты утонения $m_{ут}$ при вытяжке с утонением стенок, %

Материал	Первая операция		Дальнейшие операции	
	E	$m_{ут}$	E	$m_{ут}$
Сталь мягкая	55—60	45—40	35—45	65—55
Сталь средней твердости	35—40	65—60	25—30	75—70
Латунь	60—70	40—30	50—60	50—40
Алюминий	60—65	40—35	40—50	60—50

Определение числа операций производится по формуле

$$n = \frac{\lg S_1 - \lg S_2}{\lg \frac{100 - E}{100}}$$

При технологических расчетах вытяжки с утонением можно пользоваться коэффициентами вытяжки, которые определяются отношением $m_{ут} = S_n / S_{n-1}$. Средние значения степени деформации при вытяжке с утонением стенок приведены в табл. 71.

При изготовлении тонкостенных гильз целесообразно применять одновременную протяжку через две (рис. 137) или три матрицы с постепенным утонением стенок. Суммарная степень деформации при этом получается больше, чем при вытяжке через одну матрицу ($E = 65 + 70\%$) [70].

Процесс вытяжки с утонением через две матрицы может происходить двояко: последовательно через две матрицы (рис. 138, а) или одновременно в двух матрицах (рис. 138, б). И тот и другой способы позволяют получить одинаково высокую степень деформации. Применение того или другого способа зависит от соотношения между высотой колпачка и расстоянием между матрицами (h , рис. 137, б). На первой

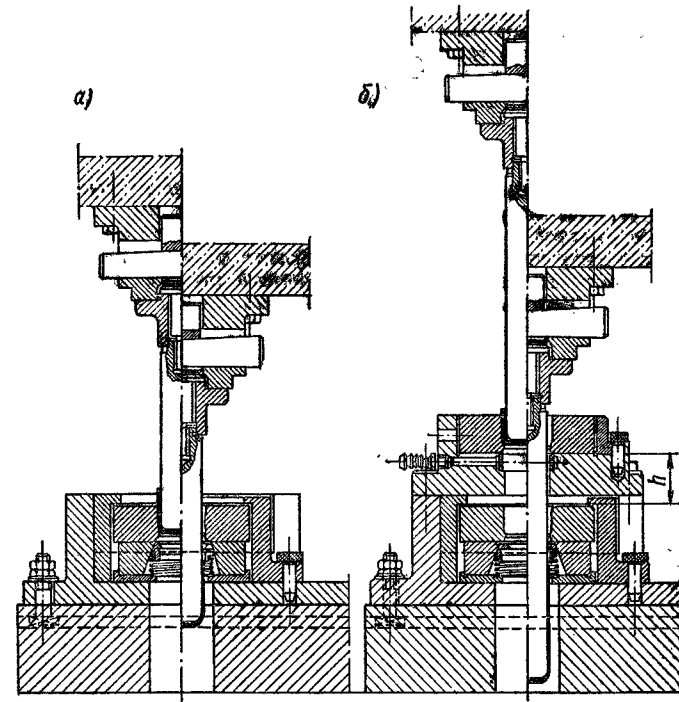


Рис. 137. Процесс вытяжки с утонением: а — через одну матрицу; б — через две матрицы

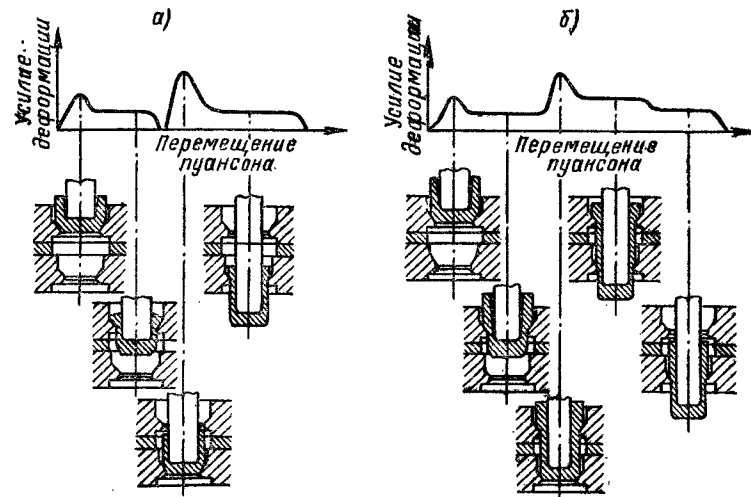


Рис. 138. Два способа вытяжки с утонением через две матрицы

операции может происходить последовательная протяжка, а на второй или третьей операции — одновременная протяжка в двух матрицах.

На рис. 138 в верхней части схем приведены графики изменения величины усилия на протяжении рабочего хода пуансона. Непрерывный график предпочтительнее, так как в нем отсутствует падение усилия до нуля, сопровождаемое упругой деформацией пресса и штампа.

На рис. 139 приведен процесс последовательной вытяжки тонкостенной стальной трубчатой детали.

Примеры расчета размеров полуфабриката по переходам приведены в специальной литературе. Там же указана особенность расчета последовательности вытяжек для получения деталей с заданными механическими свойствами.

Вытяжка с утонением высоких деталей малого диаметра имеет ряд достоинств: 1) возможность осуществления более высокой степени деформации, чем при обычной вытяжке, благодаря чему требуется меньшее количество операций;

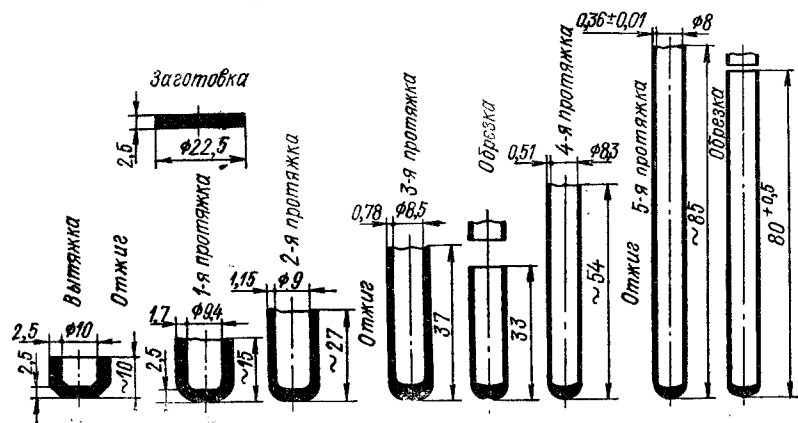


Рис. 139. Пример последовательности штамповки трубчатой детали

2) применение более простых и дешевых штампов, представляющих собой сменные узлы пуансона и матрицы;

3) возможность выполнения работы на прессах простого действия при полной автоматизации производственного процесса.

Недостатком вытяжки с утонением стенок является многооперационность процесса и необходимость применения промежуточных отжигов (рис. 139). Этого недостатка не имеет способ совмещенной (комбинированной) вытяжки, в котором одновременно сочетаются два вида деформации — значительное уменьшение диаметра вытяжки и уменьшение толщины стенок. В данном случае степень деформации определяется одновременным изменением диаметра и толщины стенки полуфабриката

$$E = 1 - m m_{\text{ут}},$$

где m — коэффициент вытяжки цилиндрических деталей (см. табл. 45); $m_{\text{ут}}$ — коэффициент утонения, равный для стали и латуни 0,5—0,7, для алюминия 0,6—0,75.

Благодаря сочетанию двух видов деформаций по ряду деталей удалось в два-три раза сократить количество операций вытяжки и создать типовой двухоперационный процесс вытяжки, в ряде случаев даже без промежуточного отжига.

На рис. 140 приведена схема комбинированной, если требуется, двухоперационной вытяжки. На рис. 140, а — комбинированная вытяжка с прижимом заготовки, на рис. 140, б — комбинированная вытяжка без прижима [22]. Этим способом можно изготовлять цилиндрические детали высотой $h = (2 \div 5) d$.

Разработан и внедрен новый метод совмещенной реверсивной вытяжки с утонением стенок, одновременно сочетающий три вида деформации: вытяжку, утонение

металла и изгиб на вытяжных кромках¹. Этим методом изготавливаются алюминиевые детали диаметром от 100 до 160 мм, высотой от 190 до 275 мм. Вытяжка производится

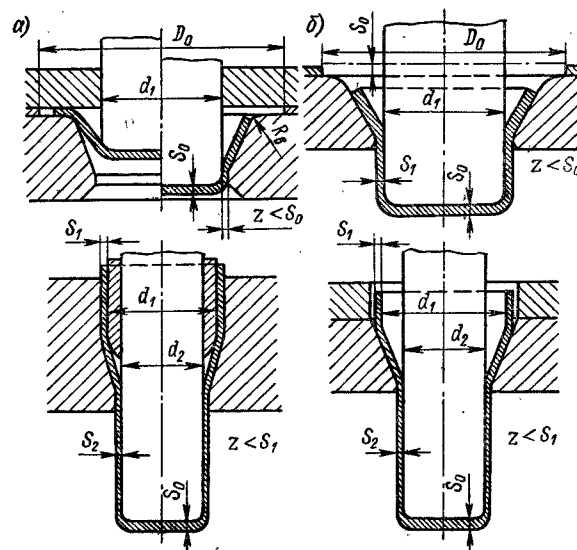


Рис. 140. Схемы комбинированной вытяжки

на прессе двойного действия с большими размерами открытой высоты. Процесс вытяжки идет в следующей последовательности: первая операция — вытяжка в штампе с прижимом при зазоре $z = S$ ($m_1 = 0,57 \div 0,60$); вторая операция — совмещенная вытяжка с прижимом и утонением стенки ($m_2 = 0,75 \div 0,80$; $m_{\text{ут}} = 0,9$; $m_{06} = 0,68 \div 0,72$); третья операция — совмещенная реверсивная вытяжка с утонением стенки ($m_3 = 0,80 \div 0,82$; $m_{\text{ут}} = 0,93$; $m_{06} = 0,70 \div 0,76$).

Последняя операция обеспечивает высокую чистоту наружной и внутренней поверхности детали, а также равномерную деформацию по толщине стенки.

Принципиально две первые операции вытяжки можно объединить в одну совмещенно-реверсивную операцию, как указано на рис. 141.

Для штамповки высоких деталей малого диаметра получил применение прогрессивный метод холодного выдавливания, выполняемый за один-два хода пресса. Иногда он сочетается с операцией протяжки.

Наиболее совершенным и наиболее экономически эффективным является способ штамповки цилиндрических колпачков из квадратной или шестигранной заготовки, с использованием процесса холодного выдавливания. Этот способ позволяет не только

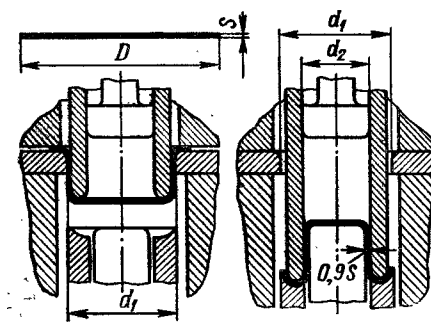


Рис. 141. Схема совмещенной реверсивной вытяжки

¹ Автор — канд. техн. наук А. А. Бебрис (Рижский политехнический институт).

сократить количество операций вытяжки, но и осуществить штамповку без отходов металла, так как квадратные заготовки штампуются из полосы сразу по несколько штук (3—6) при безотходном раскрое металла. Детали получаются с ровным краем, без фестонов.

Штамповка происходит следующим образом (рис. 142). Квадратная заготовка поступает по лотку в фиксирующее гнездо матрицы. Пуансон сгибает углы заготовки и передвигает ее в верхнюю полость матрицы. Суженный конец пуансона формирует донышко колпачка, утоняет стенки, выдавливая излишний по толщине металл во фланец. В то же время края пуансона нажимают на угловые выступы заготовки, постепенно укорачивая их и вытесняя металл к плоским краям фланца. Узкий конец пуансона продолжает обжимать стенки, втягивая металл в зазор между пуансоном и матрицей. Затем коническая часть пуансона прижимает утолщенный фланец к коническому уступу матрицы и производит прямое выдавливание металла в зазор между пуансоном и матрицей. В результате получается тонкостенный колпачок с утолщенным дном и коническим фланцем [17].

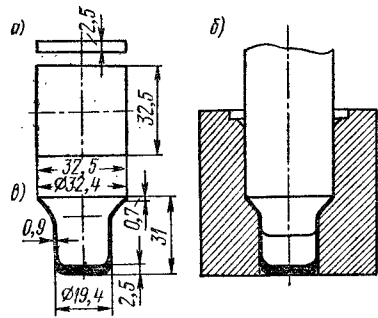


Рис. 142. Схема штамповки цилиндрических колпачков из квадратной заготовки: а — заготовка; б — схема штамповки; в — изделие

Последовательность деформаций квадратной заготовки и превращения ее в цилиндрический колпачок показана на рис. 143. Эта операция производится на горизонтальном прессе давлением 30 тс.

В следующей операции производится вытяжка с небольшим утонением материала, во время которой конический фланец получает цилиндрическую форму. Этим способом штампуют колпачки из латуни толщиной до 9 мм и из мягкой стали толщиной 2,5—4 мм. Это наиболее экономичный способ получения цилиндрических по-

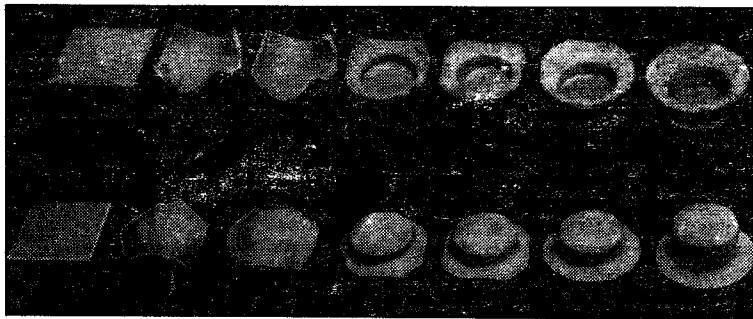


Рис. 143. Последовательность деформаций квадратной заготовки и превращение ее в цилиндрический колпачок

лых деталей, так как он дает 100-процентное использование полосового металла. Этот процесс успешно применяется на ряде заводов. Аналогично осуществляется изготовление колпачков из шестигранных заготовок, причем при их вырубке остаются небольшие боковые отходы полосы. В этом случае штамповку производят на прессах двойного действия.

В первой операции производится вырубка и вытяжка зубчатых колпачков, во второй — дальнейшая вытяжка с выдавливанием и выравниванием торца,

Технология вытяжки крупногабаритных деталей сложной формы

Типовыми крупногабаритными деталями, получаемыми методом вытяжки тонколистового металла, являются так называемые облицовочные детали кабины и кузовов автомобилей, детали мотоциклов и мотороллеров и т. п. (рис. 144). Эти детали отличаются сложной и несимметричной пространственной формой, а технологический процесс их изготовления имеет некоторые специфические особенности.

При вытяжке деталей сложной и несимметричной пространственной формы величина деформации металла различна в разных местах заготовки.

Для того чтобы обеспечить получение детали сложной пространственной формы из плоской заготовки, необходимо создать разные условия течения металла по контуру заготовки: в одних участках облегчить перемещение металла из-под прижимного кольца, а в других участках затормозить его путем применения вытяжных или тормозных ребер и порогов на матрице или прижимном кольце. В большинстве случаев

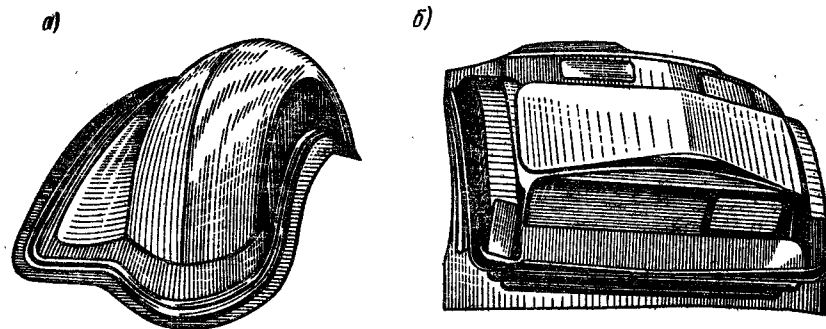


Рис. 144. Штампованные детали автомобильного кузова: а — крыло автомобиля; б — внутренняя передняя панель

вытяжные штампы для крупных кузовных деталей снабжены одним, а в некоторых местах двумя и даже тремя рядами вытяжных ребер.

Сильный прижим и торможение заготовки увеличивают сопротивление течения металла из-под прижимного кольца и способствуют лучшему обтягиванию металла по форме пуансона и распространению деформации по всей площади заготовки. При этом происходит более полное использование пластичности металла в результате деформации средней части заготовки за счет уменьшения толщины последней.

В начале процесса вытяжки деталей сложной формы пуансон соприкасается с заготовкой лишь в отдельных местах, а большая часть заготовки находится вне контакта с рабочими частями штампа. Эта „свободная“ поверхность заготовки, подвергаясь тангенциальному сжатию, легко образует гофры и волны при вытяжке. Тангенциальное сжатие можно уменьшить путем значительного увеличения растягивающих напряжений.

На рис. 145 показано влияние вытяжных ребер на распределение напряжений во фланце. Сплошные линии соответствуют распределению напряжений без ребер, а штриховые — распределению напряжений в результате натяжения двумя ребрами. В результате натяжения тангенциального сжатия значительно уменьшены.

Применение вытяжных ребер препятствует возникновению гофров или складок также вследствие того, что ребро, образованное на фланце заготовки, обладает большей жесткостью и большей устойчивостью на продольный изгиб.

При вытяжке деталей сложной формы металл фланца не вытягивается полностью из-под прижимного кольца, а остается до конца вытяжки и в дальнейшем удаляется обрезкой. Поэтому в данном случае необходимо предусматривать технологические

припуски значительных размеров, что приводит к нежелательному увеличению расхода металла.

Повышение растягивающих напряжений при вытяжке деталей сложной пространственной формы позволяет значительно уменьшить упругие деформации после вытяжки и в особенности после обрезки фланца.

Асимметричность и сложность формы деталей и неравномерность деформации по различным участкам заготовки не позволяют применить для оценки степени деформации коэффициенты вытяжки цилиндрических деталей.

Как правило, вытяжка деталей сложной пространственной формы производится за одну операцию из-за высоких требований к качеству поверхности и недопустимости появления на ней следов от предыдущей вытяжки.

Ввиду большого разнообразия формы облицовочных деталей автомобилей и их непрерывного изменения до настоящего времени не создано единого метода технологических расчетов. Однако в результате проведенных исследований вытяжки автокузовных деталей и на основании обобщения производственного опыта созданы соответствующие технологические рекомендации.

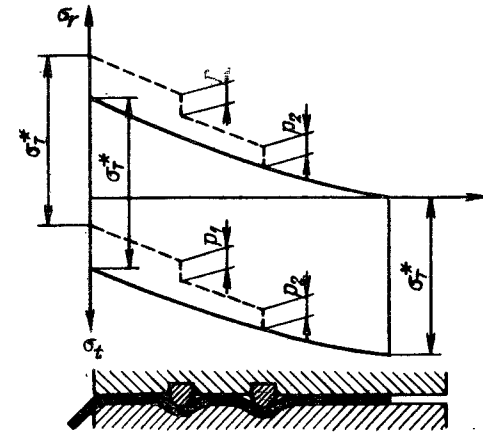


Рис. 145. Влияние вытяжных ребер на распределение напряжений во фланце (по А. Д. Томленову)

мом участке заготовки. Эта оценка недостаточно правильна, так как при вытяжке деталей сложной формы возникает не одноосное, а двухосное растяжение. Как показал А. Д. Томленов, в этом случае создается повышенная устойчивость пластической деформации, осуществляемой при значительном уменьшении толщины материала. В результате критическая величина интенсивности деформаций, при которой происходит потеря устойчивости, в два раза выше, чем при одноосном растяжении.

Построение вытяжных переходов для крупных деталей сложной формы производится в следующей последовательности [145]:

- 1) определение положения детали в штампе;
- 2) технологическая корректировка формы детали в вытяжном переходе;
- 3) определение величины и расположения технологических припусков;
- 4) определение формы и расположения технологических вырезов — окон;
- 5) выбор формы прижимной поверхности вытяжного штампа;
- 6) установление количества и расположения тормозных ребер (порогов);
- 7) определение способа фиксации вытяжного перехода в обрезном штампе.

Положение детали в штампе должно быть оптимальным и должно удовлетворять следующим условиям: беспрепятственный вход пуансона в матрицу; получение возможно меньшей глубины вытяжки; увеличение площади соприкосновения пуансона с заготовкой, для чего необходимо, чтобы прижимная поверхность матрицы соответствовала нижней поверхности пуансона; отсутствие перетягивания металла

через вершину пуансона на другую сторону; равномерное распределение давления прижимного кольца на матрицу.

Форма вытяжного перехода должна по возможности полностью соответствовать форме готовой детали. В случае недостаточности технологичной формы детали в форме вытяжного перехода должны быть предусмотрены некоторые изменения, улучшающие условия формообразования. С этой целью отдельным участкам придается положение, наиболее благоприятное для вытяжки, а также производится смягчение резких переходов формы поверхности путем увеличения радиусов закругления (если это необходимо).

Величина и расположение технологических припусков зависят от требуемой степени торможения заготовки под прижимом, от формы и расположения прижимной поверхности, от условий выполнения последующей обрезки.

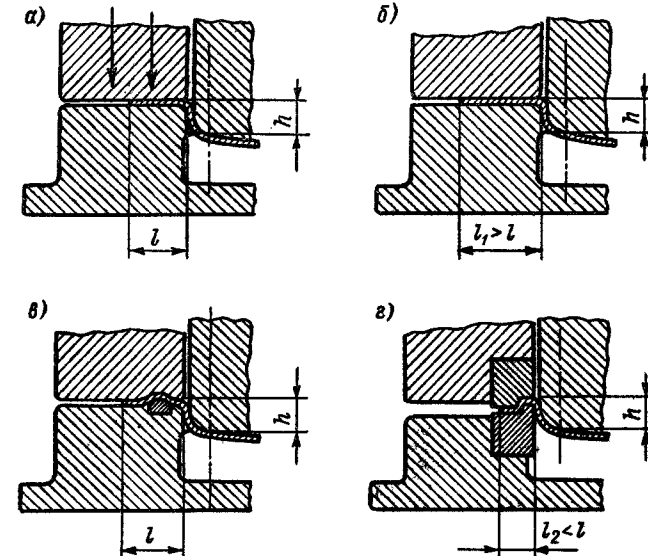


Рис. 146. Различные способы увеличения интенсивности торможения фланца заготовки под прижимом

На рис. 146 приведены различные способы повышения интенсивности торможения фланца заготовки под прижимом: а — увеличение усилия прижима; б — увеличение ширины фланца; в — применение вытяжных (тормозных) ребер; г — применение перетяжных порогов.

Первый способ наиболее распространен, но не всегда достигает цели; второй способ приводит к повышенному расходу металла; третий и четвертый способы наиболее целесообразны.

Размер технологического припуска зависит от числа вытяжных ребер и примерно составляет при одном ребре около 30—40 мм на сторону, при двух рядах ребер — около 60—70 мм на сторону, при трех рядах ребер — около 80—100 мм на сторону. Однако размер технологического припуска в значительной степени зависит от положения линии обрезки и возможности размещения режущей секции обрезного штампа. В отдельных случаях чрезмерная сложность формы штампуемой детали приводит к необходимости значительного увеличения технологического припуска.

Применение технологических вырезов вызывается необходимостью облегчить образование местных углублений или выступов путем перетягивания металла от середины к краям заготовки. Обычно вырезка окон производится одновременно с местной вытяжкой, после начала формообразования. Технологические вырезы или надрезы

делают в местах заготовки, подлежащих удалению, и располагают около наиболее напряженных участков деформируемой заготовки. Следует остерегаться образования гофров и разрывов узких оковных проемов, для чего лучше делать не один, а два или три выреза.

Выбор формы прижимной поверхности вытяжного штампа позволяет уменьшить глубину вытяжки, снизить технологический припуск, создать плавный изгиб заготовки при прижиге ее к матрице, облегчить условия обтяжки заготовки по форме пуансона.

Прижимная поверхность штампа должна быть типа „развертывающихся“ поверхностей [162]. Такая форма прижимной поверхности позволит наложить заготовку на матрицу без растяжения или сжатия ее средней части. Для правильного решения данного вопроса необходим большой производственный опыт; рекомендуется применение гипсовых моделей.

Количество и расположение тормозных ребер зависит от степени сложности формы вытягиваемой детали и необходимости создать участки с повышенной интенсивностью торможения фланца. Назначение и различные способы торможения были приведены выше.

Применение тормозных ребер при вытяжке деталей сложной формы позволяет значительно расширить интервал регулировки усилия прижима, в то время как в штампах без тормозных ребер допустимый интервал регулировки усилия прижима весьма мал и граничит или с возникновением морщин и складок, или с разрывом.

Форма и размеры тормозных ребер будут рассмотрены ниже. Разработан способ регулирования

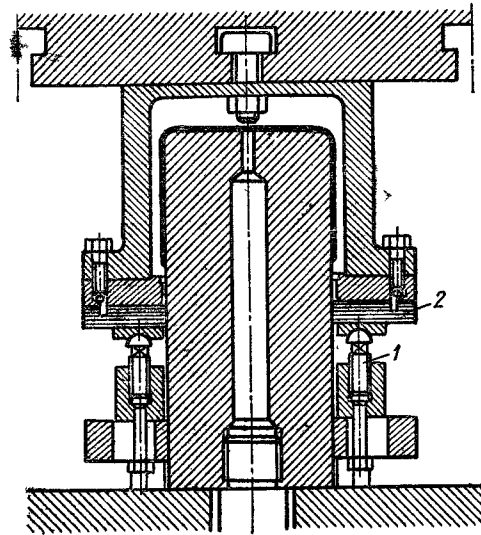


Рис. 147. Вытяжной штамп с регулируемым прижимным стойками

усилия прижима в различных местах прижимаемого фланца.

На рис. 147 показано устройство вытяжного штампа с регулируемым по высоте стойками 1, с шаровыми головками и подпятниками, на которые устанавливается рамка из многослойной фанеры 2. Эта рамка является эластичным прижимом — складкодержателем, позволяющим изменять усилие прижима.

Недостатком жесткого прижима с тормозными ребрами является практически неизменяемая интенсивность торможения фланца на всем протяжении рабочего хода. Однако целесообразно, чтобы к концу вытяжки торможение фланца было более интенсивным, чем в начале процесса. С этой целью применяют дополнительные устройства, позволяющие увеличить торможение к концу рабочего хода (рис. 148).

Способы фиксации вытяжных переходов в обрезном штампе влияют не только на величину технологического припуска, но и на форму вытяжного перехода, которая должна обеспечить надежную фиксацию на всех последующих переходах без затрат лишнего времени на установку и удаление штамповки.

Существуют два способа фиксации вытяжных переходов сложной формы: фиксация по боковым стенкам или рельефным участкам переходов; фиксация по технологическим отверстиям, пробиваемым или прокальваемым при вытяжке. Первый способ более удобен и более пригоден при автоматизации штамповки. Второй способ более точен, но требует большего времени и не удобен для автоматизации процессов.

С целью упрощения разработки формы вытяжных переходов для деталей сложной формы изготавливают гипсовую модель вытяжной матрицы. По модели отрабаты-

вают чертеж вытяжного перехода, на котором проставляют размеры и фиксируют форму технологических участков гипсовой модели. Этот способ обладает большой наглядностью и облегчает нахождение правильного решения технологических вопросов.

Примеры построения технологических процессов и формы вытяжных переходов для конкретных автомобильных деталей приведены в специальной литературе.

Заслуживает внимания способ „Jewelform“ штамповки и изготовления штампов из легкоплавкого сплава „джуэлит“ с температурой плавления 70° С для деталей автомобильных радиаторов и др.

Помимо опыта, необходимого для разработки технологических процессов вытяжки деталей сложной формы, большое значение имеет научный анализ процесса вытяжки, позволяющий установить величину возникающих напряжений, избежать

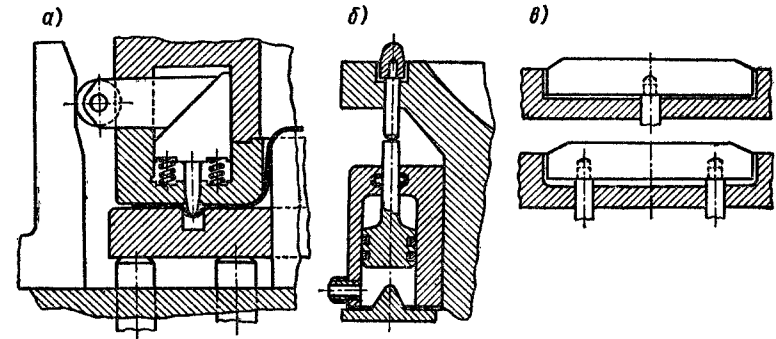


Рис. 148. Способы увеличения усилия прижима к концу рабочего хода: а — при помощи клинового устройства; б — при помощи пневматических цилиндров; в — крепление опорных стержней

образования разрывов или иных дефектов и правильно выбрать металл с необходимыми механическими свойствами.

Для выбора металла с наилучшими механическими свойствами для вытяжки заданной детали необходимо исследовать напряженно-деформированное состояние, возникающее в процессе формообразования.

При вытяжке деталей сложной формы могут возникать три вида напряженного состояния:

- 1) напряженное состояние, близкое к одноосному растяжению;
- 2) двухосное растяжение или близкое к нему;
- 3) растяжение со сжатием.

Напряженное состояние, близкое к одноосному растяжению, оказывается самым неблагоприятным, поскольку в этих условиях металл выдерживает меньшие критические деформации по сравнению с двухосным растяжением. В этом случае о пригодности металла можно судить по результатам испытаний на одноосное растяжение.

При двухосном растяжении по мере вытяжки образуется утонение металла. Критические деформации, при которых происходит разрыв металла, определяются по результатам гидростатического испытания на двухосное растяжение.

Как показали исследования, для успешного течения процесса необходимо, чтобы металл, имея достаточную пластичность, обладал хорошей способностью к упругости. Установлено, что анизотропия металла положительно влияет на штампуемость листовой стали. Желателен металл с высоким показателем анизотропии ($R_{cp} = 1,2 \div 1,7$).

Растяжение со сжатием является более благоприятным. Однако возникновение сжимающих напряжений приводит к образованию морщин. Таким образом, растяжение со сжатием практически не позволяет получать деформации большей величины, чем при двухосном растяжении.

В Институте машиноведения АН СССР разработана методика определения напряженно-деформированного состояния, возникающего при штамповке деталей

сложной формы. По этой методике по величинам деформаций, измеренным на деталях с помощью координатной сетки, подсчитывают (или находят по таблицам) значения интенсивности деформаций и напряжений в опасных местах. Затем, задаваясь коэффициентом использования пластичности металла, вычисляют критические значения интенсивности напряжений и деформаций, по которым выбирается металл надлежащего качества или проверяется пригодность ранее выбранного металла.

Расчет напряженно-деформированного состояния ведется следующим способом [133; 135].

Перед штамповкой на плоскую заготовку методом шелкографии наносится сетка в виде окружностей диаметром 20 мм. После штамповки окружности принимают форму эллипсов или окружностей большего диаметра.

Измерив масштабной линейкой оси эллипсов L_1 и L_2 , подсчитывают логарифмические деформации

$$\varepsilon_1 = \ln \frac{L_1}{L_0} \quad \text{и} \quad \varepsilon_2 = \ln \frac{L_2}{L_0}.$$

По логарифмическим деформациям определяется интенсивность деформаций

$$\varepsilon_e = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_1 \varepsilon_2 + \varepsilon_2^2}.$$

В приведенной формуле ε_e из условия постоянства объема выражена через две другие деформации ε_1 и ε_2 .

Напряженно-деформированное состояние характеризуется величиной m^* ¹

$$m^* = (\varepsilon_1 + 2\varepsilon_2) / (2\varepsilon_1 + \varepsilon_2) = \sigma_2 / \sigma_1,$$

где σ_1 и σ_2 — главные нормальные напряжения.

При $m^* = 0$ имеет место одноосное растяжение, при $m^* = 1$ происходит равномерное двухосное растяжение, при $1 > m^* > 0$ — неравномерное двухосное растяжение, при $m^* = -1$ — чистый сдвиг, а при $m^* < 0$ — растяжение со сжатием. Пользуясь значением m^* , определяют критическую интенсивность деформаций для данного напряженного состояния по формуле, выведенной из условия потери устойчивости,

$$\varepsilon_k = \frac{2\sqrt{1-m^*+(m^*)^2}}{2-m^*} n,$$

где n — показатель упрочнения, определяемый по результатам испытаний на одноосное или двухосное растяжение.

При одноосном растяжении при $m^* = 0$;

$$\varepsilon_1 = n; \quad \varepsilon_2 = -0,5n; \quad \varepsilon_3 = -0,5n.$$

При двухосном растяжении при $m^* = 1$;

$$\varepsilon_1 = n; \quad \varepsilon_2 = n; \quad \varepsilon_3 = -2n.$$

Отсюда следует, что при двухосном растяжении возможная наибольшая критическая деформация растяжения в два раза больше, чем при простом растяжении, а наибольшая логарифмическая деформация уменьшения толщины в четыре раза больше, чем при одноосном растяжении.

Для облегчения расчетов составлены вспомогательные таблицы, подсчитанные на электронно-вычислительной машине, по которым, зная величины осей эллипсов L_1 и L_2 , находят соответствующие им логарифмические деформации ε_1 и ε_2 , интенсивность деформаций ε_e , а также значения m^* и ε_k без каких-либо вычислений.

Для определения интенсивности напряжений в данной точке σ_e по измеренным деформациям необходимо иметь график зависимости $\sigma_e = \sigma_e(\varepsilon_e)$ того металла, из которого штамповалась деталь с нанесенной сеткой. График строится по результатам гидростатического испытания на двухосное растяжение,

¹ В отличие от коэффициента вытяжки m эта величина в справочнике обозначена через m^* .

Таким образом, результаты исследования позволяют количественно оценить существующий технологический процесс, выяснить причины брака при вытяжке, а также обоснованно классифицировать конструктивные формы облицовочных деталей.

22. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ ВЫТЯЖКИ И ПРИЖИМА

Усилие вытяжки изменяется на протяжении рабочего хода пуансона, достигая максимума при глубине $h = (0,4 + 0,6) H$, где H — полная глубина вытяжки [183].

На рис. 149 приведены три экспериментальные кривые изменения усилия вытяжки, кривая 1 — для стали 08, кривая 2 — для латуни Л62, кривая 3 — для алюминия, полученные при одинаковых размерах заготовки и одинаковом коэффициенте вытяжки. На той же диаграмме указано положение теоретического максимума.

Несовпадение максимума теоретических кривых с экспериментальными объясняется тем, что в теоретических исследованиях не учитывалась начальная стадия глубокой вытяжки и возникающие в ней напряжения [117]. Тем самым предполагалось, что сразу с момента приложения тянущего усилия начинается пластическая деформация фланца заготовки, чего нет в действительности (см. рис. 80).

Теоретическим исследованием процесса вытяжки посвящен ряд работ советских и зарубежных авторов. Наиболее глубокий анализ процесса вытяжки дан в работах Е. А. Попова [95] и А. А. Шофмана [183].

На практике получили применение инженерные формулы для определения усилия вытяжки, которые исходят из известного положения, что допустимые напряжения в опасном сечении должны быть меньше разрушающих, а следовательно, наибольшее усилие предельно возможной вытяжки должно быть несколько меньше усилия, необходимого для разрыва боковых стенок изделия около дна (в опасном сечении),

$$P \leq LS\sigma_p,$$

где L — длина периметра изделия (по среднему диаметру); $\sigma_p = \sigma_b(1 + \delta_b)$ — разрушающее напряжение в опасном сечении, равное для стали 10 1,2 σ_b .

Фактическая величина напряжений в опасном сечении, а следовательно, и усилие вытяжки зависит от сопротивления металла деформированию, степени деформации или коэффициента вытяжки, относительной толщины заготовки, относительного радиуса закругления матрицы и пуансона, показателя анизотропии.

Принимая наибольшее допустимое напряжение в опасном сечении $\sigma_p = (1,1 + 1,2) \sigma_b$ и используя производственные и экспериментальные данные, автор предложил для определения усилий вытяжки изделий различной геометрической формы практические формулы и коэффициенты к ним, учитывающие зависимость усилия от степени вытяжки и от относительной толщины заготовки (табл. 72—77).

Определение давления прижима имеет в основном расчетное и конструктивное значение для нахождения полного усилия расчета вытяжки, буфера, пружин и т. д. На практике необходимое давление прижима устанавливается по отсутствию складкообразования и разрывов металла.

При вытяжке цилиндрических деталей на прессах двойного действия с жестким прижимом важна не величина давления, а установление минимально необходимого

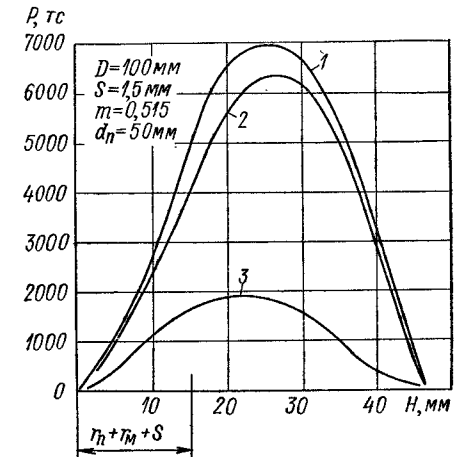


Рис. 149. Экспериментальные кривые усилия вытяжки

72. Практические формулы для определения усилий вытяжки

Типы вытягиваемых изделий	Операции вытяжки	Формулы	Таблицы коэффициентов
Цилиндрические без фланца	Первая	$P = \pi d_1 S \sigma_B k_1$	73
	Вторая и последующие	$P = \pi d_2 S \sigma_B k_2$	74
Цилиндрические с широким фланцем	Первая	$P = \pi d_1 S \sigma_B k_\Phi$	75
Конические и сферические с фланцем	Первая	$P = \pi d_k S \sigma_B k_\Phi$	75
Овальные коробки	Первая	$P = \pi d_{ср1} S \sigma_B k_1$	73
	Вторая и последующие	$P = \pi d_{ср2} S \sigma_B k_2$	74
Низкие прямоугольные коробки (вытяжка в одну операцию)	—	$P = (2A + 2B - 1,72 r) S \sigma_B k_n$	76
Высокие квадратные коробки (многооперационная вытяжка)	Первая и вторая	Как для цилиндрических изделий $P = (4B - 1,72 r) S \sigma_B k_B$	73 и 74
	Последняя		75
Высокие прямоугольные коробки (многооперационная вытяжка)	Первая и вторая Последняя	Как для овальных коробок $P = (2A + 2B - 1,72 r) S \sigma_B k_B$	73 и 74 75
Вытяжка с утонением стенок (цилиндрические детали)	Вторая и последующие	$P = \pi d_n (S_{n-1} - S_n) \sigma_B k_y$	—

Обозначения: P — усилие вытяжки, кгс; d_1 и d_2 — диаметры цилиндрической детали на первой и второй операциях, считая по средней линии ($d = d_m - S$), мм; d_k — меньший диаметр конической детали и 0,5 диаметра сферической детали, мм; $d_{ср1}$ и $d_{ср2}$ — средний диаметр овальных деталей после первой и второй вытяжки, мм; d_n — наружный диаметр детали после n -й операции вытяжки, мм; A и B — длина и ширина прямоугольной коробки, мм; r — радиус углового закругления коробки, мм; S — толщина материала, мм; S_{n-1} ; S_n — толщина стенки (мм) после $n-1$ и n -й операций вытяжки; k_1 , k_2 , k_Φ , k_n , k_B — коэффициенты, находимые по таблицам, приведенным ниже; k_y — коэффициент, равный для латуни 1,6—1,8, для стали 1,8—2,25.

73. Значение коэффициентов k_1 для первой вытяжки цилиндрических деталей из сталей 08—10

Относительная толщина заготовки (S/D) 100	Относительный диаметр заготовки D/S	Значение k_1 при коэффициентах первой вытяжки m_1									
		0,45	0,48	0,50	0,52	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	
5,0	20	0,95	0,85	0,75	0,65	0,60	0,50	0,43	0,35	0,30	
2,0	50	1,10	1,00	0,90	0,80	0,75	0,60	0,50	0,42	0,35	
1,2	83	—	1,10	1,00	0,90	0,80	0,68	0,56	0,47	0,37	
0,8	125	—	—	1,10	1,00	0,90	0,75	0,60	0,50	0,40	
0,5	200	—	—	—	1,10	1,00	0,82	0,67	0,55	0,45	
0,2	500	(Область обрывов)		—	—	1,10	0,90	0,75	0,60	0,50	
0,1	1000	—	—	—	—	1,10	0,90	0,75	0,60	0,60	

Примечание. При малых радиусах закруглений [$r = (4-6)S$] коэффициент k_1 берется на 8% больше указанного, а область обрывов несколько увеличивается.
Коэффициент k_1 представляет собой отношение $k_1 = \sigma_r / \sigma_B$, где σ_r — радиальное напряжение вытяжки в зависимости q от m и (S/D) 100.

74. Значение коэффициентов k_2 для второй вытяжки цилиндрических деталей из сталей 08—10

Относительная толщина заготовки (S/D) 100	Относительная толщина наибольшей первой вытяжки (S/d ₁) 100	Значение k_2 при коэффициентах второй вытяжки									
		0,70	0,72	0,75	0,78	0,80	0,82	0,85	0,88	0,90	
5,0	11,00	0,85	0,70	0,60	0,50	0,42	0,32	0,28	0,20	0,15	
2,0	4,00	1,10	0,90	0,75	0,60	0,52	0,42	0,32	0,25	0,20	
1,2	2,50	—	1,10	0,90	0,75	0,62	0,52	0,42	0,30	0,25	
0,8	1,50	—	—	1,00	0,82	0,70	0,57	0,46	0,35	0,27	
0,5	0,90	—	—	1,10	0,90	0,76	0,63	0,50	0,40	0,30	
0,2	0,30	(Область обрывов)		—	1,00	0,85	0,70	0,56	0,44	0,33	
0,1	0,15	—	—	—	1,10	1,00	0,82	0,68	0,55	0,40	

Примечание. При малых радиусах закруглений коэффициенты k_2 берутся на 5% больше указанных, а область обрывов увеличивается.

Коэффициенты для последующих (3, 4, 5-й) вытяжек находятся по этой же таблице для соответствующих m_2 и S/d, но берутся больше или меньше фактического значения;

1) при вытяжке без промежуточных отжигов берется большее (ближайшее нижнее) значение коэффициента k_n ;

2) при вытяжке с промежуточными отжигами берется меньшее (ближайшее верхнее) значение коэффициента k_n .

Если первая вытяжка меньше предельно допустимой и получена при повышенных коэффициентах m_1 , то при том же значении (S/D) 100 относительные толщины (S/d₁) 100 будут меньше приведенных в таблице.

75. Значение коэффициентов k_ϕ для вытяжки цилиндрических деталей с широким фланцем из сталей 08—10 [для $(S/D) 100 = 0,6 \div 2,0$]

Отношение d_ϕ/d	Значение k_ϕ при коэффициентах первой вытяжки $m_1 = d_1/D$										
	0,35	0,38	0,40	0,42	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75
3,0	1,0	0,9	0,83	0,75	0,68	0,56	0,45	0,37	0,30	0,23	0,18
2,8	1,10	1,0	0,90	0,83	0,75	0,62	0,50	0,42	0,34	0,26	0,20
2,5	—	1,10	1,00	0,90	0,82	0,70	0,56	0,46	0,37	0,30	0,22
2,2	—	—	1,10	1,00	0,90	0,77	0,64	0,52	0,42	0,33	0,25
2,0	—	—	—	1,10	1,00	0,85	0,70	0,58	0,47	0,37	0,28
1,8	—	—	—	—	1,10	0,95	0,80	0,65	0,53	0,43	0,33
1,5	(Область обрывов)		—	—	—	1,10	0,90	0,75	0,62	0,50	0,40
1,3	—		—	—	—	—	1,00	0,85	0,70	0,56	0,45

Примечание. Эти же коэффициенты могут быть применены для конических и сферических деталей с фланцем при вытяжке в штампах без вытяжного ребра. При вытяжке тех же деталей в штампах с вытяжным ребром (буртом) значение коэффициента k_ϕ увеличивается на 10—20%, а область обрывов соответственно возрастает.

76. Значение коэффициентов k_n для вытяжки низких прямоугольных коробок из плоской заготовки на одну операцию

Относительная высота коробок h/B при относительной толщине заготовки $(S/D)100$				Значение коэффициентов k_n при относительном радиусе угловых закруглений r/B				
2,0—1,5	1,5—1,0	1,0—0,5	0,5—0,2	0,8	0,2	0,15	0,10	0,05
1,20	1,10	1,00	0,90	0,8	—	—	—	—
1,00	0,95	0,90	0,85	0,7	0,8	—	—	—
0,90	0,85	0,76	0,70	0,6	0,7	0,8	—	—
0,75	0,70	0,65	0,60	0,5	0,6	0,7	0,8	—
0,60	0,55	0,50	0,45	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
0,40	0,35	0,30	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7

Примечание. По заданной высоте коробки h/B и относительной толщине заготовки по известному относительному радиусу r/B находят в правой части таблицы коэффициент k_n . Относительная высота коробок h/B дана для сталей 08—15, для других материалов применять поправки в ту или другую сторону в соответствии с большей или меньшей пластичностью металла.

для данной толщины листа зазора между матрицей и прижимом, не защемляющего заготовку, но препятствующего образованию складок.

Расчетное усилие прижима находится по следующим формулам:

усилие прижима для вытяжки деталей любой формы (в общем виде) $Q = Fq$; усилие прижима для первой вытяжки цилиндрических деталей (из плоской заготовки)

$$Q = 0,25\pi [D^2 - (d_1 + 2r_m)^2] q;$$

усилие прижима для последующих вытяжек цилиндрических деталей (из пустотелых заготовок)

$$Q = 0,25\pi [d_{n-1}^2 - (d_n + 2r_m)^2] q.$$

Здесь F — площадь заготовки под прижимом, мм^2 ; q — давление прижима, кгс/мм^2

77. Значение коэффициентов k_B для последней операции вытяжки высоких квадратных и прямоугольных коробок из полых цилиндрических и овальных заготовок (стали 08—15)

Относительная толщина заготовки, %			Значение коэффициентов k_B при относительном радиусе угловых закруглений r/B				
S/D	S/d_1	S/d_2	0,30	0,20	0,15	0,1	0,05
2,0	4,0	5,5	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80
1,2	2,5	3,0	0,50	0,60	0,75	0,80	1,00
0,8	1,5	2,0	0,55	0,65	0,80	0,90	1,10
0,5	0,9	1,1	0,60	0,75	0,90	1,00	—

Примечание. Для прямоугольных коробок d_1 и d_2 берутся равными меньшему диаметру овала первой и второй вытяжек. Если первые вытяжки меньше предельно допустимой величины, то значения S/d_1 и S/d_2 будут меньше приведенных в таблице. Для других материалов применять поправки соответственно изменению пластичности металла (увеличить при уменьшении пластичности).

d_1, \dots, d_n — диаметры вытяжки (матрицы) на первой и n -й операциях, мм; r_m — радиус закругления вытяжной кромки матрицы, мм.

Среднее давление прижима q (кгс/мм^2) указано ниже. Приведенные опытные данные являются приближенными, так как не учитывают степени вытяжки и относительной толщины заготовки.

Для стали мягкой:
при $S < 0,5$ мм 0,20—0,30
при $S > 0,5$ мм 0,15—0,25
Для латуни 0,10—0,20

Более точная зависимость, учитывающая указанные факторы для мягкой стали, определяется по формуле

$$q = 0,2 (D/d - 1,2) (D/S 100) \text{ кгс/мм}^2.$$

Так, например, при вытяжке с коэффициентом $m = 0,6$ из заготовки относительной толщины $(S/D) 100 = 2$ давление прижима $q = 0,05$ кгс/мм^2 , а при применении конической матрицы вытяжка может быть выполнена и без прижима, т. е. при $q = 0$. При том же коэффициенте вытяжки $m = 0,6$, но при относительной толщине материала $(S/D) 100 = 0,3$ давление прижима составляет $q = 0,30$ кгс/мм^2 , а при $(S/D) 100 = 2$ давление увеличивается до $q = 0,46$ кгс/мм^2 .

Значения близкие к рассчитанным по формуле дает номограмма, приведенная на рис. 150. Давление прижима, найденное по номограмме, определяется теми же параметрами.

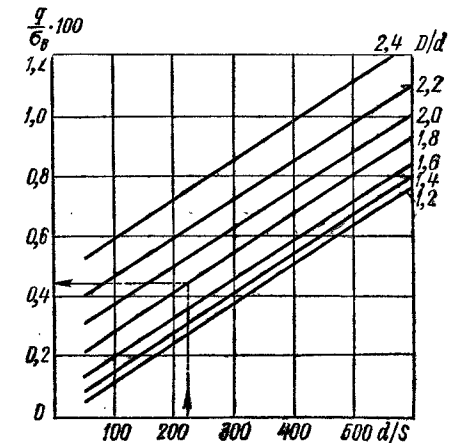


Рис. 150. Номограмма для определения давления прижима в зависимости от d/S и D/d (для стали 10)

Полное усилие вытяжки для прессов простого действия равно

$$P = P_p + Q,$$

где P_p — расчетное усилие вытяжки; Q — усилие прижима (буфера).

У крупных вытяжных прессов двойного действия усилие прижима обычно составляет 0,5—0,6 номинального усилия пресса (на вытяжном ползуне). При применении пневматических или гидроневматических буферных устройств на прессах простого действия усилие прижима обычно не превышает 25% от номинального усилия пресса.

Усилие прижима на второй операции вытяжки в шесть раз меньше, чем на первой операции, что вполне естественно.

23. РАБОТА И СКОРОСТЬ ВЫТЯЖКИ

На рис. 149 приведена диаграмма изменения усилия вытяжки на протяжении рабочего хода пуансона для разных материалов при одинаковых коэффициентах вытяжки.

Действительная работа вытяжки равна площади, ограниченной кривой диаграммы. Для ее определения следует исходить не из наибольшего усилия P_{\max} , а из средней величины

$$P_{cp} = \Sigma P_h dh/h = CP_{\max},$$

где P_h — переменное значение усилия вытяжки для каждой глубины рабочего хода. По опытным данным, значение коэффициента C составляет обычно от 0,6 до 0,8. Работа вытяжки определяется по формуле

$$A = P_{cp} h/1000 = CP_{\max} h/1000 \text{ кгс} \cdot \text{м},$$

где h — глубина вытяжки, мм.

Найденную работу вытяжки суммируют с работой сжатия буфера и выталкивателя и сравнивают с работой, которую может произвести пресс за один рабочий ход

78. Приближенное значение линейной скорости вытяжки

Материал	Скорость вытяжки (мм/с) на прессах	
	простого действия	двойного действия
Алюминий	900	500
Алюминиевые сплавы	—	150—200
Латунь	1000	500
Медь	750	430
Сталь	300	180—250
Сталь нержавеющей	—	100—150

$A + A_6 \leq A_{пр}$. Эта работа складывается из полезной энергии маховика (маховых колес) и небольшой части энергии, отдаваемой электродвигателем.

Вопрос о скорости вытяжки еще не получил окончательного решения.

Общее развитие прессостроения в последние годы направлено по пути повышения производительности за счет некоторого увеличения числа ходов пресса. Однако резкого увеличения числа ходов прессов не наблюдается, за исключением штамповочных автоматов.

Исследования Р. В. Пихтовникова экспериментально доказали, что скорость вытяжки при определенных условиях может быть увеличена в десятки раз.

Получившие за последнее время применение методы вытяжки—формовки под действием импульсных нагрузок (давлением взрыва, электрогидравлического

разряда, электромагнитного поля и др.) показывают, что скорости формообразования могут быть значительно увеличены в сравнении с существующими. Однако это не относится к вытяжке на кривошипных механических прессах и особенно к вытяжке крупногабаритных деталей сложной формы.

А. Д. Томленов показал, что увеличение скорости вытяжки крупных деталей сложной формы отрицательно влияет на процесс пластической деформации в резуль-

тате возникновения пластических волн, вызывающих появление сосредоточенных деформаций и возникновение разрывов [163].

В табл. 78 приведены применяемые на практике средние значения скорости вытяжки на кривошипных прессах для различных материалов,

Иногда употребляемое понятие средней скорости вытяжки в технологическом отношении не является характерным,

Скорость вытяжки необходимо определять как скорость инструмента (или ползуна пресса) в начале процесса вытяжки. Эта скорость зависит от угла поворота кривошипа к моменту начала вытяжки и определяется следующей формулой:

$$v = R \frac{\pi n}{30} \sin \alpha \approx 0,105n \sqrt{h(H-h)},$$

где v — скорость ползуна в начале вытяжки, мм/с; H — величина хода пресса, мм; h — рабочая часть хода (от начала деформации), мм; $\sin \alpha = h/\sqrt{H-h}$ (α — угол поворота кривошипа).

На рис. 151 приведено сравнение скорости и усилия для двух типов прессов: кривошипного (рис. 151, а) и гидравлического (рис. 151, б). Кривошипный пресс

имеет переменную скорость и развиваемое усилие на протяжении рабочего хода, а гидравлический — практически постоянную. Вследствие этого гидравлические прессы более благоприятны для вытяжных работ. Этим объясняется создание и применение быстроходных гидравлических вытяжных прессов.

Современные типы вытяжных прессов рассчитаны главным образом на механизированную подачу крупных заготовок. Скорость к началу вытяжки у большинства действующих прессов обычно находится в пределах: у крупных вытяжных прессов при $n = 12 \pm 18$ ход/мин — от 300 до 450 мм/с, у небольших кривошипных прессов при $n = 80 \pm 150$ ход/мин — до 500—700 мм/с. При вытяжке титана и его сплавов скорость вытяжки берут в 1,5—2 раза меньше, чем для стали.

От скорости вытяжки $v = ds/dt$, представляющей собой скорость ползуна пресса в начале процесса вытяжки, следует отличать скорость радиального перемещения наружной кромки заготовки (или другой точки)

$$W_x = vr/x,$$

где v — скорость ползуна пресса в данный момент,

при $x = R$

$$W_R = vr/R = v m_1 R_0 / R \text{ мм/с.}$$

Отсюда видно, что даже при $v = \text{const}$ скорость деформирования W_R переменна.

На рис. 152 приведена диаграмма изменения величины хода h и скорости ползуна пресса (пуансона) при глубокой вытяжке с прижимом на кривошипном прессе с числом ходов 36 в минуту, при длине хода ползуна 200 мм [181].

Параметры вытяжки $D_0 = 200$ мм; $d_{II} = 50$ мм; $h = 77$ мм; $S = 1,2$ мм; $r_m = 6$ мм; $r_{II} = 4$ мм.

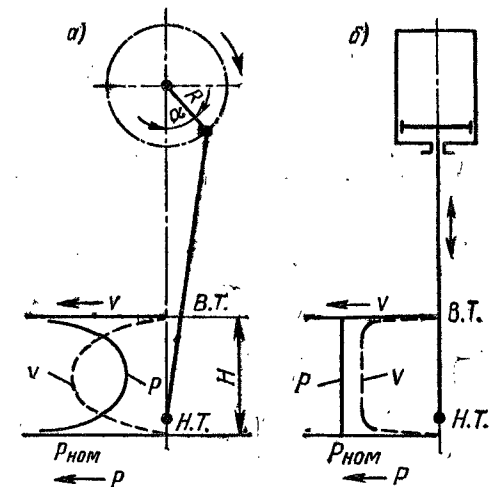


Рис. 151. Сравнение усилия и скорости ползуна кривошипного (а) и гидравлического (б) прессов

На рис. 153 приведена диаграмма перемещения S_R и скорости перемещения (скорости деформирования) наружной кромки заготовки в процессе глубокой вытяжки, построенная по формулам В. Я. Шехтера (с коррективами автора). Параметры вытяжки те же, что и на рис. 152.

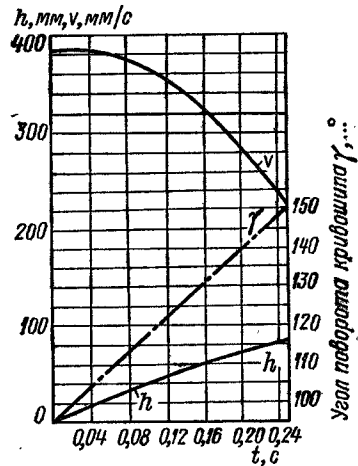


Рис. 152. Диаграмма изменения скорости ползуна прессы (пуансона) при глубокой вытяжке с прижимом (кривошипный пресс $H = 200$ мм, $n = 36$ об/мин) (по В. Я. Шехтеру)

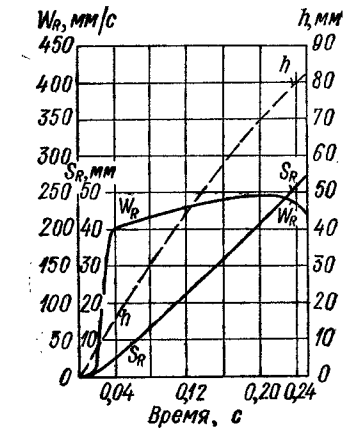


Рис. 153. Диаграмма изменения скорости деформирования наружной кромки заготовки при глубокой вытяжке на кривошипном прессе ($H = 200$ мм, $n = 36$ об/мин)

В теоретических исследованиях процессов пластической деформации применяется другая величина — скорость относительной или логарифмической деформации в данной точке заготовки ($1/c$)

$$\epsilon_x = dW_x/dx = \sigma r/x^2.$$

24. РАДИУСЫ ЗАКРУГЛЕНИЙ И ЗАОРЫ ПРИ ВЫТЯЖКЕ

Радиусы закруглений вытяжных кромок матриц оказывают значительное влияние на процесс вытяжки. От них зависит: напряжения в вытягиваемом материале и усилие вытяжки; величина допустимого коэффициента вытяжки; образование обрывов или складок.

Во второй стадии вытяжки увеличение радиуса закругления матрицы благоприятно потому, что в этом случае уменьшается сопротивление изгибу, и, главным образом потому, что это уменьшает ширину перетягиваемого фланца и делает его более устойчивым против образования складок. Благодаря этому требуется меньшее давление прижима q и общее усилие прижима Q (рис. 154), в результате чего снижаются радиальные напряжения в опасном сечении и становится возможной более глубокая вытяжка.

Однако чрезмерное увеличение радиуса закругления матрицы может привести и тому, что плоская часть заготовки слишком рано выйдет из-под прижима, вследствие чего в ней возникнут гофры, которые заклиниваются в зазоре и приводят к разрыву заготовки. Это особенно опасно при вытяжке деталей из относительно тонких заготовок. Поэтому величина радиусов закруглений вытяжных кромок матриц должна быть подразделена по относительной толщине заготовки. Радиусы закруглений вытяжных кромок пуансонов следует брать в 1,5—2 раза меньше радиусов закруглений матрицы,

Оптимальные значения радиусов закруглений вытяжных кромок матриц и пуансонов в зависимости от относительной толщины вытяжки (S/D) 100 приведены в табл. 79.

79. Оптимальные значения радиусов закруглений вытяжных кромок матриц и пуансонов

Степень деформации	Радиусы закруглений при относительной толщине (S/D) 100					
	8,0	2,0	1,5	1,0	0,5	0,25
Большая ($m = 0,45 \div 0,5$): r'_m/S r'_n/S	5 8	6,0 4,0	7,5—8,0 5,0	9—10 6	12 8	14 9
Малая ($m = 0,56 \div 0,62$): r'_m/S r'_n/S	8 2	4,0 2,5	5,0 3,0	6 4	8 5	9—10 6

В ряде отраслей производства получили применение вытяжные штампы со свободным складкодержателем (рис. 155). В данном случае конусный складкодержатель не имеет ни жесткой, ни упругой связи с конструкцией штампа, а свободно

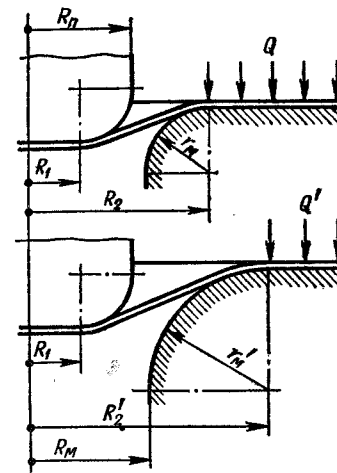


Рис. 154. Уменьшение ширины фланца и усилия прижима при увеличении радиуса закруглений кромок матрицы

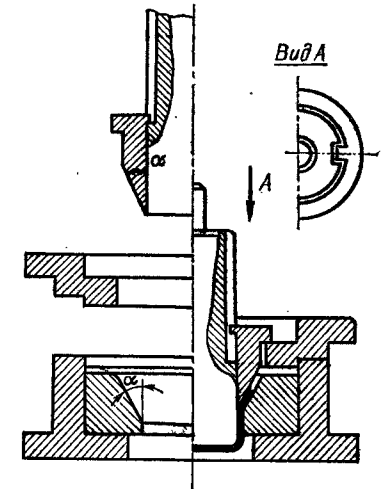


Рис. 155. Вытяжной штамп со свободным коническим складкодержателем

подвешен на буртиках или заплечиках на вытяжной пуансон и свободно перемещается в осевом направлении.

Как видно из рис. 155, пуансон вытягивает плоскую заготовку в конусную чашку, после чего конический прижим опускается внутрь ее и при дальнейшем ходе пуансона силой трения удерживается в рабочем положении, предотвращая

образование складок. Такие же свободные складкодержатели применяются и при вытяжке в конической матрице на прессах простого действия.

80. Радиусы закруглений вытяжных кромок матрицы (мм) при вытяжке с фланцем и с вытяжными ребрами

Тип вытяжки	Радиусы закруглений при относительной толщине заготовки (S/D) 100		
	2,0—1,0	1,0—0,2	0,2—0,06
С фланцем С вытяжными ребрами	$(10 \div 15)S$ $(4 \div 6)S$	$(15 \div 20)S$ $(6 \div 8)S$	$(20 \div 30)S$ $(8 \div 10)S$

При вытяжке деталей с широким фланцем опасность образования гофров в конце вытяжки не возникает, так как фланец не выходит из-под прижима. Следовательно, в данном случае радиусы закруглений могут быть взяты большей величины по сравнению с вытяжкой деталей без фланца. В посудном производстве при

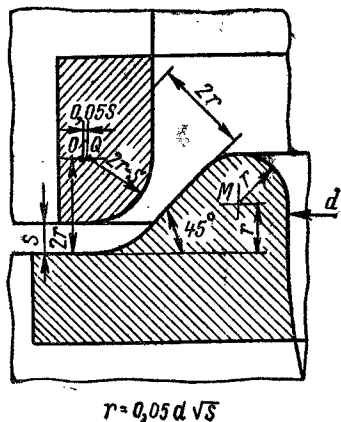


Рис. 156. Размеры вытяжного ребра матрицы (по АWF)

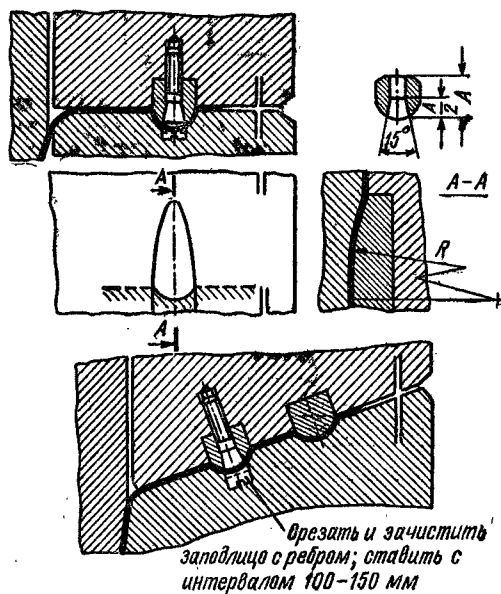


Рис. 157. Конструкция вытяжных (тормозных) ребер в кузовных штампах

вытяжке изделий с фланцем успешно применяют радиусы закруглений матрицы от 30 до 40S.

В табл. 80 приведены приближенные значения радиусов закругления вытяжных кромок матрицы для вытяжки с фланцем и вытяжными ребрами. При мелкой вытяжке без прижима (отбортовке) радиусы закруглений для крупных деталей следует брать в пределах 2—4 S, а для небольших деталей применять матрицу эвольвентного профиля.

При вытяжке детали с широким фланцем в одну операцию радиус закругления матрицы берется равным чертежному размеру закругления у фланца. Однако не рекомендуется применять радиусы закруглений меньше 5—8S.

На последующих операциях вытяжки радиусы закруглений матрицы постепенно уменьшают и принимают равными $r_n = (0,6 \div 0,8) r_{n-1}$, причем на первых операциях дают более сильное уменьшение. При последовательной вытяжке в ленте коэффициенты вытяжки обычно берут несколько увеличенными, поэтому радиусы закруглений матрицы могут быть взяты меньшей величины.

При изготовлении последовательного штампа рекомендуется делать минимально допустимые радиусы закруглений, чтобы иметь возможность их увеличить при отладке штампа. При вытяжке в ленте мелких деталей можно применять вытяжку со второй до последней операции при одной и той же величине радиуса закругления с калибровкой его на калибровочной операции. При калибровке практически достижимо уменьшение радиуса закругления от двух до пяти раз, однако он должен быть не менее чем $r = 0,5S$.

При вытяжке неглубоких конических, а также полусферических деталей вытяжные кромки матрицы делают в виде выступающего ребра, размеры которого

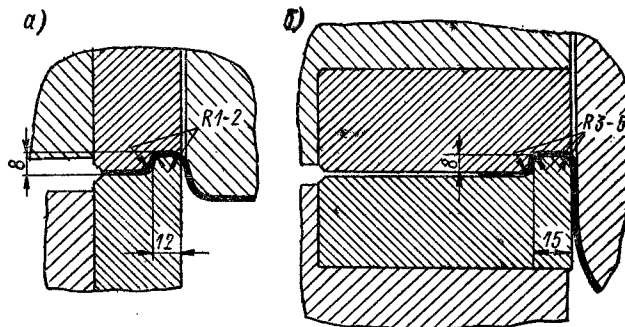


Рис. 158. П-образные тормозные пороги

приведены на рис. 156. Вытяжные ребра предназначены для натяжения металла при вытяжке, увеличения растягивающих и уменьшения тангенциальных напряжений и предотвращения складкообразования. Поэтому в штампах с вытяжными ребрами радиусы закруглений матрицы не только не увеличивают, но, наоборот, берут небольшой величины от 4 до 10 S. По нормали АWF радиус закругления вытяжного ребра принимается $r = 0,05 d \sqrt{S}$.

При вытяжке крупногабаритных деталей кузова автомобиля вытяжные (тормозные) ребра обычно ставят на прижиме, а на матрице делают канавки. Наиболее распространенная конструкция вытяжных ребер приведена на рис. 157.

Для уменьшения размеров вытягиваемых заготовок применяют ступенчатые ребра (пороги), которые расположены у вытяжной кромки матрицы и предназначены главным образом для вытяжки неглубоких деталей, имеющих плавный контур (рис. 158). Они позволяют уменьшить ширину фланца под прижимом и размер заготовки. Первый тип (рис. 158, а) предназначен для неглубокой вытяжки, второй тип (рис. 158, б) — для глубокой вытяжки.

Количество и расположение тормозных ребер зависит от формы контура, характера рельефа и глубины вытяжки. Ребра устанавливают в местах заготовки, подвергаемых более легкой деформации, в которых требуется затормозить перемещение материала и увеличить растягивающие напряжения.

На рис. 159 приведены примеры расположения тормозных ребер для некоторых типов изделий. Как видно из рис. 159, в местах угловых закруглений ребра не ставят или дают один ряд ребер, в то время как на прямолинейных длинных отенках устанавливают два или даже три ряда ребер.

Штампы с вытяжными ребрами сложны и дороги в изготовлении, особенно при криволинейной поверхности прижима. Для серийного производства такие штампы неэкономичны и неприменимы.

В ГДР вместо штампов с вытяжными ребрами получили применение эластичные складкодержатели с регулируемым давлением. Складкодержатель (прижим) состоит из нескольких регулируемых стоек, устанавливаемых по контуру вытяжки и соеди-

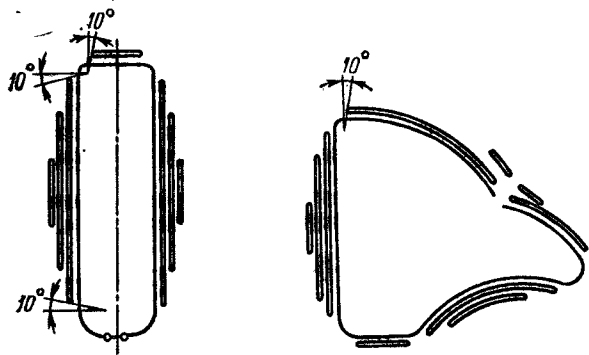


Рис. 159. Примеры расположения вытяжных (тормозных) ребер (по нормам АWF)

ненных с эластичной прижимной плитой из 16-миллиметровой фанеры (см. рис. 147). Регулируя длину каждой стойки, получают требуемое давление прижима в отдельных участках контура вытяжки в пределах от 100 до 1000 кгс.

Для измерения давления стойки снабжены гидравлическими манометрами.

Зазоры при вытяжке

При обычной вытяжке деталей больших и средних размеров для уменьшения трения между матрицей и материалом применяется зазор между вытяжным пуансоном и матрицей. При определении величины зазора в данном случае учитывают утолще-

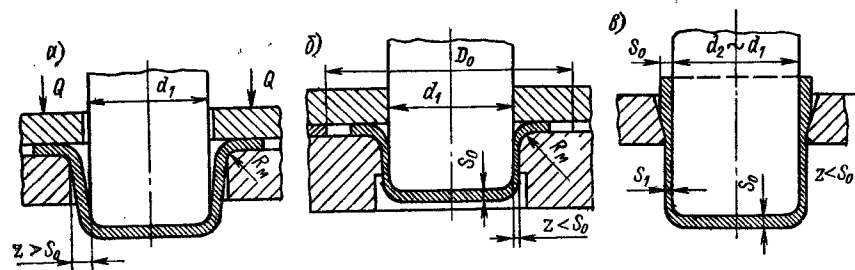


Рис. 160. Зазоры при разных способах вытяжки

ние края заготовки при вытяжке и неравномерность толщины материала (допуски по толщине). Установить единую величину зазоров, применимых во всех случаях вытяжки, невозможно, так как вытянутые детали сильно различаются по габаритам, степени точности и техническим условиям, а также по способу вытяжки (без прижима, с прижимом, с выворачиванием). При вытяжке небольших цилиндрических и прямоугольных деталей способы вытяжки различаются в зависимости от величины зазора на три типа (рис. 160): обычную вытяжку, с зазором больше толщины материала $z > S_0$ (рис. 160, а); комбинированную вытяжку с зазором $z < S_0$ (рис. 160, б), в вытяжку с утонением (протяжку) с зазором $z < S_0$ (рис. 160, в).

81. Значение одностороннего зазора при вытяжке цилиндрических деталей

Операции вытяжки	Значение зазора в зависимости от класса точности штампуемых деталей	
	4 и 5	7; 8 и 9
Первая вытяжка	$z = S + \delta + a$	$z = S + \delta + (1,5 + 2) a$
Промежуточные вытяжки	$z = S + \delta + 2a$	$z = S + \delta + (2,5 + 8) a$
Последняя вытяжка	$z = S + \delta$	$z = S + \delta + 2a$

Обозначения: z — односторонний зазор между пуансоном и матрицей, мм; S — номинальная толщина материала, мм; δ — положительное (верхнее) отклонение допуска на толщину материала, мм; a — прибавка, находящаяся по табл. 82.

Примечание. Наименьшее значение коэффициента, стоящего в скобках, дано для относительно толстых, а наибольшее — для относительно тонких заготовок $[(S/D) \times 100 = 1 \div 0,2]$.

Увеличенные зазоры при обычной вытяжке способствуют уменьшению сил трения и сопротивления вытяжке, уменьшению растягивающих напряжений в опасном сечении, а следовательно, увеличению степени деформации. Это не относится к вытяжке с утонением стенок (комбинированная вытяжка, протяжка), так как в этом случае суммарная степень деформации увеличивается за счет утонения материала. В табл. 81 приведены формулы для определения зазора при вытяжке с увеличенным зазором (по данным НИИТайпрома, с некоторой корректировкой), а в табл. 82 — значения прибавки a .

82. Значения прибавки a

Толщина материала S , мм	Прибавка a , мм	Толщина материала S , мм	Прибавка a , мм
0,2	0,05	1,8	0,21
0,5	0,10	2,0	0,22
0,8	0,12	2,5	0,25
1,0	0,15	3,0	0,30
1,2	0,17	4,0	0,35
1,5	0,19	5,0	0,40

При вытяжке деталей с небольшой конусностью стенок зазоры берутся в зависимости от требуемой или допустимой степени конусности. В табл. 83 приведены обобщенные данные по величине зазоров при вытяжке с прижимом деталей, подвергаемых калибровке.

При вытяжке без прижима (без утонения стенок), учитывая возможность образования гофров, величину зазора необходимо брать наибольшей из приведенных в табл. 81 пределов.

83. Односторонние зазоры при вытяжке цилиндрических деталей, подвергаемых последующей калибровке

Материал	Величина зазора		
	для первой вытяжки	для промежуточных вытяжек	для калибровки
Сталь мягкая	$(1,3 \div 1,5) S$	$(1,2 + 1,3) S$	1,1S
Латунь, алюминий	$(1,3 \div 1,4) S$	$(1,15 + 1,2) S$	1,1S

Примечание. При вытяжке с калибровкой весьма высокнх деталей небольшого диаметра ($d < 30$ мм и h/d от 2:1 до 6:1) рекомендуется для уменьшения количества операций применять вытяжку с утонением стенок и зазором, меньшим толщины материала.

При вытяжке с утонением материала односторонний зазор между пуансоном и матрицей меньше толщины заготовки и соответствует принятой степени деформации

$$E = \frac{S_1 - S_2}{S_1}, \text{ средние значения которой приведены в табл. 71.}$$

При вытяжке прямоугольных деталей зазор между пуансоном и матрицей в углах должен быть на 0,1 S больше зазора на прямых участках вследствие сильного утонения материала в углах. Правила направления зазора при вытяжке:

- 1) для всех операций, кроме последней, направление зазора безразлично
 - 2) для последней операции:
 - а) при вытяжке деталей с заданным наружным размером зазор делают за счет пуансона, принимая $d_m = D_{\text{изд. нар.}}$; $d_n = d_m - 2z$;
 - б) при вытяжке деталей с заданным внутренним размером зазор делают за счет матрицы, принимая $d_n = d_{\text{изд. вн.}}$; $d_m = d_n + 2z$.
- Здесь d_m и d_n — диаметры матрицы и пуансона, мм; z — односторонний зазор, мм.

25. СМАЗКА ПРИ ВЫТЯЖКЕ

Назначение смазки при вытяжке заключается в уменьшении трения между материалом и инструментом, снижении напряжения в металле и предохранении штампов и изделий от налипания, задиrow и царапин.

Вытяжные штампы в большинстве случаев выходят из строя не по причине их полного износа, а вследствие образования задиrow, царапин и порчи поверхности штампуемых деталей.

Смазка должна обладать следующими свойствами:

- 1) создавать прочную незасыхающую пленку, способную выдерживать значительные давления (кроме вытяжки нержавеющей стали и титановых сплавов);
- 2) давать хорошее прилипание и равномерное распределение смазывающего слоя по поверхности;
- 3) легко удаляться с поверхности деталей;
- 4) не портить механически и химически поверхность инструмента и деталей;
- 5) быть химически стойкой и безвредной.

На производстве применяется большое количество смазок различного состава, которые могут быть подразделены на следующие типы: минеральные масла, водно-масляные и мыльно-масляные эмульсии, консистентные смазки с наполнителями, твердые пленки и смазки. При вытяжке углеродистых сталей наиболее распространены эмульсионные и консистентные смазки с наполнителями.

Наилучшими являются смазки с большим содержанием наполнителей (мела, талька, графита), снижающие коэффициент трения в два-три раза и повышающие стойкость штампов в два-пять раз по сравнению со стойкостью штампов при применении смазок без наполнителей.

В табл. 84 приведены значения коэффициентов трения при вытяжке со смазкой и без смазки.

84. Коэффициенты трения при вытяжке со смазкой и без смазки

Условия вытяжки (со смазкой или без смазки)	Коэффициенты трения в зависимости от вытягиваемых материалов			
	Сталь 08ВГ	Алюминий	Дуралюмин Д16М	Сталь 1Х18Н9Т
Без смазки	0,20—0,25	0,25	0,22	0,30—0,35
Смазка (минеральное масло)	0,15	0,15	0,16	0,25
Смазка с наполнителями (мел, графит)	0,08—0,10	0,10	0,08—0,10	0,15
Окисленный петролатум	—	—	—	0,10

В табл. 85 приведены рецептуры хорошо зарекомендовавших себя смазок для вытяжки малоуглеродистой стали (по данным ЦНИИТмаша и ЗИЛа); в табл. 86 — способы смазки, применяемые при вытяжке с утонением малоуглеродистой стали, а также в процессах, происходящих при высоких контактных давлениях; в табл. 87 — состав смазок для вытяжки цветных металлов и нержавеющей стали.

Весьма перспективно промышленное изготовление смазок специальными фирмами и продажа их потребителю в готовом виде. Предприятия ВНИИПҚ — Нефтехим выпускают различные смазочно-охлаждающие жидкости для обработки металлов резанием и давлением. Так, для холодной штамповки выпускаются следующие сорта смазок:

- 1) „Укринол-5/5“ (ТУ 38101389—73), рекомендуемый для тяжелой вытяжки и холодного выдавливания.
- 2) ХС-147; ХС-163; ХС-164 (ТУ 384002—73), рекомендуемые для вырубки и легкой вытяжки.

Эти смазки представляют собой минеральные масла средней вязкости с активными сернистыми присадками. Внешне это прозрачная маслянистая жидкость коричневого цвета.

Вытяжка магниевых и титановых сплавов в горячем состоянии сопровождается быстрым налипанием частиц сплава на инструмент, что является причиной появления царапин и задиrow на поверхности изделий.

Смазки для вытяжки магниевых сплавов должны сохранять свои свойства при температуре до 300—350° С. Состав жаростойких смазок для вытяжки магниевых и титановых сплавов приведен в табл. 88.

Смазка № 4 применяется в виде брикетов для натирания заготовок при штамповке резиной. Смазка № 5 используется как присыпка. Графит должен тщательно удаляться с готовых деталей путем погружения их на 1—3 мин в ванну с водным раствором 15—20-процентной H_2CrO_4 и 5-процентной $NaNO_3$.

Каллоидный графит, входящий в состав ряда смазок, обладает высокими смазочными свойствами благодаря его расщеплению на тончайшие слои (чешуйки) и высокой адгезии к металлу. Эффект смазок значительно повышается при добавлении дисульфида молибдена (MoS_2).

В последние годы нефтехимическими предприятиями освоено промышленный выпуск смазочно-охлаждающих жидкостей, получивших применение в штамповочных цехах ряда наших заводов. Таковы эмульсионные смазки: „Укринол-2“, „Укринол-3“, „Укринол-11“, „КОС-1“, а также смазочные масла с добавкой моющих порошков: „Укринол-5“, „Укринол-8“, „Укринол-10“ и др., выпускаемые ВНИИПҚ—Нефтехим (г. Киев).

Смазка полосового и ленточного материала обычно производится пропуском через вращающиеся войлочные ролики, непрерывно смачиваемые смазкой во время подачи полосы в штамп.

Мелкие штучные заготовки при работе на автоматах с бункерной подачей обычно не смазываются, так как смазанные заготовки слипаются в бункере и нарушают работу автомата. Вытяжка без смазки приводит к повышенному износу инструмента, а также к необходимости уменьшать степень деформации по переходам (увеличивать коэффициенты вытяжки). Смазка крупных штучных заготовок обычно производится погружением или вручную — кистью.

При автоматизации процессов штамповки смазка наносится распылением при помощи специальных форсунок — пульверизаторов.

При вытяжке цилиндрических деталей с предельно допустимыми коэффициентами рекомендуется производить вытяжку без смазки между пуансоном и заготовкой для увеличения трения между ними и торможения утоненного в начальной стадии участка. Это не относится к вытяжке в штампах с вытяжными ребрами, так как в этом случае происходит скольжение растягиваемого металла по поверхности пуансона.

Первую вытяжку цилиндрических деталей из тонкого материала [при $(S/D) 100 < 0,2$] рекомендуется производить без смазки заготовок, так как смазка уменьшает поверхностное трение между фланцем и инструментом и способствует образованию гофров. Смазывать надлежит лишь вытяжные кромки матрицы для предохранения их от износа, налипания и задиrow. Эта же рекомендация может быть применена при

85. Рецептуры смазок для вытяжки малоуглеродистой стали

Состав смазки	Содержание, %	Примечание
Веретенное масло Солидол Тальк Сера Спирт	40 40 11 8 1	Применяется при вытяжке автокузовных деталей Серу следует вводить в виде измельченного порошка
Веретенное масло Солидол Графит Сера Спирт Вода	20 40 20 7 1 12	Серу растворить в веретенном масле при температуре около 160° С. Недостатком смазки является расслоение при длительном хранении
Веретенное масло Сульфидированное касторовое масло Рыбий жир Мел Олеиновая кислота Едкий натр Вода	33 1,5 1,2 45 5,5 0,7 13	Меловая смазка легко удаляется; применяется для тяжелых штамповок
Веретенное масло Рыбий жир Графит Олеиновая кислота Сера Зеленое мыло Вода	43 8 15 8 5 6 15	Графит ая смазка дает наилучшие результаты, но плохо отмывается от поверхности деталей ввиду высокой адгезии коллоидного графита. Серу следует вводить в виде измельченного порошка
Веретенное масло Мылонафт Тальк Гипс	52,5 20 25 2,5	Смазка, применяемая на Горьковском автозаводе для сложной вытяжки
Веретенное масло Мылонафт Тальк Гипс Древесная мука	52—54 20 18—20 2,5 5,5	Смазка ГАЗ для вытяжки крупных кузовных деталей
Веретенное масло Солидол Рыбий жир Мел Олеиновая кислота Вода	12 25 12 20,5 5,5 25	Смазка для несложной вытяжки

Продолжение табл. 85

Состав смазки	Содержание, %	Примечание
Зеленое мыло Вода	20 80	Мыло растворять в воде при 60—70° С. Легко растворимая смазка; применяется для легкой вытяжки
Эмульсиол жидкий Мел Кальцинированная сода Вода	37 45 1,3 16,7	Растворимая смазка; улучшается при добавлении 3-процентного сульфидированного касторового масла

86. Рекомендуемые способы смазки при вытяжке с утонением и холодном выдавливании стали

Способ смазки	Состав смазки	Примечание
Контактное омеднение	Медный купорос 4,5—5 кг Поваренная соль 5 кг Серная кислота 7—8 л Столярный клей 200 г Вода 80—100 л	Клей предварительно растворяют в горячей воде, после чего растворяют остальные компоненты. Омедненные заготовки хранятся в горячем мыльном растворе, из которого подаются на вытяжку
Ускоренное фосфатирование с последующим омыливанием и сушкой: 1) в растворе фосфорнокислых солей с последующим омыливанием в густой мыльной эмульсии и просушиванием; 2) бондеризация в горячем растворе препарата «Мажеф» (при 95—98° С) с последующим омыливанием или промасливанием в горячем веретенном или машинном масле	Ортофосфорная кислота 23 см ³ /л Азотнокислый цинк 72,4 г/л Фосфорнокислый цинк 13,2 г/л Азотнокислый натрий 7,56 г/л Едкий натр 4,5 г/л Азотнокислый натрий 1,0 г/л	Последовательность приготовления ванны: 1) растворяют в воде азотнокислый цинк; 2) растворяют в ортофосфорной кислоте фосфорнокислый цинк и выливают в ванну; 3) растворяют в воде азотнокислый натрий и выливают в ванну; 4) растворяют в воде едкий натр и выливают в ванну, непрерывно помешивая; 5) доливают ванну водой до требуемого объема и тщательно перемешивают. Температура ванны 25—40° С, выдержка в ванне 12—20 мин, покрытие мелкопористое серого цвета; перед фосфатированием заготовки тщательно обезжиривают, после фосфатирования заготовки промывают горячей водой и погружают на 2 ч в густую мыльную эмульсию, а затем просушивают.

Продолжение табл. 86

Способ смазки	Состав смазки	Примечание
		Фосфатирование должно производиться непосредственно перед штамповкой, так как фосфатно-цинковое покрытие не выдерживает длительного хранения. Удаление фосфатного покрытия производят промыванием в горячем щелочном растворе.
Применение графитно-коллоидной смазки марки ВКГС-0	По ТУ 35ХП 329—61	Обладает эластичностью и высокой адгезией к металлу. Устойчива до 500° С
Применение смазки, содержащей молибденит (дисульфид молибдена MoS ₂) с ланолиновым маслом	Эмульсия: 10% молибденита; 90% масла	Применяется при холодном выдавливании стали. Смазка заготовок эмульсией производится во вращающемся барабане в течение 3—5 мин. При степени деформации до 40% и применении молибденита не требуется фосфатирования заготовок. При степени деформации от 40 до 80% молибденитовая эмульсия применяется как смазка после фосфатирования

87. Смазочные материалы для вытяжки цветных металлов и нержавеющей стали

Металл	Тип смазки
Алюминий и его сплавы	Технический вазелин, эмульсия из растительных масел
Медь, латунь и бронза	Сурепное масло или мыльно-масляная эмульсия (смесь масла с крепким мыльным раствором)
Никель и его сплавы	Мыльно-масляная эмульсия
Нержавеющая сталь 2Х13	Кашеобразная смесь веретенного масла, графита, зеленого мыла и воды
Нержавеющая сталь 1Х18Н9Т	Окисленный петролатум (ОП65); хлорвиниловый лак ХВЛ (ТУ МХП 2497—51)
Жаропрочная сталь	Асфальтовый битум + 50% окисленного петролатума; хлорвиниловый лак ХВЛ-21
Титан и его сплавы	1. Графитовый коллоидный водный препарат марки В-0 или В-1. Засыхает при 20° С в течение 15—30 с. 2. Хлорвиниловый лак ХВЛ-21. Пленка засыхает в течение 2—5 мин. 3. Фосфатное покрытие с последующим нанесением пленки сухой смазки (молибдисульфидграфит) или омеднение

88. Состав жаростойких смазок

Номер смазки	Состав смазки
1	Графитовый коллоидный водный препарат марки В-0 или В-1 (для титановых сплавов)
2	Жаростойкий лак ФГ-9 по ТУ МХП 2273—53 (для титановых сплавов)
3	40% алюминиевого порошка + 60% парафина (в виде брикета)
4	40% талька + 60% парафина (в виде брикета)
5	Порошкообразный коллоидный графит С-1 или С-2
6	20% нефтяной сажи + 20% серы + 20% воска + 40% вазелина
7	5—10-процентный раствор графита в четыреххлористом углеороде
8	65% масла «Вапор» + 35% графита С-1 или С-2
9	65% парафина + 35% технического сала
10	15% воска + 7% стеариновой кислоты + 3% этаноламина + 75% воды
11	Графитно-коллоидная смазка марки ГК-1 по ВТУ 35ХП 684—64, жаростойкость 500—700° С
12	Графитно-коллоидная смазка марки ЭЛПВ по ТУ МХП 1147—59, жаростойкость 900—1500° С

в вытяжке сферических, параболических и конических деталей из тонкого материала, легко образующего гофры.

При последующих вытяжках надлежит смазывать лишь наружную поверхность колпачка или рабочее отверстие матрицы.

Смазанный материал или заготовки должны тщательно предохраняться от загрязнения, в противном случае неизбежна порча деталей и штампов.

Удаление смазки с отштампованных деталей производится одним из следующих способов:

- 1) горячим обезжириванием в щелочных ваннах;
- 2) электролитическим обезжириванием;
- 3) растворением жиров бензином или трихлорэтиленом (с принятием мер по безопасности работы);
- 4) ультразвуковой очисткой;
- 5) растворением пленки ХВЛ-21 в органических разжижителях Р4 или Р5;
- 6) растворением пленки ФГ-9 в органических растворителях (толуол, ксилол).

26. НАКЛЕП МЕТАЛЛА И ОТЖИГ ПРИ ВЫТЯЖКЕ

В процессе вытяжки, как и при любой холодной пластической деформации, все металлы (кроме свинца и олова) подвергаются упрочнению или наклепу, сопровождаемому повышением сопротивления деформированию и прочностных характеристик ($HВ$, σ_B , σ_T и пр.) и понижением пластичности металла и соответствующих характеристик (δ и ψ).

Физическая природа упрочнения и сущность процессов разупрочнения — отжига и рекристаллизации — изложены в специальной литературе по металловедению.

Степень упрочнения (наклеп) металла в процессе глубокой вытяжки является сложной и недостаточно изученной зависимостью от целого ряда факторов:

- 1) способность металла и упрочнению, характеризующейся равномерным сужением ψ_B (относительное сужение при растяжении к моменту появления шейки) или показателем степени упрочнения n (по Людвику).

2) степени деформации при вытяжке, характеризуемой одним из ее показателей $[K, m, \ln \frac{D}{d}$ и т. п.);

- 3) силы прижима материала и интенсивности растягивающих напряжений;
- 4) радиуса закругления вытяжных кромок матрицы и пуансона;
- 5) зазора между пуансоном и матрицей;
- 6) скорости деформации;
- 7) типа и способа смазки;
- 8) процесса старения металла между отдельными операциями.

Большинство из указанных факторов влияет на степень упрочнения металла независимо от других. Так, сильно заниженная величина радиусов закругления матрицы может привести к предельному упрочнению и обрыву металла при нормальном значении коэффициента вытяжки.

По способности к упрочнению металлы, применяемые для глубокой вытяжки, можно разделить на две группы: 1) среднеупрочняющиеся с $\psi_B = 0,20 \div 0,25$ (стали 08, 10, 15, латунь, отожженный алюминий);

Рис. 161. Изменение механических свойств при глубокой вытяжке за четыре операции без промежуточного отжига

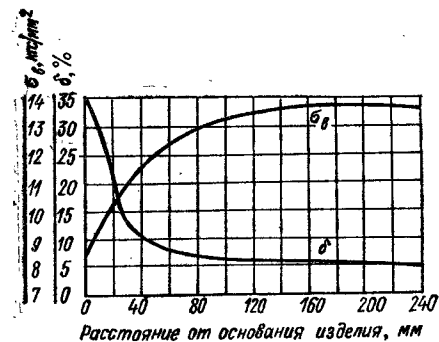
2) сильноупрочняющиеся с $\psi_B = 0,25 \div 0,30$ (нержавеющая сталь 1X18H9T, отожженная медь; аустенитные стали, титановые сплавы).

Слабо и весьма слабоупрочняющиеся металлы для вытяжки не применяются. При правильной разработке технологического процесса металлы первой группы могут практически применяться для вытяжки деталей простой формы без промежуточного (межоперационного) отжига; металлы второй группы обычно подвергаются отжигу после одной-двух операций вытяжки.

На рис. 161 изображена диаграмма изменения механических свойств алюминия при глубокой вытяжке цилиндрических деталей диаметром 170 мм и высотой 260 мм за четыре операции без промежуточного отжига. Из диаграммы видно, что наиболее резкое падение пластичности металла происходит в месте закругления у дна детали, но пластичность металла еще не исчерпана, и он допускает дальнейшую вытяжку без отжига.

В табл. 89 показано количество операций вытяжки (в среднем), выполняемых без промежуточного отжига при оптимальном значении коэффициентов вытяжки (см. табл. 45) и правильном сочетании остальных факторов.

Степень деформации на каждой операции должна быть оптимальной в соответствии с относительной толщиной заготовки. Уменьшение степени деформации на каждой операции позволяет осуществить большую общую степень деформации и большее количество операций без применения промежуточного отжига. Так, при штамповке в ленте, а также на многопозиционных прессах-автоматах производится шесть—восемь операций вытяжки без промежуточного отжига. Применение протяжки через две-три матрицы при утонении на каждой из них приводит к повышению общей степени деформации.



89. Количество операций вытяжки, выполняемых без отжига

Материал	Количество операций без отжига
Стали 08, 10, 15	3—4
Алюминий	4—5
Латунь Л68	2—4
Медь	1—2
Нержавеющая сталь 1X18H9T	1—2
Магниево-титановые сплавы	1
Титановые сплавы	1

Радиусы закруглений вытяжных кромок матрицы и пуансона должны быть не менее приведенных в табл. 79 значений. Для уменьшения возникающих в металле напряжений и снижения степени наклепа можно значительно увеличить радиусы закругления кромок матрицы при условии применения дополнительного прижима (см. рис. 154).

Величина зазора также влияет на степень наклепа металла. Если зазор меньше толщины металла, например при вытяжке с утонением, наклеп металла значительно увеличивается, вследствие чего необходимо применять отжиг через одну-две, редко через три операции.

Степень наклепа зависит также от процесса старения, заключающегося в дисперсионном твердении холоднодеформированного металла. Так как процесс старения требует известного времени, необходимо быстрее передавать заготовки с операции на операцию, пока металл не потерял своей пластичности. Так, при штамповке в ленте и на многопозиционных прессах-автоматах старение не успевает произойти вследствие быстроты передачи заготовки, что благоприятствует выполнению большого количества операций без отжига.

При работе на склад полуфабрикатов с недельным, а иногда и более длительным сроком хранения пооперационных заготовок процесс старения приводит к значительному снижению пластичности и вызывает необходимость применения межоперационного отжига.

Особенно большое значение процесс старения имеет для дуралюмина, штампуемого или в свежезакаленном, или в отожженном состоянии.

Свежезакаленный дуралюмин имеет после закалки структуру твердого раствора, обладающую повышенной пластичностью. Через некоторое время после закалки происходит процесс старения, в результате которого дуралюмин упрочняется, а пластичность его снижается.

При штамповке деталей из отожженного дуралюмина после штамповки обычно производится их закалка, сопровождающаяся короблением и требующая правки.

Закалка дуралюмина производится после нагрева в седитровой ванне по режиму:

Нагрев дуралюмина, °С	До 495—505
Охлаждение в воде, °С	При 30—40
Старение естественное, дни	4—5
» искусственное, ч.	4—5

В табл. 90 приведены температуры высокого отжига для различных металлов. Высокий отжиг применяется главным образом для листовых металлов и заготовок, а также в качестве межоперационного отжига наклепанных деталей, когда низкий отжиг не дает хороших результатов,

90. Режим отжига для различных металлов

Металл	Температура нагрева, °С	Время выдержки, мин	Охлаждение
Стали 08, 10, 15	760—780	20—40	На воздухе в ящиках
Ст1, Ст2	900—920	20—40	То же
Стали 20, 25, 30, Ст3, Ст4	700—720	60	Вместе с печью
Сталь 30ХГСА	650—700	12—18	На воздухе
Нержавеющая сталь 1X18H9T	1150—1170	30	Струей воздуха или в воде
Медь М1, М2	600—650	30	На воздухе
Латунь Л62, Л68	650—700	15—30	То же
Никель	750—850	20	»
Алюминий А, АМг, АМц	300—350	30	С 250°С на воздухе
Дуралюмин Д1, Д6, Д16	350—400	30	То же

В табл. 91 приведены температуры низкого (рекристаллизационного) отжига, успешно применяемого на ряде заводов для снятия наклепа и восстановления пластичности после вытяжки.

91. Температура низкого (рекристаллизационного) отжига

Металл	Температура нагрева, °С	Примечание
Стали 08, 10, 15, 20	600—650	Охлаждение на воздухе
Медь М1, М2	400—450	То же
Латунь Л62, Л68	500—540	»
Алюминий А, АМг, АМц	220—250	Выдержка 40—45 мин
Магниево-алюминиевые сплавы МА1, МА8	260—350	» 60 мин
Титановый сплав ВТ1	550—600	Охлаждение на воздухе
» » ВТ5	650—700	То же

Обычно отжигается вся деталь полностью. При многооперационной вытяжке такой отжиг нецелесообразен, так как наряду с разупрочнением и восстановлением пластичности сильно наклепанного фланца или края вытяжки разупрочняется и опасное сечение, прочность которого желательно не только не снижать, но даже увеличить. Поэтому наиболее целесообразно применять местный отжиг, производимый путем погружения наклепанной части детали в селитровую или свинцовую ванну или другими способами: индукционным электронагревом, контактным электронагревом, нагревом в электропечах, газовой горелкой и т. п.

Наиболее совершенным способом местного отжига является индукционный нагрев токами нормальной (промышленной) частоты. Нагревательная установка представляет собой однофазный трансформатор, в котором отжигаемая деталь является вторичной обмоткой. Длительность отжига 20—40 с. Отжиг фланцев тонкими высокочастотными токами производится за 3—5 с и может быть выполнен в общей цепи производственного потока.

Местный нагрев применяется также для разупрочнения кольцевого фланца заготовки или для его нагрева перед вытяжкой (при холодной средней части заготовки), что позволяет получить большую степень деформации и большую глубину вытяжки.

Во избежание большого окисления деталей рекомендуется производить так называемый светлый отжиг в печах с нейтральной или восстановительной средой, не дающей окалины и не требующий травления. При обычном отжиге на поверхности отожженных деталей образуется окалина, удаляемая путем травления в различных кислотах, электролитическим травлением или ультразвуковой очисткой.

В табл. 92 приведен состав ванны для травления различных металлов.

Для ускорения процесса травления производят с подогревом ванны до 50—65° С. С этой же целью, а также для уменьшения расхода кислоты применяют специальные присадки, которые, кроме того, в несколько раз уменьшают потери металла, устраняют травильную хрупкость и делают излишним нагрев деталей для удаления водорода.

Для травления нержавеющей стали в последнее время применяется комбинированный щелочно-кислотный способ, заключающийся в предварительном травлении в расплавленной щелочи (80% едкого натра и 20% селитры) в течение 10—30 мин с последующим травлением в 13-процентном растворе серной или соляной кислоты в течение 5—20 мин. Этот способ в несколько раз снижает потери металла, расход кислоты и увеличивает производительность.

Электролитическое травление производится в ванне с 5-процентной серной кислотой при плотности тока 8—10 А/дм² и напряжении 6В. Детали подключаются (повешиваются) к аноду. После травления детали должны быть тщательно промыты

92. Состав ванн для травления

Металл	Состав ванны	Содержание компонентов	Примечание
Сталь малоуглеродистая	Серная или соляная кислота Вода	15—20% Остальное	—
Сталь высокоуглеродистая	Серная кислота Вода	10—15% Остальное	Предварительное травление
	Едкий натр или едкое кали	50—100 г/л	Окончательное травление
Сталь нержавеющая	Азотная кислота (40° Боме)	10%	Для получения блестящей поверхности
	Соляная кислота (19° Боме)	1—2%	
	Сульфидированный клей	0,1%	
	Вода	Остальное	
Медь и ее сплавы	Азотная кислота (6° Боме)	200 масс. ч	Предварительное травление
	Соляная кислота	1—2 масс. ч	
	Сажа	1—2 масс. ч	Блестящее травление
	Азотная кислота (6° Боме)	75 масс. ч	
Серная кислота	100 масс. ч	1 масс. ч	
Соляная кислота	1 масс. ч		
Алюминий и цинк	Едкий натр или едкое кали	100—200 г/л	Матовое травление
	Поваренная соль	13 г/л	
	Соляная кислота	50—100 г/л	

для полного удаления следов кислоты с их поверхности. Обычно промывка производится в следующей последовательности:

- 1) промывка в холодной проточной воде;
- 2) нейтрализация в слабом щелочном растворе при 60—80° С;
- 3) промывка в горячей воде.

В ряде случаев нейтрализация производится в последнюю очередь.

Стальные детали после отжига и травления иногда подвергаются фосфатированию, после которого на поверхности деталей образуется тонкая пленка фосфорнокислого железа, предохраняющая от коррозии.

В ряде случаев для очистки небольших деталей после отжига применяется ультразвук. Существуют два способа ультразвуковой очистки:

1) одновременно с травлением в растворе, содержащем 10% серной кислоты, 5% соляной кислоты, 5 г/л поваренной соли и 30 г/л контакта Петрова, при

температуре раствора 50—60° С; длительность очистки 5—2 мин (без последующей промывки);

2) после предварительного травления в кислоте с целью удаления шлама; в этом случае рабочей жидкостью при ультразвуковой очистке является вода.

Второй способ имеет преимущество по сравнению с первым, так как ультразвуковая аппаратура работает в нейтральной, а не агрессивной среде.

Для ультразвуковой очистки от жиров, масел, окисных пленок применяют ультразвуковые агрегаты УЗА-1 (для мелких деталей) и УЗА-2 (для длинных деталей) с магнитострикционными преобразователями, получающими питание от ультразвукового генератора УЗГ-10. В этом агрегате детали подвергаются последовательно предварительной и окончательной ультразвуковой очистке, промывке и сушке.

27. ОСОБЫЕ СПОСОБЫ ВЫТЯЖКИ

Рассмотренные выше способы вытяжки широко применяются почти во всех отраслях промышленности. Однако в ряде случаев серийного и мелкосерийного производства они недостаточно рациональны и эффективны. Например, не всегда приемлема многооперационность процесса вытяжки деталей сложной формы, для которых требуется большое количество штампов. Кроме того, для быстрого освоения новых типов изделий необходимо создание процессов с применением дешевой универсальной или частично универсальной оснастки.

В результате работ по дальнейшему улучшению и интенсификации процесса глубокой вытяжки созданы и освоены особые способы вытяжки, вызванные специфичностью того или иного производства. К ним относятся: 1) вытяжка с местным подогревом и охлаждением заготовки; 2) вытяжка резиной и полиуретаном; 3) гидравлическая и гидромеханическая вытяжка; 4) вытяжка-формовка на листоштамповочных молотках; 5) обтяжка на гидравлических прессах.

Вытяжка с местным подогревом и охлаждением заготовки [26]

Сущность вытяжки с местным подогревом и охлаждением заготовки состоит в том, что для увеличения глубины вытяжки повышают пластичность и резко снижают сопротивление деформируемого фланца заготовки путем нагрева его между обогреваемыми поверхностями матрицы и прижима (складкодержателя).

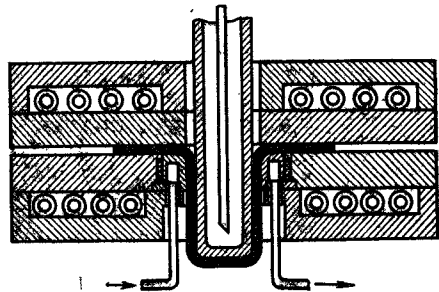


Рис. 162. Схема вытяжки с местным подогревом заготовки и охлаждением дна детали

Вытяжка с подогревом заготовки получила применение при штамповке деталей из титана и титановых сплавов, обладающих пониженной пластичностью в холодном состоянии и сильным упрочнением, сопровождаемым образованием трещин,

Вытяжка магниевых сплавов

Для штамповки применяют две марки магниевых сплавов: МА1 и МА8. Наилучшей температурой для вытяжки сплавов является: для сплава МА1 — 320—350° С, а для сплава МА8 — 300—350° С.

На рис. 163 приведена диаграмма, показывающая зависимость коэффициента (степени) вытяжки от температуры нагрева заготовки. Следовательно, при выборе коэффициента вытяжки необходимо учитывать температуру нагрева заготовки.

Вытяжку магниевых сплавов ведут не с предельными, а с несколько смягченными оптимальными коэффициентами вытяжки, приведенными в табл. 93.

Между первой и второй операциями вытяжки заготовки подвергаются промежуточному отжигу при 260—350° С с выдержкой около 1 ч.

Для вытяжки магниевых сплавов применяются штампы с электроподогревом матрицы и прижимного кольца и с водяным охлаждением пуансона.

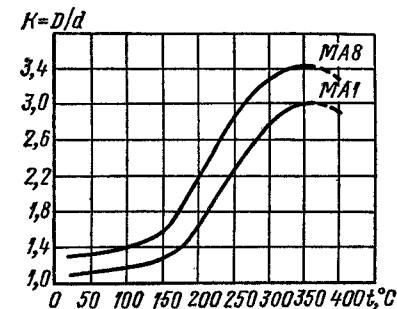
Пуансон необходимо охлаждать до 70—100° С, иначе возникают чрезмерная пластичность и обрывы заготовок.

Нагрев заготовок производится одним из следующих способов:

- 1) нагрев от подогретого штампа;
- 2) нагрев штампа и отдельно заготовки;
- 3) нагрев только заготовки.

Лучшие результаты получают при первом и втором способах нагрева. При треть-

Рис. 163. Изменение коэффициента вытяжки магниевых сплавов при изменении температуры нагрева заготовки



ем способе нагрев заготовок производится в электропечах, в плитах с газовым или электрическим обогревом или в масляных ваннах.

Вытяжка алюминиевых сплавов

Метод вытяжки с местным подогревом и охлаждением заготовки применяется для изготовления деталей из алюминия, дуралюмина, латуни, причем экспериментально освоено изготовление ряда деталей различной формы сечения.

При вытяжке с подогревом цилиндрических деталей из дуралюмина экспериментально получены коэффициенты вытяжки $m = 0,32$, что соответствует отношению высоты к диаметру $h/d = 2,3$ [26].

Наиболее эффективно применение вытяжки с подогревом фланца при изготовлении глубоких коробчатых деталей квадратной, прямоугольной, а также другой более сложной формы.

За одну операцию вытяжки с подогревом можно получить глубокие квадратные и прямоугольные коробки, для изготовления которых методом обычной вытяжки требуется от трех до пяти операций; для изготовления же деталей сложной формы требуется до восьми и более операций холодной вытяжки.

Предельная относительная высота вытяжки h/d и h/a приведена в табл. 94.

94. Предельная высота вытяжки с подогревом фланца

Материал	Температура нагрева фланца, °С	Предельная высота h/d и h/a для деталей		
		цилиндрических	квадратных	прямоугольных
Алюминий АМ	325	1,44	1,5—1,52	1,46—1,60
Алюминиевый сплав АМцМ	325	1,30	1,44—1,46	1,44—1,55
Дуралюмин Д16АМ	325	1,65	1,58—1,82	1,50—1,83
Магниеые сплавы МА1, МА8	375	2,56	2,70—3,00	2,93—3,22

Обозначения: h — высота; d — диаметр; a — сторона квадрата.

95. Формулы для определения усилия вытяжки и прижима при вытяжке с подогревом фланца

Параметры	Формулы
Полное усилие прессы	$P_{пр} = P + Q + T$
Усилие вытяжки	$P = LS\sigma_b$ (σ_b — по табл. 96)
» прижима	$Q = Fq$ (q — по табл. 97)

Обозначения: $P_{пр}$ — полное усилие прессы при вытяжке с подогревом; P — наибольшее усилие вытяжки с подогревом; Q — усилие прижима; T — усилие выталкивателя; L — длина контура детали; σ_b — предел прочности опасного сечения при оптимальных температурах; F — площадь заготовки под прижимом; q — давление прижима.

96. Предел прочности в опасном сечении при оптимальных температурах

Материал	Предел прочности σ_b , кгс/мм ²
Алюминий АМ	4
Сплав АМцМ	6
Дуралюмин Д1АМ	8
» Д16АМ	9
» Д16АТ	18
Магниеый сплав МА8	7
Малоуглеродистая сталь	20
Латунь Л62	16

97. Давление прижима при вытяжке с подогревом фланца

Материал	Давление q , кгс/мм ²
Алюминий АМ	0,02—0,04
Сплав АМцМ	0,04—0,06
Дуралюмин Д1 и Д16	0,06—0,08
Магниеый сплав МА8	0,03—0,05
Малоуглеродистая сталь	0,10—0,15
Латунь Л62	0,08—0,11

Примечание. Большие значения q для меньшей относительной толщины материала (S/D) $100 = 1 \div 2$, и наоборот.

На рис. 164 изображены экспериментально полученные формы заготовок при вытяжке с подогревом фланца глубоких коробчатых деталей различного сечения.

Усилие вытяжки и усилие прижима определяются по формулам табл. 95 [26].

Значения σ_b и q приведены в табл. 96 и 97.

Наиболее эффективно создание переменного, возрастающего в ходе процесса вытяжки усилия прижима.

Экспериментально установленные диапазоны оптимальных температур нагрева фланца заготовки приведены в табл. 98.

Расход электроэнергии составляет примерно 0,1 кВт·ч на 1 кг штампованных деталей.

В качестве смазки применяется порошкообразный графит с маслом „Вапор“ и хозяйственным мылом.

Вытяжка с подогревом в производственных условиях выполняется на гидравлических и кривошипных прессах с небольшим числом ходов (15—20 в минуту), так как нагрев фланца требует известного времени (3—5 с). Поэтому производительность самого процесса штамповки при этом способе ниже, чем при обычной вытяжке; преимущество его заключается в резком сокращении числа операций и штампов.

98. Оптимальные температуры нагрева фланца заготовки

Материал	Температура нагрева, °С
Алюминий АМ, сплавы АМцМ и Д16АМ	310—340
Латунь Л62	480—500
Сталь 08кп и декарпированная	550—580

Нанбольшие трудности этот способ встречает при вытяжке стали, для которой требуется более высокий нагрев, в связи с чем вытяжка стали менее изучена и освоена.

Дальнейшим развитием указанного способа является способ вытяжки с применением глубокого местного охлаждения центральной части заготовки. Этот способ основан на значительном упрочнении опасного сечения, а затем и боковых стенок вытяжки при резком (глубоком) охлаждении жидким воздухом полого вытяжного пуансона до температуры порядка от —160 до —170° С.

Вытяжка резиной и полиуретаном

Вытяжка резиной получила широкое применение в серийном и мелкосерийном производстве для изготовления полых деталей из тонколистового металла. Существуют две разновидности этого способа: вытяжка резиновым пуансоном и вытяжка резиновой матрицей.

Штампы для вытяжки и формовки резиновым пуансоном весьма просты и дешевы, так как их обычно изготавливают из дерева или из цинковых сплавов.

Способ вытяжки резиновой матрицей заключается в том, что роль матрицы выполняет резина, заключенная в металлическую обойму и обтягивающая листовую заготовку по цилиндрическому (или другой формы) пуансону.

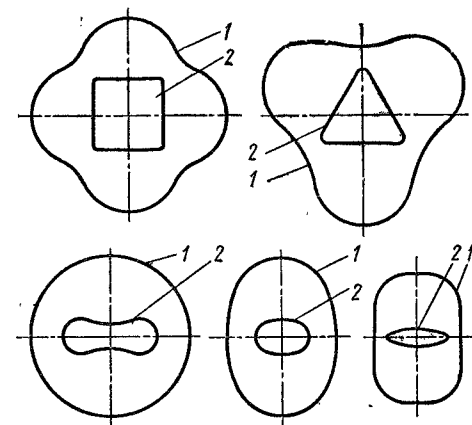


Рис. 164. Формы заготовок при вытяжке глубоких коробчатых деталей различного сечения: 1 — заготовки; 2 — сечение деталей

Простейший случай вытяжки резиновой матрицей — неглубокая вытяжка алюминиевых и дуралюминовых деталей на гидравлических прессах при небольшом давлении (60—85 кгс/см²).

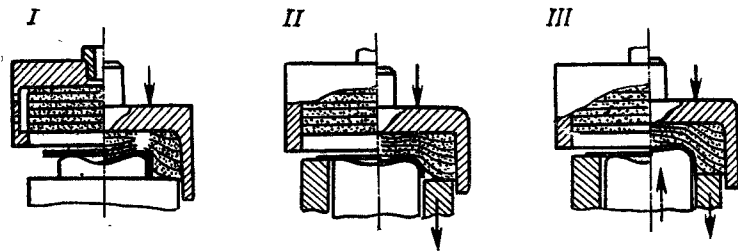


Рис. 165. Различные способы вытяжки резиной

Для вытяжки и формовки применяется резина со следующими механическими свойствами:

Сопротивление разрыву, кгс/см ²	50—85
Относительное удлинение, %	600—700
Остаточное удлинение, %	25—30
Сжатие (%) под нагрузкой 100 кгс/см ²	50—70
Твердость по Shore	70

Более новым и совершенным является способ глубокой вытяжки резиновой матрицей при высоком давлении резины. Существует несколько разновидностей вытяжки резиновой матрицей, в соответствии с чем созданы различные типы прессов (рис. 166).

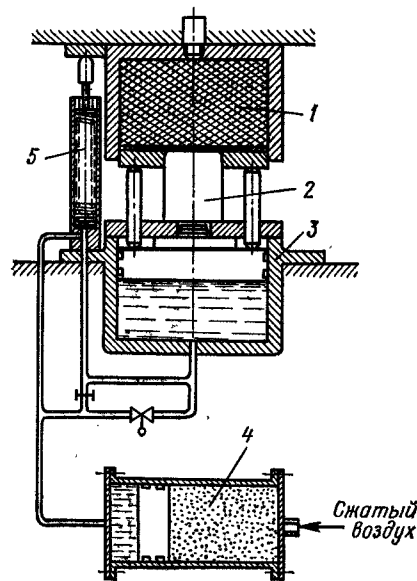


Рис. 166. Схема установки для вытяжки резиновой матрицей;

1 — резина; 2 — пуансон; 3 — гидравлический буфер; 4 — пневматический цилиндр; 5 — регулировочный клапан

Способ I — вытяжка с неподвижными пуансоном и нижним столом, производимая на обычных гидравлических прессах.

Способ II — вытяжка при неподвижном пуансоне и подвижном регулируемом прижиме.

Способ III — вытяжка с подвижным пуансоном и регулируемым прижимом.

Способ I применяется в основном для неглубокой вытяжки-формовки. Для получения более глубокой вытяжки и уменьшения размеров заготовки в этом случае используют подвижные приспособления — прижимы со щелевой полостью. Способы II и III, выполняемые на специальных гидравлических прессах, позволяют получить более глубокие вытяжки по сравнению со способом I.

На рис. 166 изображена схема установки для вытяжки резиновой матрицей (способ II по рис. 165). Особенностью данного устройства является применение гидроневматического буфера, создающего внешнее противодействие. Давление буфера регулируется в течение рабочего устройства, которое снижает давление резины в конце вытяжки до 300—500 кгс/см².

По этому принципу работают гидравлические прессы ПШВР-1 и ПШВР-3 усилием 1500 и 2800 тс при диаметре штампуемых деталей 440 и 700 мм.

Давление резины зависит от коэффициента вытяжки и относительной толщины заготовки. Для вытяжки деталей из дуралюмина давление может быть взято из табл. 99.

99. Наибольшее давление резины (кгс/см²) при вытяжке дуралюмина

Коэффициент вытяжки	Давление резины при относительной толщине заготовки (S/D) 100			
	1,30	1,00	0,66	0,40
0,60	260	280	320	360
0,50	280	300	340	380
0,44	300	320	350	400

При вытяжке прямоугольных коробок давление резины достигает для алюминия 350 кгс/см², а для дуралюмина 500 кгс/см².

Требуемое усилие пресса определяется по формуле

$$P = qF,$$

где F — площадь резины, см²; q — давление резины, кгс/см².

Практически возможна замена резины вязкой жидкостью (глицерин, масло) в резиновом чехле или гидропластом, создающим равномерное гидростатическое давление при наличии надежных уплотнений.

Преимущества вытяжки резиновой матрицей заключаются в том, что резина в процессе вытяжки создает сильное гидростатическое давление, которое прижимает заготовку к пуансону и препятствует ее утонению и осевому растяжению. Одновременно с этим давление резины на закругление у фланца постепенно уменьшает радиус этого закругления и производит заталкивающее действие на заготовку.

Таким образом, при этом способе вытяжки отсутствует сильное утонение у дна детали, приводящее к его отрыву, и создается более благоприятное напряженно-деформированное состояние, позволяющее увеличить степень деформации (глубину вытяжки).

100. Предельные значения коэффициентов вытяжки и глубины вытягиваемого цилиндра при вытяжке резиной цилиндрических деталей

Материал	Предельный коэффициент вытяжки	Наибольшая глубина вытяжки	Наименьшая толщина заготовки в % от D	Наименьший радиус закругления у фланца
Алюминиевые сплавы А, АМц	0,45	$1,0d_1$	1%, но не менее 0,4 мм	1,5S
Алюминиевые сплавы АМг, Д16, АК8	0,50	$0,75d_1$	То же	2—3S
Сталь 08ВГ	0,50	$0,75d_1$	0,5%, но не менее 0,2 мм	4S
Нержавеющая сталь 1Х18Н9Т	0,65	$0,33d_1$	То же	8S

Обозначения: D — диаметр заготовки; d_1 — диаметр вытяжки.

В табл. 100 приведены предельные значения коэффициентов вытяжки и глубины вытягиваемого цилиндра при вытяжке резиной с давлением 400 кгс/см² и радиусом закругления вытяжных кромок пуансона $r_{\text{п}} = 4S$.

В табл. 101 приведены наименьшие значения радиуса закругления вытяжного пуансона при вытяжке резиной цилиндрических деталей из различных материалов.

101. Наименьшие радиусы закруглений цилиндрического пуансона при вытяжке резиной (давление резины 400 кгс/см²)

Коэффициент вытяжки	Глубина вытяжки	Наименьшие радиусы закруглений для материалов			
		алюминиевые сплавы		сталь 08ВГ	нержавеющая сталь 1Х18Н9Т
		А, АМг, АМц	Д16, АК8		
0,70	0,25d ₁	1S	2S	0,5S	2S
0,60	0,50d ₁	2S	3S	1,0S	—
0,50	0,75d ₁	3S	4S	2,0S	—
0,45	1,00d ₁	4S	—	—	—

Этим же способом вытягиваются конические детали при соотношении меньшего диаметра (d_1) и большего (d_2):

$$d_1/d_2 \geq 1/(1+0,2S);$$

для алюминия

$$d_1/d_2 \geq 1/(1+0,12S).$$

В случае вытяжки резиной деталей квадратной и прямоугольной формы (при том же давлении) наименьший радиус углового закругления r должен составлять (B — ширина прямоугольной коробки, мм):

При высоте коробки h , мм:	
≤ 100	0,25B
110—125	0,20B
135—150	0,17B

Наибольшая высота квадратных и прямоугольных коробок при этом не превышает для стали $h = 3r$, для алюминия $h \approx 3,5r$.

102. Параметры вытяжки полиуретаном

Материал	Предельная глубина вытяжки h/d	Предельный коэффициент вытяжки	Толщина заготовки, мм	Минимальный радиус закругления у фланца, мм
Сплав АМц	1,00	0,45	4,0	2
» Д16АМ	0,75	0,50	1,0	3
Сталь 08кп	0,70	0,50	0,5	4
Сталь 1Х18Н9Т	0,53	0,65	0,5	8

невысокого колпачка полиуретаном. Полиуретан в вытяжных штампах применяется или в качестве эластичного пуансона, или в качестве матрицы, обтягивающей заготовку вокруг жесткого пуансона.

Освоена вытяжка полиуретаном листовых материалов толщиной от 0,4 до 3 мм при следующих параметрах вытяжки (табл. 102).

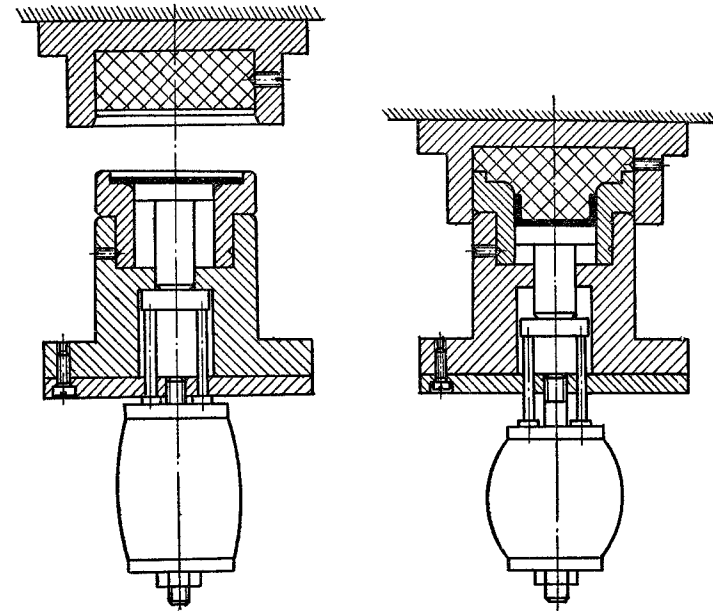


Рис. 167. Схема вытяжного штампа с полиуретановой матрицей

При вытяжке полиуретаном рекомендуется смазывать поверхность заготовки, обращенной в сторону металлической рабочей части. Поверхность, обращенная в сторону полиуретановой подушки, должна оставаться чистой и сухой.

Гидравлическая и гидромеханическая вытяжки

Гидравлическая вытяжка полых деталей производится посредством давления жидкости на деформируемый металл. Существуют два принципиально различных способа гидравлической вытяжки, отличающихся друг от друга и по характеру деформаций, и по области применения:

- 1) гидравлическая вытяжка, в которой жидкость выполняет роль пуансона, вдавливая заготовку в полость матрицы;
- 2) гидравлическая вытяжка, в которой жидкость (в резиновом чехле) служит матрицей, обтягивающей заготовку вокруг металлического или деревянного пуансона.

Первый способ гидравлической вытяжки находит применение при вытяжке конических, сферических, параболических и других подобных деталей, для которых требуется несколько операций обычной вытяжки.

На рис. 168 изображена последовательность гидравлической вытяжки рефлектора автомобильной фары за один ход пресса простого действия вместо многооперационной вытяжки обычными вытяжными штампами. Рабочей жидкостью является масло, заключенное в резиновый чехол.

Особенности способа гидравлической вытяжки:

- 1) отсутствие металлического пуансона и необходимости пригонки его к матрице;

2) возможность вытяжки без применения пресса, например в штампе, сжатом между двумя сболоченными плитами;

3) равномерное давление на заготовку и возможность изготовления пустотелых деталей конической, параболической и сферической формы в одну операцию.

Рабочее давление жидкости создается насосом высокого давления (50—200 кгс/см²) или рабочим ходом механического или гидравлического пресса. В первом случае гидравлическая вытяжка может производиться без участия пресса. Основными недостатками гидравлической вытяжки являются значительное утонение в куполе вытяжки или у дна детали, а также неустойчивое равновесие заготовки в процессе вытяжки и сползание ее набок при нарушении осевой симметрии, так как между „жидким пуансоном“ и заготовкой отсутствует трение. Сползание заготовки устраняется применением специального гидравлического фиксатора, который, будучи прижат к заготовке, удерживает ее от смещения и препятствует образованию сферического дна, или применением гидромеханического способа штамповки,

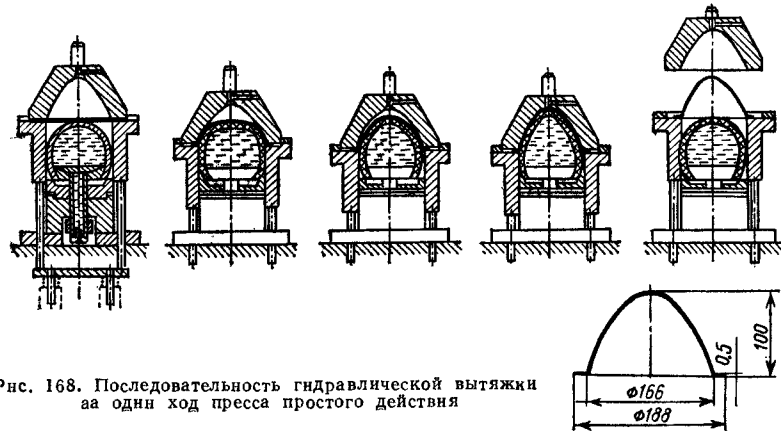


Рис. 168. Последовательность гидравлической вытяжки за один ход пресса простого действия

В зависимости от серийности производства сменные матрицы изготовляют из чугуна, слоистых пластиков или твердой древесины. Диафрагмы и защитные резиновые прокладки делают из натурального каучука твердостью 40—50 по Шору. Стойкость диафрагм свыше 5000 штамповок, а защитных прокладок — от 1000 до 2000 штамповок.

Требуемое давление при гидравлической вытяжке определяется по формуле

$$P = qF_{пр},$$

где $F_{пр}$ — проекция свободной поверхности вытягиваемой детали, мм²; q — давление жидкости в конечный момент вытяжки, кгс/мм², приблизительно составляющее

$$q = (S/r) \sigma_B.$$

Для вытяжки сферических деталей

$$q = 3,2 (S/d_m) \sigma_B \text{ кгс/мм}^2,$$

где S — толщина материала, мм; r — радиус закругления у дна детали, мм; d_m — диаметр матрицы, мм.

Второй способ гидравлической вытяжки, при котором жидкость служит матрицей, имеет существенное преимущество перед первым способом, так как в этом случае высокое гидростатическое давление жидкости создает сильный прижим заготовки к пуансону, препятствуя ее растяжению и излишнему утонению. Одновременно с этим давление жидкости на закругление у фланца приводит к постепенному уменьшению радиуса закругления и производит заталкивание заготовки в матрицу. Бла-

годаря этому создается более благоприятное напряженно-деформированное состояние позволяющее значительно увеличить глубину вытяжки,

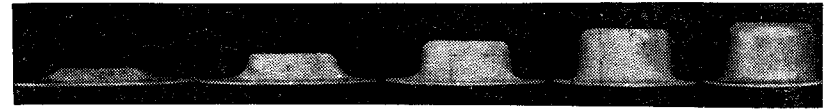


Рис. 169. Последовательность процесса вытяжки резинно-жидкостной матрицей

Теоретические исследования процессов гидравлической вытяжки приведены в работе [50].

На рис. 169 показана последовательность процесса вытяжки резинно-жидкостной матрицей.

В табл. 103 приведены предельные и рекомендуемые коэффициенты вытяжки $m = d/D$ при штамповке эластичной или жидкостной матрицей.

По данным американских источников, этот способ гидравлической вытяжки (гидроформ) применяется для изготовления деталей средних размеров (200—500 мм) из материала толщиной до 10 мм при максимальном давлении жидкости от 700 до 1000 кгс/см².

На рис. 170 изображена схема процесса гидравлической вытяжки в мелкосерийном производстве.

Жидкость заключена в подвижный резервуар, снабженный резиновой диафрагмой. Вытяжка происходит при движении пуансона вниз. Этот способ гидравлической вытяжки аналогичен способу вытяжки резиновой матрицей, но имеет следующие преимущества перед ним:

1) возможность получить за одну операцию более глубокую вытяжку без разрушения резины;

2) возможность создать более высокое давление до 1000 кгс/см².

Наибольшее развитие получил так называемый гидромеханический способ вытяжки, применяемый для изготовления цилиндрических, сферических, конических и других изделий.

На рис. 171 приведена схема штампа для гидромеханической вытяжки. Вытяжка производится с противодействием, а прижим предотвращает образование складок.

Рис. 170. Схема установки для гидравлической вытяжки

На рис. 171, а показана схема установки перед началом вдавливания пуансона. Заготовка прижата к матричному кольцу, снабженному уплотнениями. На рис. 171, б показан начальный момент вдавливания пуансона. Рабочая жидкость под высоким давлением обтягивает заготовку вокруг пуансона, образуя своеобразное гидравлическое ребро, усиливающее тормозящее действие прижима заготовки к пуансону.

103. Предельные и рекомендуемые коэффициенты вытяжки при штамповке эластичной или жидкостной матрицей

Штампуемые материалы	Коэффициенты вытяжки $m_1 = d_1/D$	
	предельный	рекомендуемый
Дуралюмин	0,43	0,46
Медь	0,42	0,45
Алюминий	0,41	0,44
Нержавеющая сталь	0,41	0,43
Стали 10 и 20	0,42	0,45

В конце хода (рис. 171, *в*) гидравлическое ребро втягивается в матрицу и разглаживается давлением жидкости. В данном случае избыток рабочей жидкости вытесняется через дроссельное устройство в резервуар.

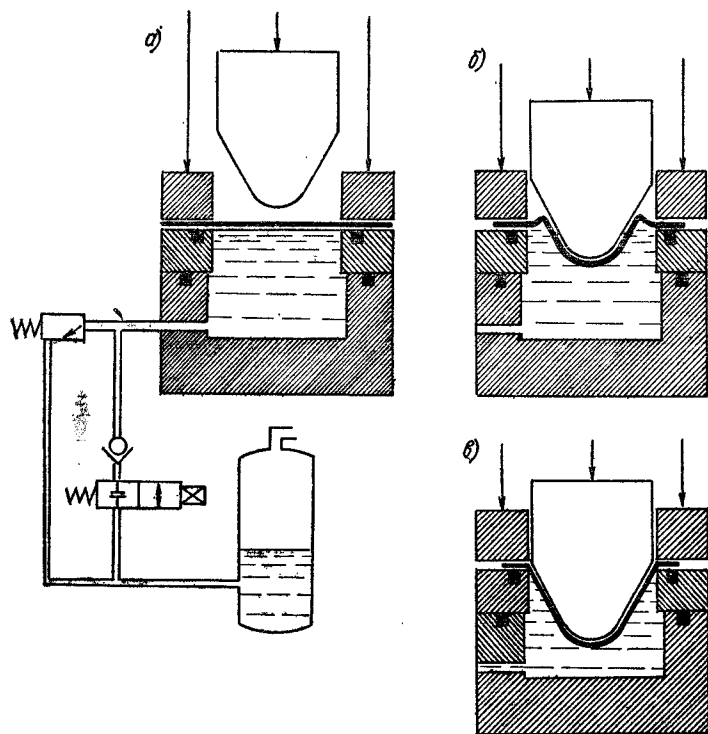


Рис. 171. Схема установки для гидромеханической вытяжки

Экспериментально освоена гидромеханическая вытяжка с удалением избытка жидкости через вытяжной зазор. Гидромеханическая вытяжка позволяет получить в одну операцию цилиндрические и квадратные полые детали с отношением h/d и d/d , равным 1,5—1,6.

Вытяжка на листоштамповочных молотах и гидравлических прессах

Этот способ вытяжки применяется главным образом в мелкосерийном производстве изделий, имеющих неустойчивую, часто меняющуюся конструкцию, когда использование обычных штампов нецелесообразно вследствие большой стоимости и длительности их изготовления.

Для штамповки на листоштамповочных молотах используются простые литые свинцово-цинковые штампы или штампы из прочных легкоплавких сплавов (АЦ 13-2, ЦАМ53 и др.). Штамповку на молотах магниевых и титановых сплавов ВТ1 производят в нагретом состоянии с подогревом штампов. В этом случае матрицы штампов делают из стали или чугуна и подогревают до 300° С, цинковые матрицы подогревают до 200—220° С,

На листоштамповочных молотах выполняют разнообразные штамповочные операции: гибку, вытяжку, формовку, отбортовку.

Процесс вытяжки на листоштамповочных молотах происходит за несколько постепенно усиливающихся ударов, причем глубина хода ограничивается или фанерными кольцами, укладываемыми на фланец заготовки и постепенно снимаемыми, или резиновыми многослойными накладками, устанавливаемыми в рабочую полость матрицы. Штамповка на молотах почти всегда дает гофры на фланце, а иногда и на самом изделии, обычно устраняемые ручной правкой. Крупным недостатком этого способа является увеличенный расход материала на края и фланцы, обрезаемые после штамповки, а также повышенный процент брака.

В последнее время освоен способ штамповки на листоштамповочных молотах — резиной. Штамповка производится резиной, заключенной в контейнер, подвешенный к поперечине листоштамповочного молота.

Технология штамповки резиной на листоштамповочных молотах аналогична штамповке резиной на гидравлических прессах. Этот способ позволяет выполнять ряд вытяжных работ в цехах, не имеющих гидравлических прессов.

Практический интерес представляет метод реверсивной вытяжки, выполняемый за две операции. В первой операции производится набор мегалла выпуклостью вверх с образованием обвода по контуру, а во второй — выворачивание выпуклости в обратную сторону.

Разработана и внедрена в серийном производстве способ пульсирующей вытяжки на листоштамповочных молотах с гофрообразованием¹. К штоку молота прикрепляется резино-жидкостная матрица 1, а на стол устанавливается устройство, состоящее из жесткозакрепленного вытяжного пуансона 2 и прижима 6, опирающегося на поршень 3, находящийся в гидравлическом цилиндре 5. Последний соединен с клапанной системой и воздушным аккумулятором (рис. 172). В процессе работы прижим периодически опускается вниз и поднимается вверх гидравлическим аккумулятором. Корпус резиновой матрицы выдерживает давление до 800 кгс/см².

Перед штамповкой на заготовку устанавливают матрицу-накладку 6 и производят серию ударов, которые отгибают фланец заготовки. Вслед за этим происходит вытяжка со складкообразованием, а затем при резком повышении давления под поршнем происходит выпрямление складок (рис. 173). При этом способе достижимы довольно высокие коэффициенты вытяжки ($m=0,48 \div 0,5$). Кроме цилиндрических деталей можно изготавливать детали конической и прямоугольной коробчатой формы.

В последнее время разработан и внедрен в промышленность способ пульсирующей вытяжки с гофрообразованием и нагревом фланца заготовки.

На рис. 174 приведены схемы пульсирующей вытяжки с гофрообразованием и нагревом фланца заготовки². Фланец заготовки нагревается от контакта с нагревательными частями штампа (рис. 174, *а*). Затем прижим поднимается на величину f , а пуансон опускается, вследствие чего на фланце образуются гофры (рис. 174, *б*). Прижим опускается вниз и разглаживает гофры (рис. 174, *в*). Затем процесс гофрообразования

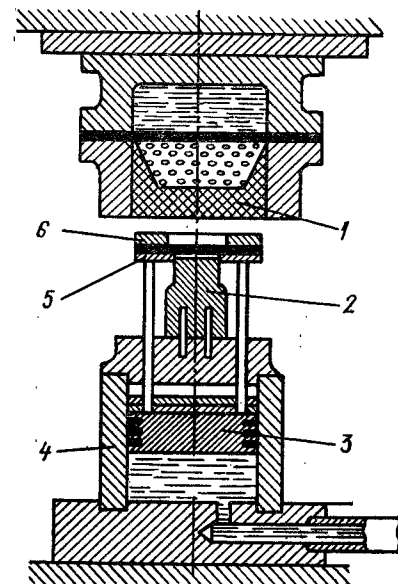


Рис. 172. Схема установки для вытяжки со складкообразованием на листоштамповочных молотах

¹ Автор Сизов Е. С.

² Авторы Сизов Е. С. и др.

повторяется (рис. 174, з). В данном способе вытяжки, сопротивление фланца и напряжения в опасном сечении значительно снижены, благодаря чему возможна более глубокая вытяжка.

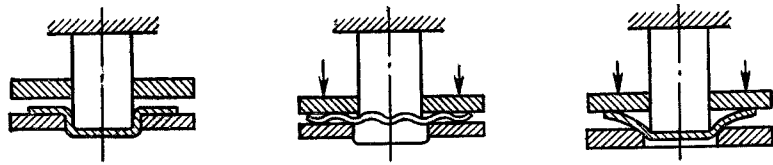


Рис. 173. Схема образования и выпрямления складок (гофров)

За одну операцию пульсирующей вытяжки с нагревом получают детали с коэффициентами вытяжки в 1,5—2 раза большими, чем при вытяжке с подогревом заготовки ($K = 5,0 \div 5,7$).

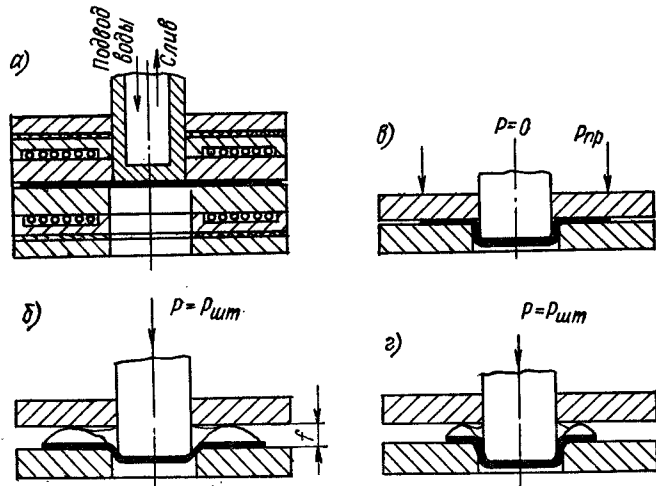


Рис. 174. Схема пульсирующей вытяжки с гофрообразованием

Способ пульсирующей вытяжки опробован на сплавах АМг6М, Д16АМ и Д16АТ, МА3М и ОТ-4-0.

Для данного процесса разработаны и внедрены гидравлические прессы ПГВ-1, ПГ-13, ПМШ-500.

Обтяжка на гидравлических прессах

Обтяжка на гидравлических прессах применяется для изготовления крупных изделий несложной формы путем обтягивания тонколистовой заготовки вокруг специального обтяжного шаблона (пуансона). Для изготовления обтяжкой деталей двойной кривизны используют специальные гидравлические прессы. Существуют следующие способы обтяжки.

1. Простая обтяжка (рис. 175, а), когда плоскую заготовку закрепляют в зажимах А и В, которые затем сближают. Окончательная форма двойной кривизны получается в результате движения пуансона С вверх.

2. Обтяжка с растяжением (рис. 175, б), в процессе которой края заготовки зажимают в плоских или фигурных зажимах и изгибают по поднимающемуся пуансону с одновременным растяжением, осуществляемым перемещением зажимов в направлении, указанном стрелкой. Растяжение дается с целью получения остаточных деформаций и достижения точных размеров деталей, имеющих малую продольную кривизну (большой радиус). Точность деталей по отношению к пуансону составляет 0,5—0,7 мм при толщине листа 1—2 мм и 1—2 мм при толщине листа 3—5 мм.

3. Раздельная обтяжка (рис. 175, в), заключающаяся в предварительном изгибе заготовки с последующей обтяжкой ее по пуансону при перемещении зажимов вниз.

4. Кольцевая обтяжка (рис. 175, г), применяемая при изготовлении деталей замкнутой формы из сваренной кольцевой заготовки. Формообразование производится разжимными секционными пуансонами.

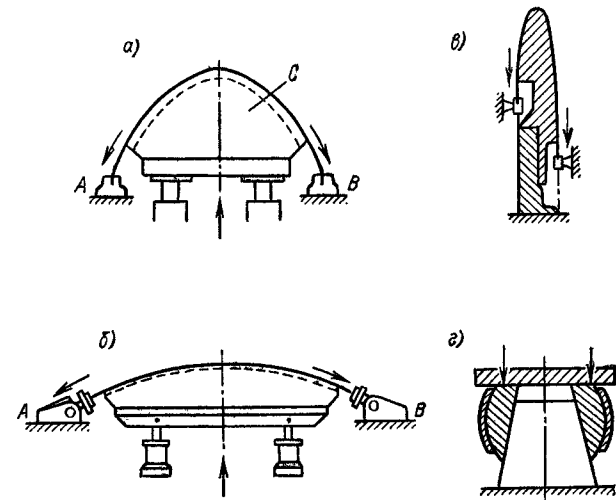


Рис. 175. Способы и разновидности обтяжки

Кроме приведенных на рис. 175 схем, существуют обтяжные прессы с вертикальным расположением линии зажимов и горизонтальным движением пуансона.

Степень деформации при обтяжке определяется коэффициентом обтяжки, представляющим собой отношение длины наиболее растянутого участка к первоначальной длине заготовки $K_{обт} = L/L_0$.

Для алюминиевых сплавов типа дуралюмина коэффициент обтяжки, получаемый в одну операцию, составляет $K_{обт} = 1,03 \div 1,06$, что равнозначно наибольшему относительному удлинению 3—8%. При обтяжке в несколько операций суммарный коэффициент обтяжки может быть увеличен до $K_{обт} = 1,12 \div 1,14$.

Способом обтяжки изготовляют детали из алюминиевых и магниевых сплавов толщиной до 5 мм или из нержавеющей стали толщиной до 1,5 мм, а также из титановых сплавов. В процессе обтяжки происходит сильное растяжение материала с утонением до 6%.

Недостатком этого способа являются большие потери металла на припуски для зажима листа захватами, а также необходимость доработки формы молотками и киянками.

В качестве дальнейшего развития данного способа экспериментально опробована обтяжка с применением вибраций оправки, осуществляемых особыми электромеханическими и гидравлическими вибраторами. Частота вибраций 45—70 Гц, амплитуда колебаний от 0,2 до 0,8 мм.

28. ВЫТЯЖКА ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Тугоплавкие металлы и сплавы получают все большее применение в технике благодаря присущим им высоким жароупорным (теплоустойчивым) свойствам. Механические свойства основных тугоплавких металлов приведены в табл. 104.

104. Механические свойства основных тугоплавких металлов

Металл	Температура плавления, °C	Предел прочности σ_B (кгс/мм ²) при температуре, °C			Относительное удлинение δ_{10} %
		20	500	1000	
Вольфрам	3410	90—350	125—140	85—52	0—3 (20° C)
Молибден	2625	85—140	25—45	15—20	0,3—4 (20° C)
Тантал	2996	70—100 (наклепанный) 35—45	25—32	10—14	1—5 (наклепанный) 40
Ниобий	2412	26—45 (отожженный) 52—100	25	—	20—50 (отожженный) 5—10
Цирконий	1855	23—42 (наклепанный) (отожженный)	—	—	30—50 (20° C) (наклепанный)
Титан (технический)	1660	40—75	18—2	—	20—40 (20° C)

Наиболее широкое применение в промышленности получили титан и титановые сплавы.

Вытяжка титановых сплавов [40]

Для штамповки деталей применяют титановые сплавы марок ВТ1-1, ВТ1-2, ОТ4-1, ОТ4-2, ВТ4, ВТ5-1, ВТ6 и ВТ14. Первые два сплава представляют собой технический титан. Сплавы ОТ4, ОТ4-1, ВТ4, ВТ5-1 являются сплавами средней прочности. Сплавы ОТ4-2, ВТ6 и ВТ14 являются высокопрочными сплавами пониженной пластичности. Выбор того или иного сплава производится конструктором по его механическим и технологическим свойствам.

Механические свойства титановых сплавов характеризуются следующими особенностями (табл. 105):

- 1) высокий предел текучести, близкий к пределу прочности, следствием чего является узкая область пластической деформации;
- 2) пониженная пластичность в холодном состоянии по сравнению с другими металлами, а следовательно, пониженная штампуемость;
- 3) высокая пластичность в нагретом состоянии вследствие изменения структуры;
- 4) сильное упрочнение при холодной пластической деформации, сопровождаемое увеличением прочности (в 1,5—1,8 раза) и уменьшением пластичности;
- 5) низкие антифрикционные свойства, выражающиеся в интенсивном налипании титана на рабочие части штампа;
- 6) чувствительность к скорости деформирования, вследствие чего скорость вытяжки берется в два-три раза меньше, чем для стали;
- 7) значительная анизотропия и нестабильность свойств листов титановых сплавов.

Необходимо отметить, что титан и титановые сплавы не магнитны, что может быть использовано в технологических целях.

105. Механические свойства титановых сплавов

Марка сплава	Состояние	Предел прочности σ_B , кгс/мм ²	Сопротивление срезу $\sigma_{ср}$, кгс/мм ² (для вырубки)	Относительное удлинение, %		
				δ_5	$\delta_{равн}$	
ВТ1-1	Отожженный	46—60	39—52	25—40	9—10	
ВТ1-2		55—75	47—64	22—35	9—10	
ОТ4-1		60—75	52—64	20—35	9—10	
ОТ4		70—85	60—73	15—35	7—8	
ВТ5-1		75—95	64—80	12—25	7—8	
ВТ4		85—100	73—86	12—22	7—8	
ОТ4-2		100—120	86—103	9—15	4—5	
ВТ6		90—110	77—95	10—15	4—5	
ВТ6		Закаленный (с 800—840° C)	100—105	86—90	16—18	7—9
ВТ6		Состаренный (при 500° C)	110—115	95—100	14—16	—
ВТ14	Отожженный	90—110	77—95	8—16	4—5	
ВТ14	Закаленный (с 820—880° C)	95—105	82—90	14—20	9—11	
ВТ14	Состаренный (при 500° C)	115—140	100—120	7—12	—	

Примечания:

1. Сплавы ВТ1-1, ВТ1-2, ОТ4-1 и ОТ4 штамуются в холодном состоянии с межоперационным отжигом. Для сокращения количества операций применяют подогрев заготовок из ВТ1-1 и ВТ1-2 до 350—400° C, а из ОТ4-1 и ОТ4 — до 500—650° C.
2. Сплавы ВТ4, ВТ5-1, ВТ14 требуют частых межоперационных отжигов или подогрева до 550—750° C.
3. Высокопрочные сплавы ОТ4-2, ВТ5-1, ВТ6 штамуются с нагревом до 600—750° C.

В табл. 106 приведено разделение титановых сплавов по штампуемости.

106. Штампуемость титановых сплавов

Марка сплавов	Штампуемость в холодном состоянии	Предельный коэффициент вытяжки m_1	Наименьший радиус изгиба	Примечание
ВТ1	Хорошая	0,50—0,56	(1,5 ÷ 2,0) S	Штамповка деталей сложной формы
ВТ1-2, ОТ4-1	Средняя	0,56—0,62	(2,0 ÷ 2,5) S	Штамповка деталей средней сложности
ОТ4, ВТ1-4 (закаленный)	Пониженная	0,62—0,68	(2,5 ÷ 3,0) S	Штамповка деталей простых и средней сложности
ВТ4, ВТ14 (отожженный)	Низкая	0,68—0,72	(3 ÷ 4) S	Штамповка простых деталей
ОТ4-2, ВТ5-1, ВТ6	Весьма низкая	0,75—0,82	(4 ÷ 6) S	Штамповка только с нагревом до 600—750° C

Для получения большей степени деформации и сокращения числа операций, а также для получения большей точности изделий применяется штамповка в нагретом состоянии. Характерно, что в США штамповка титана производится только в нагретом состоянии.

107. Оптимальные температуры нагрева для штамповки титановых сплавов

Марки сплава	Температура нагрева, °С
BT1, BT2	350—400
OT4-1, OT4	500—600
BT4, BT14	550—700
OT4-2, BT5-1, BT6	600—750

- 6) газовыми горелками;
- 7) индукционный.

Наиболее распространенным является нагрев в электрических муфельных печах с автоматическим регулированием температуры.

Нагрев от нагревательных плит производится при штамповке резиной (вместе с нагревом формовочных блоков). Контактный нагрев от штампа применяется при невысокой температуре нагрева и только для тонких заготовок, так как титановые сплавы обладают низкой теплопроводностью.

Нагрев электросопротивлением применяется для крупных заготовок удлиненной формы, причем нагрев производится на прессе и продолжается даже во время операции (напряжение от 2 до 18 В). Здесь используются высокое электросопротивление титана и быстрота нагрева при прохождении электрического тока.

Нагрев отражательными экранами применяется редко, так как требует длительного времени.

Нагрев газовым пламенем является несовершенным и используется лишь при давальных работах и ручном изготовлении деталей в опытно-производстве.

Индукционный нагрев применяется для нагрева длинных полос при горячей вырубке плоских заготовок. Индуктор имеет щелевое отверстие для прохода полосы.

Титановые сплавы подвергаются следующим штамповочным операциям:

- 1) штамповке и вытяжке обычными штампами;
- 2) штамповке резиной на гидравлических прессах;
- 3) штамповке на падающих молотах;
- 4) обтяжке на обтяжных прессах.

При вытяжке титановых сплавов в зависимости от их температуры может быть получена предельная степень вытяжки, указанная на рис. 176. Однако вытяжку титановых сплавов ведут не с предельными, а с несколько смягченными коэффициентами вытяжки.

Сопротивление деформированию при 300—400° С составляет от 10 до 25 кгс/мм² в зависимости от степени деформации.

При горячей вытяжке титановых сплавов штампы должны иметь обогрет матрицы и прижимного кольца, независимо от нагрева заготовок.

Большим затруднением при вытяжке титановых сплавов является налипание частиц металла на инструмент, вследствие чего допускается лишь небольшая скорость вытяжки (не более 250 мм/с) и требуется периодическая полировка штампов.

Оптимальные температуры нагрева для штамповки титановых сплавов приведены в табл. 107.

В зависимости от размера заготовок и вида штамповочной операции применяют следующие способы нагрева заготовок:

- 1) в электрических муфельных печах;
- 2) на нагревательных плитах;
- 3) контактом от горячего штампа;
- 4) электросопротивлением;
- 5) отражательными экранами;

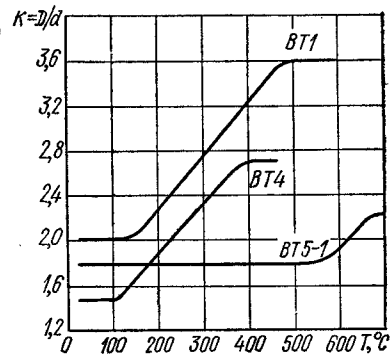


Рис. 176. Предельная степень вытяжки титановых сплавов

При вытяжке как в холодном, так и в подогретом состоянии титановые сплавы получают наклеп и поэтому требуется межоперационный и окончательный отжиг для снятия наклепа. Иначе на штампуемых деталях возникают трещины от действия остаточных напряжений.

Режим межоперационного и окончательного отжига титановых сплавов приведен в табл. 108. Охлаждение происходит на воздухе. После отжига необходимо травление для удаления окислов, производимое обработкой в водных растворах щелочей с различными окислителями, с последующим травлением в растворах кислот.

108. Режим межоперационного и окончательного отжига титановых сплавов

Марка сплава	Межоперационный отжиг для восстановления пластичности		Окончательный отжиг для снятия внутренних напряжений	
	Температура нагрева, °С	Выдержка, мин (для S=0,8—3 мм)	Температура нагрева, °С	Выдержка, мин (для S=0,8—3 мм)
BT1-1, BT1-2	550—600	10—30	500	20—60
OT4, OT4-1, OT4-2, BT4	650—700	10—30	550—600	20—60
BT5-1, BT6, BT14	750—800	10—30	550—650	20—60

Для вытяжки титановых сплавов обычные штамповые стали непригодны вследствие налипания и задиrow.

Рекомендуются следующие материалы для штампов при вытяжке в *холодном* состоянии:

- 1) графитизированная сталь марок ЭИ366 и ЭИ299;
- 2) хромоникелевые чугуны СЧ 35-52 и СЧ 32-52;
- 3) магниевый-никелевый чугун марки МН (АМТУ 315—52);
- 4) алюминий-железистоникелевая бронза марок БрАЖН 10-4-4 и БрАЖН 11-6-6.

5) металлокерамические сплавы типа ВК6—ВК8.

Материалы, рекомендуемые для штампов при вытяжке в *горячем* состоянии:

- 1) жаропрочные сплавы типа ЭИ437 и ЭИ616 (стойкость до 900° С);
- 2) стали 5ХГМ и 3Х2В8 (стойкость до 300—400° С);
- 3) металлокерамические сплавы ВК6—ВК8 (стойкость до 700° С).

Широко применяется для вытяжки титановых сплавов штамповка резиной, производимая на гидравлических прессах, оборудованных контейнером с резиной.

Штамповка резиной применяется только для сплавов BT1-1, BT1-2, OT4 и OT4-1 и производится с подогревом заготовки до 300—400° С. Штампы (формовочные блоки) также подогреваются до 150° С от подштамповой плиты, обогреваемой трубчатыми обогревательными элементами.

Формовка производится накладными пластинами из теплостойкой резины марки 5168 (по ТУ МХП 1166—51р), обладающей стойкостью 50—60 обжатий при 300° С.

Для предотвращения налипания резины на изделие применяют смазки в виде брикетов или присыпок. С целью повышения стойкости резины между ней и подогретой титановой заготовкой используют прокладки из стеклянного волокна или асбестового полотна. Давление резины при штамповке деталей из сплава BT1 составляет от 80 до 200 кгс/см² в зависимости от степени сложности формы детали,

Вытяжка молибдена и молибденовых сплавов [61]

Детали из молибденовых сплавов, в том числе изготавливаемые вытяжкой, получили применение в электронной и электровакуумной технике благодаря высокой жаропрочности, электропроводности и сопротивлению коррозии.

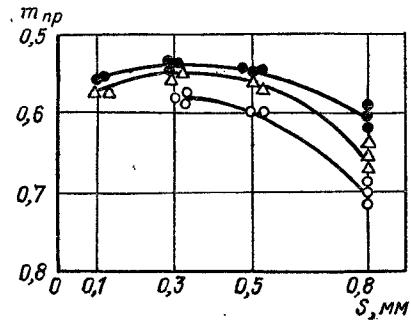


Рис. 177. Предельная степень вытяжки молибденовых сплавов: ● — МЧ; ▲ — ЦМ-2А; ○ — ВМ-1

Тонколистовой молибден изготавливается двумя методами: 1) порошковой металлургией (молибден МЧ) и 2) выплавкой в вакууме (сплавы ЦМ-2А и ВМ-1 технической чистоты). Металлокерамический молибден МЧ обладает большей пластичностью, чем литой.

Пластичность молибдена и способность к глубокой вытяжке в значительной степени определяется металлургическими факторами (содержание примесей, структура, степень предварительной деформации и пр.), а также скоростью и температурой деформирования.

Характерно, что предельный коэффициент вытяжки молибдена и его сплавов $m_{пр}$ повышается с увеличением толщины листа. На рис. 177 приведена зависимость предельного коэффициента вытяжки молибдена МЧ и его сплавов ЦМ-2А и ВМ-1 от толщины заготовки. Вытяжка производилась в холодном состоянии с малой скоростью. Очевидно при увеличении степени деформации при прокатке повышается не только прочность, но и пластичность молибдена. После прокатки молибдена необходим отжиг в вакууме ($1 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст.) для молибдена МЧ — при $880-900^\circ\text{C}$ с выдержкой 30—40 мин, для сплавов ЦМ-2А и ВМ-1 — при $1060-1080^\circ\text{C}$ с выдержкой 1,5 ч. При многооперационной вытяжке после третьей и каждой следующей операции применяется промежуточный отжиг в вакууме.

Установлено, что нагрев молибдена и молибденовых сплавов значительно повышает его штампуемость и пригодность к вытяжке. Поэтому вытяжку молибдена рекомендуется производить с нагревом (МЧ до $220-260^\circ\text{C}$, ЦМ-2А до $250-300^\circ\text{C}$, ВМ-1 до $270-350^\circ\text{C}$).

На рис. 178 приведена конструкция специального штампа со сменными матрицами и пуассонами для вытяжки с нагревом молибденовых деталей. Нагрев осуществляется нагревательным элементом, встроенным в нижнее основание (может быть залит трубчатый нагревательный элемент). Направляющие колонки охлаждаются проточной водой, буферные пружины вынесены из зоны нагрева. Нижнее основание штампа поставлено на асбестоцементную прокладку и защищено теплоизоляционным кожухом. Рекомендуются следующие радиусы закругления кромок матрицы

и пуансона: для первой вытяжки $r_m = 6 \div 8$, $r_n = 0,9r_m$. Успешно выполнена вытяжка в конической матрице как с прижимом, так и без него при утонении $m_y = 0,864$.

Давление прижима q (кгс/см²) для отожженного молибдена составляет:

для молибдена МЧ	0,45—0,60
»	(при $220-260^\circ\text{C}$)
»	ЦМ-2А
»	0,40—0,60
»	(при $250-300^\circ\text{C}$)
»	ВМ-1
»	0,50—0,65
»	(при $280-350^\circ\text{C}$)

Оптимальные коэффициенты вытяжки молибдена приведены в табл. 109.

При вытяжке применялись водные коллоидно-графитовые смазки типа В0 и В1. Во время работы пуансон нагревается на $100-140^\circ\text{C}$ ниже температуры нагрева матрицы.

Молибден и его сплавы технической чистоты обладают высокой степенью плоскостной анизотропии, в результате которой при вытяжке из молибдена цилиндрических колпачков образуются сильные фестоны.

Наибольшее значение коэффициентов анизотропии, а также пониженную прочность и повышенную пластичность показывают образцы, вырезанные под углом 45° к направлению прокатки. В этом же направлении образуются фестоны при вытяжке цилиндрических колпачков.

Вытяжка ниобия и тантала

Ниобий и тантал изготавливаются металллокерамическим способом или плавкой в вакууме, или более новым способом — электронной плавкой в высоком вакууме. Слитки ниобия и тантала, полученные указанным способом, могут быть прокатаны в фольгу, без промежуточных отжигов. Это говорит о высокой пластичности данных металлов.

Тантал и ниобий обладают наиболее высокой коррозионной стойкостью из всей группы тугоплавких металлов. Ниобий широко используется в электровакуумной технике для изготовления анодов,

109. Оптимальные коэффициенты вытяжки молибдена и его сплавов

Марка молибдена и его сплавов	Толщина материала S, мм	Относительная толщина (S/D) 100	Температура заготовки, °C	Коэффициенты вытяжки						
				без промежуточного отжига			с промежуточными отжигами			
				m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	m_6	
МЧ (отжиг в вакууме при 890°C)	0,52 0,82	0,91 1,35	220—260 220—260	0,60—0,62 0,57—0,59	0,75—0,77 0,73—0,75	0,80—0,82	0,84—0,86	0,86—0,88	0,86—0,88	0,87—0,90
ЦМ-2А (отжиг в вакууме при 1070°C)	0,76 0,81	1,26 1,35	250—300 280—350	0,58—0,60 0,60—0,62	0,73—0,75 0,74—0,76	0,80—0,82 0,82—0,83	0,84—0,86 0,84—0,86	0,86—0,88	0,86—0,88	—
ВМ-1 (отжиг в вакууме при 1070°C)	0,80	1,34	280—350	0,60—0,62	0,74—0,76	0,82—0,83	0,84—0,86	0,86—0,88	0,87—0,90	—

сеток электронных трубок и других деталей. Кроме того, ниобий применяется в ядерной энергетике и газовых турбинах. Получили применение ниобиевые сплавы, легированные несколькими элементами, которые имеют высокую прочность. Чистый ниобий обладает высокой пластичностью и штампуются в отожженном состоянии без нагрева на обычных штампах, аналогично малоуглеродистой стали. Однако небольшое загрязнение ниобия (C, O_2, N_2) резко меняет его пластические свойства.

Тантал является хорошим геттером и широко используется при изготовлении электривакуумных радиоламп. Кроме того, его применяют для изготовления деталей химической аппаратуры, работающих в агрессивных средах. Тантал сочетает высокие пластические свойства при низких и прочностные свойства при высоких температурах. Тантал применяется в тех случаях, когда требуется сочетание жаропрочности и стойкости при низких температурах, так как он единственный из жаропрочных металлов, не подвергающийся охрупчиванию при низких температурах. Чистый тантал так же, как и ниобий обладает высокой пластичностью в холодном состоянии (в отожженном состоянии) и штампуются без нагрева на обычных штампах, аналогично малоуглеродистой стали.

Однако интенсивное схватывание тантала и ниобия с рабочими частями штампа требует принятия особых мер. Такими мерами являются нанесение защитных лаковых покрытий и создание жидкостного трения путем вытеснения жидкой смазки через увеличенный зазор между матрицей и заготовкой.

Штамповка циркония

Чистый цирконий — это пластичный металл, хорошо обрабатываемый в холодном состоянии различными методами, в том числе протяжкой, выдавливанием и вытяжкой. Чистый цирконий не обладает теплостойкостью и не применяется как конструкционный материал. Для этого применяют различные сплавы с танталом $Zr 0,5Ta$ или ниобием (оженит). Механические свойства первого $\sigma_B = 30 \text{ кгс/мм}^2$, $\delta = 40\%$; второго $\sigma_B = 30 \text{ кгс/мм}^2$, $\delta = 33\%$ в отожженном состоянии.

Вытяжка циркония производится в холодном состоянии с отжигом лишь после нескольких операций вытяжки (как для стали). Из-за невысокой прочности цирконий он создает сильное налипание на штампы, вследствие чего необходимо применять смазки с наполнителями. Благодаря способности циркония поглощать нейтроны, он получил преимущественное распространение в атомных реакторах. Цирконий, как и титан, является парамагнитным металлом.

Вольфрам в листовой штамповке применяют сравнительно редко — главным образом в радиолампах для изготовления электродов, подвесок и других деталей. Листовой вольфрам штампуют в нагретом состоянии: листы толщиной $0,1-0,2 \text{ мм}$ — при $600-800^\circ \text{C}$, толщиной $2-5 \text{ мм}$ — при $1100-1200^\circ \text{C}$. Чистый вольфрам вследствие своей хрупкости не подвергается вытяжке.

Резкое повышение пластичности вольфрама и молибдена происходит при сплаве их с рением. При содержании рения от 5 до 20% относительное удлинение вольфрама увеличивается до 15—18%.

ГЛАВА IV

ЛИСТОВАЯ ФОРМОВКА

К группе листовой формовки относятся следующие операции, изменяющие форму листовой заготовки путем местных деформаций различного характера: 1) рельефная формовка; 2) отбортовка отверстий и наружного контура; 3) растяжка (раздача); 4) обжимка; 5) правка и чеканка.

В этой же главе рассматриваются процессы холодного выдавливания полых деталей из листовых заготовок,

29. РЕЛЬЕФНАЯ ФОРМОВКА

Рельефная формовка представляет собой изменение формы заготовки, заключающееся в образовании местных углублений и выпуклостей за счет растяжения мате-

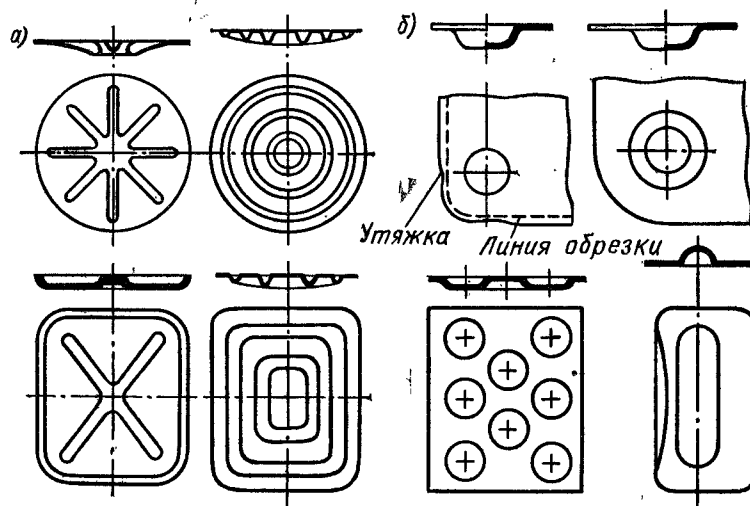


Рис. 179. Примеры рельефной формовки: а — штамповка ребер жесткости; б — штамповка выдавок

риала. Следовательно, рельефная формовка является частным случаем неглубокой местной вытяжки, при которой материал подвергается главным образом растяжению.

Типовыми примерами рельефной формовки являются:

1) штамповка ребер жесткости и выдавок (рис. 179);

2) штамповка рельефных (выпукло-вогнутых) деталей и художественных украшений;

3) штамповка-формовка деталей несимметричной конфигурации открытой формы.

Исследование процесса местной вытяжки в заготовках большой ширины показало [115], что этот процесс состоит из двух последовательных стадий (рис. 180); деформации кольцевого участка шириной $R_2 - R_1$ с пластической деформацией дна выпуклости (рис. 180, б) и стадии пластической деформации смежного кольцевого участка шириной $R_3 - R_2$.

При дальнейшем опускании пуансона происходит растяжение металла в зазоре между пуансоном и матрицей и образование разрыва, без изменения границы между пластической и упругой областями,

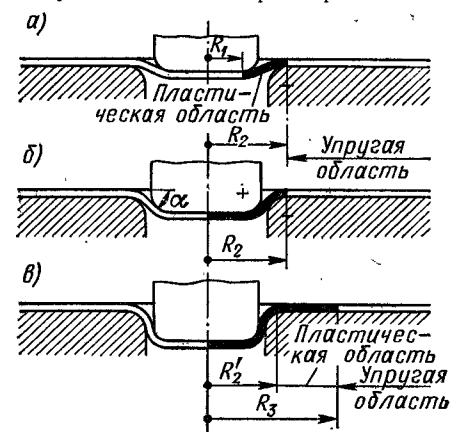


Рис. 180. Последовательность процесса местной вытяжки: а и б — первая стадия; в — вторая стадия

Установлено, что при больших размерах заготовки ($R_0 > 10R_m$) граница между пластической и упругой областью составляет $R_3 = 1,65 R_2$. При других отношениях R_0/R_m граница между упругой и пластической областями составляет $R_3 = x(R_m + r_m)$, где $x = R_3/R_2$ находится по диаграмме [107].

Установлено также, что возможная глубина вытяжки достигается в первой стадии; вторая стадия, осуществляемая за счет небольшого растяжения и утонения пластического участка, мало увеличивает глубину вытяжки.

110. Наибольшая глубина рифтов, формируемых резиной при давлении $q = 400$ кгс/см². Материал Д16АМ

Толщина материала S , мм	Наибольшая глубина рифтов при ширине рифта B , мм					
	5	10	15	20	25	30
0,5	2,5	5,0	7,5	10	12,5	15
1,0	2,0	4,3	7,4	9	11,0	13
1,5	1,6	3,7	6,3	8	10,0	12
2,0	1,1	2,6	4,5	7	9,5	11

сону за счет утонения сферического купола. Однако коническая форма выпуклости с угловыми переходами к плоскому дну обладает большей жесткостью формы.

Весьма распространенной операцией является штамповка ребер жесткости, широко применяемая в автостроении, самолетостроении, вагоностроении, приборостроении, радиотехнике и т. п. В большинстве случаев штамповка ребер жесткости производится металлическими штампами, лишь в самолетостроении она выполняется на гидравлических прессах давлением резины или жидкости.

В табл. 110 приведена глубина рифтов, получаемая при штамповке резиной под давлением 400 кгс/см² (материал Д16АМ).

В автомобильной промышленности применяют полукруглые, плоские и угловые ребра жесткости.

На рис. 181 приведена диаграмма удлинения материала при штамповке ребер жесткости.

Кривая 1 соответствует расчетному удлинению, а заштрихованный участок 2 — действительному удлинению, имеющему несколько меньшее значение вследствие того, что растяжению подвергаются также зоны заготовки, прилегающие к ребру жесткости.

Усилие для штамповки ребер жесткости ориентировочно может быть подсчитано по формуле

$$P = LS\sigma_b k,$$

где L — длина ребер жесткости, мм; k — коэффициент, зависящий от ширины и глубины рифта ($k = 0,7 \div 1$),

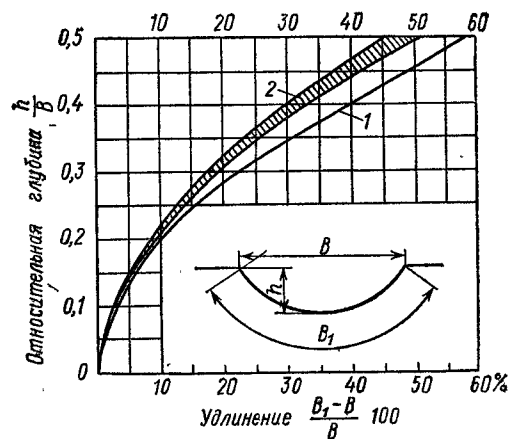


Рис. 181. Удлинение материала при штамповке ребер жесткости

Приближенное усилие для рельефной штамповки на кривошипных прессах небольших деталей ($F < 20$ см²) из тонкого материала (до 1,5 мм) может быть определено по эмпирической формуле

$$P = FS^2k,$$

где F — площадь штампуемого рельефа, мм²; k — коэффициент, составляющий для стали 20—30 кгс/мм², для латуни 15—20 кгс/мм².

30. ОТБОРТОВКА

Отбортовка подразделяется на два основных вида: отбортовку отверстий и отбортовку наружного контура. Они различаются характером деформации, схемой напряженного состояния и производственным назначением.

Отбортовка отверстий представляет собой образование бортов вокруг предварительно пробитых отверстий (иногда без них) или по краю полых деталей, производимое за счет растяжения металла.

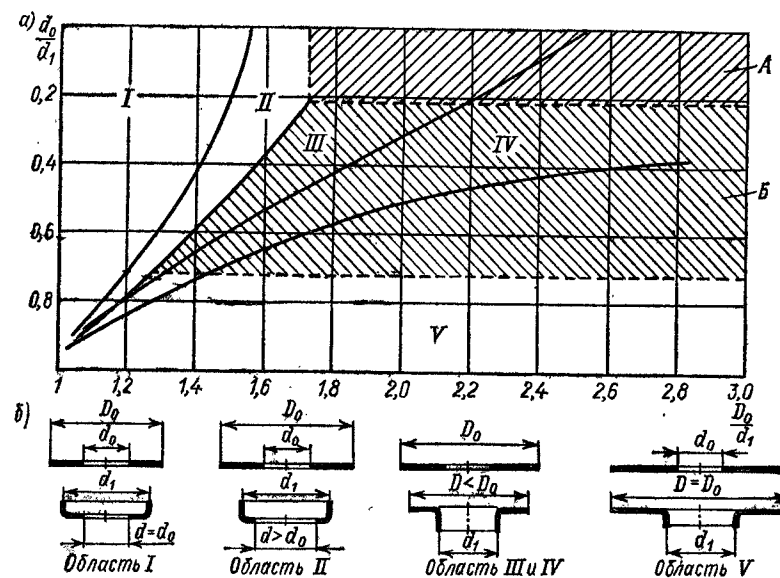


Рис. 182. Различные случаи отбортовки в зависимости от сочетания D_0/d_1 и d_0/d_1

Отбортовка наружного контура представляет собой образование невысоких бортов по наружному криволинейному краю заготовок, производимое за счет растяжения или сжатия материала.

Технологически различные случаи отбортовки могут быть разграничены сочетаниями относительных величин D_0/d_1 и d_0/d_1 , где D_0 — диаметр заготовки; d_1 — диаметр отбортовки; d_0 — диаметр отверстия.

На рис. 182, а приведен график взаимоположения технологически различных областей применения отбортовки от указанных выше относительных величин [202]. На схемах (рис. 182, б) показаны различные случаи наружной и внутренней отбортовки кольцевых заготовок (с отверстием), относящиеся к той или иной области графика.

Границы областей приведены для мягкой стали с коэффициентом нормальной анизотропии $R = 1$ при значении $d_1 = 100 S$, или $(S/d)100 = 1$, принимая радиусы закруглений $r_m = r_n = 5S$.

Область I охватывает способы отбортовки наружных кромок без деформации отверстия, вследствие того, что растяжение дна практически отсутствует. Область II относится к случаю наружной отбортовки с растяжением дна и увеличением размеров отверстия ($d > d_0$). Области III и IV охватывают процессы отбортовки отверстия, происходящие при деформации всей заготовки. В этом случае отбортовка отверстия сопровождается уменьшением диаметра фланца ($D < D_0$). Разница между областями III и IV заключается в различии силовых параметров процесса, а также в том, что в области III вначале происходит деформация фланца, а затем дна заготовки, а в области IV — наоборот. Кроме того, в области IV возможно зарождение трещин по краю отверстия. Область V является основной в процессах отбортовки отверстия и охватывает случаи отбортовки, при которых деформация наружного диаметра заготовки не происходит ($D = D_0$).

В верхней части графика приведена технологически недопустимая область, в которой образуются окружные трещины, сопровождаемые иногда отрывом дна,

Отбортовка отверстий

Отбортовка отверстий широко используется в штамповочном производстве, заменяя операции вытяжки, с последующей вырубкой дна. Особенно большую эффективность дает применение отбортовки отверстий при изготовлении деталей с большим фланцем, когда вытяжка затруднительна и требует нескольких переходов.

Деформация металла при отбортовке характеризуется изменением радиально-кольцевой сетки, нанесенной на заготовку (рис. 183). При отбортовке отверстий происходит удлинение в тангенциальном направлении и уменьшение толщины материала. Расстояния между концентричными окружностями остаются без значительных изменений.

Геометрические размеры при отбортовке определяют исходя из равенства объемов заготовки и детали. Обычно высота борта бывает задана чертежом детали. В этом случае диаметр отверстия под отбортовку приближенно подсчитывают, как для простой гибки. Это допустимо благодаря небольшой величине деформаций в радиальном направлении и наличию значительного утонения материала.

Диаметр отверстия определяют по формуле

$$d = D - 2(H - 0,43r - 0,72S).$$

Высота борта выражается зависимостью

$$H = (D - d)/2 + 0,43r + 0,72S,$$

где обозначения соответствуют рис. 183. Как видно из последней формулы, высота борта при прочих равных условиях зависит от радиуса закругления. При больших радиусах закругления высота борта значительно увеличивается.

Исследования Р. Вилкеа показали, что при повышении зазора между пуансоном и матрицей до $z = (8 \div 10) S$ происходит естественное увеличение высоты и радиуса закругления борта [219] (рис. 184).

Степень деформации кромки борта при этом не увеличивается, так как диаметр отбортовки не меняется. Но вследствие того, что в очаг деформации вовлекается боль-

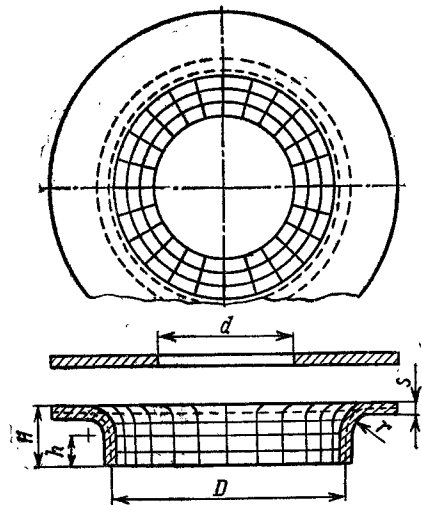


Рис. 183. Схема отбортовки

шее количество металла, деформация борта рассредотачивается, а утонение кромки несколько уменьшается. Установлено, что при увеличении зазора до $z = (8 \div 10) S$ усилие отбортовки уменьшается на 30—35%. Следовательно, соответственным образом снижаются и напряжения в отбортовываемых стенках, так как от их величины зависит сопротивление металла деформированию и усилие отбортовки.

Таким образом, отбортовку лучше производить при большой величине зазора между пуансоном и матрицей или при значительно увеличенном радиусе закругления матрицы. Такая отбортовка, характеризуемая большим радиусом закругления, но малой цилиндрической частью борта, вполне приемлема в тех случаях, когда она производится для увеличения жесткости конструкции при малой ее массе, как, например, при отбортовке крупных отверстий и окон в авиационных, транспортных, судостроительных конструкциях, а также при отбортовке люков, горловин, раструбов и т. п.

Отбортовка с малым радиусом закруглений и большой цилиндрической частью борта может применяться лишь при отбортовке небольших отверстий под резьбу или запрессовке осей или когда конструктивно необходимо иметь цилиндрические отбортованные стенки.

Большое влияние на процесс отбортовки и величину усилия оказывает форма пуансона.

На рис. 185 показаны рабочие диаметры и последовательность отбортовки при различной форме очертания рабочей части пуансона (криволинейная — трактриса, дуга окружности, цилиндр с большими закруглениями, цилиндр с малыми закруглениями.)

Усилие, необходимое для отбортовки цилиндрическим пуансоном, может быть определено по приближенной формуле

$$P = 1,1\pi S\sigma_T (D - d),$$

где D — диаметр отбортовки, мм; d — диаметр отверстия, мм.

Успешное выполнение отбортовки зависит от чистоты среза деформируемой кромки. При наличии заусенцев по краю отверстия неизбежно образование трещин и разрывов.

Степень деформации при отбортовке отверстий определяется соотношением между диаметром отверстия в заготовке и диаметром борта или так называемым коэффициентом отбортовки

$$K_0 = d/D = 1 - \psi,$$

где d — диаметр отверстия до отбортовки; D — диаметр отбортовки (по средней линии).

Допустимая величина поперечного сужения при отбортовке вследствие дефектов края отверстия (заусенцы, наклеп и т. п.) значительно ниже, чем при испытании на растяжение,

Наименьшая толщина у края борта составляет $S_1 = S\sqrt{K_0}$.

Величина коэффициента отбортовки зависит:

- 1) от характера обработки и состояния кромок отверстия (сверление или пробивка, наличие или отсутствие заусенцев);
- 2) относительной толщины заготовки, выражаемой отношением $(S/D)100\%$

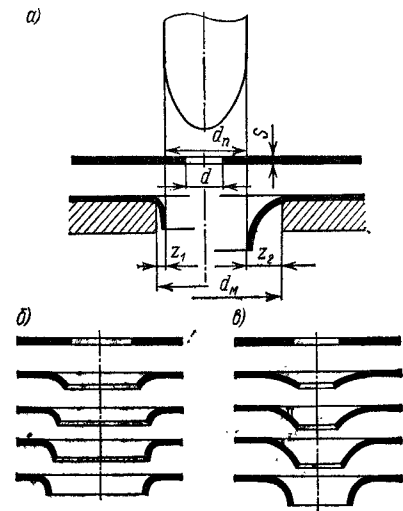


Рис. 184. Увеличение высоты борта при отбортовке с зазором: а — схема отбортовки; б — последовательность отбортовки с малым зазором; в — последовательность отбортовки с большим зазором

- 3) рода материала и его механических свойств;
 4) формы рабочей части пуансона.
 Экспериментально доказана обратная зависимость предельно допустимого коэффициента отбортовки от относительной толщины заготовки, т. е. чем больше относительная

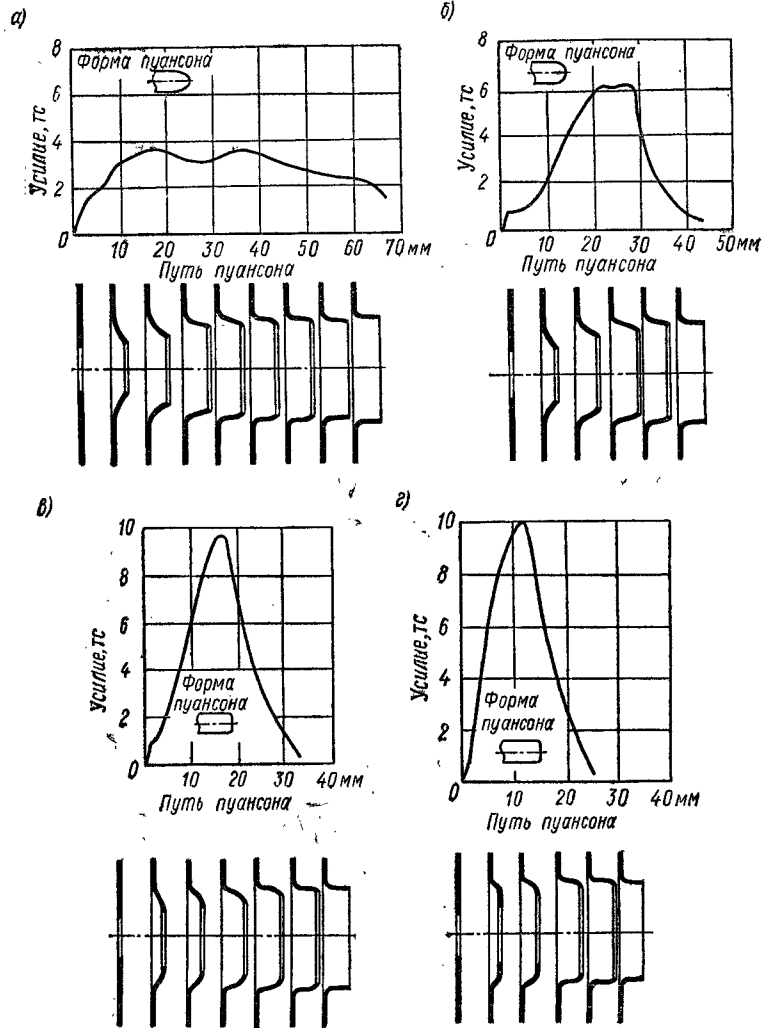


Рис. 185. Диаграммы усилия и последовательность отбортовки при различной форме пуансона: а — криволинейная; б — сферическая; в — цилиндр с большим закруглением; г — цилиндр с малым закруглением

толщина заготовки, тем меньше величина допустимого коэффициента отбортовки и тем больше возможная степень деформации. Кроме того, доказана зависимость предельных коэффициентов отбортовки от способа изготовления и состояния кромки отбортовываемого отверстия.

111. Расчетное значение коэффициентов отбортовки для малоуглеродистой стали

Способ отбортовки	Способ получения отверстия	Значение коэффициента в зависимости от отношения d/S										
		100	50	35	20	15	10	8	6,5	5	3	1
Сферическим пуансоном	Сверление с зачисткой заусенцев	0,70	0,60	0,52	0,45	0,40	0,36	0,33	0,31	0,30	0,25	0,20
	Пробивка в штампе	0,75	0,65	0,57	0,52	0,48	0,45	0,44	0,43	0,42	0,42	—
Цилиндрическим пуансоном	Сверление с зачисткой заусенцев	0,80	0,70	0,60	0,50	0,45	0,42	0,40	0,37	0,35	0,30	0,25
	Пробивка в штампе	0,85	0,75	0,65	0,60	0,55	0,52	0,50	0,50	0,48	0,47	—

Наименьшие коэффициенты получены при отбортовке рассверленных отверстий, наибольшие — при отбортовке пробитых. Коэффициент отбортовки рассверленных отверстий мало отличается от коэффициента отбортовки пробитой и отожженной заготовки, так как отжиг устраняет наклеп и повышает пластичность металла. Иногда для устранения наклепанного слоя зачищают отверстия на зачистных штампах.

В табл. 111 приведены расчетные значения коэффициентов отбортовки для малоуглеродистой стали в зависимости от условий отбортовки и отношения d/S [97].

Пробивку отверстий под отбортовку следует производить со стороны, противоположной направлению отбортовки, или укладывать заготовку заусенцами вверх, чтобы грань с заусенцами оказалась менее растянутой, чем закругленная грань.

Если требуется слишком большая высота борта, которая не может быть получена в одну операцию, то при отбортовке небольших отверстий в штучных заготовках следует применить отбортовку с утонением стенок (см. ниже), а в случае отбортовки крупных отверстий или при последовательной вытяжке в ленте — предварительную вытяжку, пробивку отверстия в дне и отбортовку (рис. 186).

Расчет размеров h и d производится по следующим формулам:

$$h = (D - d)/2 + 0,57r; \quad d = D + 1,14r - 2h.$$

Отбортовка отверстий широко применяется при последовательной штамповке в ленте.

На рис. 187 изображена широко распространенная отбортовка — зенковка углублений под головки винтов и отбортовка под резьбу без предварительной пробивки (рис. 187, б).

Аналогичный характер с операцией отбортовки отверстий, в особенности с отбортовкой края полых деталей, имеет операция закатки бортов полых деталей, производимая для увеличения жесткости борта и закругления кромки.

В различных конструкциях встречаются отверстия и вырезы некруглой (овальной или прямоугольной) формы с бортами по контуру. Чаще всего такие вырезы делают для облегчения массы (лонжероны и т. п.), а борта — для увеличения жесткости конструкции.

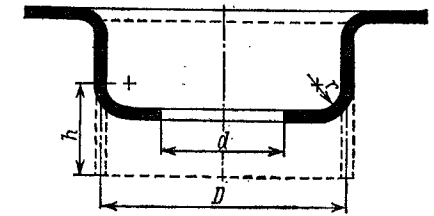


Рис. 186. Отбортовка с предварительной вытяжкой

В этом случае высота борта берется небольшой ($4 + 6$) S и высоких требований к его точности не предъявляется.

При построении развертки следует учитывать различный характер деформации по контуру: изгиб на прямолинейных участках и отбортовка с растяжением и небольшим уменьшением высоты в углах. Однако вследствие сплошности металла де-

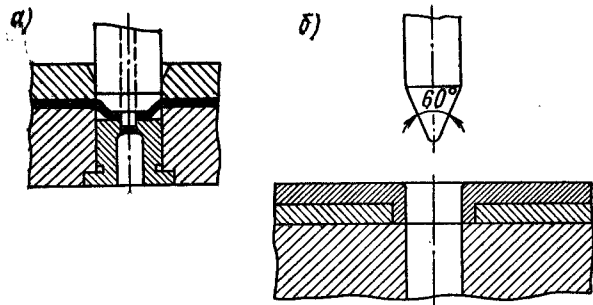


Рис. 187. Зенковка под головки винтов (а) и отбортовка под резьбу без предварительной пробки отверстия (б)

формация распространяется на прямолинейные участки борта, металл которых частично компенсирует деформацию угловых бортов. Поэтому большой разницы в высоте борта не получается.

Чтобы устранить возможные погрешности, ширину отбортовываемого поля на угловых закруглениях следует несколько увеличивать по сравнению с шириной поля на прямолинейных участках.

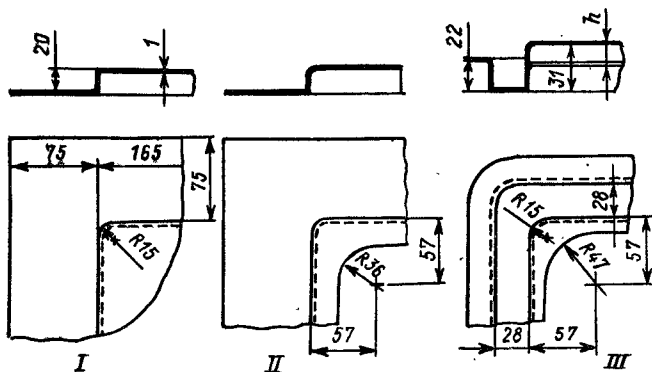


Рис. 188. Последовательность отбортовки прямоугольной детали за три операции

Приближенно

$$b_{кр} = (1,05 + 1,1) b_{пр}$$

где $b_{кр}$ и $b_{пр}$ — ширина поля на закруглении и на прямолинейных участках.

При отбортовке некруглых отверстий расчет допустимой деформации производится для участков с наименьшим радиусом закругления.

Экспериментально установлено, что при отбортовке некруглых отверстий предельные коэффициенты отбортовки несколько меньше, чем при отбортовке круглых отверстий (благодаря разгружающему влиянию соседних участков), но величина

этого уменьшения практически незначительна. Поэтому в данном случае можно пользоваться коэффициентами отбортовки, установленными для круглых отверстий.

Большое влияние на величину коэффициента отбортовки оказывает относительная толщина материала S/r или S/d и еще большее влияние — состояние и характер кромки отверстия.

Предельный коэффициент отбортовки отверстий, полученных пробивкой, вследствие наклепа кромки в 1,5—1,7 раза больше чем фрезерованных. Однако фрезерование является непроизводительным и нецелесообразным процессом. Поэтому вместо фрезерования в необходимых случаях рекомендуется применять местный рекристаллизационный отжиг после пробивки.

На рис. 188 приведена последовательность изготовления детали путем вытяжки с отбортовкой прямоугольной формы. За первую операцию (I) производится прямоугольная вытяжка внутренней полости, за вторую операцию (II) — вырезка технологического отверстия, за третью (III) — вытяжка наружного контура и отбортовка внутреннего контура.

Вырезка технологических отверстий или применение разгружающих надрезов часто применяются при вытяжке деталей сложной формы. Они позволяют значительно уменьшить перемещение наружного фланца и использовать деформацию донной части заготовки.

Отбортовка с утонением стенок

В различных отраслях промышленности (электротехника, радиотехника, приборостроение) применяется штамповка деталей, имеющих отверстия с высокими цилиндрическими стенками. В данном случае применяются операции отбортовки с утонением стенок, так как при простой отбортовке для образования высокого цилиндрического борта не хватило бы площади заготовки. При этом обычно достигается значительная экономия металла.

При отбортовке с утонением степень деформации определяется не только коэффициентом отбортовки, но и коэффициентом утонения стенок борта, так как коэффициент отбортовки характеризует степень деформации лишь при отбортовке без заданного утонения. В этом случае достижима более высокая степень деформации. Иначе говоря, при одном и том же предельно допустимом коэффициенте отбортовки в случае отбортовки с утонением материала можно получить значительно большую высоту борта.

Высота борта при отбортовке с утонением может быть определена по формуле [107]

$$H_y = H + 0,5 (S/z - 1) (H - h_x),$$

где H — высота борта без утонения, мм; z — зазор между цилиндрической частью пуансона и матрицы, мм; $h_x = \frac{z - S_1}{S - S_1} H$ — часть высоты борта, не подвергаемая утонению, мм.

Отбортовка с заданным утонением материала является более целесообразной вследствие большей устойчивости пластической деформации металла и отсутствия разрыва и трещин, так как в процессе утонения возникает более благоприятное напряженное состояние с появлением значительных сжимающих напряжений. Это позволяет вести отбортовку при смягченных „неопасных“ коэффициентах отбортовки, а высоту борта получить за счет максимально допустимого утонения материала.

Зависимость предельного утонения от принятого коэффициента отбортовки пока не установлена, но произведенные опыты показывают возможность утонения за одну операцию до $S = (2 + 2,5) S_1$.

Теми же опытами установлено, что усилие, необходимое для отбортовки с утонением, значительно выше, чем при отбортовке без утонения (при том же коэффициенте отбортовки), причем усилие возрастает пропорционально увеличению утонения. Так как при этом в матрице возникает боковое давление большой величины, то для увеличения прочности матрицы рекомендуется запрессовка их в наружную обойму.

На практике применяются следующие способы отбортовки с утонением материала:

1) отбортовка мелких отверстий пуансоном с заостренной или сферической формой конца;

2) отбортовка средних отверстий ступенчатым пуансоном с кольцевыми выступами постепенно увеличивающегося диаметра, причем первая ступень производит только отбортовку допустимой величины, а последующие кольцевые выступы производят постепенное утонение и увеличение высоты борта;

3) отбортовка более крупных отверстий за две операции — отбортовку и протяжку (если недостаточна величина хода пресса).

На рис. 189 показана широко распространенная в массовом производстве отбортовка мелких отверстий под резьбу, применяемая для увеличения высоты тонкого материала и резьбовой части.

В данном случае обычно производят сравнительно небольшое утонение стенок

$$(d_3 - d_1)/2 = 0,65S; \quad S = 1,54S.$$

Диаметр отверстия в заготовке:

$$d_0 = 0,45d_1; \quad K_0 = d_0/d_1 = 0,45.$$

Внутренний диаметр отбортовки определяется внутренним диаметром резьбы. Последний обычно принимают $d_2 \leq (d_1 + d_3)/2$.

Отбортовка под резьбу возможна лишь для мелких резьб (практически до М5).

Наружный диаметр отбортовки составляет $d_3 = d_1 + 1,3S$.

Высота отбортовки определяется объемом отбортовываемого металла и обычно составляет $h = (2 \div 2,5)S$.

Отбортовка под резьбу в тонких материалах (до 2 мм) иногда производится без предварительной пробивки отверстия, получаемого одновременно с отбортовкой.

В некоторых неотчетливых случаях допускается изготовление рваного борта путем проколки материала гвоздеобразным пуансоном. Этот же способ отбортовки применяется для соединения деталей из тонкого материала (до 0,6 мм) взамен соединения заклепками, а также для получения отверстий с загнутыми кромками.

Отбортовка ступенчатым пуансоном применяется при штамповке небольших деталей, имеющих сравнительно высокие цилиндрические борты. На рис. 190 показан пример отбортовки ступенчатым пуансоном деталей из латуни или алюминия с размерами, приведенными в табл. 112. В первом случае $K_0 = 45$, во втором случае $K_0 = 0,29$. Степень утонения стенок составляет в первом случае $S/S_1 = 2,5$, во втором случае $S/S_1 = 4,9$. Следовательно, в первом случае толщина материала уменьшена в 2,5 раза, а во втором — почти в пять раз. В обоих случаях наружные размеры заготовки остаются без изменения.

Диаметр предварительно пробиваемого отверстия определяют исходя из требуемой высоты детали и толщины стенки. По высоте отбортовки данные примеры не являются пределом и ограничены требуемой высотой детали.

Отбортовка с утонением ступенчатым пуансоном производится на прессах двойного действия с сильным прижимом заготовки и при обильной густой смазке.

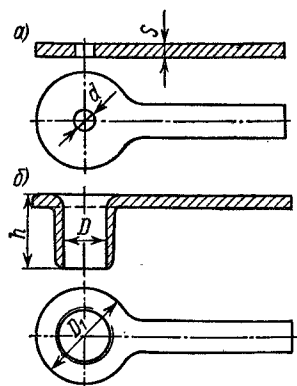


Рис. 190. Отбортовка с утонением: а — заготовка; б — деталь

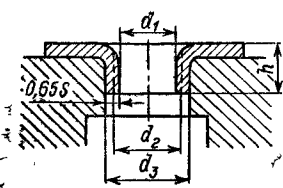
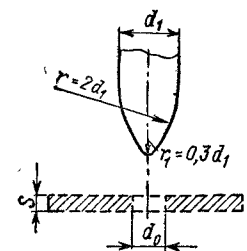


Рис. 189. Отбортовка мелких отверстий под резьбу

112. Размеры отбортовки с утонением ступенчатым пуансоном

Деталь предохранителя	Материал	S	S ₁	d	D	D ₁	h
E-27	Латунь	2	0,8	12	26,5	33	15
E-14	Алюминий	1,7	0,35	4	13,7	21	15

Большое утонение стенок возможно лишь при постепенном уменьшении их толщины за один ход пресса, что достигается применением пуансона с кольцеобразными выступами постепенно увеличивающегося диаметра,

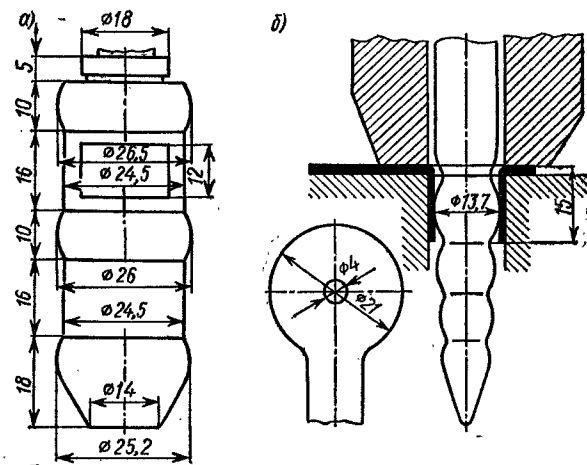


Рис. 191. Пуансоны для отбортовки с утонением: а — для $D = 26,5$ мм; б — для $D = 13,7$ мм и $d = 4$ мм

На рис. 191, а и б изображены пуансоны для отбортовки с утонением. Отбортовка с двойной протяжкой производится пуансоном и матрицей. Сильный прижим заготовки осуществляется прижимным кольцом, действующим от наружного ползуна, а выталкивание отбортованной детали производится стержнем, работающим от резинового буфера.

Отбортовка наружного контура

Отбортовка наружного контура криволинейных очертаний является распространенной операцией в автомобильной и авиационной промышленности.

Отбортовка наружного контура выполняется штамповкой на кривошипных прессах, на гидравлических или фрикционных прессах резиной, на падающих молотах в литых штампах, иногда с применением резины или гибкой на специальных кромкогибочных и отбортовочных станках.

Штамповка резиной на гидравлических прессах и штамповка на падающих молотах происходит без зажима отбортовываемого края, вследствие чего происходит не вытяжка, а отгибка кромок с образованием гофра. Удаление гофров требует применения специальных операций „посадки“, производимых или ручной доводкой, или посадкой на специальных посадочных станках и штампах.

Наружная отбортовка разделяется на отбортовку выпуклого контура и отбортовку вогнутого контура (рис. 192).

Отбортовка выпуклого контура по характеру деформаций и по виду напряженного состояния аналогична неглубокой вытяжке без прижима. Отбортовка вогнутого контура аналогична отбортовке отверстий. В первом случае в отбортовываемом фланце возникают сжимающие тангенциальные напряжения, а во втором — растягивающие.

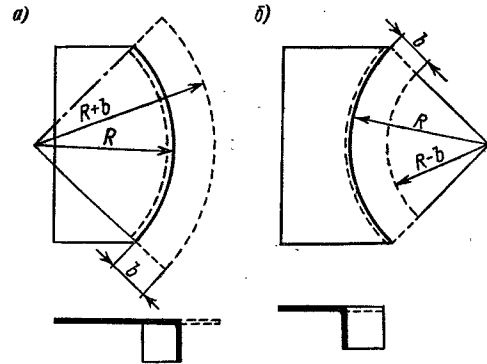


Рис. 192. Два вида наружной отбортовки: а — выпуклая; б — вогнутая

Величина деформации характеризуется следующими отношениями (рис. 192): при отбортовке выпуклого контура $E_{сж} = b/(R + b)$, при отбортовке вогнутого контура $E_{удл} = b/(R - b)$. Теоретические основы отбортовки наружного контура приведены в работе [50].

Часто приходится встречаться с обоими видами отбортовки в одной детали, а также с отбортовкой по контуру двойкой (выпукло-вогнутой) кривизны.

Рассматривая отбортовку незамкнутого наружного контура как

одностороннюю криволинейную гибку с прижимом, усилие отбортовки можем найти по формуле

$$P = LS\sigma_b k + P_{пр} \approx 1,25LS\sigma_b k,$$

где k — коэффициент, приближенно равный 0,2—0,3.

Для получения точных отбортовываемых деталей, не требующих последующей ручной доводки, необходимо учесть величину пружинения материала и поднатурить формблочки на угол пружинения.

31. РАСТЯЖКА (РАЗДАЧА)

Операция растяжки (раздачи) представляет собой расширение пустотелых деталей или трубчатых заготовок, производимое за счет растяжения материалов изнутри в радиальном направлении.

Растяжка, как правило, требует применения штампов с разъемной матрицей. Для растяжки применяют следующие типы штампов: 1) с резиновым пуансоном (рис. 193); 2) с жидкостью вместо пуансона (гидравлическая штамповка); 3) с разжимными секциями, раздвигаемыми клиновой вставкой.

В гидравлическом штампе (рис. 193, б) рабочая полость имеет горизонтальный разъем, осуществляемый прижимом, действующим от наружного ползуна. Уплотнение производится специальной манжетой. Пуансон работает как плунжер, производя давление на налитую в заготовку жидкость (масло, вода). Для впуска и выпуска воздуха снабжен воздушным каналом с шаровым клапаном.

Штамповка с сыпучими наполнителями (дробь, песок) распространения не получила. Иногда применяют гидравлическую штамповку-растяжку в штампах с вертикальным разъемом матриц на прессах двойного действия, в этом случае пуансон снабжен резиновым мешком с налитым в него глицерином.

Общим недостатком описанных штампов является неудобство и сложность ручного разбега матрицы и вынимания готовой детали.

Более просты и производительны штампы аналогичного назначения с резиновым или полиуретановым пуансоном, прикрепленным к внутреннему ползуну пресса. Такие штампы применяются для штамповки бидонов, кофейников и других подобных изделий. Так как заготовки для растяжки обычно получены за две-четыре операции вытяжки, сопровождаемые наклепом металла, то перед растяжкой их следует отжигать

для восстановления пластичности металла. Риски и задиры на поверхности заготовки, не говоря уже о задавленных складках, неизбежно ведут к разрыву. Степень деформации при растяжке может быть выражена коэффициентом растяжки

$$K_p = d_p/d_0,$$

где d_p — наибольший диаметр после растяжки; d_0 — исходный диаметр цилиндрической заготовки.

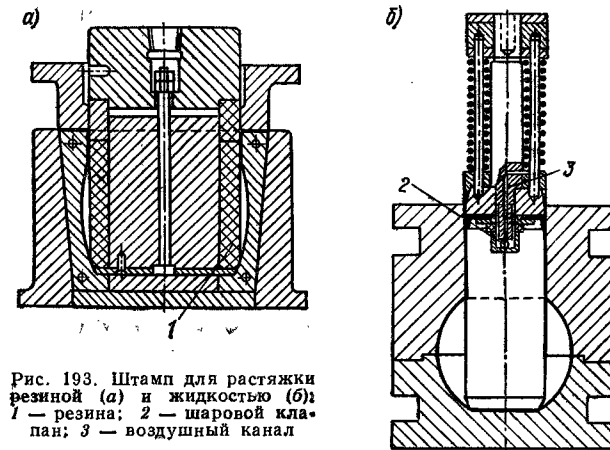


Рис. 193. Штамп для растяжки резиной (а) и жидкостью (б): 1 — резина; 2 — шаровой клапан; 3 — воздушный канал

В качестве предварительных данных могут быть рекомендованы коэффициенты растяжки, приведенные в табл. 113.

113. Приближенные коэффициенты растяжки (раздачи)

Материал	Коэффициенты растяжки при относительной толщине заготовки (S/D) 100			
	0,45—0,35		0,32—0,28	
	Без отжига	С отжигом	Без отжига	С отжигом
Сталь 10	1,10	1,20	1,05	1,15
Алюминий	1,20	1,25	1,15	1,20

Степень деформации при растяжке (раздаче) может быть увеличена, если одновременно с внутренним радиальным давлением производить осевое сжатие заготовки. Местный нагрев заготовки (очага деформации) значительно увеличивает возможную степень деформации.

Для различных видов растяжки алюминиевых трубчатых заготовок экспериментально установлены следующие предельные коэффициенты растяжки:

Простая растяжка резиной	1,2—1,25
Растяжка резиной с осевым сжатием заготовки	1,6—1,7
» с местным нагревом до 200—250 °С	2,0—2,1
» края коническим пуансоном с нагревом до 380 °С	3,0

Разновидностью растяжки является широко распространенная операция высадки буртиков в полах или трубчатых заготовках. Высадка буртиков обычно производится механическим давлением на торец заготовки.

Операция растяжки применяется также для изготовления крупногабаритных деталей, имеющих криволинейное очертание, для чего в Польше применяется способ гидравлической штамповки при помощи специальной гидравлической установки [220] (рис. 194).

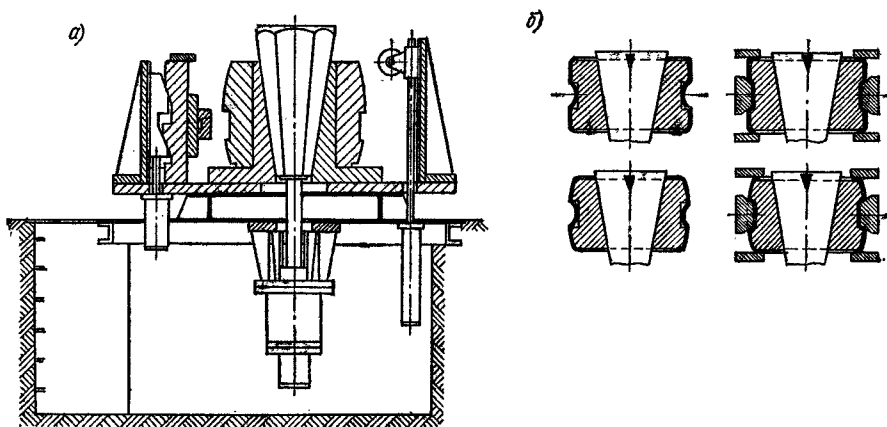


Рис. 194. Гидравлическая установка для растяжки крупных деталей: а — схема установки; б — схемы рабочих инструментов

Аналогичными способами изготавливаются радиально-гофрированные трубы типа силфонов.

32. ОБЖИМКА

Обжимка представляет операцию, при которой происходит сужение поперечного сечения прутков и труб, а также концевой части полых или объемных изделий путем обжатия материала снаружи и уменьшения диаметра.

В обработке листовых металлов давлением применяются два вида обжимки: 1) обжимка трубчатых сечений, производимая на ротационно-обжимной машине (редуцирование); 2) обжимка полых деталей, производимая вертикальным давлением на механических прессах.

Ротационно-обжимная машина работает посредством давления обжимных бойков со скоростью более 6000 ударов в минуту для заготовок диаметром от 7 до 17 мм и свыше 11 000 ударов в минуту для заготовок диаметром до 7 мм.

Обжимка полых деталей применяется для изготовления горловин и деталей типа патронных гильз. Методы расчета последних приведены в специальной литературе.

Обжимка применяется при изготовлении толстостенных конических ступенчатых деталей из отрезков труб. Обжимка осуществляется путем давления на торец

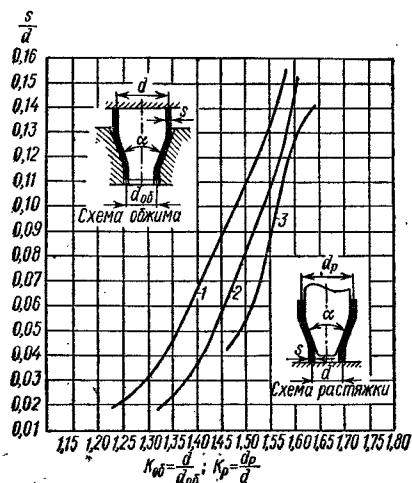


Рис. 195. Предельные значения коэффициентов обжима и растяжки: 1 — обжим при $\alpha = 40^\circ$; 2 — обжим при $\alpha = 20^\circ$; 3 — растяжка при $\alpha = 40^\circ$

заготовки и заталкивания ее в коническое отверстие матрицы. Предельная деформация при обжимке труб ограничивается потерей устойчивости заготовки, что имеет место при $S/d \leq 0,025$, где d — средний диаметр трубы; S — толщина стенки.

На рис. 195 приведена диаграмма предельных значений коэффициентов обжима $K_{об} = d/d_{об}$ и коэффициентов растяжки $K_p = d_p/d$ в зависимости от относительной толщины S/d и угла обжима α (для стали 15).

Значительный перепад диаметров можно получить, применяя совмещенный в одной операции процесс растяжки и обжима.

Необходимо указать на оригинальный способ обжимки, высадки, утолщения и отбортовки дуралюминовых труб в штампах с электроподогревом (рис. 196), созданный М. Н. Горбуновым [31]. В этом случае нагревается до $300-350^\circ\text{C}$ и приобретает повышенную пластичность лишь очаг деформации, что позволяет осуществить без потери устойчивости заготовки, охлаждаемой холодильником с циркулирующей холодной водой. Для повышения устойчивости дуралюминовые заготовки предварительно подвергались операциям закалки и старения.

На рис. 197 приведены схемы штампов для утолщения (а), обжимки (б и в), отбортовки (г), выворачивания внутрь (д), выворачивания наружу (е).

Штамповка производится на обычном гидравлическом прессе со скоростью перемещения траверсы 5—8 см/мин.

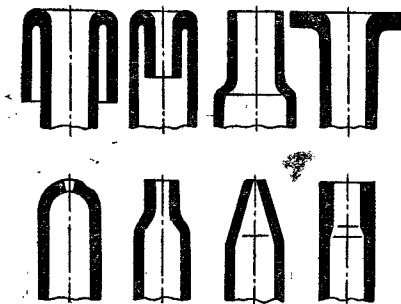


Рис. 196. Обжимка, высадка, утолщение, отбортовка и выворачивание дуралюминовых труб

33. ПРАВКА И ЧЕКАНКА

Процессы правки в холодной штамповке имеют двойное применение: 1) для выпрямления неровной поверхности или кривизны заготовок и деталей; 2) для придания правильной формы и более точных размеров предварительно согнутым или вытянутым деталям. Выпрямление кривизны применяется для плоских и профильных заготовок, а также для прутков, труб и проволоки.

Правка листовых заготовок, а также прутков, труб и проволоки, производимая на специальных правильных машинах и станках, здесь не рассматривается. Для правки штучных заготовок применяются способы, приведенные в табл. 114.

Чаще применяется правка вафельными, реже — точечными штампами. Вершины зубцов слегка притуплены. Зубцы вафельного штампа более притуплены и имеют широкую площадку (до $0,5S$).

Зубцы точечного штампа имеют в плане квадратную форму, а зубцы вафельного штампа — квадратную или ромбовидную.

Высота зубцов точечного штампа составляет от одной до двух толщин материала, а вафельного — около одной толщины материала. Шаг зубцов берется примерно равным толщине материала.

Усилие при правке штампами определяется по формуле

$$P = pF,$$

где F — поверхность детали, мм^2 ; p — давление, кгс/мм^2 , по табл. 114.

Правка пространственных форм применяется главным образом для уменьшения радиусов закругления и выпрямления дна и боковых сторон деталей, полученных вытяжкой, отбортовкой или гибкой.

На рис. 198 изображен способ правки изогнутых деталей с калибровкой углов и получением более точных размеров полок (до $0,3-0,5$ мм),

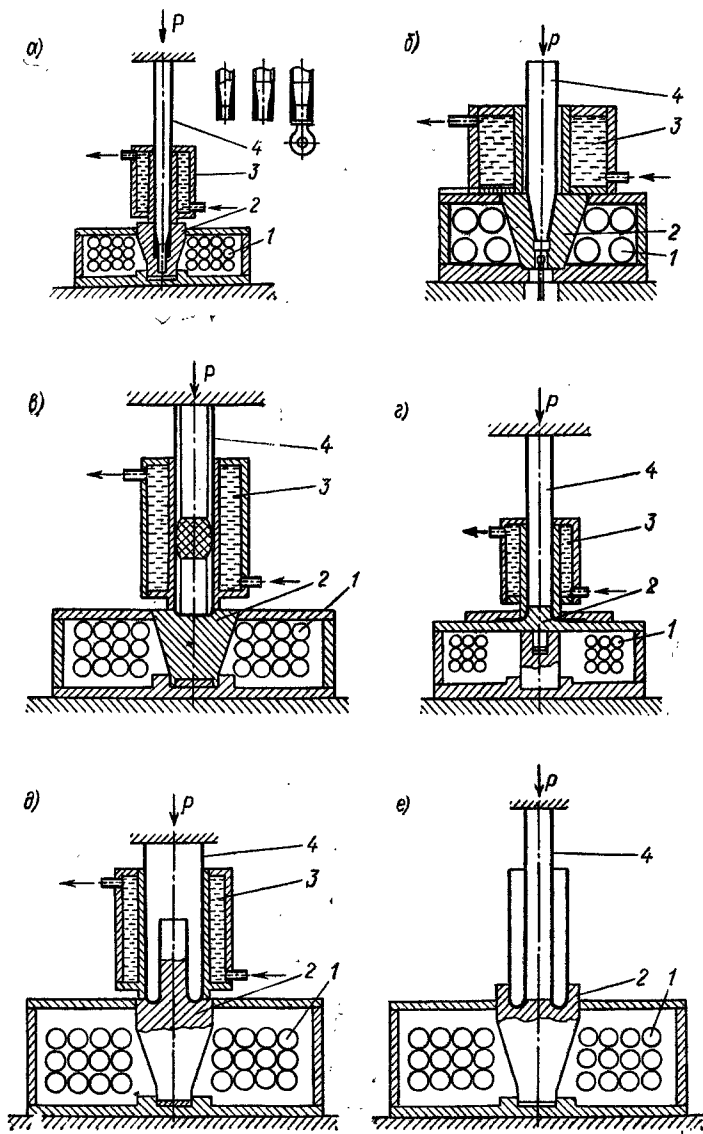


Рис. 197. Схемы штампов для обжима, утолщения и т. п. труб с местным электроподогревом и охлаждением; 1 — нагревательные элементы; 2 — матрица; 3 — холодильник; 4 — заготовка

114. Основные способы правки штучных заготовок

Способ правки	Схема штампа	Применение	Давление, кгс/мм ²
Плоская правка	Гладкими штампами	Для деталей из тонких материалов	8—10
	Точечными штампами	Для деталей из более толстых материалов, допускающих отпечатки на поверхности	8—12
	Вафельными штампами	Для деталей из более толстых материалов, не допускающих глубоких отпечатков	8—10
Профильная правка		Для открытых профилей из тонких материалов	5—10
Пространственная правка		Для уменьшения радиусов и для правки формы полых деталей	15—20

В серийном производстве правка толстолистовых деталей производится пачками на гидравлических прессах с длительной выдержкой под давлением пресса, которое не зависит от числа деталей в пачке. В массовом производстве применяется правка небольших плоских деталей между двумя вращающимися валками. Правка осуществляется с автоматической подачей заготовок и автоматическим штапелированием выправленных деталей.

В некоторых случаях, например при изготовлении трансформаторных пластин, правка между валками применяется с целью обжатия заусениц по контуру детали.

На заводах массового производства созданы специальные автоматы для правки плоских деталей (шайб). Рабочими частями автомата являются вращающийся диск и подпружиненные рихтовочные ролики, кинематически связанные зубчатой

и ременной передачами. Усилие нажима пружин регулируется и позволяет править шайбы толщиной до 2 мм. Автомат снабжен вибрационным бункером для подачи шайб на вращающийся диск.

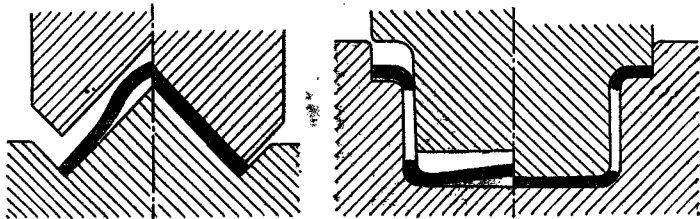


Рис. 198. Правка изогнутых деталей с калибровкой полок

Наряду с требованием примизны плоских деталей стоит требование отсутствия заусенцев. Иногда это частично достигается при плоской правке деталей между валами. Но в этом случае заусенцы не удаляются, а лишь обжимаются по высоте. При более строгих требованиях в отношении недопустимости заусенцев применяют специальные шлифовальные станки для снятия заусенцев. Один из них показан на рис. 199.

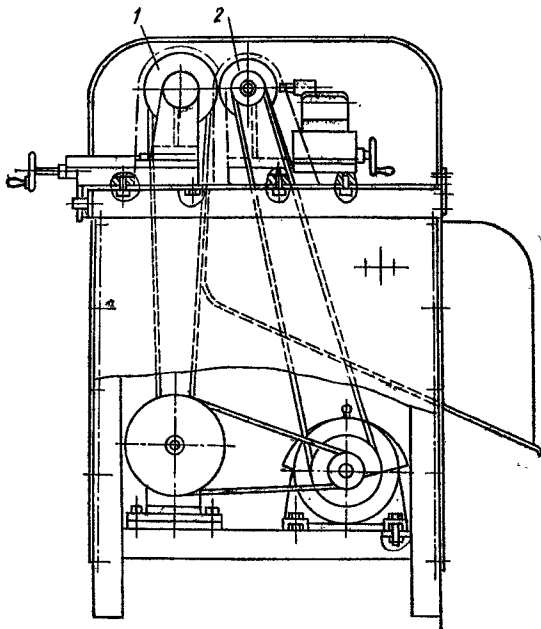


Рис. 199. Шлифовальный станок для снятия заусенцев с плоских деталей

Крупные листы статора и ротора электрических машин зачищают на специальных градозачистных шлифовальных станках. Однако зачистка заусенцев оставляет острые грани по контуру деталей и сдирает изоляционный слой.

В ряде случаев технические требования к чистоте контура деталей значительно возросли и не допускают не только заусенцев, но и острых граней. По контуру таких деталей требуется округление кромок по заданному радиусу.

Но в этом случае заусенцы не удаляются, а лишь обжимаются по высоте. При более строгих требованиях в отношении недопустимости заусенцев применяют специальные шлифовальные станки для снятия заусенцев. Один из них показан на рис. 199.

В верхней части станка установлены два вала с насаженными на них резиновым кругом 1 и абразивным кругом 2. Круги вращаются с различной окружной скоростью: резиновый с частотой вращения 150—200 об/мин, а шлифовальный — с 5000 об/мин. Резиновый круг производит поджим зачищаемой детали к абразивному кругу и служит тормозом при перемещении детали вниз. Зазор между кругами регулируется вращением маховиков поперечных салазок.

У абразивного круга помещено устройство для его правки. Зачищенные детали проваливаются вниз и по желобу падают в тару.

Для достижения указанного требования создан метод вибрационной обработки в абразивной среде, взамен галтовки во вращающихся барабанах. Сущность этого метода заключается в том, что обрабатываемые детали и абразивная среда помещаются в контейнер, которому сообщается колебательное движение в результате вращения неуравновешенной массы M (рис. 200). Колебательное (вибрационное) движение контейнера передается находящимся в нем деталям и наполнителю, которые получают разное ускорение, а следовательно, — относительное перемещение с абразивной обработкой кромок и поверхности.

В установках для виброобработки осуществляется плоская или объемная вибрация, наиболее пригодная для обработки тонколистовых плоских деталей, требующих турбулизации потока.

В результате промышленного применения данного способа установлен оптимальный диапазон амплитуд вибрационного смещения $A = 1-3$ мм при диапазоне частот от 2200 до 3000 кол/мин.

Существует два способа виброобработки:

- 1) с сухим абразивом (ВУ-25 до ВУ-500);
- 2) с влажным абразивом (ПР377, ПР376А, ПР355А и др.).

Последние не требуют вентиляции и более предпочтительны. Они получили применение в часовой промышленности.

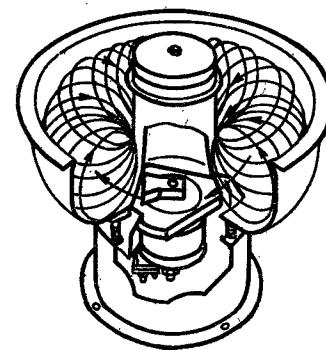


Рис. 201. Схема установки для вибрационной очистки во влажном абразиве

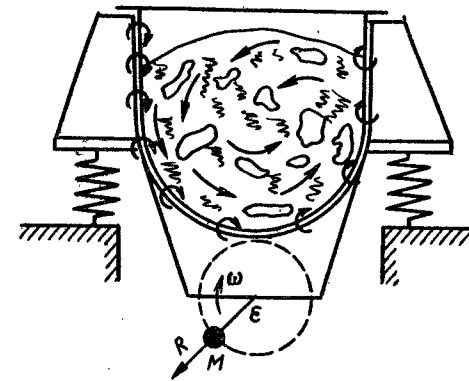


Рис. 200. Схема действия вибрационной чаши

В качестве абразивной среды применяется электрокорунд или бой шлифовальных кругов.

На рис. 201 изображена схема американской вибрационной установки. Детали вместе с абразивной массой и водой загружают в кольцеобразную чашу. Вибрации создаются при вращении центральной стойки чаши благодаря двум эксцентрично установленным грузам. Один из них создает горизонтальные вибрации и вызывает перемещение массы по окружности, а второй, нижний груз, создает вертикальные колебания с частотой от 20 до 40 Гц. В результате возникает спиралеобразное пространственное перемещение абразивной массы и деталей, причем с деталей удаляются заусенцы и слегка закругляются грани без повреждения плоских или фигурных поверхностей, которые приобретают полированный вид.

В качестве абразива применяют мелкие зерна окиси алюминия, иногда с некоторыми добавками. Поверхность вибрационной чаши защищена от износа слоем полиуретана. Вместимость ее от 0,1 до 2,0 м³.

Наряду с указанной машиной существуют более сложные агрегаты, в которые входят устройства для отсеивания и промывки деталей, очистки абразива от металлических частиц, насос для кругооборота абразивной массы и др. Указанные агрегаты предназначены для вибрационной обработки любых, а не только штампованных деталей.

Фирма „Бощ“ (ФРГ) изготавливает установки для удаления заусенцев у небольших деталей посредством детонации газовой смеси и сгорания тонких заусенцев. В камеру,

куда помещаются детали с заусенцами, впрыскивается кислородно-ацетиленовая смесь и воспламеняется. Кратковременная температура вспышки достигает 2000° С; в пламени которой тонкие заусенцы сгорают и оплавляются.

Преимущественное применение этого способа — удаление заусенцев после механической обработки деталей на металлорежущих станках.

Чеканка представляет операцию, при которой происходит образование выпукловатого рельефа на поверхности изделий за счет местного изменения толщины материала и заполнения им рельефной полости штампа.

Наиболее распространенным и типовым примером является чеканка монет, значков, медалей, а также художественная чеканка, применяемая в часовом производстве, ювелирной промышленности и т. п. Заготовками для них является листовой металл. В большинстве случаев чеканка производится в закрытых штампах без вытеснения металла из рабочей полости штампа.

Для художественной чеканки сравнительно крупных изделий (столовые приборы и т. п.) применяется открытая поверхностная чеканка.

Процесс чеканки хотя и сопровождается небольшим перемещением металла, но для получения четкого рельефа требует большого давления. Усилие, необходимое для чеканки, может быть определено по формуле

$$P = qF,$$

где F — площадь проекции детали, мм²; q — давление, кгс/мм².

Опытные величины давления при чеканке (в кгс/мм²) следующие:

Чеканка золотых монет	120—150
» серебряных монет	150—180
» никелевых монет	160—180
» тонких латуинных циферблатов	200—250
» столовых приборов из нержавеющей стали	250—300

Давление чеканочного пресса обычно берется больше расчетного во избежание перегрузки при работе в упор.

Операции клеймения аналогичны операциям чеканки, но имеют более поверхностный характер и требуют несколько меньшего давления. Зачастую клеймение листовых деталей производится на одной из позиций последовательного штампа.

В массовом производстве для клеймения деталей применяют специальные маркировочные станки ротационного или рычажного типа.

34. ХОЛОДНОЕ ВЫДАВЛИВАНИЕ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА ¹

В листовой штамповке холодное выдавливание является операцией по изготовлению полых тонкостенных деталей преимущественно из листовой заготовки в результате пластического истечения металла в зазор между пуансоном и матрицей.

Процесс холодного выдавливания заключается в следующем: заготовка, имеющая объем, равный объему детали с припуском на обрезку, помещается в гнездо матрицы; давлением пуансона металл приводится в весьма пластичное состояние и выдавливается в кольцевой зазор между пуансоном и матрицей. Применение холодного выдавливания в массовом производстве дает снижение трудоемкости в пять—десять раз и уменьшение стоимости инструмента в три раза.

В настоящее время холодным выдавливанием изготавливают детали из алюминия, меди, тонпака, латуни и цинка (последний с нагревом до 200° С), а также из малоуглеродистой стали (меньшей высоты и большей толщины).

Существуют три способа холодного выдавливания (рис. 202):

1) прямой способ (рис. 202, а), когда течение металла направлено в сторону рабочего движения пуансона;

2) обратный способ (рис. 202, б), когда течение металла идет в направлении, обратном рабочему ходу пуансона;

¹ Операции холодной объемной штамповки в настоящем издании справочника не включены. Все сведения и рекомендации по холодной объемной штамповке, содержащиеся в предыдущем издании справочника, остаются в силе.

3) комбинированный способ (рис. 202, в), представляющий сочетание прямого и обратного способов.

Прямым способом обычно изготавливают гильзы и трубки небольшого диаметра. Для изготовления гильз с доньшком прямым способом заготовка должна быть в виде диска или лучше в виде толстостенного колпачка. Оставшийся фланец обрезается в том же штампе под другим обрезным пуансоном, для чего применяют поворотные или передвижные пуансоны.

Прямой способ холодного выдавливания требует меньшего усилия пресса, так как обычно осуществляется при меньшей степени деформации, что позволяет работать с большим числом ходов пресса (до 90—120 ход/мин).

Отношение толщины стенок готовой детали к толщине заготовки составляет от 1 : 4 до 1 : 25, что дает степень деформации от 75 до 96%.

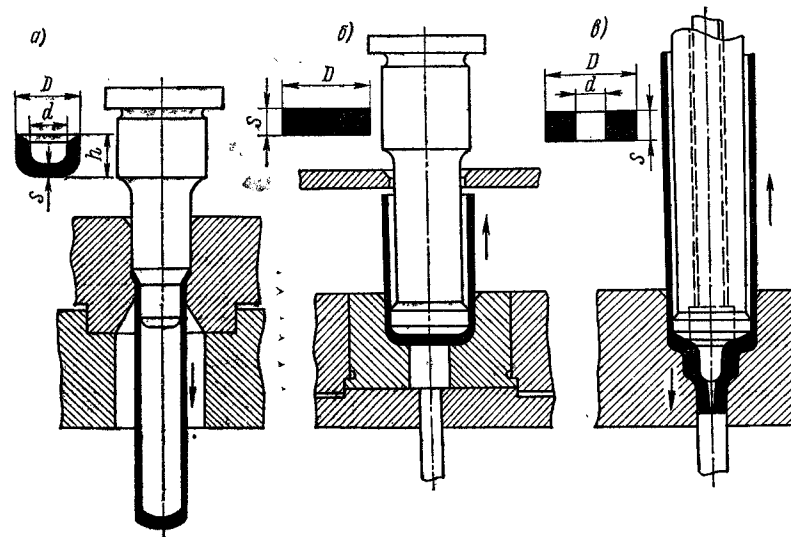


Рис. 202. Способы холодного выдавливания

В табл. 115 приведены размеры и точность деталей, изготавливаемых прямым способом холодного выдавливания.

Обратный способ холодного выдавливания применяется для изготовления цилиндрических и призматических полых изделий диаметром до 120 мм, с толщиной стенок от 1,5 до 0,08 мм и высотой до 300 мм при отношении высоты к диаметру 8 : 1.

В табл. 116 даны размеры и точность деталей, изготавливаемых обратным способом холодного выдавливания.

Комбинированный способ холодного выдавливания применяется для изготовления деталей более сложной формы, с фигурным диом, имеющих отростки, выступы и шипы, а также с дном, расположенным внутри гильзы.

На рис. 203 изображен штамп для холодного выдавливания обратным методом. Штамп имеет следующие особенности: пуансон (быстросменный) закрепляется при помощи цапгового зажима; матрица сделана составной, с горизонтальной плоскостью разъема; съемник сделан подвижным пружинным для удобства съема высоких деталей (без увеличения длины пуансона). Составная матрица более стойка, ее более просто изготовить и термически обработать.

На рис. 204 приведен штамп, осуществляющий новый способ ¹ холодного выдавливания полых тонкостенных деталей с эффективными силами трения путем

¹ Авторы Ю. П. Можейко и Н. К. Ровенталь.

115. Размеры деталей, изготовляемых прямым способом холодного выдавливания

Наименование	Размеры в зависимости от материала детали, мм		Точность изготовления, мм (±)
	Свинец, олово, цинк, алюминий	Дуралюмин, медь, латунь	
Диаметр (цилиндрические детали)	От 3 до 100	От 5 до 100	От 0,03 до 0,05
Сечение (прямоугольные детали)	От 2 × 4 до 100 × 80	От 3 × 5 до 70 × 80	От 0,03 до 0,05
Толщина стенок	От 0,05 до 0,1 и больше	От 0,3 до 1,0 (медь) От 0,5 и больше (латунь)	От 0,03 до 0,075
Отношение длины детали к диаметру	От 5 <i>d</i> до 60 <i>d</i>	От 3 <i>d</i> до 40 <i>d</i>	От 1 до 5
Толщина фланца	От 0,2—0,3 до 0,5 и больше	Равна толщине стенки и больше	От 0,1 до 1,0 мм

116. Размеры деталей, изготовляемых обратным способом холодного выдавливания

Наименование	Размеры в зависимости от материала детали, мм		Точность изготовления, мм (±)
	Свинец, олово, цинк, алюминий	Дуралюмин, медь, латунь	
Диаметр (цилиндрические детали)	От 8 до 100—150	От 10 до 50—70	От 0,03 до 0,05
Сечение (прямоугольные детали)	От 5 × 7 до 70 × 80	От 6 × 9 до 20 × 40	От 0,03 до 0,05
Толщина стенок	От 0,08 до 0,23 и больше	От 0,5 до 1,0 (медь) От 1,0 и больше (латунь)	От 0,03 до 0,075
Толщина основания	От 0,25—0,3 до 0,5 и больше	Равна толщине стенок и больше	От 0,10 до 0,2
Отношение длины детали к диаметру	От 3 : 1 до 10 : 1 (свинец), 8 : 1 (алюминий)	От 3 : 1 до 5 : 1	От 1 до 3

деформации сплошной заготовки между двумя пуансонами — неподвижным 1 и рабочим пуансоном 5 с истечением металла в кольцевой зазор между последним и стенками движущейся матрицы 2. В процессе выдавливания матрица перемещается в направлении течения металла со скоростью, превышающей скорость истечения в 1,2—1,3 раза. Таким образом, движущаяся матрица не только не оказывает сопротивления течению металла, но создает эффективные, положительно направленные силы трения, способствующие течению металла заготовки.

Штамп снабжен гидравлическим устройством, создающим рабочий ход поршня 6 и закрепленного в нем пуансона 5. Это устройство является своеобразным гидравлическим мультипликатором, увеличивающим рабочее усилие выдавливанием в 14—15 раз по сравнению с усилием пресса. Для этого усилие ползуна пресса передается двумя плунжерами 4 жидкости, находящейся в нижней части обоймы 3.

Давление жидкости действует на поверхность поршня 6 и создает рабочее усилие выдавливания во столько раз большее усилия, передаваемого ползуном пресса и

плунжерами 4, во сколько раз площадь поршня больше торцевой поверхности плунжеров. В последнее время этот метод был развит и модифицирован рядом других исследователей.

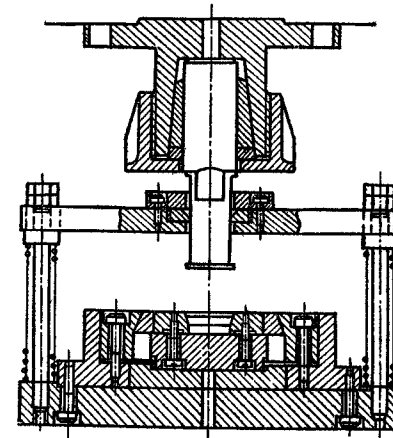


Рис. 203. Штамп для холодного выдавливания алюминиевых деталей обратным способом

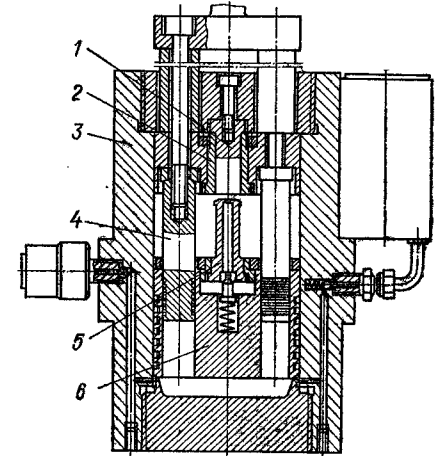


Рис. 204. Штамп для холодного выдавливания с движущейся матрицей и гидравлическим мультипликатором

Весьма эффективно применение холодного выдавливания для изготовления стальных деталей. Здесь также существуют три способа холодного выдавливания: обратный, прямой и комбинированный.

В табл. 117 приведена допустимая степень деформации при холодном выдавливании стальных деталей.

После каждой операции с большой степенью деформации производится отжиг в защитной атмосфере при 720° С, обкатка в барабане и фосфатирование заготовок

117. Допустимая степень деформации при холодном выдавливании стальных деталей

Допустимые деформации	Способы выдавливания			
	Обратный		Прямой	
	Значение показателя	Численная величина, %	Значение показателя	Численная величина, %
Степень деформации поперечного сечения	$E = \frac{d^2}{D^2} 100^*$	40—70	$E = \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right) 100$	50—90
Относительное уменьшение толщины стенки полой заготовки	—	—	$\epsilon_s = \frac{S_0 - S}{S_0} 100$	50—75
Относительное уменьшение диаметра полой заготовки	ϵ_d	—	$\epsilon_d = \frac{d_0 - d}{d_0} 100$	10—28

* Диаметр заготовки равен наружному диаметру детали *D*. В соответствии с размерами деталей допустимы деформации ниже приведенных в таблице.

с последующим их отмыливанием. Отжигу и фосфатированию подвергаются и исходные заготовки.

Холодное выдавливание стальных деталей рассмотрено в Справочнике по холодной объемной штамповке.

За последние годы освоены новые процессы холодного выдавливания стальных деталей. К ним относится способ холодного выдавливания стальных деталей с отверстиями из сварных кольцевых заготовок, изготавливаемых на сварочном автомате. На рис. 205, а показаны заготовки, на рис. 205, б — готовые детали.

Кольцевые заготовки после гибки и сварки с удалением грата подвергаются нормализации или низкому отжигу, травлению, фосфатированию и смазке. Этот способ дает экономию металла на 80—90% и экономию по заработной плате в размере 30—40% по сравнению с обработкой резанием,

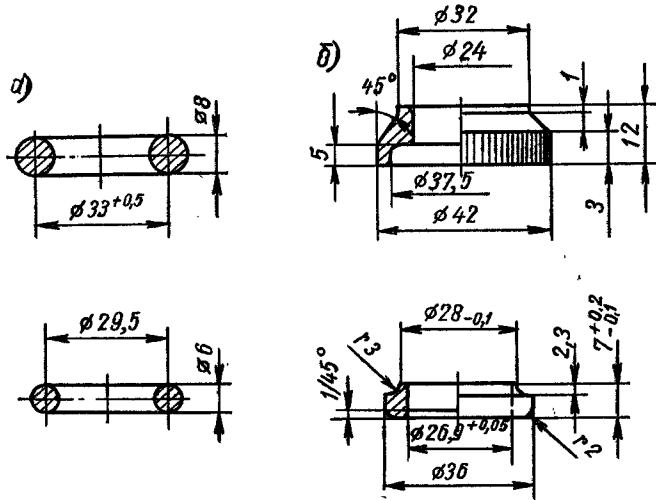


Рис. 205. Стальные детали, полученные холодным выдавливанием из сварных кольцевых заготовок

В СССР и ЧССР освоены весьма интересный способ безотходного изготовления состыкованных шайб из проволоочной заготовки. Эти шайбы отличаются от обычных тем, что имеют стык в поперечном сечении. Установлена полная эксплуатационная пригодность шайб и на них были разработаны специальные стандарты. Преимущества шайб нового типа заключаются в громадной экономии материала — 96% использования металла вместо 38% при вырубке из полосы. Для массового производства шайб создан специальный автомат ТНР18¹ (рис. 206).

Производительность автомата до 250 шт/мин. Материалом для изготовления является отожженная и калиброванная проволока прочностью $\sigma_B < 50$ кгс/мм².

В настоящее время существуют различные формулы для определения усилий холодного выдавливания. Приводим приближенную формулу Говарда, пересчитанную на метрические меры,

$$p = 1,56 \left(C \ln \frac{F_0}{F} + B \right),$$

где p — давление выдавливания, кгс/мм²; F_0 и F — площади поперечного сечения заготовки и изделия; B и C — опытные коэффициенты (табл. 118),

¹ Шмералов завод, Брно, ЧССР.

118. Значения опытных коэффициентов

Марка стали	Содержание углерода, %	Коэффициенты, кгс/мм ²	
		B	C
10	0,1	22	63
20	0,2	23	71
30	0,3	25	80

119. Приближенное значение давления (кгс/мм²) для холодного выдавливания

Материал	Прямой способ	Обратный способ
Алюминий	40—70	80—120
Медь	60—100	150—200
Латунь Л68	80—150	180—250
Стали 10,15	100—180	200—300

Усилие выдавливания

$$P = pF_{\Pi},$$

где F_{Π} — площадь поперечного сечения пуансона, мм².

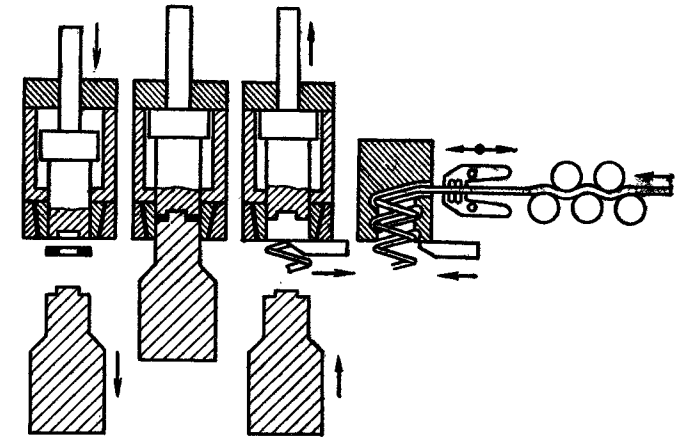


Рис. 206. Схема работы автомата для изготовления шайб из проволоки

Усилие на установившейся стадии обратного выдавливания можно определить по другой приближенной формуле

$$P = Fk_c \sigma_B \ln \frac{F}{F - F_{\Pi}},$$

где F — площадь поперечного сечения заготовки; F_{Π} — площадь поперечного сечения пуансона; k_c — коэффициент, имеющий следующие значения: для алюминия $k_c = 3,5 \div 4$, для меди, латуни и малоуглеродистой стали $k_c = 2,5 \div 3$.

Приведенные формулы не учитывают всех параметров процесса, влияющих на требуемое усилие выдавливания (геометрии инструментов, скорости деформирования, рода смазки и др.).

На практике требуемое давление пресса подсчитывают по упрощенной формуле

$$P = qF,$$

где q — приближенное значение давления (табл. 119).

Сопротивление деформации или давление при холодном выдавливании в значительной мере зависит от степени деформации,

Кривошипные прессы пригодны для холодного выдавливания, если величина рабочего хода (глубина вдавливания пуансона), не превышает 5 мм. Рекомендуется выбирать эти прессы с номинальным усилием в 1,5—2 раза больше расчетного.

К заготовкам для холодного выдавливания цветных металлов предъявляются повышенные требования:

1) требуется чистота химического состава и однородность структуры материала заготовки. Для алюминия рекомендуются марки А0, А1, твердостью до *HВ* 25;

2) желательна гладкая поверхность среза вырезанной заготовки. Заусенцы недопустимы.

Для обеспечения первого требования вырубленные заготовки обычно подвергают отжигу (с травлением, промывкой и сушкой). Для получения гладкой поверхности среза вырубка производится штампом со снятой фаской на режущих кромках матрицы, а также рекомендуется вырезка заготовок пуансоном, размеры которого больше размеров матрицы. В производстве зарекомендовал себя трехрядный вырезной штамп, у которого пуансоны на 0,4—0,6 мм больше отверстия матрицы, вследствие чего вырезка происходит без захода пуансонов в матрицу. Остающаяся соединительная перемычка настолько слаба, что отламывается при ручной подаче полосы. При этом способе поверхность среза соответствует 5—6-му классу по ГОСТ 2789—73.

Для удаления заусенцев и очистки поверхности заготовки обкатывают в барабане с древесными опилками, смоченными бензином. После просеивания опилок заготовки промываются в бензине или бензоле.

Для получения деталей с шероховатостью поверхности, равной 8-му классу, заготовки перед штамповкой необходимо равномерно смазывать погружением в смазку особого состава.

Холодное выдавливание алюминиевых парфюмерных тюбиков производится из шестигранных заготовок, вырубаемых шестирядным штампом при безотходном раскрое полосы. В данном случае после вырубки заготовки подвергаются отжигу при 520—560° С, травлению в кальцинированной соде, промывке, сушке и обкатке в барабане с кашалотовым жиром.

Фирма „Герлан“ (ФРГ), выпускающая прессы для холодного выдавливания, применяет в качестве смазки алюминиевых заготовок цинковую пудру.

Толщина заготовки находится по формуле

$$S = V / F_0,$$

где V — объем детали с припусками на обрезку; F_0 — площадь заготовки.

Припуск на обрезку неровных кромок принимают равным

$$\Delta h = (0,5 \div 0,8) \sqrt{h},$$

где h — высота детали по чертежу, причем наименьшее значение коэффициента берут для сравнительно низких, а наибольшее — для сравнительно высоких деталей.

Решающее значение для холодного выдавливания имеет выбор наилучшего типа смазки, выдерживающей высокие рабочие давления и не теряющей вязкости при нагреве.

Практически применяются следующие типы смазок при холодном выдавливании:

1) для алюминия — 20-процентный раствор животного жира в бензоле или смесь цилиндрического масла с воском в пропорции 1 : 1 (расход 300 г на 15—16 м²); кусковой кашалотовый жир;

2) для меди и латуни — животные жиры или графитная смазка в составе: пять частей отмученного графита и две части машинного масла (при 200° С);

3) для цинка — животные жиры, ланолин и тальк;

4) для стали — фосфатирование поверхности погружением заготовок в кислые фосфатные растворы с последующим пропитыванием мыльной эмульсией.

Заготовки смазываются двумя способами: путем погружения в баки или во вращающиеся барабаны. Слой смазки должен быть равномерным. При наличии частичных несмазанных мест заготовки неизбежен брак в виде обрывов и перекосов стенок,

ГЛАВА V

ШТАМПОВКА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

35. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ХОЛОДНОЙ ШТАМПОВКЕ

Развитие машиностроения, радиоэлектроники, приборостроения и вычислительной техники привело к значительному увеличению применения изделий из листовых пластмасс и других неметаллических материалов⁴.

Неметаллические материалы, применяемые в холодной штамповке, могут быть разделены на две основные группы.

К первой группе относятся бумага, картон, прессшпан, кожа, войлок, резина и прорезиненная ткань, хлопчатобумажные и шерстяные ткани и другие прокладочные материалы.

Ко второй группе относятся следующие конструкционные, электроизоляционные и теплоизоляционные материалы.

1. Слоистые пластмассы: текстолит, гетинакс, стеклотекстолит, асботекстолит, фибра, древеснослоистые пластики и др.

2. Блочные пластмассы (на основе эфиров, полистирола и т. п.): органическое стекло, целлулоид, винипласт, поливинилхлорид, полиэтилен и пр.

3. Асбестовые ткани и изделия: бумага асбестовая, картон асбестовый, гидронзол, паронит, асбометаллическое армированное полотно.

4. Слюда и миканиты: слюда листовая (мушкет, флагопит, биотит), миканиты коллекторный, прокладочный, формовочный и гибкий.

Слоистые пластмассы представляют собой композиции из термореактивных смол и соответствующего наполнителя: у гетинакса — бумага, у текстолита — легкая хлопчатобумажная ткань, у стеклотекстолита — бесцелочная стеклоткань, у асботекстолита — асбестовая ткань, у древеснослоистых пластиков — тонкий березовый шпон толщиной 0,25—0,55 мм.

Фибра представляет собой прессованную слоистую бумажную массу, обработанную раствором хлористого цинка с добавкой в некоторых случаях касторового масла и глицерина (фибра КГФ).

Блочные пластмассы (органическое стекло, винипласт, целлулоид и др.) являются термопластичными материалами, размягчающимися при действии нагрева, и представляют собой или продукт полимеризации метилового эфира метакриновой кислоты (прозрачное органическое стекло), или нитроцеллюлозу, пластифицированную камфорой (целлулоид), или пластифицированный полихлорвинил (винипласт, пластикат).

Асбест представляет собой волокна минералов группы серпантина и амфибола, обладающие высокими диэлектрическими и теплоизоляционными свойствами.

Слюда — это минерал (водный алюмосиликат щелочных и щелочноземельных металлов), расщепляющийся на тонкие гибкие пластинки. Наилучшими сортами слюды являются мушкет и флагопит.

Миканиты представляют собой щипаную слюду, проклеенную особыми лаками и спрессованную горячим прессованием.

Для изготовления различных деталей из неметаллических материалов и пластмасс применяются различные процессы холодной штамповки: вырубка, пробивка, гибка, вытяжка-формовка и др.

36. РЕЗКА И ВЫРУБКА ДЕТАЛЕЙ ИЗ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Резка слоистых пластмасс и других хрупких материалов должна производиться на ножницах с параллельными ножами, так как при резке на гильотинных ножницах в результате изгиба отрезаемой заготовки наклонным ножом на ее поверхности образуется сеть трещин, называемая „елочкой“.

⁴ Подробные сведения о природе и свойствах неметаллических материалов приведены в специальной литературе.

Резка листов на полосы должна производиться с надежным прижимом материала, для чего прижимное устройство должно иметь индивидуальную регулировку. Глубина перекрытия режущей кромки ножей не более 0,5 мм.

Для резки изоляционных материалов целесообразно выделить специальные ножницы. При резке фольгированных пластмасс они должны быть положены фольгой вниз (к неподвижному ножу).

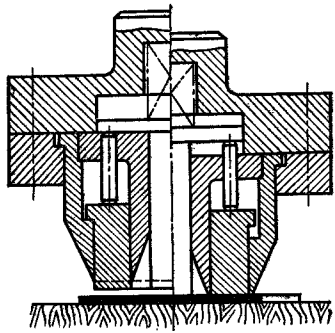


Рис. 207. Вырезка (просечка) ножевыми штампами

сечками обычной или упрощенной конструкции (рис. 207). Угол заострения ножей принимается равным: для мягких материалов (бумага, картон, прессшпан, кожа, фетр, резина, ткани) 15—20°, а для фибры, текстолита, гетинакса — 30—35°.

Для деталей и прокладок сложной конфигурации используют ленточно-ножевые штампы, у которых режущее полотно сделано из ленточной стали, изогнутой по форме вырезаемой детали (рис. 208).

При вырезке бумажных и других тонколистовых прокладок применяется штамповка пачками (до 50 листов), причем существуют два способа: штамповка насквозь на фибровой, полиуретановой или деревянной подкладке и штамповка половины листов утолщенной пачки, причем вторая половина листов служит подкладкой.

Сопротивление срезу различных неметаллических материалов при вырезке в обычных штампах и просечке ножевыми штампами приведено в табл. 120 и 121.

При вырубке неметаллических материалов обычными штампами применяются следующие значения зазоров: для фибры и прессшпана (0,04 ÷ 0,05) S; для кожи, фетра и мягкого картона (0,02 ÷ 0,03) S; для гетинакса и текстолита — по табл. 128.

Вырубка фибровых, текстолитовых и гетинаксовых деталей имеет свои особенности и трудности. Фибра штампуются сравнительно хорошо в равномерно увлажненном состоянии. Пересушенная фибра дает расслоения. При проектировании штампов следует учитывать изменение размеров влажной фибры при высыхании.

Тонколистовые фибровые детали простой конфигурации можно вырезать ножевыми штампами, детали сложной конфигурации вырезают в штампах обычного типа с прижимом.

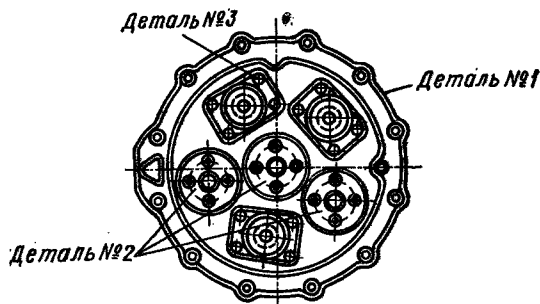


Рис. 208. Ленточно-ножевой штамп

120. Сопротивление срезу неметаллических материалов при вырезке в штампах

Материал	Сопротивление срезу $\sigma_{ср}$, кгс/мм ²	Материал	Сопротивление срезу $\sigma_{ср}$, кгс/мм ²
Фибра:		Целлулоид	5—6
обыкновенная	12	Органическое стекло	7—9
твердая	17	Гетинакс	8—12
Бумага:		Текстолит	9—12
обыкновенная	2—3	Стеклотекстолит	12—15
твердая	2,5—4,0	Прессшпан	7—8
картон	3—6	Миканит	10
эбонит	3	Резина	0,6—1,0
кожа	4—5	Полэтилен	3—4
		Винилпласт	6—8

121. Сопротивление срезу неметаллических материалов при просечке ножевыми штампами

Материал	Сопротивление срезу $\sigma_{ср}$, кгс/мм ²	Материал	Сопротивление срезу $\sigma_{ср}$, кгс/мм ²
Бумага (0,25 мм):		Кожа дубленая	5
1 лист	16	Целлулоид	5
5 листов	4,5	Березовая фанера	2
10 листов	2,3	Сосновая фанера	1
20 листов	1,4	Текстолит	9
Картон	3	Гетинакс	12
Прессшпан	7	Слюда (0,5 мм)	8
Клингерит	4	Слюда (2 мм)	5
Кожа мягкая	0,7	Резина	0,8

Примечание. При затуплении режущих кромок сопротивление срезу выше указанных

Наибольшее значение из слоистых пластиков имеют гетинакс и текстолит, получившие широкое применение в электротехнике, радиотехнике и приборостроении. По ГОСТ 2718—54 гетинакс подразделяется на две группы: 1) для нормальной частоты (марки А, Б, В, Вс, Г, Д); 2) для высокой частоты (марки А_В, Б_В, Г_В, Д_В). Текстолит выпускается двух видов: 1) листовой электротехнический (ГОСТ 2910—54) марок А, Б, В4, Г, СТ; 2) поделочный марок ПТК, ПТ, ПТ-1.

Гетинакс подвергается только вырубке, а текстолит — вырубке и гибке с подогревом. Предельная толщина гетинакса и текстолита для изготовления деталей вырубкой ограничена: для гетинакса — 3 мм, а для текстолита — 6,5 мм. Гетинакс и текстолит относятся к терморезистивным слоистым пластмассам. Однако терморезистивные смолы практически содержат небольшое количество термoplastических примесей, вследствие чего гетинакс и текстолит при нагреве становятся менее хрупкими, чем в холодном состоянии. Поэтому вырубка с подогревом дает лучшую поверхность среза и меньшее количество дефектов. Но нагрев заготовок усложняет производственный процесс и снижает производительность, ввиду чего вырубку деталей из гетинакса и текстолита рекомендуется производить по возможности в холодном состоянии, применяя нагрев лишь в необходимых случаях.

Предельная толщина гетинакса и текстолита, штампуемых без подогрева, весьма ограничена (табл. 122).

122. Предельная толщина материала при штамповке без подогрева, мм

Материал	Форма детали		Пробивка отверстий
	простая	сложная	
Гетинакс	1,5	1,0	1,5
Текстолит	2,0	1,5	2,0

123. Точность деталей, вырубаемых из гетинакса и текстолита обычными штампами

Толщина материала, мм	Класс точности в зависимости от способа штамповки	
	без подогрева	с подогревом
До 1	4—5	5—7
1—2	5—7	7—8
2—3	7—8	8—9

Поверхность среза при штамповке гетинакса и текстолита на штампах бычных типов получается не выше 2—3-го класса по ГОСТу. Если требуется болеевысокое качество поверхности среза (5—6-го класса), следует применять зачистную штамповку.

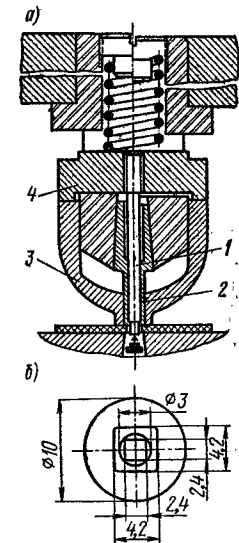


Рис. 209. Штамп для пробивки и зачистки квадратных отверстий (а) и обрабатываемая деталь (б)

В радиоэлектронной промышленности применяется способ пробивки чистых отверстий в гетинаксе без подогрева, основанный на пробивке отверстий меньшего размера со сколом и одновременной зачистке краев отверстия. На рис. 209 приведена конструкция пробивного штампа для пробивки и зачистки квадратных отверстий $4,2 \times 4,2$ мм.

Вначале предварительный пробивной пуансон 1, укрепленный в подпружиненной планке 4, продавливает отверстие размером $2,4 \times 2,4$ мм с грубым сколом по поверхности среза. Опускающийся вслед за ним трубчатый пуансон 2, укрепленный в головке, обрезает шероховатый скол и образует квадратное отверстие размером $4,2 \times 4,2$ мм с чистой поверхностью среза. Прижим 3 служит для плотного прижима гетинакса к матрице и для снятия его с пуансона.

На рис. 210 приведены конструкции ступенчатых пробивных пуансонов с предварительным продавливающим выступом, применяемые при пробивке хрупких материалов (гетинакс) в холодном состоянии. Эти конструкции ступенчатых пуансонов могут быть применены при пробивке отверстий различной формы.

Точность вырубленных деталей из гетинакса и текстолита значительно ниже точности металлических деталей, особенно при вырубке с подогревом материала. Примерная точность деталей, штампуемых из гетинакса и текстолита, приведена в табл. 123.

В табл. 124 указан проверенный экспериментально режим подогрева слоистых пластиков перед вырубкой.

Перегрев материала не дает увеличения пластичности, а приводит к появлению пузырчатости на поверхности материала.

Нагрев заготовок осуществляется одним из следующих способов: 1) в электрических термостатах, устанавливаемых около пресса; 2) инфракрасными лампами; 3) токами высокой частоты; 4) в кипящей воде (15—30 мин); 5) между двумя нагретыми плитами.

Наиболее прост и дешев подогрев заготовок в кипящей воде.

Вырубку гетинаксовых и текстолитовых деталей производят, как правило, в совмещенных штампах с прижимом заготовки. Прижим уменьшает возможность

124. Режим подогрева слоистых пластиков

Материал	Марка	Температура подогрева, °С	Способ и время подогрева на 1 мм толщины
Гетинакс	Б; В; Д	90—100	В электропечах и термостатах 3—3,5 мин
	Ав; Бв; Вв; Гв; Дв	110—120	Инфракрасными лампами 1,5—2,2 мин
Текстолит	Всех марок	80—90	Между двумя горячими плитами 1—1,5 мин
Стеклотекстолит	—	70—90	Односторонний нагрев 5—8 мин

образования трещин и улучшает поверхность среза даже без подогрева материала. Вырубка с подогревом гетинакса, но без прижима заготовки не обеспечивает получения качественной поверхности среза,

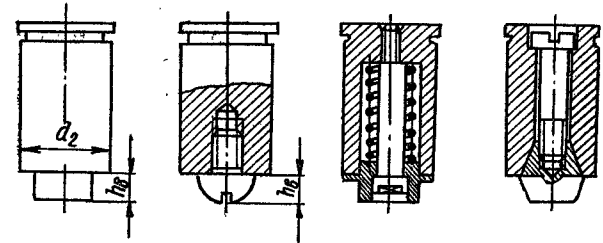


Рис. 210. Конструкция ступенчатых пробивных пуансонов с предварительным продавливающим выступом

Усилие прижима при вырубке деталей из гетинакса и текстолита определяется по формуле

$$Q = qLS,$$

где q — давление прижима, кгс/мм² (табл. 125); L — длина периметра вырубki, мм; S — толщина материала, мм.

Расчет исполнительных размеров матриц и пуансонов приведен в специальной литературе.

При проектировании штампов следует учитывать усадку гетинакса, составляющую при нагреве до 100° С около 0,2% линейных размеров.

Иногда пробивка мелких отверстий диаметром $(0,3 \div 0,5) S$ производится в зажатом состоянии штампом, конструкция которого приведена на рис. 32.

Штамповку деталей из стеклотекстолита следует производить в комбинированных штампах с прижимом материала, причем пуансон должен быть подогнан к матрице без зазора. Пробивные пуансоны и матрицы следует увеличивать на $0,03 S$, так как размеры отверстия уменьшаются после пробивки.

Органическое стекло является термопластичным материалом и штампуется только в нагретом до 100° С состоянии. Охлаждение отштампованных деталей производится погружением их в холодную воду. Следует предохранять штампуемые детали от поверхностных царапин и повреждений.

125. Давление прижима при вырубке гетинакса и текстолита

Толщина материала, мм	Давление прижима, кгс/мм ²
До 1	0,6—1,0
1—2	1,0—1,5
2—3	1,5—2,0

тального сжима сжатым воздухом между матрицей и пуансоном. Сжатый воздух продувает зазоры и очищает штамп от слюдяной пыли, повышая его стойкость.

Точность изготовления штампа обеспечивается разметкой и сверлением матрицы и пуансонодержателей на координатно-расточных станках.

Фигурные отверстия в матрице получают путем прошивки сырой матрицы закаленным пуансоном.

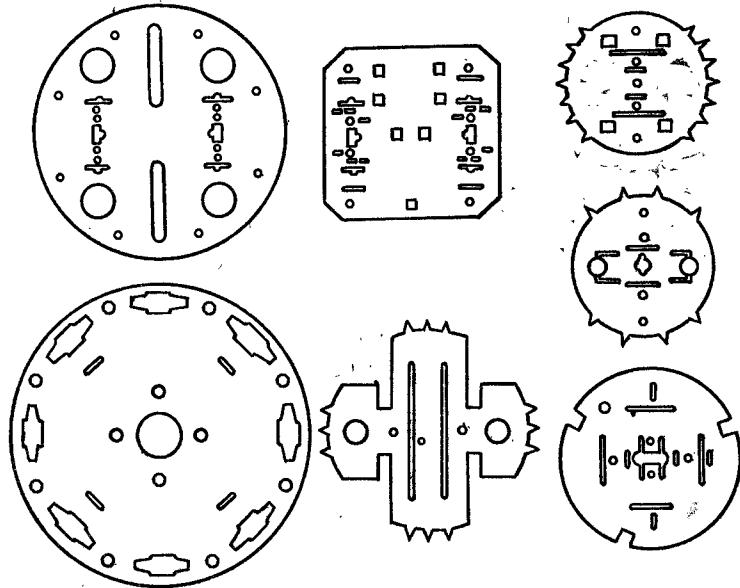


Рис. 211. Слюдяные пластинки с точными размерами отверстий

При вырубке гетинакса и текстолита применяют большую величину перемычек, чем для металла, так как вследствие хрупкости этих материалов малые перемычки растрескиваются и выкрашиваются, причем их частицы попадают в зазор между матрицей и пуансоном, вызывая преждевременный износ штампа. В табл. 126 и 127 приведены экспериментально установленные величины перемычек для вырубке деталей из гетинакса и текстолита.

Зазоры между матрицей и пуансоном при вырубке гетинакса и текстолита берутся меньшей величины, чем для металла, так как вследствие хрупкости материала срез по толщине приобретает характер скола.

Из слюды вырубается большое количество плоских слюдяных пластин (рис. 211) с весьма точными размерами отверстий и расстояниями между их осями, достигающими 3-го, а иногда и 2-го класса точности.

Требуемая точность обеспечивается правильной конструкцией и качественным изготовлением комбинированных штампов.

Особенностью конструкции штампов для слюды является предельное уменьшение длины пуансонов при максимальном уменьшении толщины верхней матрицы, пуансонодержателя и выталкивателя, а также применение дополни-

126. Перемычки при вырубке деталей из гетинакса, мм

Толщина материала, мм	Вырубка круглых деталей		Вырубка прямоугольных деталей	
	Перемычки между деталями	Боковые перемычки	Перемычки между деталями	Боковые перемычки
До 0,5	1,5	1,5	2,0	2,0
0,5—1,0	1,5	1,5	2,0	2,0
1,0—1,5	2,0	2,5	2,5	3,0
1,5—2,0	2,5	3,0	3,0	3,5
2,0—2,5	3,0	3,5	3,5	4,0
2,5—3,0	3,5	4,0	4,5	5,0

Примечания:
1. Ширина кромки, обрезаемой шаговым ножом, берется равной ширине перемычки.
2. При вырубке деталей с поворотом полосы ширина перемычек увеличивается в 1,5—2 раза.

127. Перемычки при вырубке деталей из текстолита, мм

Толщина материала, мм	Вырубка круглых деталей		Вырубка прямоугольных деталей	
	Перемычки между деталями	Боковые перемычки	Перемычки между деталями	Боковые перемычки
До 0,5	1,3	1,5	1,5	1,5
0,5—1,0	1,3	1,5	1,5	1,5
1,0—1,5	1,5	1,7	1,5	2,0
1,5—2,0	2,0	2,2	2,0	2,5
2,0—2,5	2,5	3,0	3,0	3,5
2,5—3,0	3,0	3,5	4,0	4,5

Примечания:
1. Ширина кромки, обрезаемой шаговым ножом, берется равной ширине перемычки.
2. При вырубке деталей с поворотом полосы ширина перемычек увеличивается в 1,5—2 раза.

В табл. 128 приведены экспериментально проверенные значения зазоров, в пределах которых получается качественная поверхность среза.

128. Двусторонние зазоры при вырубке гетинакса и текстолита

Толщина материала, мм	Минимальный двусторонний зазор, мм	Максимальный двусторонний зазор, мм, в зависимости от размера вырубаемых деталей и пробиваемых отверстий, мм			
		До 10	Св. 10 до 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 260
От 0,5 до 0,6	0,010	0,020	0,030	0,040	0,050
Св. 0,6 > 0,8	0,015	0,030	0,040	0,050	0,060
> 0,8 > 1,0	0,020	0,035	0,045	0,055	0,065
> 1,0 > 1,2	0,025	0,040	0,050	0,060	0,070
> 1,2 > 1,5	0,030	0,045	0,055	0,065	0,075
> 1,5 > 1,8	0,035	0,050	0,060	0,070	0,080
> 1,8 > 2,1	0,040	0,055	0,065	0,075	0,085
> 2,1 > 2,5	0,045	0,060	0,070	0,080	0,090
> 2,5 > 3,0	0,050	0,065	0,075	0,085	0,095

Примечания:
1. На чертежах штампов указывается минимальный двусторонний зазор. Максимальный двусторонний зазор является справочным при изготовлении и приемке штампов.
2. Максимальный двусторонний зазор назначается по наибольшему габаритному размеру вырубке.

Вырубка деталей из слоистых пластинок сопровождается значительным пружинением материала, в результате которого наружные размеры детали получаются больше размеров матрицы, а размеры отверстий — меньше размеров пуансона.

При вырубке без подогрева пружинение равно для гетинакса 4%, а для текстолита 5% от толщины материала. При вырубке с подогревом гетинакса и текстолита изменение размеров детали осложняется усадкой размеров деталей после остывания материала.

При вырубке наружного контура усадка действует в направлении, противоположном пружинению. При пробивке отверстий усадка и пружинение направлены в сторону уменьшения размеров отверстия.

129. Коэффициенты усадки размеров деталей

Материал	Толщина материала, мм	a, %	c, %	δ_y , %
Гетинакс	1,0	0,20	0,25	0,03
	1,5	0,22	0,30	0,04
	2,0	0,25	0,35	0,05
	2,5	0,27	0,40	0,06
	3,0	0,30	0,50	0,07
Текстолит	2,0	0,20	0,26	0,08
	2,5	0,25	0,30	0,10
	3,0	0,28	0,36	0,12

Как было указано, такие материалы, как текстолит, фибра и гетинакс, при вырубке не дают чистой поверхности среза. В случае повышенных требований к чистоте среза деталей из указанных материалов применяется зачистка по наружному контуру. Зачистной штамп в ряде случаев делается ножевой конструкции: пуансон представляет собой плоскую алюминиевую или медную пластинку, а матрица имеет клиновую (ножевую) форму с углом 35—40°.

Для зачистки фибры иногда применяют матрицы с закругленными режущими кромками с $r = (0,1 \div 0,2) S$.

37. ГИБКА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Гибке подвергаются слоистые пластики, за исключением гетинакса, и блочные пластмассы (органическое стекло, целлулоид, винилпласт и др.). Из слоистых материалов гибке поддаются только формовочный и гибкий миканит.

Листовая фибра легко выдерживает изгиб в увлажненном состоянии (до 10% влажности). В данном случае допустимо местное увлажнение сырой тряпкой за 1/2 ч до гибки.

Для мелких деталей применяется гибка в штампах, а для крупных — на гибочных машинах для металла.

На рис. 212 приведена схема гибочного штампа для неметаллических материалов.

Тонколистовой текстолит подвергается гибке после нагрева до 150—170° С. Нагрев лучше производить инфракрасными лучами в течение 1—2 мин. Органическое стекло подвергается гибке при нагреве от 100 до 150° С и охлаждении наружных слоев на воздухе в течение 10—15 с.

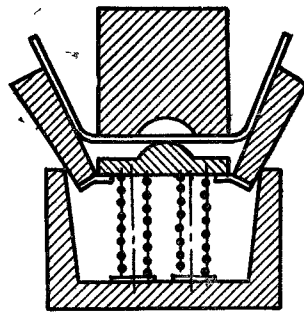


Рис. 212. Штамп для гибки неметаллических материалов

Суммарная усадка определяется по формулам: для вырубki наружного контура

$$\delta_{\text{нар}} = aL - \delta_y;$$

для пробивки отверстия

$$\delta_{\text{отв}} = cL + \delta_y,$$

где a и c — коэффициенты термической усадки размеров; L — измеряемый размер детали; δ_y — изменение размеров в результате упругого пружинения.

Средние значения этих величин приведены в табл. 129.

Стойкость штампов при вырубке слоистых пластиков невысокая и обычно составляет от 1500 до 2500 шт. до переточки.

Гибка деталей из органического стекла обычно производится на металлических, деревянных, пластмассовых или гипсовых болванах (пуансонах) легким нажимом руки с прижимом краев заготовки струбцинами, обитыми байкой. Поверхность болванов тщательно обрабатывается и обтягивается мягкой байкой.

Размеры заготовки и болвана должны быть взяты большими на величину припуска для зажима кромок при гибке или формовке. Детали охлаждаются на болване до 30—40° С и сохраняют приданную им форму. В случае повторного нагрева изогнутой детали в свободном состоянии она выпрямляется.

Винилпласт подвергается гибке при нагреве до 160—170° С, а целлулоид — до 90—100° С.

Гибкий миканит подвергается изгибу без нагрева.

38. ВЫТЯЖКА И ФОРМОВКА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Вытяжкой и формовкой изготовляют большое количество различных деталей, в основном из термопластичных пластмасс: полиэтилена, поликрилата, поливинилхлорида, органического стекла и др. К таким изделиям относятся корпуса приборов, футляры, бачки и полусферические детали, фотографические вайночки, детали холодильников, облицовка радиоприемников и телевизоров, умывальные раковины и другие объемные изделия сложной конфигурации.

Технология их формообразования основана на оптимальной степени нагрева пластмасс и перевода их в высокопластичное или вязкотекучее состояние.

Технологические процессы формовки-вытяжки выполняются следующими способами: 1) вакуумной или пневматической формовкой с применением одной только матрицы или формы; 2) формовкой-вытяжкой в штампах с жестким или эластичным пуансоном и жесткой матрицей.

Первый способ широко применяется при изготовлении деталей из органического стекла, винилпласта, полиэтилена, целлулоида и др., второй способ используется в основном при изготовлении деталей из слоистых пластмасс и частично органического стекла.

В табл. 130 приведен режим нагрева листовых пластмасс перед формовкой. Практика показывает, что даже небольшие отклонения от установленных температур нагрева приводят к размягчению или структурному изменению материала. Нагрев листов органического стекла производится в вертикальном положении (в подвешенном состоянии).

На рис. 213 приведены схемы наиболее совершенного способа вакуумной формовки термопластичных пластмасс на специальных машинах. Процесс вакуумной формовки состоит из следующих последовательно выполняемых операций:

130. Режимы нагрева термопластичных листовых пластмасс перед формовкой

Пластмассы	Температура нагрева, °С	Выдержка (мин) при данной температуре на 1 мм толщины листа	Критическая температура, °С
Органическое стекло (не ориентированное)	120—200	1,5—2,0	220
Органическое стекло ориентированное:			
СОЛ	125—150	1,5—1,8	175
СТ-1	145—150	1,2—2,0	185
2—55	170—185	1,6—2,5	205
Винилпласт	100—160	1,0—1,5	170
СН прочный	130—140	—	—
Полиэтилен ВД	120—130	2,0—3,0	140

- 1) разогрев заготовки до пластичного состояния при помощи экрана с инфракрасными излучателями;
- 2) раздувание (вытягивание) разогретого листа сжатым воздухом;
- 3) формовка вытянутого листа с помощью вакуума в полости матрицы (негативное формование) или по форме пуансона (позитивное формование);

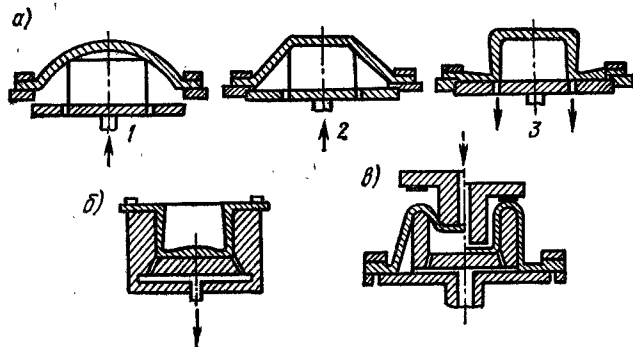


Рис. 213. Схема процесса вакуумной формовки: а — позитивный метод; б — негативный метод; в — комбинированный метод; 1 — раздувание нагретой заготовки и подъем пуансона; 2 — формовка пуансоном; 3 — вакуумная формовка

- 4) охлаждение и удаление отформованного изделия;
 - 5) обрезка краев.
- Вакуум-формовочные установки снабжены вакуум-насосом и компрессором, термоэкраном, пультом с приборами управления и специальными пресс-формами.

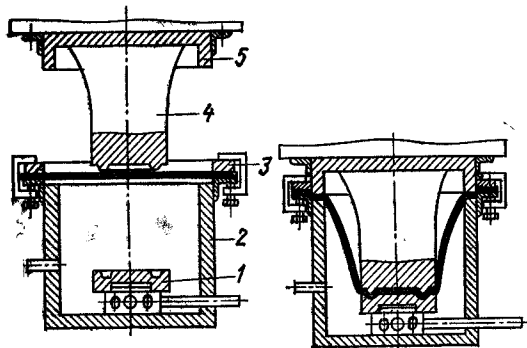


Рис. 214. Форма для комбинированной формовки в упругой матрице

Для формовки глубоких изделий сложной формы получили применение комбинированные методы формовки, в которых пневматическая формовка сочетается с механической формовкой пуансоном. В ряде случаев применяется формовка в упругой матрице, иногда даже без применения сжатого воздуха.

На рис. 214 приведена форма для комбинированной формовки в упругой матрице. Форма состоит из пневматической камеры 2, матрицы 1 и пуансона 4. Нагревательный

Они позволяют формовать изделия до 2 м длиной из заготовок толщиной до 3—4 мм.

Другим промышленно развитым способом является пневматическая формовка в жестких формах, применяемая для изготовления пластмассовых ванн, умывальников, обрамления для телевизоров и т. п. из более толстых заготовок (до 15—20 мм).

Обычно процесс формовки производится в два приема: предварительная формовка при низком давлении в течение 15—30 с, окончательная формовка — при повышенном давлении воздуха. Величина последнего определяется опытным путем в зависимости от толщины материала и формы изделия.

пластмассовая заготовка зажата кольцом 3. Верхнее кольцо 5 производит обрезку фланца. Формовка параболического корпуса производится за счет сжатия воздуха при погружении в форму пуансона 4. Если требуется более высокое давление, то через штуцер подается сжатый воздух от сети.

Формовочный миканит формируется в подогретом состоянии в нагретых до 150—170° С штамп-пресс-формах. Деталь держат под давлением в пресс-форме в течение 20 с.

В мелкосерийном производстве изготовление крупных сферических вытяжек из органического стекла производят или в вытяжных штампах с нагревом заготовки до 115—120° С (рис. 215), или путем формовки под вакуумом в особом сосуде с обогревом заготовки инфракрасными лучами (рис. 216).

Целлулоид вытягивается с нагревом до 90—100° С в обычных вытяжных штампах с пружинным складкодержателем. Деталь выдерживается под давлением около 1 мин, после чего охлаждается вместе со штампом в холодной воде.

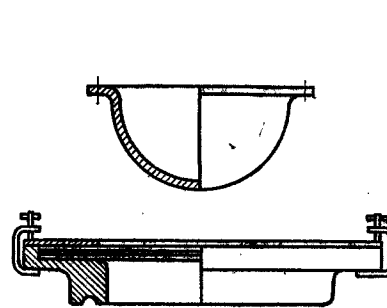


Рис. 215. Штамповка крупных сферических изделий из органического стекла

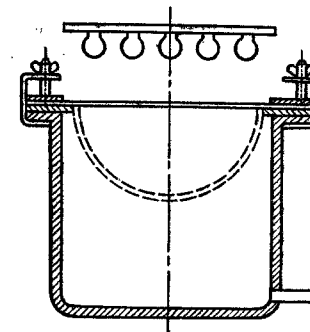


Рис. 216. Формовка органического стекла под вакуумом

Нагрев заготовок осуществляется различными способами в зависимости от масштаба производства: путем конвекции горячего воздуха в специальных шкафах, облучением инфракрасными лучами в особых установках, между горячими плитами и т. п.

Из слоистых пластиков вытяжке подвергаются лишь фибра, текстолит и стеклотекстолит.

Фибра вытягивается лишь в увлажненном состоянии после вымачивания в воде в течение нескольких часов, из расчета 1,5—2 ч на 1 мм толщины. Перед штамповкой увлажненная заготовка и штамп посыпаются графитом или тальком, служащими смазкой. Вытяжка производится в вытяжных штампах с прижимом или на прессах двойного действия. Отштампованную деталь снимают с пресса, надевают на болван, имеющий форму и размеры пуансона, и высушивают в сушильной камере при 67—70° С в течение 12 ч, а затем просушивают на открытом воздухе.

Из текстолита и стеклотекстолита можно изготавливать вытяжкой лишь неглубокие цилиндрические, конические и полусферические детали, но только в нагретом состоянии. Текстолит нагревается до 150—170° С и вытягивается в штампах с прижимом или на прессах двойного действия, стеклотекстолит нагревается до 230° С и вытягивается в пресс-формах.

Из других материалов вытяжке подвергаются картон и кожа. Из картона вытягивают небольшие крышки и пробки, а из кожи — уплотнительные манжеты и сальники. Кожу вытягивают с нагревом в масле до 200° С, а картон — в нагретых до 120° С штампах. Коэффициент вытяжки равен примерно 0,4.

ГЛАВА VI

ОСОБЫЕ ВИДЫ ОБРАБОТКИ ЛИСТОВЫХ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

39. ИМПУЛЬСНЫЕ ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ МЕТОДЫ ШТАМПОВКИ

Последние десятилетия характеризуются быстрым развитием крупного машиностроения и космической техники. Изготовление крупногабаритных элементов конструкций размерами от 3 до 10 м потребовало создания новых беспрессовых методов штамповки, ввиду ограниченных возможностей механических и гидравлических прессов.

В качестве таких методов были созданы и применены на практике высокоэнергетические методы формообразования под действием импульсивных нагрузок, создаваемых действием взрыва бризантных взрывчатых веществ, газовых смесей, давлением испаряющихся сжиженных газов, высоковольтным электрическим разрядом в жидкости, мощными импульсами магнитного поля и т. п.

Особенностью высокоэнергетических импульсных методов штамповки является высокая скорость деформирования в соответствии с высокими скоростями преобразования энергии. Поэтому высокоэнергетические методы штамповки именуются высокоскоростными методами. Они получили преимущественное применение при изготовлении крупногабаритных деталей типа днищ, полусфер, оболочек и т. п., изготовляемых малыми сериями, при которых использование прессов и штампов становится технически нецелесообразным и экономически невыгодным.

Для характеристики размеров штампуемых деталей и штампов для них приведем пример из американской практики. Для штамповки секций днищ топливных баков ракеты „Сатурн“ потребовалось изготовить из цинкового сплава штамп размером 5000 × 2800 мм массой 52 т.

В промышленности наибольшее применение получили следующие импульсные методы штамповки листовых металлов:

- 1) штамповка давлением ударной волны при взрыве бризантных взрывчатых веществ в воде, или так называемая взрывная штамповка;
- 2) штамповка действием высоковольтного электрического разряда в жидкости, или электрогидравлическая штамповка;
- 3) штамповка импульсами магнитного поля высокой напряженности, или магнитноимпульсная штамповка.

Другие методы импульсной штамповки получили ограниченное применение.

Импульсные методы обработки металлов применяются в самых разнообразных процессах штамповки: вытяжке, листовой формовке, формоизменении трубчатых заготовок, вырубке и пробивке отверстий, резке труб и проката, объемной штамповке, калибровке и поверхностном упрочнении металлов, прессовании, сварке разнородных металлов, запрессовке и развальцовке труб, различных сборочных операциях и т. п.

Штамповка давлением взрыва [91; 153; 154]

Взрывная штамповка основана на деформации листовой заготовки давлением ударной волны, образующейся при взрыве бризантных взрывчатых веществ (ВВ) ¹.

Время детонации ВВ составляет 20—30 мкс, а время деформации детали исчисляется миллисекундами, т. е. примерно в сто раз больше. Таким образом, давление взрыва действует на заготовку лишь в начальный момент, после чего металл заготовки движется до соприкосновения с матрицей под действием сообщенной ему кинетической энергии. По мере распространения ударной волны ее скорость и создаваемое давление довольно быстро затухают. Поэтому взрывной штамповкой нельзя сразу получить глубокую вытяжку, а приходится применять двукратную взрывную

штамповку. Практически зарекомендовал себя способ реверсивной двухоперационной штамповки: в первой операции штампуется днище с выпуклой вверх средней частью, а во второй операции после удаления выпуклого вкладыша получается окончательная форма днища выпуклостью вниз.

На рис. 217 показана зависимость коэффициента вытяжки от плотности заряда ВВ при гидровзрывной штамповке на кольцевой матрице (без формирующей полости).

Область I соответствует недостаточной массе заряда и неполной вытяжке; область II — полной вытяжке без разрушения; область III относится к чрезмерно большой массе заряда, при котором происходит разрушение заготовки. Точка А соответствует предельной величине коэффициента вытяжки за одну операцию.

Взрывная штамповка получила преимущественное применение для обработки наиболее крупных деталей (от 1,5 до 8 мм) при толщине материала свыше 2 мм. Достоинством ее является высокая экономическая эффективность в результате резкого снижения капитальных затрат и сокращения сроков и стоимости подготовки производства. Другим преимуществом является возможность штамповки деталей из высокопрочных сплавов.

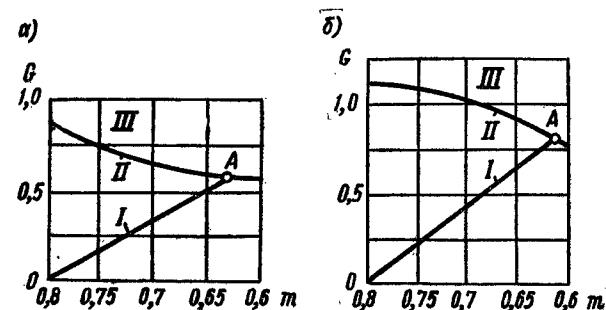


Рис. 217. Зависимость коэффициента вытяжки от удельного веса заряда ВВ: а — для Ст3 толщиной 1,75 мм; б — для стали 2X13 толщиной 2 мм

В зависимости от размеров и формы штампуемых деталей взрывная штамповка осуществляется различными способами: при больших габаритах деталей — штамповкой в бассейнах с водой или бронекерах; при штамповке небольших деталей — штамповкой в наземных установках.

На рис. 218 изображена конструкция бассейна, разработанного в Харьковском авиационном институте. Заглубленный фундамент отделен от стеной бассейна и обладает повышенной прочностью.

На рис. 219 изображена схема установки бассейнового типа, выполненная в виде сварного металлического бака, устанавливаемого в бетонном колодце.

Для защиты металлического бака от действия ударной волны в данном случае применена так называемая воздушно-пузырьковая защита в виде сплошной завесы из пузырьков воздуха, идущих через отверстия кольцевой трубы, установленной на дне бака и соединенной с компрессором.

Полость матрицы снабжена большим количеством отверстий, соединяющих ее с нижней полостью, присоединяемой к вакуумному насосу. Отверстия служат для удаления воздуха из рабочей полости матрицы.

На рис. 220, а изображена схема съемной наземной установки для взрывной штамповки небольших деталей, предназначенная для установки в закрытом помещении.

В случае опытного производства применяют резервуары разовой службы, представляющие собой картонный бак или полиэтиленовый мешок, наполняемые водой (рис. 220, б).

Дальнейшее развитие листовой штамповки взрывом внесло существенные изменения в технологические процессы штамповки взрывом и конструкцию применяемых

¹ Пухтовников Р. В., А. с. № 157957.

установок. Взрывная штамповка в бассейнах стала вытесняться другими установками (бронями и броникамерами). Основной причиной такой замены является:

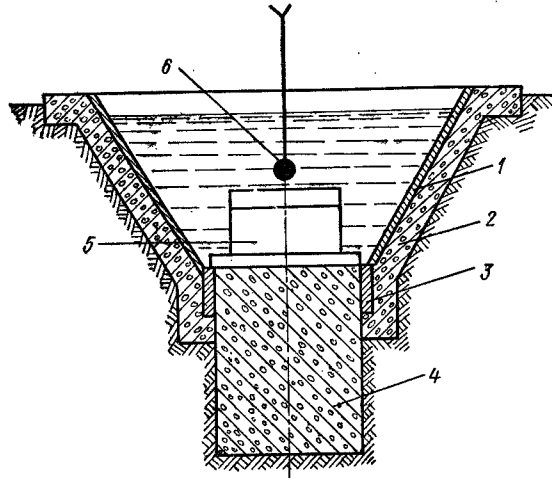


Рис. 218. Схема бассейна конструкции Харьковского авиационного института:
1 — стальная обшивка; 2 — бетонный бассейн; 3 — гидронизоляция; 4 — заглубленный фундамент; 5 — штамп; 6 — заряд ВВ

высокая стоимость бассейна (от 40 до 60 тыс. руб.) и необходимость применения мощных транспортных средств. Другим недостатком штамповки в бассейнах — это

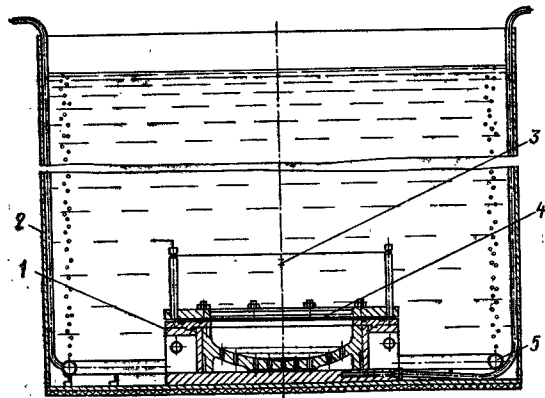


Рис. 219. Установка для взрывной штамповки с воздушно-пузырьковой защитой:
1 — штамп; 2 — бак; 3 — заряд ВВ; 4 — заготовка; 5 — воздушная труба

повреждение мощными сейсмическими волнами близкорасположенных зданий и сооружений.

В результате возникла тенденция перехода на безбассейновую штамповку. Вначале были применены так называемые брони, углубленные в землю на 3—5 м.

Наиболее совершенными установками являются подвижные броникамеры, расположенные на поверхности земли. Стенки броникамеры предохраняются от разрушения водяной защитой. Для уменьшения объема воды, наливаемой в штамп над

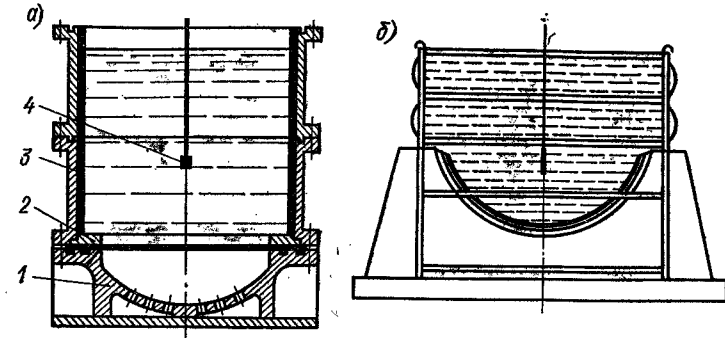


Рис. 220. Съемные установки для штамповки взрывом небольших деталей:
1 — штамп; 2 — заготовка; 3 — бак; 4 — заряд ВВ

заготовкой, используется плоский заряд ВВ. Размеры броникамеры примерно равны 3 × 4 м, высотой около 3 м.

На рис. 221 изображена броникамера конструкции Харьковского авиационного института [92]. Корпус камеры 2 передвигается на колесах 1 по направляющим,

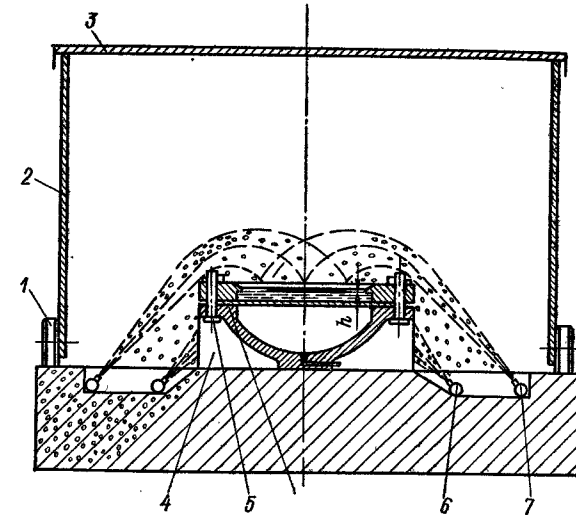


Рис. 221. Подвижная броникамера

Крышка камеры 3 подвижная и может перемещаться вверх по направляющим. В центре броникамеры установлена матрица 4 с прижимным устройством 5.

Для предохранения стенок броникамеры от разрушения при взрыве больших зарядов ВВ (свыше 1 кг) применяется водяная завеса. Вокруг матрицы уложены два трубопровода — коллектора 6 и 7 с большим количеством форсунок для распыления воды.

Гашение воздушной ударной волны осуществляется сплошной завесой из водяных струй. При штамповке крупногабаритных изделий вместо заливки воды над заготовкой целесообразно накладывать на нее полиэтиленовые мешки, наполненные водой и снабженные зарядами ВВ. В последнее время для взрывной штамповки созданы установки с замкнутой взрывной камерой.

Взрывная штамповка требует выполнения специальных расчетов: требуемой работы деформирования, энергоносителя и расчета оснастки.

Расчет потребной энергии и массы заряда приведены в работах [91; 153]. Общие основы для проектирования оснастки для взрывной штамповки изложены в [153].

Штампы для взрывной штамповки представляют собой матрицу, имеющую рабочую полость соответствующей формы, с отверстиями для удаления воздуха. Для деталей небольших и средних размеров обычно применяют металлические литые или сварные матрицы. Для крупногабаритных деталей металлические матрицы тяжелы и дороги. В этом случае их зачастую выполняют из дерева или железобетона с облицовкой стеклопластиком (на оксидной основе). Стоимость железобетонных матриц для штамповки днищ диаметром 1200 и 1500 мм в два раза меньше стоимости металлических матриц.

В качестве взрывчатого вещества обычно используют тротил (тринитротолуол, тол), являющийся бризантным взрывчатым веществом нормальной мощности. Он может применяться в литом, прессованном и сыпном виде. Скорость детонации тротила — 7000 м/с. Давление подводного взрыва около 133 000 кгс/см². Скорость формообразования до 100 м/с, что позволяет штамповать высокопрочные малодеформируемые сплавы с большей степенью упрочнения и минимальным пружинением.

Форма заряда определяется конфигурацией штампуемой детали. Заряды должны изготавливаться обученным персоналом в специальных помещениях. Тротил довольно безопасен в обращении, хорошо переносит транспортировку, от зажигания горит без взрыва, но полностью и мгновенно взрывается от капсюля детонатора.

Взрывная штамповка применяется также для резки листового металла детонирующим шнуром, пробивки отверстий, клепки и сварки, поверхностного упрочнения, чеканки и гравировки, объемной штамповки. Для штамповки взрывом изделий из высокопрочных и жаропрочных сплавов повышенной крупности (титановые, молибденовые сплавы) получила применение горячая штамповка взрывом с подогревом заготовки (для титана до 6000° С) электронагревом, инфракрасными лампами, в соляной ванне, теплотой химической реакции. Передаточной средой при горячей штамповке взрывом обычно служит песок. В этом случае отпадает необходимость сооружения бассейна и прочих гидротехнических устройств. Вследствие этого указанный способ может быть использован и при холодной взрывной штамповке. Для взрывной штамповки небольших деталей может быть применена и вода, при нижнем расположении резервуара с водой, над которым устанавливается нагретая заготовка и массивная матрица дном кверху.

При горячей взрывной штамповке иногда применяется штамповка в раскаленном до 900—1000° С песке. Однако это требует предотвращения самопроизвольного загорания заряда ВВ, поэтому необходимо термоизолировать его соответствующими материалами.

При штамповке тонколистовых молибденовых сплавов применяется оригинальный способ нагрева заготовки в собранном штампе с установленным зарядом ВВ. Источником нагрева является пиротехнический состав, нанесенный на поверхность заготовки и поджигаемый огнепроводным шнуром непосредственно перед взрывом заряда ВВ. Нагрев молибденовой заготовки толщиной 1 мм пиротехническим составом до 360—380° С происходит за 25—30 с [154].

Высокие давления, развиваемые при взрыве бризантных ВВ, применяются также для резки и пробивки листового металла и толстых заготовок.

Необходимо указать на некоторые способы пробивки и резки:

- 1) пробивка отверстий кумулятивной струей, образующейся при взрыве кумулятивных зарядов бризантных ВВ;
- 2) резка листового металла с помощью контурных зарядов листовых и шнуровых зарядов бризантных ВВ, накладываемых на заготовку;
- 3) резка толстых заготовок и проката с помощью линейных зарядов ВВ, накладываемых вдоль линии реза,

Новым промышленным способом является пробивка и резка толстых заготовок при использовании особой кумулятивной формы взрыва, позволяющей получить колоссально высокие скорости движения кумулятивной струи — порядка 12—15 км/с, т. е. выше второй космической скорости (11,2 км/с). Для этого применяются специальные кумулятивные заряды, имеющие коническую (или двойную обратно коническую) выемку в заряде ВВ, облицованную металлической оболочкой.

При детонации кумулятивного заряда энергия продуктов детонации концентрируется вдоль оси заряда и вызывает сжатие металлической облицовки и образование кумулятивной струи колоссальной скорости и весьма высокого давления, что во много раз превосходит прочность любого твердого вещества. В результате действия кумулятивной струи происходит образование отверстия, а при удлиненной форме кумулятивного заряда — резка проката и толстых заготовок.

В лабораторных условиях достигнута высокая скорость кумулятивной струи — 100 км/с, т. е. выше диапазона метеорных скоростей (11,2 до 73 км/с).

При работе с кумулятивными зарядами необходимо предохранять кумулятивную струю от действия атмосферного воздуха, в котором она быстро сгорает. Защита может быть создана оболочкой из нейтральных газов, или вакуумированием.

К штамповке взрывом может быть отнесена штамповка взрывом (горением) газовых смесей или порохов. В этом случае происходит не детонация, а процесс химического сгорания в окислителе, содержащемся в газовой смеси и порохе. Скорость продуктов горения здесь в три раза меньше, чем у детонации ВВ, а время действия волны давления на заготовку измеряется уже миллисекундами.

В ряде случаев использование газовых смесей или порохов более целесообразно, чем бризантных ВВ, например при формовке тонкостенных деталей из пластичных металлов.

Воспламеняющиеся смеси газов как энергоноситель имеют следующие преимущества:

- 1) более однородное давление, которое можно легко изменять в широком диапазоне;
- 2) возможность быстрой перезарядки камеры сгорания.

Штамповка газовой смесью производится в закрытой полости штампа, подключаемой к камере сгорания.

Наиболее доступными и экономичными смесями являются кислородно-ацетиленовые, кислородно-водородные и кислородно-метановые смеси, обладающие высокой теплотворной способностью. При сжигании в замкнутой емкости смеси воспламеняющихся газов могут протекать два основных вида реакции:

- 1) адиабатическое сгорание, когда химическая реакция протекает во всем объеме, а скорость продуктов горения невелика;
- 2) газовая детонация, когда реакция протекает со сверхзвуковой скоростью и распространяется в детонационной форме. Пламя представляет собой узкую (тонкую) зону, отделяющую участок с закончившейся химической реакцией от участка с несгоревшим газом.

Газовая смесь зажигается с помощью обыкновенной автомобильной свечи, подключенной к источнику тока высокого напряжения. Горючий газ и кислород поступают из обычных баллонов через редукторы.

В аналогичных случаях для штамповки тонколистовых металлов применяют штамповку давлением пороховых газов, имеющую те же преимущества, что и штамповка газовой смесью. Деформация заготовки осуществляется в герметически закрытой камере, в которой происходит расширение пороховых газов. Сгорание пороха обычно происходит в особой камере сгорания, соединенной с рабочей камерой. В зависимости от типа установки штамповка пороховыми газами может осуществляться или непосредственным давлением газов, или через жидкость.

Получили практическое применение ручные устройства для запрессовки и развальцовки труб, пробивки отверстий, клепки и других операций, работающих на пороховых зарядах.

В отдельных случаях для штамповки листового металла в качестве энергоносителя используют сжиженные газы. Рабочее давление достигается благодаря быстрому испарению жидкого газа и переходу его в газообразное состояние,

Наиболее доступным газом является жидкий азот, имеющий температуру кипения — 196°C . При испарении 1 л жидкого азота получается около 690 л газообразного. Скорость испарения можно увеличить, вспыскивая распыленный жидкий азот в воду. В данном случае происходит мгновенное испарение азота, вызывающее ударную волну.

Штамповка электрогидравлическим разрядом [29; 71]

Наряду с взрывной штамповкой получил применение способ формовки высоковольтным электрическим разрядом в воде. В его основу положен электрогидравлический эффект, открытый советским изобретателем Л. А. Юткиным [191].

Энергия, необходимая для электрического разряда, накапливается в высоковольтной конденсаторной батарее (35 000—40 000 В). Накопленная энергия (от 30 до 120 кДж) создает между электродами мгновенный разряд длительностью 0,00004 с, вызывающий ударную волну в жидкости, которая деформирует заготовку.

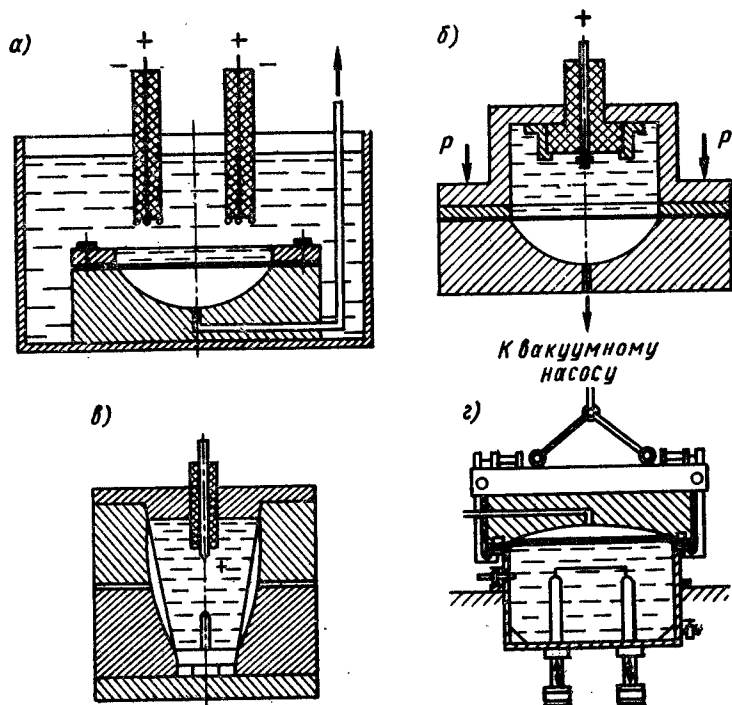


Рис. 222. Различные способы электрогидравлической штамповки

Электрогидравлическая штамповка имеет ряд преимуществ перед взрывной штамповкой:

- 1) лучшая управляемость процессом за счет варьирования количества импульсов и местоположения разрядных контуров;
- 2) возможность изменения энергии импульса;
- 3) возможность осуществления многократного разрядного импульса;
- 4) размещение электрогидравлических установок в производственных помещениях,

Электрогидравлической штамповкой осуществляются следующие операции: вытяжка, листовая формовка, отбортовка, растяжка полых деталей, пробивка отверстий, развальцовка труб в трубных досках и т. п.

Штамповка производится различным способом: или в открытой емкости (рис. 222, а), или в закрытом объеме (рис. 222, б и в). Более производительны электрогидравлические установки с нижним расположением электродов (рис. 222, в).

В последней схеме для увеличения искрового промежутка концы электродов соединены проволочкой, инициирующей разряд, что позволяет приблизить зону разряда к заготовке и увеличить рабочее давление. Эти установки позволяют штамповать детали размером до 2000 мм, толщиной до 3 мм.

При штамповке деталей из плоских заготовок в качестве отрицательного электрода может быть использован заземленный корпус установки. При штамповке деталей типа оболочек положительный электрод помещается внутри заготовки, а в качестве отрицательного электрода также может использоваться корпус установки.

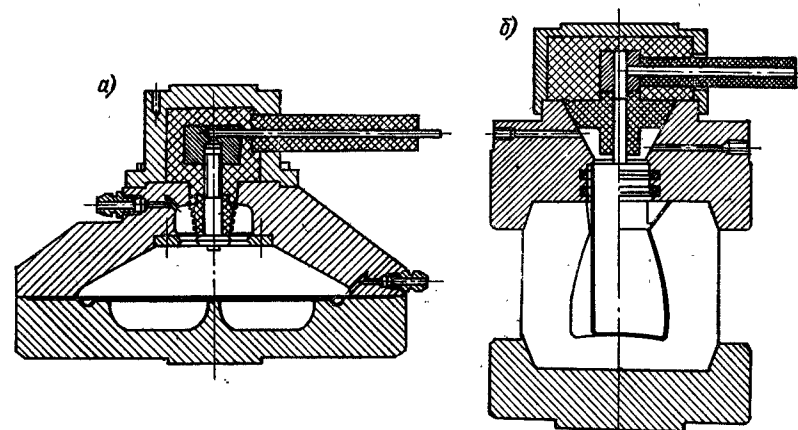


Рис. 223. Типовая оснастка для прессы „Удар-12“

При штамповке крупногабаритных деталей целесообразно применять многоконтурную схему разряда.

Установки для штамповки высоковольтным электрическим разрядом состоят из источника питания, включая высоковольтный трансформатор с выпрямительным устройством, конденсаторной батареи, шарового разрядника и технологической установки, состоящей из матрицы, прижимного устройства, электродов, вакуум-насоса.

При разрядке должна строго соблюдаться определенная полярность: острие (+), плоскость (−). При обратной полярности разряд не сопровождается электрогидравлическим эффектом.

В СССР освоено производство гаммы крупных электрогидроимпульсных прессов моделей ПЭГ-25, ПЭГ-60, ПЭГ-100 и ПЭГ-150 с запасаемой энергией 32; 60; 112 и 150 кДж, а также небольшие электрогидравлические прессы „Удар-12“, Т1220 с запасаемой энергией разряда 10 кДж и прессы „Удар-20“ с энергией разряда 20 кДж, предназначенные для штамповки небольших деталей.

Наиболее перспективно применение электрогидроимпульсной штамповки для изготовления крупногабаритных деталей — размерами от 400×400 до 1300×1800 мм. Электрогидроимпульсной обработке подвергаются различные, в том числе труднодеформируемые металлы и сплавы.

На рис. 223 приведена типовая оснастка прессы „Удар-12“: для штамповки плоской заготовки (рис. 223, а) и для трубчатой заготовки (рис. 223, б). Оснастка представляет собой взрывную камеру, заполняемую водой, выполняющей роль пуансона. Ударная волна создается энергией электрического разряда.

Магнитно-импульсная штамповка [98; 154]

Магнитно-импульсная штамповка характерна тем, что давление на деформируемую металлическую заготовку создается непосредственным воздействием импульсного магнитного поля, без участия промежуточных твердых, жидких или газообразных тел. Это позволяет штамповать детали из полированных и лакированных заготовок без повреждения поверхности, а также деформировать заготовки, заключенные в герметическую пластмассовую оболочку.

Магнитно-импульсная обработка основана на мгновенном разряде электроэнергии, накопленной в конденсаторной батарее, через соответствующий индуктор, являющийся рабочим органом. При этом в цепи индуктора протекает импульс тока,

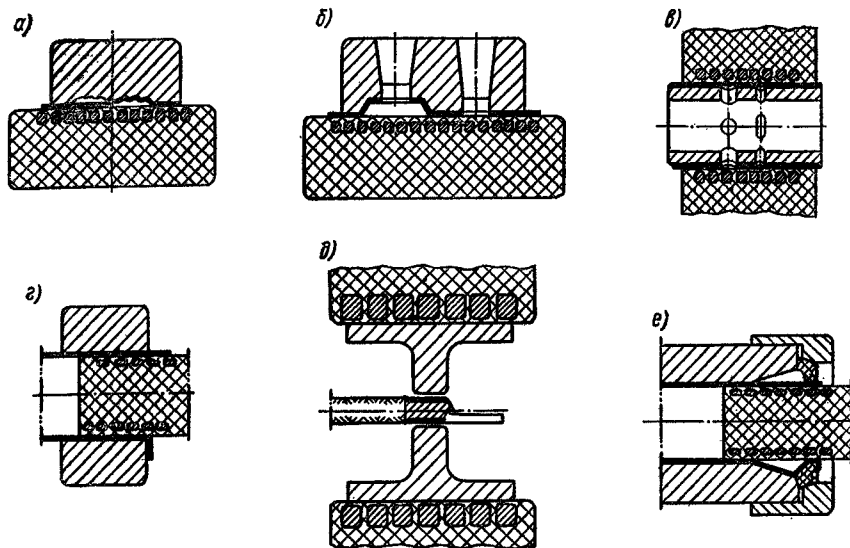


Рис. 224. Различные операции, выполняемые магнитно-импульсной штамповкой: а — формовка; б — пробивка и отбортовка; в — пробивка отверстий; г — сборка с развальцовкой отбортовкой; д — обжатие кабельных наконечников; е — раздача трубы и сборка с фланцем

а в окружающем индуктор пространстве возникает импульсное магнитное поле высокой напряженности. Это магнитное поле индуцирует вихревые токи противоположного направления в металлической заготовке, помещенной вблизи индуктора.

При взаимодействии мощного поля индуктора с индуцированным в заготовке током и его магнитным полем возникают электромеханические (пондеромоторные) силы взаимодействия, стремящиеся оттолкнуть заготовку от индуктора и вызывающие ее деформацию. Магнитный импульс длится от 10 до 20 мкс, создавая давление от 3500 до 39 000 кгс/см². Так же, как и при штамповке взрывом, длительность магнитного импульса во много раз меньше времени деформации заготовки. Поэтому импульсное магнитное поле непосредственно действует на заготовку лишь в начальный момент, после чего дальнейшая деформация заготовки происходит под действием иолученного ею запаса кинетической энергии.

Движущаяся заготовка с высокой скоростью (300—400 м/с) ударяется о матрицу, в результате чего возникают огромные силы соударения, деформирующие заготовку. Импульсная магнитная штамповка получила довольно большое применение в промышленности при выполнении различных операций листовой штамповки: вытяжки, вырубки, пробивки отверстий, отбортовки, развальцовки труб, запрессовки штуцеров, обжатия труб и наконечников на тросах, сборки трубчатых деталей с оправками и т. п. (рис. 224).

Весьма оригинальной операцией, осуществляемой магнитно-импульсной штамповкой, является пресование резьб внутри металлических трубок и тонкостенных втулок по резьбовому болту или шпильке.

Магнитно-импульсная штамповка имеет ряд преимуществ перед другими высокоэнергетическими методами: 1) возможность точного дозирования мощности импульсного разряда путем изменения емкости конденсатора (накопителя); 2) повышенная точность штампуемых деталей; 3) сравнительно высокая производительность процесса; 4) возможность автоматизации и встраивания магнитно-импульсных установок в производственный процесс; 5) возможность выполнения сборочных операций; 6) возможность деформирования заготовок за несколько разрядных импульсов, причем первые импульсы служат для разогрева заготовки и повышения ее пластичности.

Основным рабочим органом при магнитно-импульсной штамповке является индуктор. В условиях единичного (опытного) производства применяют проволочные

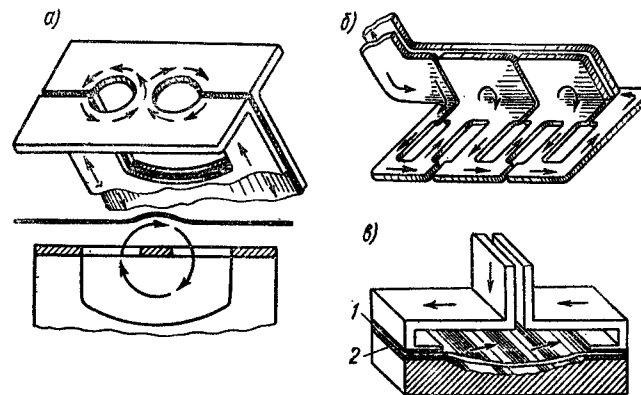


Рис. 225. Типы индукторов: а — двухвитковый; б — для гофрирования; в — с пропусканием импульсного тока через плоскую заготовку; 1 — заготовка; 2 — изоляция

индукторы однократного действия, разрушаемые при прохождении импульса тока. В условиях серийного производства применяют индукторы многократного действия (см. схемы на рис. 224).

На рис. 225 приведены некоторые типы индукторов для штамповки плоских заготовок: двухвитковый индуктор, создающий наибольшее давление в средней части (а); индуктор для гофрирования (б); индуктор с пропусканием импульсного тока через плоскую заготовку (в). В последнем случае основное магнитное поле индуктора взаимодействует с импульсным током, протекающим через заготовку. Резкого увеличения рабочего давления можно достичь, применяя так называемые концентраторы поля (см. рис. 224, д).

Расчет индукторов приведен в специальной литературе.

Индукторы многократного действия изготавливают из материалов высокой электропроводности (медь, бериллиевая бронза и др.) и предохраняют от замыкания витков и контакта с заготовкой, а также от повреждений при разряде изоляцией из армированных стеклопластиков на основе эпоксидных смол. Так как индуктор нагревается импульсным током, то при большой частоте следования импульсов индуктор должен иметь систему охлаждения.

На рис. 226 приведен пример одновременной пробивки 30 отверстий и вырезки центрального окна в кожухе из листового дуралюминия толщиной 1 мм, производимых за две операции магнитно-импульсной штамповки. За первую операцию

вырезается центральное отверстие и пробивается 12 отверстий с торца; а за вторую операцию (со сменой индуктора) — 18 отверстий по окружности.

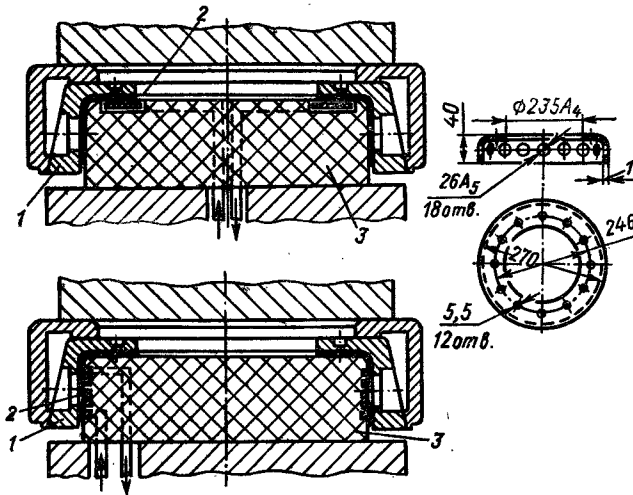


Рис. 226. Примеры освоённых операций штамповки и индукторы к ним: вырезка центрального окна и пробивка 30 отверстий (за две операции с разными индукторами): 1 — матрица (кольцо); 2 — медный индуктор (плоский индуктор однорядковый); 3 — баллиновый корпус

На рис. 227 приведены результаты экспериментальных и производственных процессов магнитно-импульсной штамповки. На рис. 227, а представлена зависи-

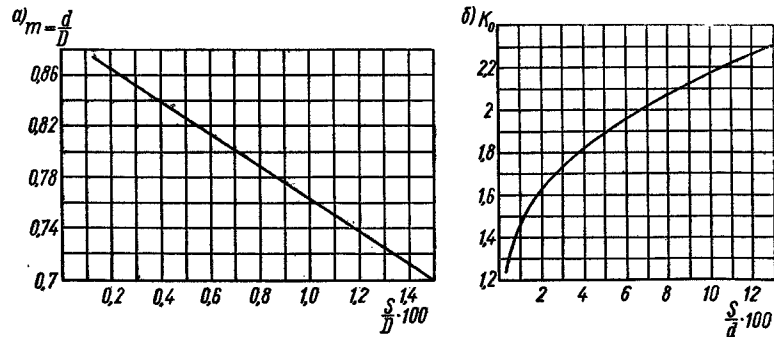


Рис. 227. Зависимость предельного коэффициента вытяжки $m = d/D$ от отношения $(S/D) \cdot 100$ (а) и зависимость предельного коэффициента отбортовки $K_0 = D/d$ от отношения $(S/D) \cdot 100$ (б)

мость предельного коэффициента вытяжки без прижима $m = d/D$ от относительной толщины заготовки $(S/D) \cdot 100$.

На рис. 227, б приведена зависимость предельного коэффициента отбортовки $K_0 = D/d$ от относительной толщины $(S/d) \cdot 100$.

Эксперименты были выполнены на материалах Д16АМ и АМг6М толщиной от 0,5 до 2 мм.

Установки для деформирования металла импульсным магнитным полем состоят из следующих устройств: 1) зарядного устройства, состоящего из повышающего высоковольтного трансформатора и выпрямителя; 2) коммутирующего или разрядного устройства; 3) емкостного накопителя энергии (конденсаторной батареи); 4) технологического блока, состоящего из сменного индуктора и рабочего инструмента (матрицы либо оправки).

Основной характеристикой магнитно-импульсных установок является максимальная величина накапливаемой энергии в кДж. В настоящее время созданы установки с запасаемой энергией от 12 до 400 кДж. Наибольшее применение в СССР получили магнитно-импульсные установки МИУ-20/1 с запасаемой энергией 20 кДж.

Магнитно-импульсные установки конструктивно сравнительно просты. Они не имеют движущихся и трущихся частей, а следовательно, надежны в эксплуатации (за исключением недостаточной стойкости конденсаторов). В несколько раз снижается металлоемкость и трудоемкость изготовления оснастки. Вследствие этого магнитно-импульсная штамповка становится экономически эффективной в мелкосерийном и даже опытном производстве.

40. ПРОФИЛИРОВАНИЕ ПОЛОСОВОГО И ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА

Профилирование металла технологически родственно операциям гибки, хотя и не принадлежит к чисто штамповочным операциям, а является обособленным способом производства. Этим способом изготавливают тонкостенные, легкие по массе, но жесткие профили весьма сложной конфигурации и большей длины.

Профили небольших размеров из тонкого металла обычно изготавливают путем профилирования ленты или полосы. Изготовление несложных профилей можно также производить в штампах, длина которых меньше длины профиля, путем последовательной гибки пуансоном и матрицей переменного профиля. Широкие профили из тонкого листового или полосового металла изготавливают на универсально-гибочных машинах, а крупные профили из толстого полосового или листового металла — на специальных листогибочных прессах.

Изготовление профилей из ленты или полосы производится на специальных многороликовых, профилировочных машинах, выполняющих разнообразие профилей открытой, закрытой и полужакрытой конфигурации.

Процесс профилирования на роликовых машинах заключается в постепенном превращении плоской заготовки в форму требуемого профиля при последовательном прохождении полосы или ленты через несколько пар вращающихся фигурных роликов. Количество пар роликов, необходимое для изготовления того или иного профиля, зависит от степени сложности его конфигурации.

Большинство профилировочных стайков имеет основные и вспомогательные ролики. Основные ролики расположены горизонтально и служат для выполнения основной деформации сечения профиля. Вспомогательные (промежуточные) ролики расположены вертикально и служат для направления профиля между основными роликами, а также для дополнительных подгибов.

При построении переходов требуемая ширина полосы определяется путем развертки сечения профиля так же, как в случае гибки, с учетом смещения нейтрального слоя. При изготовлении профилей сложной замкнутой конфигурации с малыми радиусами закруглений необходимо учесть растяжение материала и увеличение ширины ленты, составляющие от 3 до 8% в зависимости от степени сложности профиля. Расчетная ширина полосы проверяется и корректируется экспериментальным путем.

Наиболее сложной задачей является построение профилей деформирующих роликов. Основные принципы построения переходов и методы профилирования роликов следующие.

1. Профиль роликов должен производить равномерную и наиболее рациональную деформацию материала при наименьшем количестве переходов.

2. Построение и подсчет вертикальных и горизонтальных размеров профиля роликов следует производить от выбранной оси профиля, неизменной для всех переходов. Для симметричного профиля такой осью является ось симметрии,

- Сечение профиля разбивается на отдельные участки и подсчитывается длина каждого. Суммарная длина участков, находящихся справа или слева от выбранной оси, должна оставаться постоянной для всех переходов.
- Угол подгиба стенок профиля в каждой паре роликов не должен превышать определенной величины в зависимости от толщины материала: 30—45° при толщине до 1 мм; 25—35° при толщине свыше 2,5 мм.

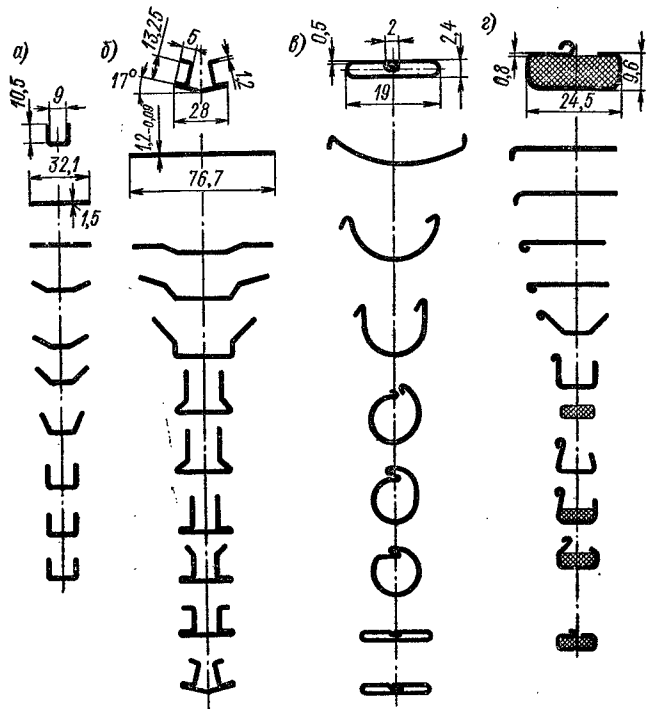


Рис. 228. Последовательность изготовления профилей различного типа: а — открытый; б — полузакрытый; в — закрытый; г — с наполнителем

- Большие значения из указанных применяют для первых пар роликов, а меньшие — для последних, учитывая наклеп металла, полученный в предыдущих переходах. Точные методы расчета допустимых деформаций приведены в специальной литературе.
- Угол поворота конечных закруглений профиля в одной паре роликов не должен превышать 45°.
- Загиб вертикальных стенок должен выполняться отдельно от изгиба конечных закруглений.
- Углы наклона профиля верхнего ролика рекомендуется делать на 1,5—2° больше нижнего.
- Для облегчения перегиба материала при малом внутреннем радиусе изгиба, а также для наметки положения линии изгиба допускается предварительное выдавливание канавок на ленте с внутренней стороны профиля. Для этого на соответствующем ролике делаются выступы высотой $(0,3 \div 0,4) S$.
- Профиль последней пары деформирующих роликов должен учитывать упругую деформацию.

- Для предотвращения осевого смещения ролики рекомендуется делать с бортами, охватывающими борта или выступы сопряженного ролика.
 - Для предотвращения от скручивания или искривления изготавливаемого профиля после выхода из роликов устанавливаются выходные направляющие планки, выпрямляющие профиль.
- Последовательность изготовления различных профилей приведена на рис. 228. Применение профилировочных роликовых машин в зависимости от толщины заготовок указано в табл. 131.

131. Применение профилировочных роликовых машин

Машины	Материал	Размеры заготовок, мм		Машины	Материал	Размеры заготовок, мм	
		Толщина	Ширина			Толщина	Ширина
Легкого типа	Лента	0,3—0,8	До 50	Тяжелого типа	Полосы	До 4,0	До 350
Среднего типа	Лента	До 2,5	До 150	Весьма тяжелого типа	Полосы	До 10,0	До 1000

Для профилирования применяются главным образом холоднокатаные ленты из мягкой стали, нержавеющей стали и цветных металлов и сплавов. Производи-

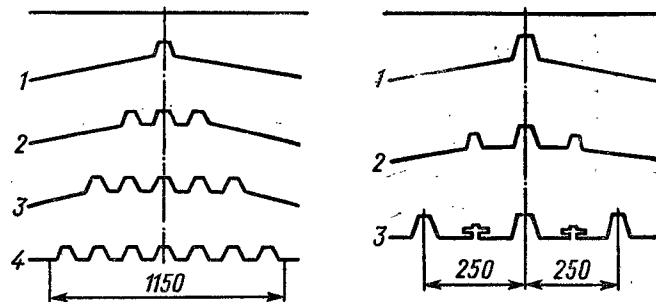


Рис. 229. Последовательность профилирования многоребристых панелей из широкополосной ленты

тельность профилировочных роликовых машин различного типа в зависимости от размеров и степени сложности профиля составляет от 15 до 75 м профиля в минуту. Заводом Запорожсталь освоено производство тонкостенных многоребристых панелей из холоднокатаных стальных полос толщиной 1,2—1,8 мм.

На рис. 229 показана последовательность профилирования некоторых типов многоребристых панелей. Цифрами указаны номера клетей профилировочного стана. Профилирование начинается со средних рифтов, постепенно увеличивая количество роликов на последующих ступенях деформирования. Ширина профилированных панелей составляет от 550 до 1200 мм. Длина панелей по требованию (обычно от 8 до 18 м).

Большой новинкой в профилировании явилась облицовка одного из роликов полиуретаном. При этом значительно увеличилась общая степень деформации и сократилось количество переходов.

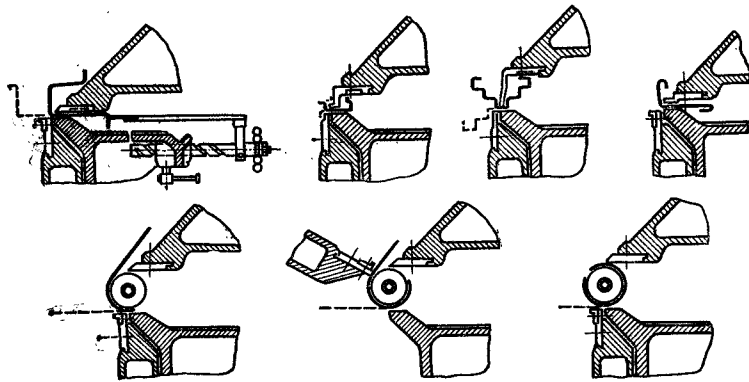


Рис. 230. Профилирование полосового материала на универсальных листогибочных машинах

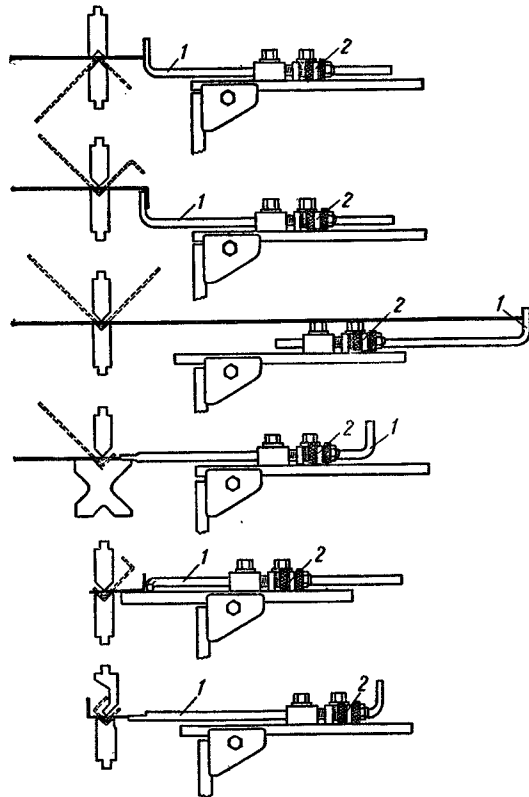


Рис. 231. Примеры изготовления разнообразных профилей на листогибочных прессах с помощью переставных упоров

В серийном производстве изготовление широких, но коротких профилей из тонкого полосового и листового материалов производится на универсальных листогибочных машинах, позволяющих путем применения съемных линеек (шин) различной формы получать разнообразные как открытые, так и закрытые профили.

На рис. 230 изображено изготовление на универсально-гибочной машине различных профилей открытого, полузакрытого и закрытого сечений.

Листовая заготовка устанавливается по упору и зажимается между столом и линейкой прижимной траверсы. Гибка заготовки производится поворотом подвижной траверсы.

В СССР освоены листогибочные машины с программным управлением, имеющие значительно повышенную производительность. На специальном устройстве заранее устанавливается угол гибки (поворота подвижной траверсы) и автоматического останова на шести круговых шкалах. На горизонтальной шкале устанавливаются величины последовательных перемещений упорной линейки.

При помощи указанных устройств можно изготавливать на автоматическом режиме профили из шести различных углов и радиусов гибки. Эта же машина позволяет работать и на ручном режиме. Наибольшая длина гибки 2000 мм, толщина до 6 мм.

Более крупные профили из толстого листового металла изготавливаются на специальных листогибочных прессах. Различные профили и углы загиба на этих прессах получаются при помощи сменных рабочих инструментов и переставного упора 1 в микрометрической установке 2 (рис. 231).

41. РОТАЦИОННОЕ ВЫДАВЛИВАНИЕ (ДАВИЛЬНЫЕ И РАСКАТНЫЕ ПРОЦЕССЫ)

В некоторых случаях холодноштамповочные операции сочетаются с давальными или накатными операциями, выполняемыми на специальных станках при вращательном движении заготовки (детали), а иногда и деформирующего инструмента. К числу таких операций относятся:

- 1) давальные работы, выполняемые на давальных станках;
- 2) давольно-раскатные процессы, выполняемые на раскатных станках (ротационное выдавливание);
- 3) отбортовочные, фланцеагибочные и кромкообрезные работы, выполняемые на специальных вертикальных двухшпиндельных отбортовочных станках или специальных автоматах.

Давильные работы применяются в мелкосерийном производстве, когда изготовление вытяжных штампов экономически невыгодно и длительно, а также при изготовлении пустотелых деталей выпукло-вогнутой конфигурации и т. п.

На давольных станках выполняют следующие операции: выдавливание пустотелых деталей, являющихся телами вращения; проглаживание поверхностей деталей после ступенчатой вытяжки конических деталей; выдавливание узких горловин на цилиндрических заготовках, обрезка и завивка кромок и т. д. Экспериментально установленная частота вращения шпинделя давольных станков приведена в табл. 132.

Поверхность выдавленных деталей обычно носит следы давольника и соответствует 6—7-му классу шероховатости поверхности. Для получения более гладкой поверхности по окончании выдавливания особым давольником производят проглаживание наружной поверхности или шабером снимают тонкую стружку (0,02—0,05 мм). Точность выдавленных деталей обычно находится в пределах 0,001—0,002 их диаметра,

132. Частота вращения шпинделя давольных станков

Металл	Частота вращения шпинделя, об/мин
Мягкая сталь	400—600
Алюминий	800—1200
Дуралюмин	500—900
Медь	600—800
Латунь	800—1100

Примечание. Меньшие значения применяются для металлов толщиной более 1 мм.

Процесс выдавливания на давилных станках более сложен и менее изучен, чем другие процессы обработки металлов давлением. При выдавливании неглубоких деталей с небольшим отношением D/d процесс выдавливания может быть выполнен непрерывным поворотом давилника и движением его конца от прижима вдоль образующей патрона (оправки).

При изготовлении глубоких деталей с большим отношением D/d выдавливание производится возвратно-поступательным движением давилника на отдельных участках заготовки. Для предотвращения образования складок с противоположной (внутренней) стороны заготовки вводят деревянный или металлический упор или производят разглаживание конического фланца двумя давилниками, помещенными с обеих сторон заготовки.

Выдавливание конических деталей возможно осуществить при предельном отношении

$$d_{\min}/D = 0,2 \div 0,3,$$

где d_{\min} — наименьший диаметр конуса.

Выдавливание цилиндрических деталей обычно производят при отношении относительной толщины заготовки. Меньшие значения относятся к толщине заготовки (S/d) 100 = 2,5, а большие — к толщине (S/d) 100 = 0,5 (где d — диаметр детали).

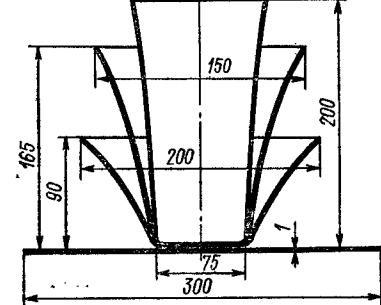


Рис. 232. Выдавливание за несколько последовательных операций (коэффициент вытяжки по наибольшему диаметру $m_1 = 0,67$; $m_2 = 0,75$; $m_3 = 0,77$)

физических усилий от рабочего. Поэтому весьма актуальны работы по автоматизации давилных процессов. В настоящее время оформились два направления автоматизации.

Первое направление заключается в использовании для выдавливания токарных гидроконтролируемых полуавтоматов 1722 и других, копирующая система которых обеспечивает перемещение давилного ролика по заданной траектории [81].

На рис. 234 показана схема выдавливания конусной детали на токарном полуавтомате. В данном случае зазор между давилной оправкой и роликом равен толщине заготовки. При этом способе отсутствуют меры, направленные на предотвращение потери устойчивости фланца и образования складок, осуществляемая степень деформации здесь не велика: для цилиндрических деталей $m_1 = 0,7 \div 0,8$, а на последующих операциях $m_n = 0,78 \div 0,9$. Поэтому при изготовлении глубоких деталей из тонкого материала при этом способе выдавливания требуется многооперационный процесс и несколько сменных патронов.

Второе направление автоматизации заключается в создании давилных автоматов, в которых выполняется целый ряд переходов, необходимых для выдавливания глубоких деталей на вращающейся оправке (рис. 235).

Процесс выдавливания состоит из сочетания начальных (А), промежуточных (В) и конечных переходов (С). В начальных переходах производится закругление кромки фланца для повышения его устойчивости на последующих переходах. Полу-

автомат выполняет два вида промежуточных переходов: нечетные с движением ролика к фланцу, и четные — с движением к оправке. В нечетные переходы увеличи-

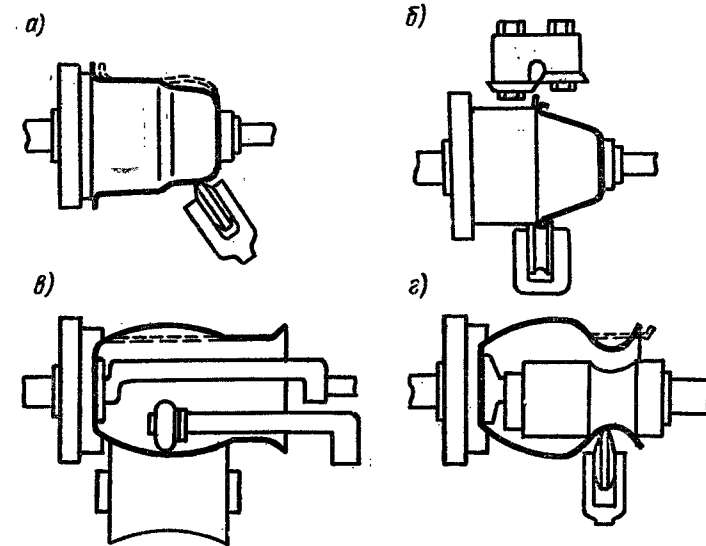


Рис. 233. Различные виды давилных работ: а — выдавливание по патрону дисковым роликом; б — обрезка фланца и закатка кромок; в — выпуклое выдавливание изнутри по наружному ролику; з — вогнутое выдавливание горловины

вается угол α и уменьшается диаметр фланца; в четные переходы уменьшается ширина фланца за счет посадки его на оправку. На конечных переходах производится

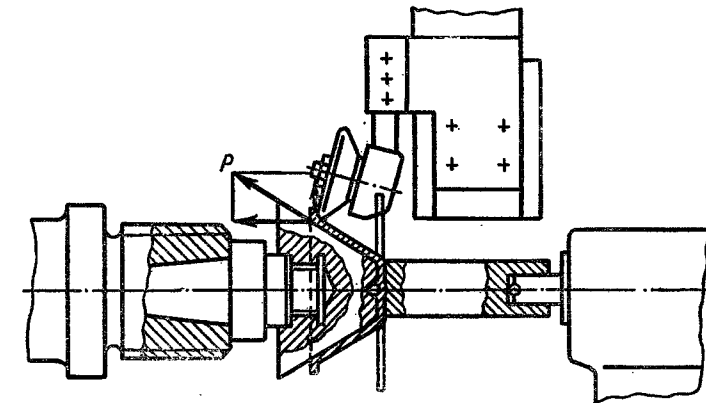


Рис. 234. Схема выдавливания конусной детали на полуавтомате

проглаживание поверхности детали давилником и подготовка края фланца к заливке или к обрезке. Этот способ позволяет получить весьма глубокие детали из тонколистового металла за одну установку.

Более совершенные давилные автоматы снабжены системой числового программного управления (фирмы „Ляйфельд“, ФРГ).

Сравнительно недавно создан новый способ ротационного выдавливания или выдавливания с раскаткой роликами крупных полых деталей цилиндрической, конической, параболической и других форм из толстой плоской заготовки.

Ротационное выдавливание — раскатка производится в холодном состоянии на специальных мощных раскатных станках с гидравлическим приводом перемещения роликов вдоль образующей. Сущность

этого способа заключается в раскатке роликами толстой заготовки по вращающейся стальной оправке без деформации фланца заготовки при неизменной величине ее диаметра. Это возможно при условии раскатки и утонения металла до строго заданной толщины детали, зависящей от угла конуса $S = S_0 \sin \alpha$. Так, для конических деталей с углом при вершине $2\alpha = 30^\circ$ толщина стенки должна составлять $S = 0,26S_0$.

На рис. 236, а приведен способ раскатки конической оболочки с одинаковой толщиной стенок конуса. В этом случае заготовка по всему диаметру берется одинаковой толщины $S_0 = S/\sin \alpha$. Площади залитых участков равны.

На рис. 236, б показана схема раскатки конических оболочек переменной толщины. В данном случае заготовка

должна быть переменной толщины $S_{0\text{пер}}$, определяемой по той же формуле, но при переменной величине $S_{\text{пер}}$. В последнем случае необходимо подсчитать толщину заготовки для ряда точек по радиусу.

В положении II показаны эпюры переменного сечения заготовки: в верхней части для конической оболочки с утоненной вершиной, а в нижней части — с утолщенной вершиной конуса. Но так как такие сечения заготовки весьма трудно деформировать раскаткой роликами, то в положении I показаны технологичные формы заготовок равновелбного сечения (по горизонтали), предварительно подготовленные выдавливанием или штамповкой.

На рис. 236, в приведена схема процесса „Юнискен“ ротационного выдавливания конусов из плоской заготовки без конической оправки. Здесь плоская заготовка закрепляется на вращающемся плоском диске. Обкатной ролик перемещается от центра к периферии заготовки и производит раскатку с утонением и увеличением поверхности металла, который выдавливается к центру заготовки, отделяется от диска и образует деталь конической формы.

На рис. 237 приведены схемы ротационного выдавливания полых деталей других конфигураций.

На рис. 237, а показана схема раскатки полусферической детали принципом деформирования металла заготовки. При неизменном диаметре фланца деталь получит разную толщину в разных сечениях в зависимости от угла α , определяющего данное сечение.

Для того чтобы получить одинаковую толщину стенок детали, необходимо рассчитать и применить заготовку переменной толщины, как показано на рис. 237, б.

В ряде случаев, особенно при раскатке глубоких параболических оболочек, плоская форма заготовки неудобна как для изготовления, так и для деформирования. В этом случае применяют заготовку, полученную предварительной штамповкой или обычным выдавливанием, как показано на рис. 237, в. На рис. 237, г приведена схема раскатки глубокой цилиндрической детали из предварительно отштампованного стаканчика. При этом высота раскатанной детали $h_1 = h_0 (S_0/S_1)$.

Допустимая степень деформации (обжатия) при изготовлении раскаткой конусов из малоуглеродистой и нержавеющей стали не должна превышать 70—75%,

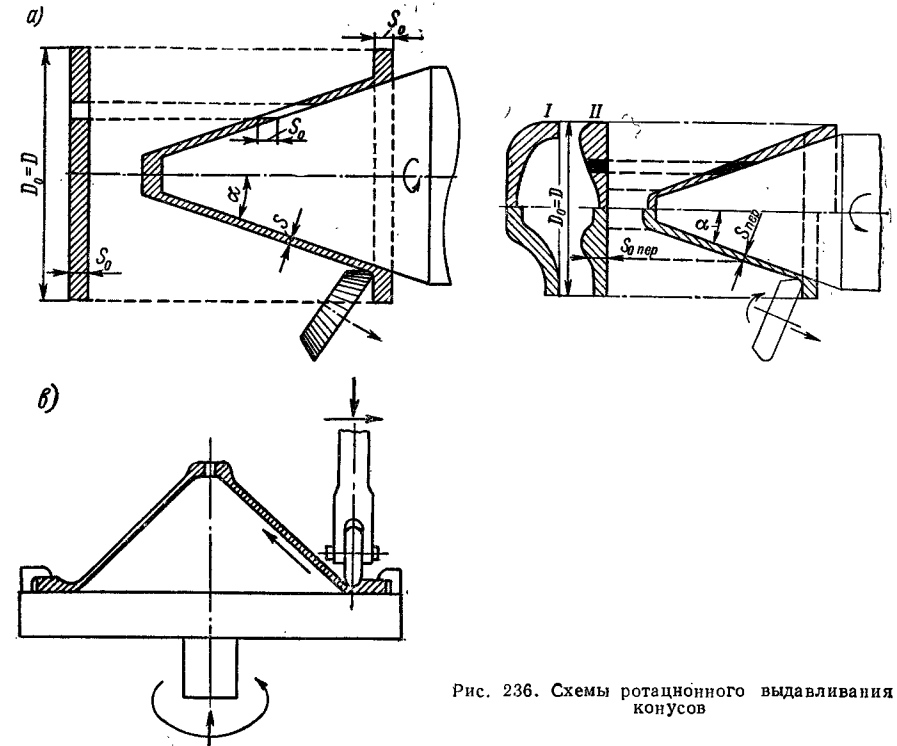


Рис. 236. Схемы ротационного выдавливания конусов

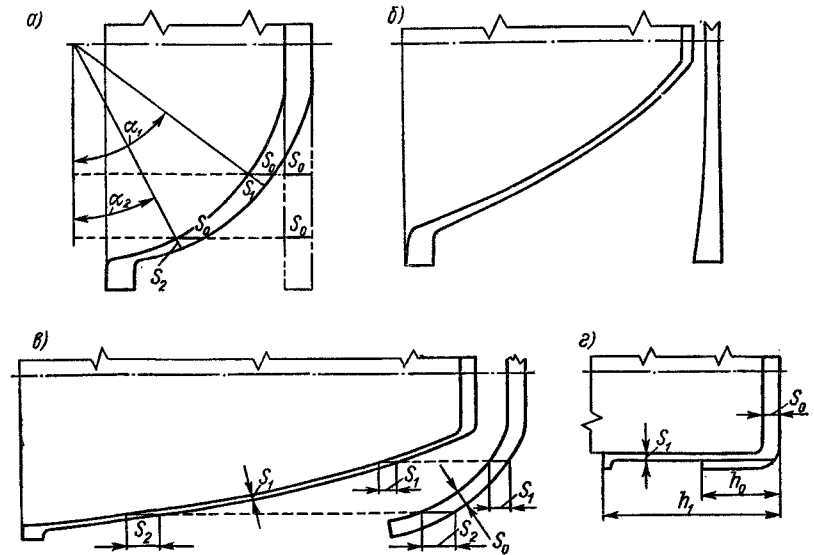


Рис. 237. Схемы ротационного выдавливания полых деталей различных конфигураций

а при изготовлении тем же способом полушарий — 50%. Однако на практике предпочитают применять при изготовлении конусов степень деформации в 50%. Вследствие этого изготовление конусов с малым углом осуществляют за две операции на оправках с различной конусностью.

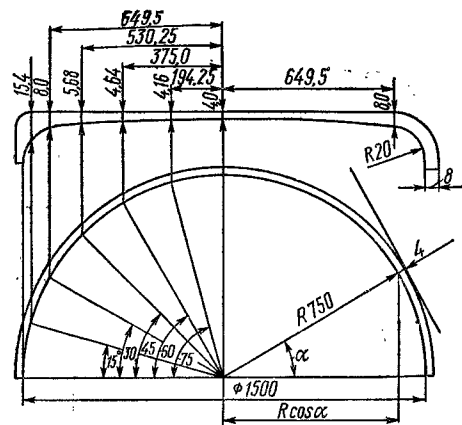


Рис. 238. Способ и пример расчета сечения заготовки для изготовления сферической оболочки

При раскатке сферических оболочек неизменной толщины подсчеты сводятся к вычислению для большого количества точек значений:

$$S_0 = \frac{1}{\sin \alpha} S = xS; \quad r_t = R \cos \alpha.$$

Для упрощения вычислительных работ значения коэффициента x подсчитаны с высокой точностью при изменении угла α от 0 до 90° с интервалом 10°. В табл. 133 приведены значения x для углов α , взятых с большим интервалом (для 30 точек по радиусу).

На рис. 238 приведен пример расчета и построения заготовки переменной толщины для изготовления сферической оболочки диаметром 1500 мм, толщиной 4 мм. На этом рисунке показано всего лишь несколько сечений, определяемых углами в 15, 30, 45, 60 и 75° (вспомогательная таблица позволяет найти свыше 1000 сечений по диаметру заготовки). Расчетная толщина заготовки для углов в 30° получается весьма большой и технологически не деформируемой.

В результате плавного изменения толщины заготовки степень обжатия в разных точках заготовки будет различной. Однако не рекомендуется применять обжатие больше 50%. Следовательно, наибольшая толщина заготовки для данного примера должна быть $S_0 = S/0,5 = 8$ мм.

133. Значение коэффициента $x = 1/\sin \alpha$ для расчета переменной толщины заготовки при раскатке сферических оболочек

Угол α, \dots°	Значение x	Угол α, \dots°	Значение x	Угол α, \dots°	Значение x
5	11,468	30	2,000	55	1,220
8	7,184	32	1,887	57	1,192
10	5,760	35	1,174	60	1,155
12	4,810	37	1,661	70	1,103
15	3,864	40	1,556	75	1,064
17	3,420	42	1,494	80	1,035
20	2,924	45	1,414	80	1,015
22	2,669	48	1,356	85	1,004
25	2,366	50	1,305	89	1,0006
27	2,203	52	1,269	90	1,000

Это обжатие соответствует точке окружности, радиус которой наклонен к горизонтальной под углом $\alpha = 30^\circ$.

Для раскатки периферийной части полушария (с соблюдением правила синусов) необходимо отогнуть фланец обработанной заготовки, как это показано на рис. 238, справа с тем, чтобы этот изгиб давал равновеликие сечения в точках, находящихся между углом 30° и горизонталью, и обеспечивал достаточный объем металла для образования периферийной части полушария.

Автором предложен метод расчета заготовок для параболических оболочек постоянной толщины [112]. Переменная толщина заготовки параболической оболочки находится по формуле

$$S_0 = S \sqrt{x/p + 1} = KS,$$

где p — фокусное расстояние от начала координат (вместо $p/2$).

Задаваясь различными отношениями x/p (0,01; 0,02; 0,03 и т. д. до 11,0), на счетно-вычислительной машине для 200 точек подсчитаны соответствующие значения коэффициентов K . Ординаты точек параболы могут быть определены теми же параметрами и подсчитаны по формуле

$$y = 2p \sqrt{x/p} = 2pC.$$

Значения коэффициентов C также подсчитаны на счетно-вычислительной машине и приведены во вспомогательной таблице. В табл. 134 приведены значения коэффициентов K и C для меньшего количества точек.

134. Значения коэффициентов K и C для расчета переменной толщины заготовки при раскатке параболических оболочек

Отношение x/p	Коэффициенты		Отношение x/p	Коэффициенты		Отношение x/p	Коэффициенты	
	K	C		K	C		K	C
0,02	1,0100	0,1414	0,80	1,3416	0,8944	4,0	2,2361	2,0000
0,05	1,0247	0,2236	0,85	1,3601	0,9220	4,5	2,3452	2,1213
0,10	1,0488	0,3162	0,90	1,3784	0,9487	5,0	2,4495	2,2360
0,15	1,0724	0,3873	0,95	1,3964	0,9747	5,5	2,5494	2,3452
0,20	1,0954	0,4472	1,00	1,4142	1,0000	6,0	2,6457	2,4495
0,25	1,1180	0,5000	1,20	1,4832	1,0954	6,5	2,7386	2,5496
0,30	1,1402	0,5477	1,50	1,5811	1,2247	7,0	2,8284	2,6457
0,35	1,1619	0,5916	1,80	1,6733	1,3416	7,5	2,9155	2,7386
0,40	1,1832	0,6324	2,00	1,7320	1,4142	8,0	3,0000	2,8284
0,45	1,2041	0,6708	2,20	1,7888	1,4832	8,5	3,0822	2,9155
0,50	1,2247	0,7071	2,50	1,8708	1,5811	9,0	3,1623	3,0000
0,55	1,2450	0,7416	2,80	1,9494	1,6733	9,5	3,2404	3,0822
0,60	1,2619	0,7746	3,00	2,0000	1,7320	10,0	3,3166	3,1623
0,65	1,2845	0,8062	3,30	2,0736	1,8166	10,5	3,3912	3,2404
0,70	1,3038	0,8366	3,50	2,1213	1,8708	11,0	3,4641	3,3166
0,75	1,3229	0,8660	3,80	2,1909	1,9494	16,0	4,1231	4,0000

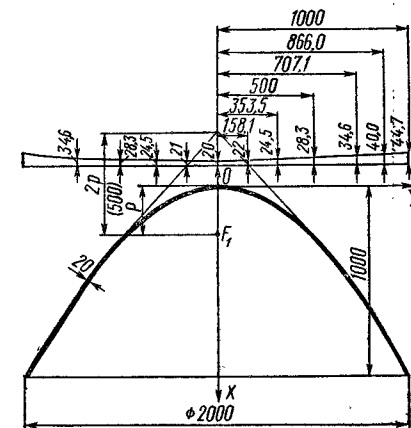


Рис. 239. Способ и пример расчета сечения заготовки для параболической оболочки

На рис. 239 приведен пример построения заготовки переменного сечения для параболической оболочки $\varnothing 2000$ мм, высотой 1000 мм, толщиной 20 мм, используя предложенный метод расчета и коэффициенты, приведенные во вспомогательной таблице. На рис. 239 приведено только шесть сечений заготовки (для $x/r = 0,1; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0$) из 50 точек по табл. 134.

Заготовке для параболических оболочек также может быть придана форма с предварительно отогнутыми бортами.

Ротационное выдавливание (раскатка) выполняется на специальных раскатных станках с гидравлическим перемещением роликов вдоль образующей. Для раскатки небольших деталей применяются станки с горизонтальным, а для крупных деталей — с вертикальным шпинделем. Способ раскатки применяется также для изготовления тонкостенных холоднокатаных труб.

Работа раскатных станков обычно происходит при следующем режиме:

Давление, кгс/см ²	250—280
Наибольшая толщина материала, мм	20
Наименьший угол конуса для нержавеющей стали 2 α , град	30
Наибольшая скорость, м/мин	300
Подача, мм/об	От 0,012 до 2,0
Смазка	Суспензия коллоидного цинка или фосфатирование заготовки
Охлаждение роликов	Водяное

В процессе раскатки конических, параболических и других деталей ролик перемещается к основанию детали, а радиус окружности непрерывно возрастает, следовательно, увеличивается и дуга контакта с роликом. Вследствие этого при движении ролика от центра к окружности заготовки усилие раскатки увеличивается.

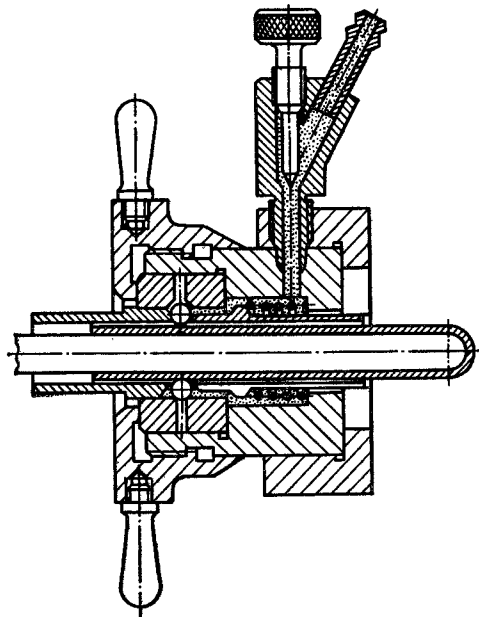


Рис. 240. Раскатная шариковая головка для раскатки тонкостенных деталей малого диаметра

ко проходов (обжатий) до получения стенки толщиной $0,1 \pm 0,01$ мм. Глубина обжатия за один проход составляет 0,08 мм. Раскатка производится на обыч-

Способом раскатки изготавливают различные головки, кольяки, обтекатели и другие детали газовых турбин реактивных самолетов, ракет и т. п. из дуралюмина, нержавеющей стали и жаропрочных сплавов.

Выдавливание раскаткой роликами позволило упростить технологию изготовления крупных деталей указанной формы и получить большую экономию дорогих нержавеющей и жаропрочных сплавов.

Способ раскатки получил применение также для изготовления весьма тонкостенных деталей малого диаметра (2—3 мм) из нержавеющей стали 08X18H10, а также из молибденовых сплавов ЦМ-2А [60].

Рабочим инструментом является регулируемая шариковая раскатная головка (рис. 240). Раскатка выполняется по закаленной хромированной оправке за несколько проходов (обжатий) до получения стенки толщиной $0,1 \pm 0,01$ мм. Глубина обжатия за один проход составляет 0,08 мм. Раскатка производится на обыч-

новейших токарных станках, позволяющих получить осевую подачу 0,02 мм/об при $n = 1800$ об/мин.

Способ раскатки шариками применяется также при изготовлении тонкостенных труб для сифонов и других деталей.

В Тюменском индустриальном институте¹ создан новый оригинальный способ утонения стенок трубчатых деталей различного поперечного сечения (круг, эллипс, квадрат, прямоугольник и др.). Этот способ позволяет получить более высокие степени утонения по сравнению с вытяжкой и протяжкой, раскаткой шариками или роликами на оправке [72]. Кстати раскатка шариками или роликами на оправке квадратных или прямоугольных труб вряд ли осуществима.

Сущность нового способа утонения заключается в создании особого взаимного движения оправки и охватывающей ее матрицы. Это взаимное движение осуществляется несколькими способами. Наиболее простой способ — синхронное вращение оправки с заготовкой и матрицы, причем ось вращения матрицы наклонена под некоторым углом к оси пуансона-оправки, как показано на рис. 241. Оправке с заготовкой придается одновременно поступательное движение подачи.

При малых подачах по линии АВ возникает пятно контакта заготовки с матрицей. Усилия, действующие на заготовку, смещают пуансон в направлении точки С, где также возникает контакт с матричным отверстием. Так как матрица наклонена под углом α к оси оправки, то она будет совершать качательное движение вдоль оси, а оправка с заготовкой при этом будет постепенно опускаться вниз (проходить в отверстие матрицы). В результате указанных взаимных движений происходит утонение заготовки. Форма оправки и соответствующего ему отверстия матрицы принципиального значения не имеют (например прямоугольник с соотношением сторон 2—2,5).

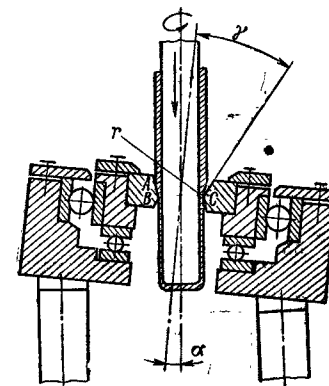


Рис. 241. Способ утонения трубчатых деталей качающейся матрицей

На рис. 242 показана рабочая схема взаимодействия качающейся матрицы с заготовкой круглого сечения.

Таким образом, качающаяся матрица, при одновременном вращении с оправкой и заготовкой производит попеременное двойное утонение заготовки (правое и левое пятно контакта взаимно меняются местами).

В качестве оборудования применены токарные и вертикально-сверлильные станки (до 3000 об/мин). Шероховатость поверхности зависит от величины подачи и радиуса. Наибольшее значение — 7—8-й классы по ГОСТ 2879—73, угол наклона матрицы составляет 2—4°, угол раскрытия матрицы $2\gamma = 16 \div 20^\circ$.

Рис. 242. Схема взаимодействия качающейся матрицы с заготовкой круглого сечения

При малой подаче ($\sim 0,1$ мм) осуществимо пятикратное утонение толщины стенки заготовки за один проход.

¹ Б. А. Гуляев, В. И. Максак, В. И. Черноморченко, В. М. Севастьянов, Ю. И. Смоленс.

Теми же авторами освоено способ утонения тонкостенных трубок двухъярусной качающейся матрицей, при пуансоне-оправке, совершающем лишь относительное вертикальное перемещение. Производственно-технологический эффект удваивается.

Рассмотренный способ утонения стенок трубчатых деталей позволяет упростить технологический процесс.

Наибольший эффект получается при изготовлении весьма тонкостенных деталей большой длины. Затраты на изготовление раскатной головки ничтожны.

42. НАКАТНЫЕ И КРОМКОГИБОЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ

К этой группе относятся следующие виды работ:

1) накатные, кромкозагибочные и завивочные операции, выполняемые на накатных станках горизонтального типа (зигмашинах);

2) обрезные операции, выполняемые на специальных обрезных станках;

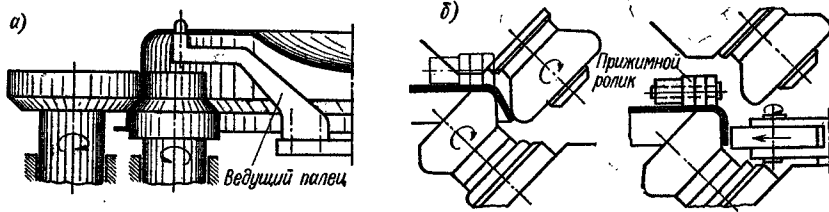


Рис. 243. Отгибка борта на отбортовочном станке (а) и на роликовой машине (б)

3) накатка резьбы на полых изделиях, выполняемая на специальных резьбно-накатных станках в ряде случаев в одной поточной линии со штамповочными автоматами;

4) закаточные работы (соединение двойным швом), выполняемые на специальных закаточных станках и автоматах.

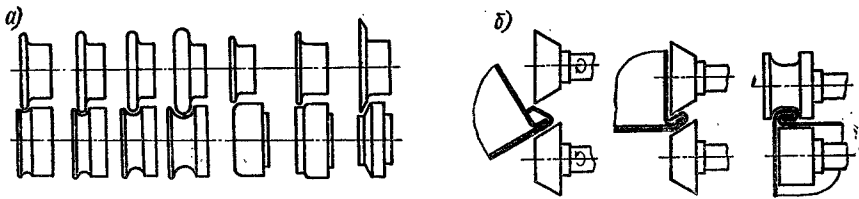


Рис. 244. Комплект роликов для накатного станка (а) и закатка соединительных швов (б)

На рис. 243, а изображен способ отгибки борта на отбортовочном вертикальном двухшпиндельном станке, на рис. 243, б — отгибка борта крупной детали на специальной роликовой машине с наклонными роликами.

Накатные и кромкозагибочные станки (зигмашины) применяются главным образом в жестяничном производстве для накатки всевозможных буртнков, уступов, отгибки кромок и т. п.

На рис. 244, а приведен комплект роликов для накатного станка, а на рис. 244, б — способ закатки двойного шва на простых накатных станках.

На рис. 245 показаны способы обрезки неровного края вытянутых цилиндрических деталей на накатных и специальных обрезных станках: на рис. 245, а — с закреплением разжимной оправкой, на рис. 245, б — с торцовым прижимом обрезаемой детали.

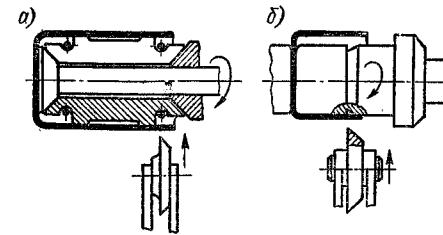


Рис. 245. Обрезка края на накатных станках

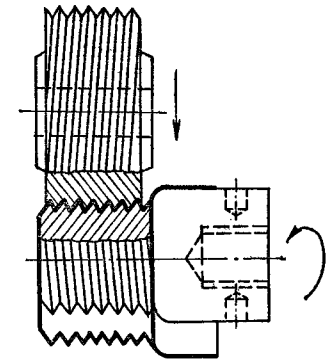


Рис. 246. Накатка резьбы при помощи патрона и ролика

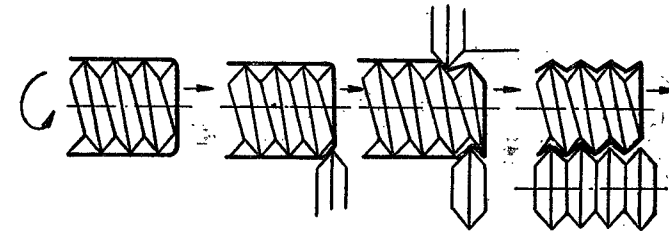


Рис. 247. Накатка резьбы при помощи метчика и накатных роликов

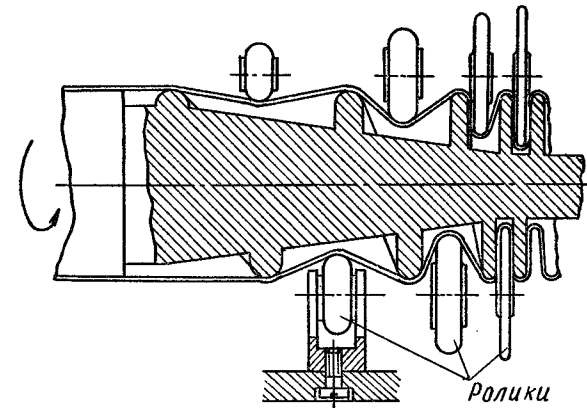


Рис. 248. Накатка гофрированных труб при помощи шнека и патрона с роликами

Накатка (выдавливание) резьбы на полых изделиях получила широкое распространение как метод соединения листовых штампованных деталей в различных штампованных конструкциях. В настоящее время накатка резьбы на полых изделиях применяется в основном в электротехнической промышленности — для накатки так называемой электротехнической резьбы и в производстве предметов широкого потребления (резервуаров, крышек, банок и т. п.) — для накатки мелкой соединительной резьбы.

Первый тип резьбы применяется для диаметров 10; 14; 27; 33 и 40 мм и имеет крупный шаг резьбы: 1,8; 2,8; 3,6; 4,2 и 6,3 мм. Второй тип резьбы применяется для изделий диаметром до 100 мм из тонкого листового металла (0,24—0,35 мм) и имеет мелкий шаг резьбы (от 1 до 1,5 мм).

Существуют три способа накатки (выдавливания) резьбы на полых изделиях:

- 1) накатка при помощи патрона и ролика сразу по всей длине резьбы (рис. 246);
- 2) накатка посредством метчика и накаточных роликов (рис. 247);
- 3) накатка гофрированных труб при помощи шнека и патрона с переменным шагом винтовой линии (рис. 248).

Первый способ приводит к сильному утонению материала, а потому применяется только для накатки мелких резьб. Диаметр ролика может быть в два, три или четыре раза больше диаметра патрона, вследствие чего частота вращения ролика должна быть во столько же раз меньше, а резьба на ролике делается двух-, трех- или четырехзаходной, для того чтобы углы наклона винтовой линии остались одинаковыми. Для облегчения снятия детали патрон делается меньшего диаметра.

При втором способе метчик с надетой на него заготовкой имеет два движения — вращательное и поступательное. Накатка осуществляется постепенно посредством вдавливания двух накатных роликов (рис. 247). Снятие детали происходит путем перемены вращения метчика с прямого на обратный ход и заторможения (свинчивания) детали.

По третьему способу накатка происходит при одинаковой частоте вращения шнека и патрона с роликами, вращаемых в одну сторону. Заготовка при этом не вращается, а имеет поступательное движение (на рис. 248 — слева направо). Заготовка должна быть накатана полностью, иначе ее нельзя снять со шнека.

Закатка соединительных швов применяется главным образом в жестяничном производстве и консервной промышленности для соединения двойным швом (в „замок“) донышек и крышек с боковыми стенками сосудов, коробок и банок круглой, прямоугольной и овальной формы.

Раздел второй

ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ХОЛОДНОЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

ГЛАВА I

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ЛИСТОВЫХ ШТАМПОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИИ ШТАМПОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Технологические процессы холодной штамповки могут быть наиболее рациональными лишь при условии создания технологичной конструкции или формы детали, допускающей наиболее простое и экономичное изготовление. Поэтому технологичность листоштампованных деталей является наиболее важной предпосылкой прогрессивности технологических методов и экономичности производства.

Под технологичностью следует понимать такую совокупность свойств и конструктивных элементов, которые обеспечивают наиболее простое и экономичное изготовление деталей (в условиях данной серийности производства) при соблюдении технических и эксплуатационных требований к ним.

Эксплуатационно-технические требования к листовым штампованным деталям следующие: 1) полное соответствие конструкции назначению и условиям эксплуатации детали; 2) обеспечение требуемой прочности и жесткости при минимальном расходе металла; 3) обеспечение необходимой точности и взаимозаменяемости; 4) соответствие специальным физическим, химическим или техническим условиям.

Основными показателями технологичности листовых холодноштампованных деталей являются:

- 1) наименьший расход материала;
- 2) наименьшее количество и низкая трудоемкость операций;
- 3) отсутствие последующей механической обработки;
- 4) наименьшее количество требуемого оборудования и производственных площадей;
- 5) наименьшее количество оснастки при сокращении затрат и сроков подготовки производства;
- 6) увеличение производительности отдельных операций и цеха в целом.

Общим результативным показателем технологичности является наименьшая себестоимость штампуемых деталей.

Так как величина и соотношение элементов себестоимости изделий (материал, заработная плата, цеховые расходы) зависят от серийности производства, то понятие технологичности неразрывно связано с серийностью производства. Технологичная конструкция в условиях мелкосерийного производства может оказаться нетехнологичной в массовом производстве и наоборот.

В большинстве случаев основным критерием технологичности конструкции является наиболее экономное расходование материала при наименьшем количестве операций и снижении трудоемкости.

Общая экономичность процессов холодной штамповки не только не снижает, но еще больше повышает значение экономии металла.

Анализ себестоимости штампованных деталей показывает, что экономия материала на 10% по эффективности равноценна увеличению производительности в три раза на всех операциях.

Экономия материала на 20—25% в большинстве случаев настолько эффективна, что стоимость сэкономленного материала обычно превышает сумму прямой заработной платы,

Общие технологические требования к конструкции листовых штампованных деталей

1. Механические свойства листового материала должны соответствовать не только требованиям прочности и жесткости изделия, но также процессу формоизменения и характеру пластических деформаций.

2. Необходимо учитывать возможность применения для формоизменяющих операций более пластичного, хотя и менее прочного металла, так как в процессе холодной штамповки происходит его наклеп, значительно увеличивающий характеристики прочности материала.

3. При расчете на прочность не следует завышать толщину листового металла, учитывая упрочнение его в процессе холодной деформации и достаточно высокую жесткость штампованных деталей.

4. Необходимо стремиться к созданию легких и облегченных конструкций деталей, применяя для увеличения жесткости штамповку ребер жесткости, отбортовку, загибку фланцев, закатку кромок и т. п., а также замену тяжелых стандартных прокатных профилей более легкими — гнутыми или свертными профилями из листового металла.

5. Конфигурация детали или ее развертки должна обеспечивать наиболее выгодное использование листового материала, давая возможность применить малоотходный или безотходный раскрой. Для получения безотходного раскроя не следует искусственно увеличивать размеры и площадь заготовки.

6. Если отход неизбежен, то желательно придать ему конфигурацию, соответствующую другой детали, или использовать его вторично.

7. Необходимо унифицировать и уменьшить ассортимент применяемых толщин и марок листового металла.

8. Следует соблюдать кратность размеров крупных штучных заготовок размерам листа, иначе отходы значительно увеличиваются.

9. Следует широко применять технологические штампо-сварные конструкции взамен литых, кованых или клепаных изделий.

10. Необходимо стремиться к уменьшению количества отдельных деталей, заменяя их цельноштампованными, что обычно приводит к упрощению технологического процесса и экономии материала. Исключением являются случаи, когда в результате указанной замены получается деталь настолько сложной конфигурации, что она требует повышенного расхода материала, является громоздкой или нетехнологичной.

11. Следует широко применять штамповочные методы для сборки отдельных деталей путем расклепки, отбортовки, полой высадки, загибки кромок и лапок, закатки шва и т. п.

12. Допуски на размеры штампованных деталей должны соответствовать экономической точности операций холодной штамповки (4—5-й класс). В случае необходимости повышенная точность деталей (2—3-й класс) может быть получена введением дополнительных операций (защитка, калибровка, правка).

Основные технологические требования к конструкции плоских деталей, получаемых вырубкой и пробивкой

1. Необходимо избегать сложных конфигураций с узкими и длинными вырезами контура или очень узкими прорезями ($b > 2S$).

2. При применении цельных матриц сопряжения в углах внутреннего контура следует выполнять с радиусом закругления $r \geq 0,5S$. В составных матрицах сопряжение сторон делать без закруглений.

3. Сопряжения сторон наружного контура следует выполнять с закруглениями лишь при вырубке детали по всему контуру. Для возможности применения безотходного раскроя следует, наоборот, допускать сопряжения сторон под прямым углом,

4. Следует избегать вырубки длинных и узких деталей постоянной ширины при $b \geq 3S$, заменяя вырубку расплющиванием проволочных заготовок.

5. Наименьшие размеры пробиваемых отверстий можно брать по табл. 135.

135. Наименьшие размеры пробиваемых отверстий

Материал	Обычная пробивка свободным пуансоном		Пробивка в зажатом состоянии направленным пуансоном	
	круглым	прямоугольным	круглым	прямоугольным
Твердая сталь	1,3S	1,00S	0,50S	0,40S
Мягкая сталь и латунь	1,0S	0,70S	0,35S	0,30S
Алюминий	0,8S	0,50S	0,30S	0,28S
Текстолит и гетинакс	0,4S	0,35S	0,30S	0,25S

6. Наименьшее расстояние от края отверстия до прямолинейного наружного контура должно быть не менее S для фигурных круглых отверстий и не менее $1,5S$, если края отверстия параллельны контуру детали.

7. Не следует располагать отверстия в заготовке, подлежащей гибке, близко к радиусу закругления детали. Наименьшее расстояние от края отверстия до загнутой полки должно составлять $a \geq r + 2S$, где r — радиус изгиба.

8. В вытянутых деталях, имеющих отверстия в дне или фланце, пробиваемые после вытяжки, расстояние c от стенки детали до края отверстия должно быть $c \geq r + 0,5S$, где r — радиус закругления дна или фланца.

9. Наименьшее расстояние между отверстиями при одновременной их пробивке должно быть равно $b = (2 \div 3) S$.

Технологические требования для деталей, изготавливаемых чистой вырубкой, были приведены в первом разделе.

Основные технологические требования к конструкции изогнутых листовых деталей

1. Минимально допустимые радиусы гибки следует применять лишь при конструктивной необходимости. В большинстве случаев возможно применить увеличенные радиусы гибки $r \geq S$, а для толстых заготовок еще большие.

2. В случае гибки пластичных металлов (стали 10, 20) с малым радиусом закругления ($r \geq 0,5S$) линию изгиба желательно располагать поперек волокон проката. При гибке тех же металлов с радиусом $r > S$ расположение линии изгиба безразлично: решающее значение при этом имеет достижение наиболее выгодного раскроя металла.

3. При гибке твердых и малопластичных металлов (бронза, сильно наклепанная латунь, лента пружинной стали и др.) линию изгиба следует располагать обязательно поперек волокон проката. Наименьший радиус изгиба берется в пределах от 2 до $4S$.

4. В случае изгиба заготовки в разных направлениях, а также при изготовлении правых и левых деталей из одной заготовки радиус закругления одного из перегибов должен быть увеличен. Гибка должна быть произведена таким образом, чтобы сторона с заусенцами пришлась на наружную сторону перегиба с увеличенным радиусом.

5. Для увеличения жесткости гнутых деталей и устранения упругого пружинения рекомендуется штамповка ребер жесткости поперек угла изгиба.

6. Если конструкция сборочного узла требует прилегания боковых полок к основанию изогнутой скобы (с внутренней стороны) к другим деталям, вместо гибки под острым углом рекомендуется делать гибку с поднутренным закруглением в углах.

7. Наименьшая высота отгибаемой полки должна быть $h \geq 3S$.
8. При гибке деталей, имеющих широкую и узкую часть, радиус изгиба не должен захватывать широкую часть, иначе образуются напльвы. Если по конструктивным соображениям линия изгиба проходит в месте сопряжения этих частей, следует применять вырезы шириной $b \geq S$.
9. В случае многооперационной гибки необходимо предусматривать технологические базы для фиксации заготовок на операциях.

Основные технологические требования к конструкции полых листовых деталей, изготовленных вытяжкой и формовкой

1. Необходимо по возможности избегать весьма сложных и несимметричных форм вытягиваемых деталей, прибегая к ним лишь в случае явной конструктивной необходимости.
2. Радиусы закруглений у фланца должны быть по возможности больше, а радиусы закруглений у дна могут быть взяты меньшими: $r \geq (2 \div 4) S$. Сопряжение стенок с дном без радиуса закругления может быть выполнено путем дополнительной калибровки или при штамповке весьма толстых заготовок ($D/S \leq 20$ при $m > 0,7$).
3. Необходимо избегать глубоких вытяжек с широким фланцем ($D > 3d$ при $h \geq 2d$), требующих большого количества операций.
4. Полуоткрытые несимметричные формы полых деталей нужно проектировать, учитывая возможность спаренной вытяжки с последующей разрезкой на две детали.
5. В прямоугольных коробках следует избегать острых углов в плане и у дна детали, кроме случаев изготовления коробок методом холодного выдавливания.
6. При вытяжке полых деталей сложной конфигурации необходимо предусматривать те или иные технологические базы для фиксации заготовок на операциях.

2. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ЛИСТОВЫХ ШТАМПУЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ И ПУТИ ЭКОНОМИИ МЕТАЛЛА

Создание технологичных форм штампуемых деталей упрощает производственный процесс и имеет решающее значение для экономии материалов в штамповочном производстве.

В большинстве случаев конфигурация холодноштампованной детали или ее заготовки может быть изменена без какого-либо ущерба для конструктивного или эксплуатационного назначения таким образом, что измененная форма детали позволит значительно снизить расход материала и применить так называемый безотходный или безотходный раскрой материала.

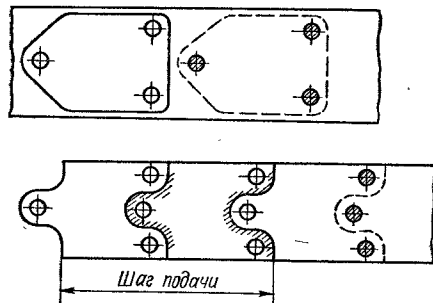


Рис. 249. Изменение профиля детали для получения безотходного раскроя

В данном случае безотходный раскрой осуществлен благодаря тому, что конфигурация детали образована двумя эквидистантными кривыми, т. е. кривыми одного

и того же очертания, перемещенными в осевом направлении параллельно своему первоначальному положению.

Эквидистантная конфигурация деталей значительно упрощает подсчет их поверхности и массы, так как поверхность детали, образованной любыми двумя эквидистантными кривыми и двумя параллельными боковыми линиями, равна произведению ширины детали на ее длину.

На рис. 250 показано незначительное изменение конфигурации с целью получения малоотходного раскроя. Экономия металла достигла 35—40%, производительность увеличена в два раза.

Одним из способов значительной экономии материалов при одновременном снижении массы машин является применение облегченных гнутых профилей взамен тяжелого горячекатаного профильного проката, что дает экономию металла от 30 до 75%.

Основные типы облегченных гнутых профилей, применяемых в транспортном, сельскохозяйственном машиностроении и строительстве, гостированы (ГОСТ 8282—57, ГОСТ 8275—57 и др.).

Большую экономию металла и значительное упрощение процесса обработки дает применение технологичных штампо-сварных деталей взамен литых, кованых или клепаных конструкций.

К сложным штампо-сварным конструкциям относятся кузова и кабины автомашин, состоящие из штампованных деталей, соединенных посредством шовной и точечной сварки, и многие другие изделия.

Примером легких гнутых конструкций являются слоисто-сотовые конструкции, применяемые при постройке сверхзвуковых самолетов.

Слоисто-сотовые конструкции представляют собой панели, состоящие из сотового наполнителя, изготовленного из гофрированных лент алюминиевой фольги, тонкой нержавеющей стали или титанового сплава, и наружной облицовки из тех же материалов. Ячейки сот имеют шестигранную, квадратную или синусоидальную форму.

Плотность закрытых сот из нержавеющей стали зависит от размеров ячеек и толщины исходной ленты и составляет от 25 до 100 кг/м³, т. е. в несколько раз меньше плотности пробки.

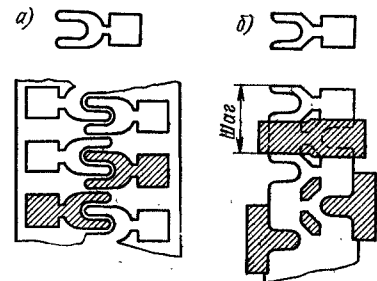


Рис. 250. Переработка конфигурации клеммы с целью применения малоотходного раскроя: а — старая конструкция; б — новая конструкция

ГЛАВА II

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ХОЛОДНОЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

3. СОДЕРЖАНИЕ И ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Разработка технологических процессов холодной листовой штамповки является основой всей подготовки производства.

Сравнительная сложность и длительность подготовки производства, а также относительно высокая стоимость штампов требуют тщательной разработки технологических процессов и обоснованного выбора технически рационального и экономически наиболее эффективного варианта технологического процесса, соответствующего данному масштабу производства. Даже небольшие последующие изменения

технологических процессов обычно приводят к переделке штампов или к проектированию и изготовлению новых, что требует значительного времени и обходится довольно дорого.

Разработка технологических процессов холодной листовой штамповки состоит из следующих этапов:

- 1) анализ технологичности формы или конструктивных элементов детали;
- 2) определение формы и размеров заготовки, а также расхода материала при наилучшем его использовании;
- 3) разработка наиболее рационального технологического процесса, обеспечивающего изготовление требуемых деталей;
- 4) установление типа, мощности и габаритов требуемого оборудования;
- 5) выявление типа и технологической схемы штампа (способ подачи заготовки и сема детали и т. п.);
- 6) определение трудоемкости изготовления штампуемых деталей, а также количества и разряда производственных рабочих;
- 7) определение количества оборудования и его загрузки на годовую программу.

При разработке технологических процессов холодной листовой штамповки должны быть решены следующие технологические вопросы: 1) определение наилучшего раскроя материала и наименьших размеров заготовки; 2) установление характера, количества и последовательности операций; 3) выбор степени сложности (совместности) операций; 4) установление количества одновременно штампуемых деталей; 5) определение операционных размеров и установление операционных допусков. Если точные операционные размеры не могут быть получены расчетным методом, то они даются приближенно, с указанием на необходимость экспериментальной проверки, после чего технологические процессы корректируются.

Обычно указанные вопросы могут быть решены несколькими вариантами, причем основной задачей технолога является выбор наиболее рационального и эффективного варианта для данного конкретного случая, характеризующегося рядом технических и экономических признаков.

Основными техническими признаками, влияющими на выбор варианта технологического процесса, являются: механические свойства и толщина материала, степень сложности конфигурации детали и ее габариты, требуемая точность детали, место расположения отверстий и точность расстояния между их осями и т. д.

Основным экономическим признаком, от которого зависит решение вопроса экономической целесообразности того или иного варианта, является серийность производства (массовое, крупно- или мелкосерийное).

4. РАСКРОЙ МАТЕРИАЛА И ВЕЛИЧИНА ПЕРЕМЫЧЕК

Значение раскроя для экономии металла

Экономия металла и уменьшение отходов в холодной листовой штамповке имеют весьма важное значение, особенно в крупносерийном и массовом производстве, так как при больших масштабах производства даже незначительная экономия металла на одном изделии дает в итоге большую экономию.

Экономия металла в холодной штамповке достигается следующими средствами:

- 1) наиболее целесообразным раскроем листов на штучные заготовки или полосы с наименьшими отходами;
- 2) наиболее экономным раскроем полос и расположением вырезаемых деталей на полосе;
- 3) уменьшением потерь металла на перемычки;
- 4) применением так называемого безотходного и малоотходного раскроя;
- 5) повышением точности расчета размеров заготовок и уменьшением припусков на обрезку;
- 6) использованием отходов для изготовления других деталей;
- 7) предупреждением брака штампуемых деталей, а также снижением нормы потерь при отладке и установке штампов и т. п.

Раскрой листового металла

Раскрой листового металла на штучные заготовки и полосы является первой операцией, связанной с потерями металла в виде обрезков и неиспользуемых отходов. При раскрое листов необходимо руководствоваться следующими правилами.

1. Резку заготовок производить по тщательно разработанным раскройным картам, учитывающим наиболее полное использование материала.
2. При резке крупных заготовок в серийном производстве применять комбинированный раскрой при наилучшем использовании материала и соблюдении комплектности заготовок.
3. Резку узких полос производить вдоль листа (если не требуется поперечного раскроя), так как при этом из каждой полосы получается большое количество деталей и уменьшается количество концевых отходов полосы.
4. Как правило, желательно резать широкие, а не узкие полосы (располагая соответственно детали на полосе), так как при этом требуется меньшее количество

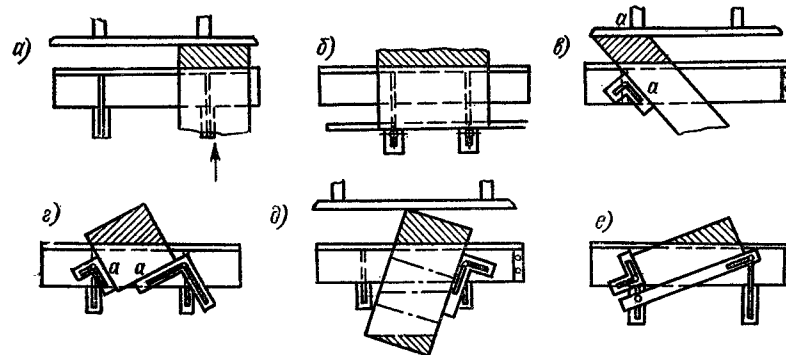


Рис. 251. Резка штучных заготовок на гильотинных ножницах

резов, а также меньший шаг подачи при штамповке; кроме того, обычно уменьшаются потери на концевые отходы.

5. В массовом производстве крупных деталей заказывать специальные мерные листы, кратные двум или более заготовкам.

6. В массовом производстве небольших деталей заменять листовый материал холоднокатаной лентой.

7. Нарезать заготовки для деталей, подвергаемых гибке, желательно с учетом направления волокон проката. Это правило зачастую выполняется без соблюдения необходимого условия об экономном раскрое и нередко приводит к недопустимому и неоправданному расходу материала. Следует помнить, что такой раскрой не должен приводить к увеличенному количеству отходов (это условие не распространяется на твердые и малопластичные материалы). При штамповке пластичных металлов правило учета направления волокон распространяется только на случай изгиба с очень малым радиусом и не распространяется на изгиб с большими радиусами, которые преобладают в штамповочной практике. Если расположение линии изгиба поперек волокон приводит к плохому использованию материала, следует увеличить радиус изгиба и тогда соблюдение этого правила обязательно.

8. При резке на ножницах применять специальные устройства, облегчающие настройку и повышающие точность реза. В массовом и крупносерийном производстве рекомендуется применять комплексные установки для автоматической резки и сортировки нарезанных полос. Кроме резки полос на гильотинных ножницах, производится резка крупных штучных заготовок прямолинейных очертаний (карточек) прямоугольной, трапециевидной, ромбовидной и треугольной форм (рис. 251). Указанная резка производится по заднему (рис. 251, а), переднему (рис. 251, б),

дополнительному (рис. 251, з) упорам, а также по их взаимным комбинациям (рис. 251, в, д, е).

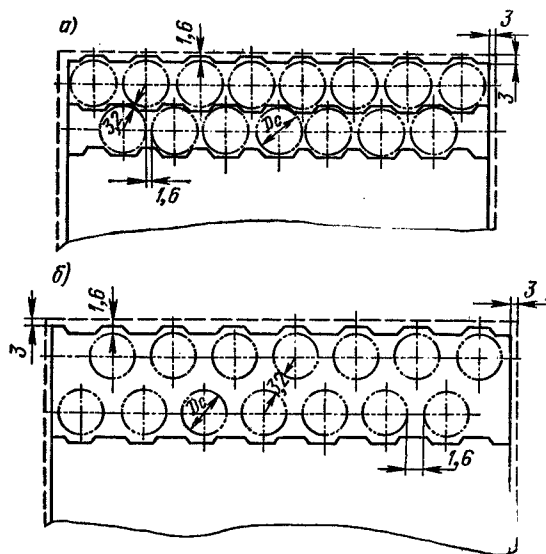


Рис. 252. Схема раскрой листов жести на фигурных ножницах: а — однорядный; б — двухрядный раскрой

В специализированном массовом производстве, например, при изготовлении кн сервных банок, применяют специальные ножницы для фигурной резки полос (рис. 252).

Эти ножницы выполняют две операции: обрезают поперечные кромки листа при помощи дисковых ножей и режут лист на фигурные полосы с помощью вырубного пуансона и матрицы. Резка фигурных заготовок дает экономию металла от 3 до 6%. Нарезанные фигурные полосы поступают на штамповочный автомат с автоматической подачей полос.

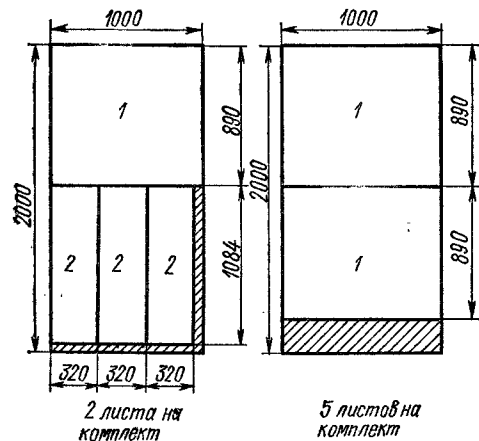


Рис. 253. Комбинированный раскрой листов при соблюдении комплектности

Значительно усложняется раскрой листов в серийном производстве крупногабаритных деталей, когда требуется разрезать несколько листов на небольшое коли-

честву разнотипных заготовок. В данном случае должен быть применен метод комбинированного раскроя, позволяющий получить наилучшее использование материала при соблюдении заданной комплектности. Методика расчета и планирования наиболее рационального комбинированного раскроя листов на различные заготовки при соблюдении их комплектности впервые разработана советскими учеными и применена на ряде заводов.

На рис. 253 изображен раскрой листов для двух прямоугольных деталей, осуществленный указанным методом, причем деталь 1 требуется в количестве 12 шт., а деталь 2 — в количестве 6 шт. на комплект. Отход размером 220 × 1000 мм используется для других заказов.

Данный вариант раскроя является наиболее экономным из всех возможных. Так, резка шести листов на деталь 1 будет неприемлемой, так как из оставшегося седьмого листа не выкроить шесть деталей 2.

В случае раскроя листов на крупные полосы необходимо производить резку с учетом кратности длины полосы размерам вырезаемой детали. Это позволяет использовать некротный остаток на резку полос для других деталей, а не выкидывать его вместе с неиспользуемыми концами полос.

Раскрой полосового материала в процессе штамповки

Различные способы раскроя полосового материала по экономичности и величине технологических отходов могут быть разделены на три вида:

раскрой с отходами, когда вырезка происходит по всему контуру детали, а перемычка имеет замкнутую форму;

малоотходный раскрой, когда вырезается или отрезается только часть контура детали, а в отход идет или перемычка между двумя вырезками, или только боковая перемычка;

безотходный раскрой, когда вырезаемая деталь получается путем прямолинейной или криволинейной отрезки без образования перемычек. В данном случае подразумеваются технологические отходы, зависящие от типа раскроя и способа штамповки данной детали. Отходы от пробивки отверстий или окон, а также отходы в начале и конце полосы, влияющие на общий коэффициент использования металла и норму его расхода, зависят исключительно от конструкции детали и не характеризуют самого способа раскроя. Эти отходы неизбежны и почти неизменны при любом способе раскроя.

Для экономии металла основное значение имеют технологические отходы, зависящие от способа раскроя и определяющие его экономичность.

Применяемые на практике главнейшие способы раскроя могут быть также классифицированы по способу расположения вырезаемых деталей на полосе в соответствии с конфигурацией детали и сведены к основным типам, приведенным в табл. 136 и 137.

Особый тип раскроя, совмещающий штамповку по несколько штук за один ход пресса, с прямым или наклонным расположением вырезок применяется при *однорядной последовательно-параллельной штамповке* узких деталей (рис. 254). Этот способ состоит в однорядном расположении по длине полосы нескольких вырезанных и столько же пробитых пуансонов, с определенными интервалами между ними (табл. 138) во избежание пропусков в ленте или вторичного попадания пуансонов в уже пробитые окна.

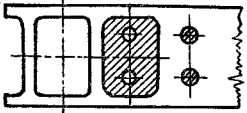
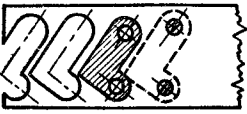
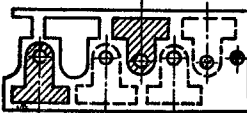
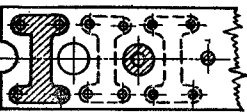
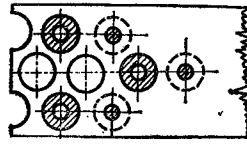
Цифры на рис. 254 указаны последовательность выполнения операций и положение пуансонов. В начале полосы получается по одной детали без пробитых отверстий.

Оценку экономичности того или иного типа раскроя следует производить посредством коэффициента раскроя

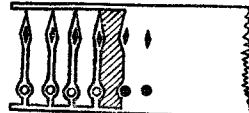
$$K_p = \frac{f_0 n_p}{Bh} 100\%,$$

где f_0 — площадь поверхности детали (включая мелкие неиспользуемые отверстия); h — шаг вырубki (раскроя); B — ширина полосы; n_p — количество рядов раскроя,

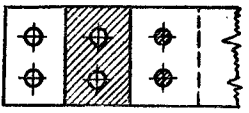

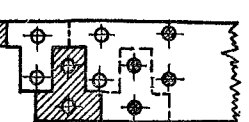
136. Основные типы раскроя с отходами

Тип раскроя и эскиз	Применение раскроя	Способ подачи материала
<p>Прямой</p> 	<p>Для деталей простой геометрической формы (прямоугольной, круглой, квадратной)</p>	
<p>Наклонный</p> 	<p>Для деталей Г-образной или другой сложной конфигурации, которые при прямом расположении дают большие отходы металла</p>	<p>Ручная или автоматическая подача</p>
<p>Встречный</p> 	<p>Для деталей Т-, П-, Ш-образной конфигурации, которые при прямом и наклонном расположении дают большие отходы</p>	
<p>Комбинированный</p> 	<p>Для двух различных деталей, одинаковых по толщине и марке металла, в крупносерийном и массовом производстве</p>	<p>Автоматическая подача</p>
<p>Многорядный</p> 	<p>Для деталей небольших размеров в крупносерийном и массовом производстве</p>	<p>Ручная, чаще автоматическая подача</p>

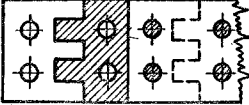
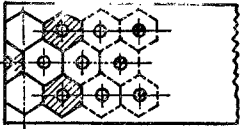

Продолжение табл. 136

Тип раскроя и эскиз	Применение раскроя	Способ подачи материала
<p>С вырезкой перемычек</p> 	<p>Для мелких и узких деталей (часовые стрелки и подобные детали) или для последовательной вытяжки в ленте при крупносерийном и массовом производстве</p>	<p>Ручная, чаще автоматическая подача</p>

137. Основные типы малоотходных и безотходных раскроев

Тип раскроя и эскиз	Применение раскроя	Способ подачи материала
<p>Прямой</p> 	<p>Для деталей прямоугольной или трапецидальной конфигурации</p>	<p>Ручная подача до упора (возможно по две штуки за один ход пресса)</p>
<p>Наклонный</p> <p><i>Первый вариант</i></p>  <p><i>Второй вариант</i></p>	<p>Для деталей Г-образной или другой конфигурации, допускающих небольшие дефекты контура</p>	
<p>Встречный</p> 	<p>Для деталей Т-, П-, Ш-образной конфигурации, допускающих небольшие дефекты контура</p>	<p>Ручная или автоматическая подача (по две штуки за один ход пресса)</p>

Продолжение табл. 137

Тип раскрой и эскиз	Применение раскрой	Способ подачи материала
<p>Комбинированный</p> 	<p>Для двух различных деталей, взаимовписывающихся по конфигурации</p>	<p>Ручная или автоматическая подача (по две штуки за один ход пресса)</p>
<p>Многорядный</p> 	<p>Для деталей прямоугольной, квадратной или шестигранной конфигурации небольших размеров в крупносерийном и массовом производстве</p>	<p>Ручная или автоматическая подача (по нескольку штук за один ход пресса)</p>
<p>С вырезкой перемычек</p> 	<p>Для деталей удлиненной формы, изготавливаемых из мерной полосы или ленты, без обрезки вдоль длинных сторон</p>	<p>Ручная или автоматическая подача до упора</p>

Наиболее экономичным будет раскрой с наибольшим значением K_p или с возможно меньшей величиной Bh (площадь заготовки, приходящаяся на одну деталь).

138. Интервалы между пуансонами при различной кратности штамповки

Кратность штамповки	Шаг подачи	Расстояние между осями пуансонов			
		вырезных	пробивных	вырезных и пробивных	
Двукратная	2h	3h	3h	2h	
Трехкратная	3h	2h	2h		
Четырехкратная	4h	3h	3h		
Пятикратная	5h	2h	2h		

Примечание. h — шаг раскроя, равный сумме ширины детали и перемычки.

При одновременной вырезке двух различных деталей вместо площади f_0 берется сумма площадей обеих деталей $f_1 + f_2$. Это относится и к случаю вырезки двух деталей за счет использования внутреннего отверстия одной из них (пластины, статора и ротора электродвигателей и т. п.).

Однако коэффициент K_p не дает полного представления об общей величине полезного использования металла. Последняя определяется общим коэффициентом использования металла K_n . При штамповке из полосы или ленты

$$K_n = \frac{fn}{LB} 100\%,$$

где f — площадь детали без отверстий; n — количество фактических деталей, получаемых из полосы, с учетом неиспользуемых концевых отходов; L — длина полосы или ленты; B — ширина полосы или ленты.

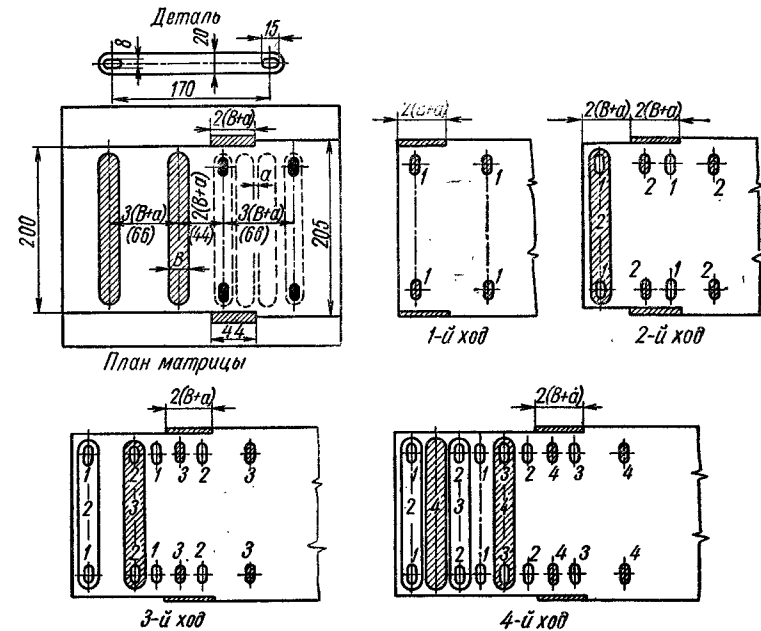


Рис. 254. Однорядная последовательно-параллельная штамповка по две детали одновременно

Если концевые отходы отсутствуют, то

$$n = \frac{L}{h} \text{ и } K_n = \frac{f}{Bh} 100\%.$$

В случае листовой заготовки или резки листа на полосы для одинаковых деталей

$$K_n = \frac{fm}{AC} 100\%,$$

где m — количество деталей, получаемых из листа, с учетом неиспользуемых концевых отходов каждой полосы и отходов при резке листа на полосы; A — длина листа; C — ширина листа.

Если лист раскраивается на полосы для двух или нескольких различных деталей, то общий коэффициент использования металла определяется следующим образом:

$$K_n = \frac{f_1 m_1 + f_2 m_2 + \dots + f_n m_n}{AC} 100\%.$$

На рис. 255 приведена зависимость коэффициента использования металла от числа рядов при многорядной вырубке круглых заготовок и шахматном способе раскроя. Коэффициент использования металла повышается при увеличении числа рядов вырубki и при уменьшении перемычки.

Как видно на рис. 255, значительное повышение коэффициента использования металла наблюдается при увеличении числа рядов до семи. Дальнейшее увеличение числа рядов дает сравнительно небольшую экономию металла.

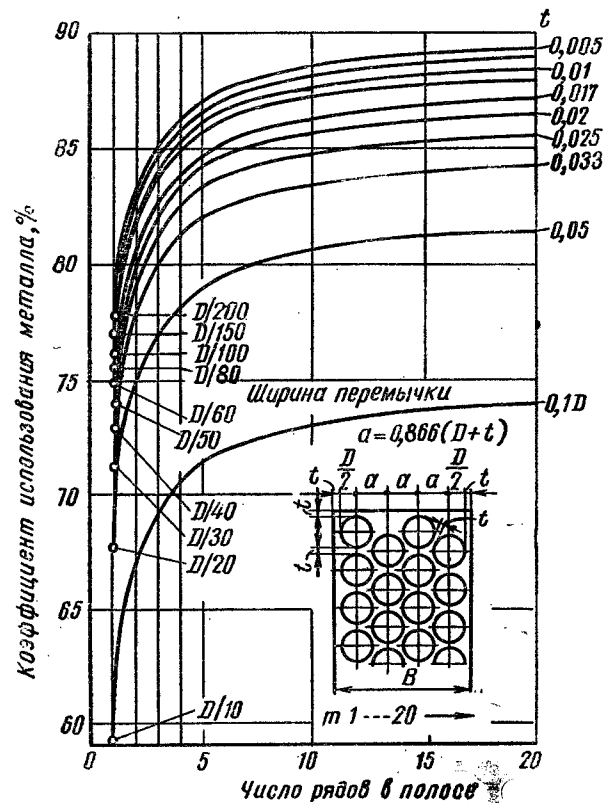


Рис. 255. Зависимость коэффициента использования металла при многорядной вырубке от числа рядов в полосе

Величина перемычек выбирается в зависимости от толщины штампуемого металла, как указано ниже.

Величина перемычек и применение безотходного и малоотходного раскроя

Экономичность раскроя в значительной степени зависит от правильной величины перемычек. Основное назначение перемычек — компенсировать погрешности подачи материала и фиксации его в штампе с тем, чтобы обеспечить полную вырубку детали по всему контуру и предотвратить получение бракованных деталей. Кроме того, перемычки должны обладать достаточной прочностью и жесткостью, необходимой для подачи материала.

Следовательно, величина перемычек зависит от следующих факторов: 1) толщины и твердости материала; 2) размеров и конфигурации деталей; 3) типа раскроя (прямой, встречный и т. п.); 4) способа подачи полосы (с боковым прижимом или без него); 5) типа упора (неподвижный, подвижный, шаговый нож, ловители).

Уменьшение величины перемычек является весьма эффективным мероприятием, так как перемычки представляют собой потерю металла в отход, которая достигает иногда 40—50%. Особенно велики потери на перемычки при вырубке толстолистовых деталей, так как для толстых материалов применяются более широкие перемычки, дающие увеличение отходов пропорционально толщине и ширине перемычек,

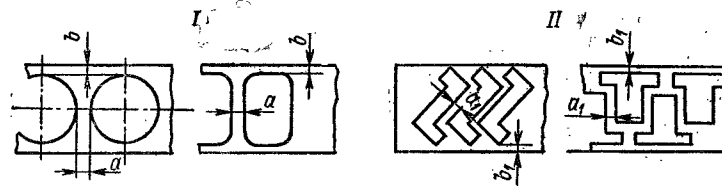


Рис. 256. Перемычки при вырезке (к табл. 139).

Уменьшение перемычек может быть достигнуто различными способами, например, применением бокового прижима полосы, в результате чего значение боковой перемычки может быть взято меньшим, или путем точной фиксации ленты ловителями. В табл. 139 приведены проверенные в массовом производстве величины перемычек для основных случаев вырезки (рис. 256).

139. Наименьшая величина перемычек

Толщина материала, мм	Перемычка, мм		Толщина материала, мм	Перемычка, мм	
	a и b	a_1 и b_1		a и b	a_1 и b_1
0,3	1,4	2,3	4,0	2,5	3,5
0,5	1,0	1,8	5,0	3,0	4,0
1,0	1,2	2,0	6,0	3,5	4,5
1,5	1,4	2,2	7,0	4,0	5,0
2,0	1,6	2,5	8,0	4,5	5,5
2,5	1,8	2,8	9,0	5,0	6,0
3,0	2,0	3,0	10,0	5,5	6,5
3,5	2,2	3,2			

Обозначения: a — перемычка между вырезами для небольших деталей простой конфигурации (рис. 256, I); a_1 — перемычка между вырезами для больших деталей или деталей сложной конфигурации (рис. 256, II); b — боковая перемычка при работе с боковым прижимом; b_1 — то же при работе без бокового прижима.

При применении клещевой автоматической подачи материала величина перемычек может быть уменьшена на 10—20%, а при работе с крючковой подачей — увеличена на 10% по сравнению с данными табл. 139.

При многооперационной последовательной вытяжке в ленте перемычки берутся несколько большими. Расстояние между надрезами или ширина вырезных перемычек обычно берется 1,5—2,5 мм. Значения боковых перемычек при последовательной вытяжке в ленте приведены в табл. 140.

На рис. 257 показаны типы раскроя и надрезов при многооперационной последовательной штамповке (гибке и вытяжке) в ленте.

Указанные в табл. 139 перемычки не относятся к штамповке на специальных прессах-автоматах. На этих автоматах применяется цепочный способ раскроя (рис. 258, а, б), дающий обычно большие отходы материала. При штамповке мелких прецизионных деталей на быстроходных прессах-автоматах также применяется цепочный раскрой.

140. Боковые перемычки при последовательной вытяжке в ленте

Размеры заготовок, мм	Значение перемычек при вытяжке, мм	
	в целой ленте	с надрезами заготовки
До 1,0	1—1,5	1,5—2,0
10—30	1,5—2,0	2,0—2,5
Св. 30	2,0—2,5	3,0—3,5

141. Ширина кромки, срезаемой боковым ножом

Толщина материала, мм	Ширина кромки, мм
До 1,0	1,5
1,5—2,5	2,0
2,5—3,5	2,5

В табл. 141 указана ширина кромки, срезаемой боковым шаговым ножом. Она должна быть больше погрешности резки полос или допусков по ширине ленты. Следует, по возможности, отказаться от применения бокового шагового ножа как способа ограничения подачи материала, так как получаемое при этом увеличение производительности связано с излишней потерей металла.

Боковые шаговые ножи следует применять в трех случаях:

- 1) когда они не только являются способом ограничения подачи материала, но одновременно производят фигурную обрезку бокового контура детали;
- 2) когда нельзя применить другой тип упора, например, в некоторых случаях малоотходной штамповки;
- 3) когда боковой нож можно расположить в отходе полосы (рис. 259), так как в этом случае не требуется увеличения ее ширины. Эта конструкция применима в случае достаточно жесткого отхода.

В большинстве случаев вместо боковых шаговых ножей могут быть применены другие типы упоров (автоматический, полуавтоматический или упор в виде боковой защелки, фиксирующей по угловой зарубке).

При многооперационной последовательной вытяжке в ленте применение боковых шаговых ножей также не вызывается необходимостью, так как полученная на первых переходах сферическая выпуклость в ленте позволяет центрировать ее по гнездам матриц следующих переходов, пока лента не дойдет до постоянного упора.

Наибольшее значение для экономии металла имеет широкое применение безотходного и малоотходного раскроя, или, как принято говорить, безотходной и малоотходной штамповки. До недавнего времени эти способы штамповки применялись главным образом при изготовлении грубых деталей из сравнительно толстого материала в дорожном и сельскохозяйственном машиностроении, в вагоностроении, в производстве скобяных изделий и т. п. Поэтому создалось ошибочное представление, что для более точных деталей или деталей, изготавливаемых из более тонкого материала, эти способы штамповки неприменимы.

Опыт передовых заводов Советского Союза по экономии металла показал, что способы безотходной и малоотходной штамповки с успехом применимы в электротехнической и радиотехнической промышленности, приборостроении и аппарато-строении, где они обеспечивают точность контура в пределах 7-го, а иногда и 5-го класса.

На рис. 260 приведены схемы малоотходной последовательной штамповки мелких квадратных и шестигранных гаек по 6 шт. за каждый ход пресса при двухшаговой подаче, причем четыре гайки вырубаются на провал, а две остаются на поверхности штампа.

Определение ширины нарезанных полос

Значения боковых перемычек, указанные в табл. 137, являются приближенными, так как в действительности они зависят не только от способа работы (с боковым прижимом или без него), но и от допусков по ширине полосы.

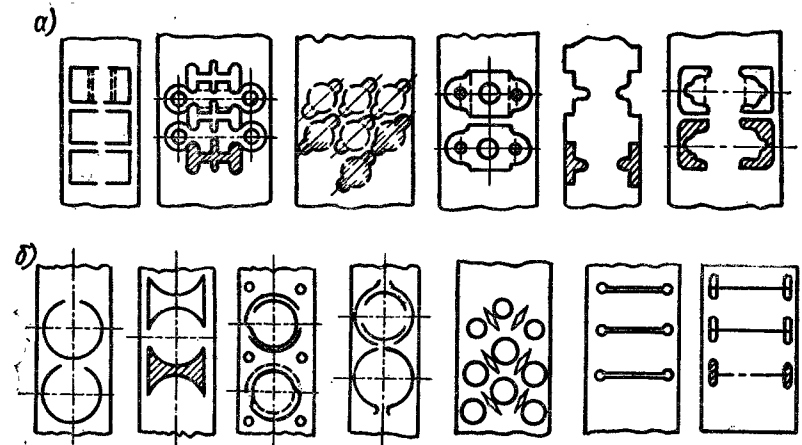


Рис. 257. Типы раскроя и надрезов при последовательной штамповке в ленте различных деталей: а — для последовательной гибки; б — для последовательной вытяжки

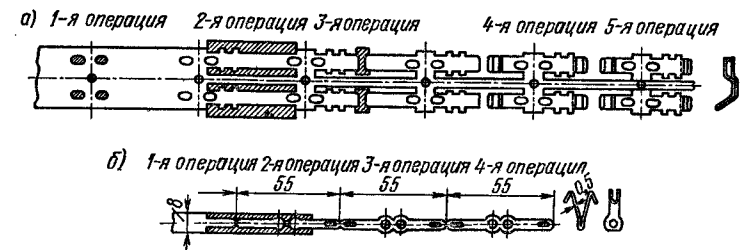


Рис. 258. Цепочный метод раскроя при штамповке на специальных штамповочных автоматах

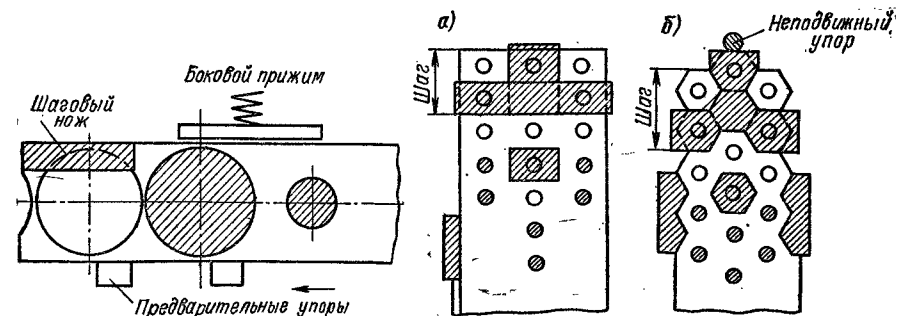


Рис. 259. Расположение шагового ножа в отходе полосы

Рис. 260. Последовательная малоотходная штамповка квадратных (а) и шестигранных (б) гаек по 6 шт. одновременно

Подсчет номинальной ширины полосы производят исходя из условия сохранения минимально необходимой боковой перемычки b при различных способах подачи и допусках по ширине полос, нарезанных на ножницах.

На рис. 261 изображены схемы к подсчету номинальной ширины полосы для штамповки с боковым прижимом и без бокового прижима при минусовом направлении допуска по ширине полосы.

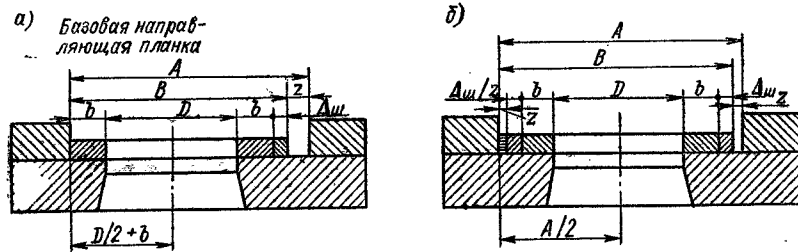


Рис. 261. Схемы для подсчета номинальной ширины полосы: а — штамповка с боковым прижимом; б — штамповка без бокового прижима

Расчетные формулы для определения номинальной ширины полосы и просвета между направляющими штампами приведены в табл. 142.

142. Формулы для подсчета номинальной ширины полосы

Способ подачи	Номинальная ширина полосы	Просвет между направляющими штампа
С боковым прижимом полосы (рис. 261, а)	$B = D + 2b + \Delta_m$	$A = B + z = D + 2b + \Delta_m + z$
Без бокового прижима полосы (рис. 261, б)	$B = D + 2(b + \Delta_m) + z$	$A = B + z = D + 2(b + \Delta_m + z)$

Обозначения: B — номинальная ширина полосы; A — просвет между направляющими штампа; D — размер вырезаемой детали (поперек полосы); b — наименьшая величина боковой перемычки; z — гарантийный зазор между направляющими и наибольшей возможной шириной полосы; Δ_m — односторонний (минусовый) допуск на ширину полосы.

При работе с боковым прижимом номинальная ширина полосы получается меньше, чем при работе без бокового прижима, на сумму гарантийного зазора и допуска на ширину полосы. Для массового производства это имеет и экономическое значение, так как дает существенную экономию материала.

Для материалов толщиной менее 0,3 мм боковые прижимы не применяются. Основные правила подсчета номинальной ширины полосы:

- 1) номинальная ширина полосы зависит от допуска, включая последний в виде прибавки к ширине;
- 2) при штамповке с боковым прижимом номинальная ширина полосы не зависит от гарантийного зазора z , что позволяет применить ленты или полосы менее точные по ширине;
- 3) при штамповке без бокового прижима номинальная ширина полосы зависит от зазора z , который должен быть выдержан в возможно меньших пределах, иначе может произойти выход контура вырезки за край полосы.

В табл. 143 приводятся значения отдельных величин, входящих в формулы для подсчета ширины полосы, а в табл. 144 — допуск на ширину полос, нарезанных на гильотинных ножницах.

143. Значение гарантийного зазора при штамповке без бокового прижима полосы

Ширина полосы, мм	Значение зазора (мм) в зависимости от типа раскроя, мм	
	Однорядный	Встречный
До 100	0,5—1,0	1,5—2,0
Св. 100	1,0—1,5	2,0—3,0

Примечание. При однорядном типе раскроя большие значения — для большей толщины материала.

144. Допуски на ширину полос, нарезанных на гильотинных ножницах, мм

Ширина полосы, мм	Допуски в мм (—) в зависимости от толщины материала, мм			
	До 1	1—2	2—3	2—5
До 100	0,6	0,8	1,2	2,0
Св. 100	0,8	1,2	2,0	3,0

Полученные результаты подсчета ширины полосы следует округлять до 0,5 или 1 мм в большую сторону.

Использование отходов и другие методы экономии металла

В борьбе за экономию металла большое значение имеет использование отходов для изготовления более мелких деталей. Это позволяет отказаться от заказа листового металла на эти детали и значительно повышает общий коэффициент использования металла на производстве.

На рис. 262, а, б показано изменение конфигурации зубчатого колеса велосипеда. Это позволило использовать отходы от вырезанных окон в качестве заготовок для штамповки крышки нгольчатого подшипника (рис. 262, в).

Особенно эффективно использование отходов в производстве, имеющем крупногабаритные отходы листового металла. Так как иногда отходы получают деформированными, то на ие-

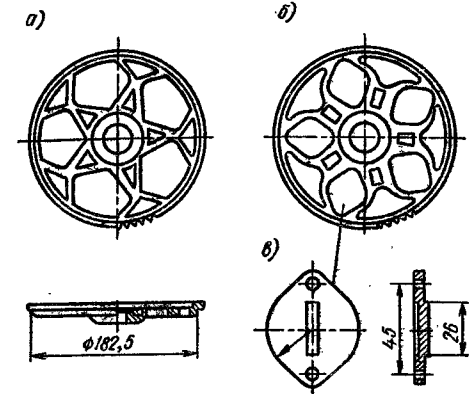


Рис. 262. Изменение конфигурации ведущей зубчатки велосипеда

которых заводах их подвергают предварительной правке на специальных вальцах. Хотя производительность при штамповке отходов снижается, но стоимость сэкономленного материала покрывает излишние трудовые затраты.

5. ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ХОЛОДНОЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

При построении процессов листовой штамповки следует решить основные технологические вопросы: установить характер, количество, последовательность и совмещенность операций холодной штамповки.

Характер операций определяется в основном геометрической формой и конфигурацией штампуемых деталей, состоянием их поверхности (гладкая или рельефная), наличием вырезов или отверстий и т. п.

Количество и последовательность операций определяются конфигурацией и сочетанием конструктивных элементов детали, требуемой точностью и необходимостью соблюдения баз обработки.

Многообразие встречающихся на практике конфигураций и различных сочетаний конструктивных элементов вместе с разнообразными техническими требованиями и экономическими предпосылками не позволяет установить типовое решение, применимое для любого случая. Поэтому могут быть даны лишь следующие общие принципы и технологические рекомендации.

1. Как правило, необходимо стремиться к наименьшему количеству операций и увеличению их производительности. Исключением может быть штамповка в мелкосерийном производстве в том случае, если уменьшение количества операций приводит к необходимости изготовления сложных дорогостоящих штампов.

2. При штамповке плоских деталей с большим количеством близко расположенных отверстий целесообразно производить пробивку отверстий рядами; пробивку большого числа боковых отверстий на вытянутых изделиях — группами с автоматическим поворотом изделия за несколько ходов пресса, но с применением простых и стойких штампов; пробивку ряда боковых отверстий в крупных деталях — за одну операцию клиновым штампом.

3. В ряде случаев последовательность операций зависит от требуемой точности отдельных элементов изделия. Так, при изготовлении изогнутой детали с отверстиями в случае невысокой точности положения отверстий относительно базы пробивку их следует производить в плоской заготовке; при высокой точности, превышающей погрешности при гибке, пробивку отверстий, как правило, следует производить после гибки.

4. При изготовлении сложноразогнутых деталей замкнутой или полужамкнутой конфигурации количество операций гибки и их совмещенность зависят от конфигурации детали, требуемой точности и экономической целесообразности применения дорогих сложноразогнутых (клиновых, шарнирных и т. п.) штампов.

5. Количество последовательных операций вытяжки зависит от относительной глубины детали и определяется общезвестными методами по оптимальной величине коэффициентов вытяжки (см. табл. 45).

6. В большинстве случаев после глубокой вытяжки необходимо производить обрезку края детали так же, как и после холодного выдавливания.

7. При повышенных требованиях к геометрической форме плоских деталей следует предусматривать их правку в штампах.

8. Для деталей, требующих повышенной чистоты поверхности среза, следует применять зачистку после вырубки или чистовую вырубку.

9. При изготовлении полых деталей с фланцем, но без дна следует отдать предпочтение операции отбортовки перед вытяжкой. В случае высокой стенки борта желательно применить неглубокую вытяжку с последующей пробивкой и отбортовкой дна или отбортовку с утонением стенок.

10. При изготовлении полых или гнутых деталей с острым углом вместо закругления необходимо после вытяжки или гибки применить операцию калибровки.

Наиболее ответственной задачей, стоящей перед технологом при разработке технологических процессов холодной штамповки, является выбор степени совмещенности операций, и решение вопроса о том, применять ли сложные и дорогие комбинированные штампы, выполняющие сразу несколько операций, или применять раздельную пооперационную штамповку простыми и более дешевыми штампами.

При изготовлении очень мелких деталей целесообразно применять комбинированные штампы, дающие полностью законченные детали, так как пооперационная штамповка с установкой заготовок вручную пинцетом недостаточно производительна и небезопасна. Сложные комбинированные штампы оказываются целесообразными и в случае штамповки весьма крупных деталей, так как один крупный совмещенный штамп обходится дешевле, чем два таких же крупных однооперационных штампа, кроме того при этом уменьшаются складские площади.

В большинстве остальных случаев при соблюдении всех требований технологического характера изготовление штампованных деталей может быть осуществлено различными технологическими способами и вариантами технологического процесса. Наиболее рациональным вариантом будет тот, который обеспечивает наименьшую

145. Преимущества и недостатки штампов совмещенного и последовательного типов

Показатель	Характеристика штампов	
	совмещенного типа	последовательного типа
Точность штамповки	Повышенная и средняя точность (3—5-й класс)	Средняя и пониженная точность (5—8-й класс)
Качество вырубленных деталей	Отсутствие погнутости, лучший срез благодаря прижиму материала. Одновременная правка	Погнутость (выворачивание) небольших деталей, требующая иногда применения операции правки
Наибольшие размеры деталей и средний диапазон толщины	Свыше 3000 мм при толщине до 5 мм (диапазон толщин от 0,05 до 6—8 мм)	Вытяжные — до 250 мм с диапазоном толщин от 0,2 до 3 мм; разделительные и гибочные — до 500 мм, толщиной до 10 мм
Производительность штамповки	Меньшая производительность вследствие выбрасывания детали на поверхность штампа и необходимости удаления (ручного или механического)	Повышенная производительность благодаря автоматической передаче заготовки с операции на операцию и автоматическому удалению деталей
Работа на быстросходных прессах-автоматах	Ограничена вследствие возможности расстройств пружинно-буферной системы	Возможна работа на быстросходных прессах с числом ходов от 400 до 1500 в минуту
Безопасность работы	Небезопасна ввиду введения рук в рабочую зону штампа; требует принятия мер по технике безопасности или автоматизации обслуживания	Более безопасна, так как исключено введение рук в рабочую зону штампа. Автоматизация обслуживания необходима ввиду высокой производительности
Трудоемкость и стоимость изготовления штампов	Для вырубки деталей сложной конфигурации меньше, чем стоимость последовательных штампов	Для вырубки деталей простой конфигурации меньше, чем стоимость совмещенных штампов

себестоимость деталей и является наиболее выгодным с экономической точки зрения. Следовательно, вопросы экономической целесообразности имеют решающее значение при выборе технологического процесса и типа штампа.

На практике иногда возникают затруднения при выборе типа штампа совмещенного или последовательного действия. Оба типа штампов, как и сами способы штамповки, имеют достоинства и недостатки, непосредственно отражающиеся на качестве, точности и стоимости детали. Каждый из этих способов штамповки имеет свою область применения и определенные ограничения как технологического, так и экономического характера.

В табл. 145 приведены характеристики штампов совмещенного и последовательного типов. В табл. 146 даны общие указания по выбору штампа совмещенного или последовательного типа в крупносерийном и массовом производстве.

146. Выбор типа комбинированного штампа

Степень точности деталей	Размеры деталей, мм		
	крупные (300—1000)	средние (50—200)	мелкие (до 50)
Повышенная (3—4-й класс)	Совмещенный штамп	Совмещенный штамп	Совмещенный штамп, реже последовательный
Средний (5-й класс)	То же	Последовательный, реже совмещенный	Последовательный штамп
Пониженная (7—8-й класс)	—	Последовательный штамп	То же

Необходимо отметить, что фирма „Шулер“ (ФРГ) применила так называемый „тандем“ процесс последовательной штамповки листов статора-ротора диаметром от 400 до 800 мм на двух синхронно работающих штамповочных автоматах последовательного действия.

В массовом производстве мелких деталей, обычно не требующих большой точности, штампы последовательного типа получили широкое применение, так как они обеспечивают максимальную производительность производственных процессов. При этом в целях значительного увеличения производительности и экономии металла широко применяются многорядные последовательные штампы, имеющие 2, 3, 5, 7, 9 или 11 рядов и выпускающие за каждый ход пресса такое же количество готовых деталей. Возможность применения многорядной последовательной штамповки мелких деталей определяется главным образом масштабами производства и экономической целесообразностью. Последняя устанавливается путем нахождения наименьшего количества деталей, при котором увеличение затрат на многорядные штампы покрывается экономией на себестоимости деталей.

Необходимо указать, что при многорядной штамповке стоимость штампов возрастает меньше, чем кратность штамповки. Так, для мелких деталей существуют соотношения между стоимостью различных штампов, приведенные в табл. 147. Стоимость однорядного штампа условно принята равной 1. Это обстоятельство значительно увеличивает эффективность применения многорядных последовательных штампов в крупносерийном производстве.

В результате решения указанных выше технологических вопросов выявляется технологическая схема штампа, которая должна отражать:

- 1) тип штампа в соответствии с характером производимых деформаций;
- 2) количество одновременно выполняемых операций или переходов (совместимость операций);
- 3) способ выполнения операций по времени (последовательно или параллельно);
- 4) количество одновременно штампуемых деталей;
- 5) схему расположения рабочих частей штампа;

147. Соотношения между средней стоимостью штампов

Тип штампа	Форма деталей	
	простая	сложная
Однорядный	1,0	1,0
Трехрядный	1,5—1,7	1,8—2,4
Пятирядный	1,8—2,2	2,5—3,5

6) способ подачи и фиксации материала или заготовки в штампе;

7) способ удаления деталей и отходов.

Технологическая схема штампа является заданием для его конструирования.

При проектировании технологических процессов холодной штамповки технологу приходится сопоставлять различные технологические варианты и выбирать наиболее целесообразный из них в техническом и в экономическом отношении. Кроме того, технолог должен выбрать наиболее эффективный тип оснастки: штампы со стандартными блоками, пакетные штампы с групповыми универсальными блоками, пластинчатые, листовые или универсальные штампы.

Обычно технолог не имеет возможности выполнять сложные экономические подсчеты, требующие применения сравнительно большого нормативного, планово-расчетного материала и данных бухгалтерского учета. Поэтому вполне достаточно, чтобы при разработке технологических процессов производились лишь приближенные и упрощенные подсчеты ожидаемой экономической эффективности того или иного варианта.

Оценка экономической эффективности применения комбинированных процессов листовой штамповки, по сравнению со штамповкой на простых штампах, заключается в сопоставлении единовременных капитальных затрат на изготовление более сложных штампов с ожидаемой экономией на текущих затратах производства: производственной заработной плате, расходе штампуемого материала, расходах на эксплуатацию оборудования и штампов и общехозяйственных расходах. Сумма единовременных затрат, имеющихся дополнительных капиталовложениями, не должна превышать суммы экономии, ожидаемой в течение срока изготовления данного изделия или в течение срока службы комбинированного штампа. Иначе говоря, стоимость дополнительных капиталовложений $K_{г. доп}$, отнесенная к одному году работы штампа, не должна превышать суммы условно-годовой экономии $\mathcal{E}_г$, определяемой разностью в себестоимости детали операций, умноженной на годовой выпуск штампуемых деталей N ,

$$K_{г. доп} \leq \mathcal{E}_г; \quad \mathcal{E}_г = (C_1 - C_2) N,$$

где C_1 и C_2 — себестоимость детали операции по сопоставляемым вариантам.

Более подробные сведения по расчету экономической эффективности и определению себестоимости приведены в пятом издании Справочника по холодной штамповке, а также в Инструкции Госплана СССР, Министерства финансов СССР и ЦСУ СССР по планированию, учету и калькулированию себестоимости продукции на предприятиях машиностроения и металлообработки, 1965 г. [49].

Для определения дополнительных капитальных затрат на штампы необходимо знать сравнительную стоимость их изготовления, которая находится по аналогии с типовыми штампами, содержащимися в заводских или отраслевых ценниках. Аналогия устанавливается в зависимости от типа, размеров и группы сложности штампуемых деталей. Так как аналогия не означает полного подобия, то этот метод определения стоимости штампов не гарантирует большой точности подсчета.

Приводим некоторые общие указания, связанные со сравнительной стоимостью штампов.

При серийном и мелкосерийном масштабе производства не всегда следует прибегать к расчленению процесса на отдельные операции; в ряде случаев целесообразнее применить более дешевые комбинированные последовательные или

совмещенные штампы пакетного типа для установки на универсальных блоках. Это дает большую экономию на стоимости штампов при высокой производительности процесса штамповки и повышенной точности деталей.

Применение универсальных блоков следует рекомендовать также и в условиях крупносерийного производства, особенно при средних и крупных габаритах штампуемых деталей.

Распространенное представление о весьма высокой стоимости совмещенных и последовательных штампов по сравнению с несколькими простыми штампами для тех же деталей в большинстве случаев не подтверждается экономическими и производственно-статистическими данными, что видно из следующего сопоставления стоимости штампов: для вырубного — 1, пробивного — 0,5—0,6, совмещенного — 1,4—1,8, последовательного 1,3—1,6, твердосплавного — 14—16.

6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ШТАМПЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В МЕЛКОСЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Холодная штамповка, применявшаяся вначале только в крупносерийном и массовом производстве, в настоящее время получила широкое распространение в мелкосерийном производстве, в серийном производстве с неустойчивой, часто изменяемой конструкцией деталей и даже при изготовлении опытных изделий. Это стало возможным в результате применения универсальных или простых и дешевых штампов и внедрения штамповки по элементам.

Внедрение холодной штамповки в мелкосерийном производстве взамен малопродуктивной ручной обработки приводит к значительному экономическому эффекту, заключающемуся в резком снижении трудоемкости по сравнению с ручной обработкой деталей (в пять—шесть раз), в уменьшении расхода материала и снижении массы штампуемых деталей и в увеличении производительности и снижении себестоимости деталей.

В мелкосерийном производстве получили применение следующие процессы листовой штамповки:

- 1) штамповка на универсальных переналаживаемых штампах, предназначенных для изготовления различных однотипных деталей разных размеров;
- 2) штамповка по элементам на универсальных быстропереналаживаемых штампах;
- 3) штамповка на координатно-револьверных пробивных прессах;
- 4) штамповка (высечка) на прорезных прессах и обрабатывающих центрах;
- 5) штамповка на универсально-сборных штампах (УСШ);
- 6) штамповка полиуретаном и жидкостью.

Универсальные штампы первого типа давно и широко применяются в серийном и мелкосерийном производстве и предназначены для отрезки, пробивки, надрезки, обрезки и гибки деталей, различающихся своими размерами. В большинстве случаев на этих штампах изготавливают детали из полосы, ленты, прутка и профильных заготовок. Универсальные штампы этого типа достаточно подробно освещены в литературе.

Метод штамповки по элементам, разработанный заслуженным изобретателем РСФСР В. М. Богдановым [14], заключается в том, что контур штампуемой детали расчленяется на простейшие элементы (прямые участки, закругления, пазы, скосы, отверстия и т. п.), выполняемые на заготовке последовательно при помощи набора различных универсальных штампов, каждый из которых может штамповать или один, или группу элементов контура.

Необходима предварительная нормализация элементов геометрических форм деталей.

На рис. 263 приведена последовательность штамповки трех различных деталей по элементам контура на одних и тех же универсальных штампах.

На рис. 264 показан пример штамповки детали по элементам контура на универсальных штампах.

Этот метод штамповки нашел широкое применение в опытно-конструкторском и мелкосерийном производстве, когда подлежит изготовлению небольшое количество разнотипных

деталей (от нескольких штук до несколько тысяч штук в год). Достоинство данного метода штамповки состоит в том, что он заменил полукустарные и весьма трудоемкие слесарные операции более производительными механизированными приемами работы при помощи универсальных штампов.

В мелкосерийном производстве штамповка по элементам универсальными штампами позволяет отказаться от изготовления ряда специальных штампов, что дает большую экономию и значительно сокращает сроки подготовки производства.

В случае изменения размеров деталей вместо переделки штампов требуется лишь переналадка универсальных штампов.

На основе анализа конструктивных форм деталей приборостроения установлен соответствующий комплект универсальных штампов.

Штампы имеют направляющие и упоры, передвигаемые посредством микровинтов и устанавливаемые в различных положениях относительно рабочих частей по нолиусам и шкалам (рис. 265).

Особенностью конструкции новых штампов В. М. Богданова является то, что они не закрепляются в ползуне пресса, от которого требуется только передача вертикального усилия. Возврат верхней части штампа вверх осуществляется при помощи пружин, встроены в узлы направляющих втулок. Погрешности пресса не

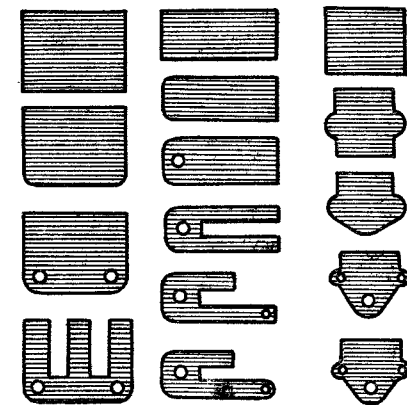


Рис. 263. Последовательность штамповки трех деталей по элементам контура

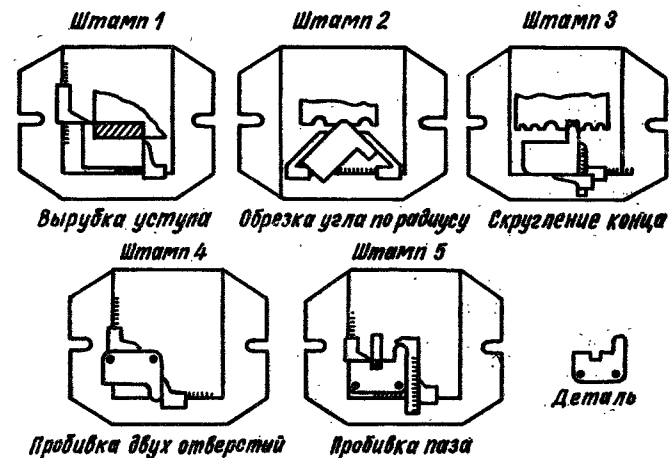


Рис. 264. Пример штамповки детали по элементам контура

влиять на точность штамповки. Одновременно усовершенствованы способы установки и настройки универсальных штампов, а также регулировка зазора.

В. М. Богдановым упрощена и организована работа рабочего места. Вместо линии вальцовых прессов с закрепленными на них универсальными штампами применен специальный пресс с нижним приводом и карусельным поворотным столом (рис. 266). На столе с определенной технологической последовательностью установлены

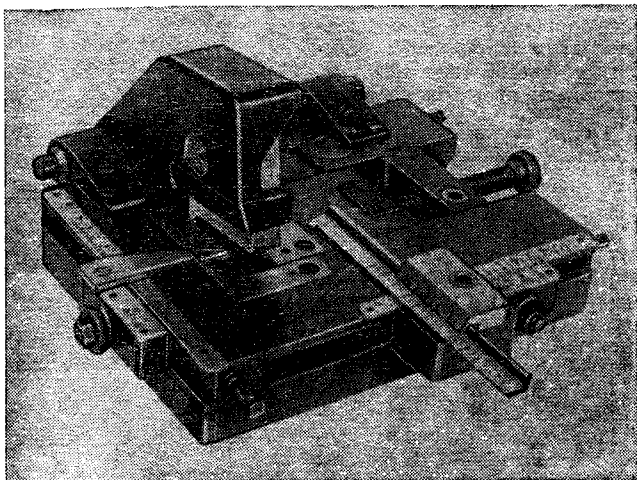


Рис. 265. Универсальный штамп для координированной вырезки пазов

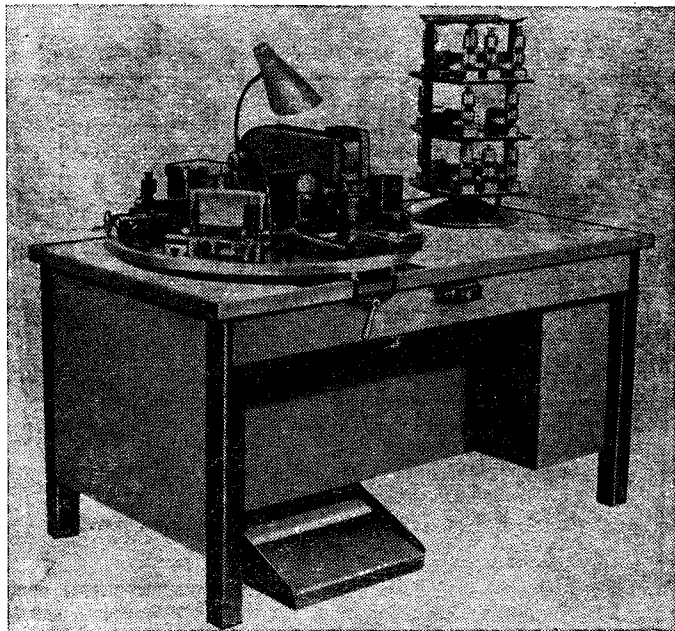


Рис. 266. Пресс В. М. Богданова с карусельным столом для универсальных штампов

быстропереключаемые универсальные штампы. Метод поэлементной штамповки успешно применяется на многих заводах с мелкосерийным производством.

Дальнейшим развитием метода поэлементной штамповки В. М. Богданова явилась разработка А. М. Румянцевым способа полуавтоматической штамповки по элементам в полосе мелких деталей радиоэлектронной промышленности. При этом способе штамповка отверстий или других элементов происходит в полосе, которая автоматически передвигается особым устройством на заданный шаг подачи. По окончании пробивки отверстий в последнем проходе производится отрезка или вырубка по контуру (рис. 267).

Работа производится на кривошипном прессе с механизмом регулируемой автоматической подачи полос путем пробивки отверстий отдельными рядами, со сменной пробивных пуансонов и матриц. Полуавтоматическая штамповка по элементам в полосе имеет преимущество при изготовлении мелких деталей, которые неудобно штамповать из штучных заготовок. Этот метод нашел применение также при изготовлении гетинаксовых плат с большим количеством круглых и прямоугольных отверстий (до 1000). Используя то же устройство для автоматической подачи на заданный шаг, осуществлена автоматическая сборка гетинаксовых пластин с металлическими лепестками и расклейка последних.

К третьему типу листовой штамповки по элементам относится штамповка на координатно-револьверных пробивных прессах деталей типа плат, панелей, шасси приемников с большим количеством пазов и отверстий разных форм и размеров. Изготовление таких деталей на координатно-револьверных пробивных прессах заключается в последовательной штамповке отверстий или других элементов при помощи набора сменных штампов, устанавливаемых в револьверной головке пресса. Обрабатываемая заготовка подается на рабочую позицию при помощи координатного устройства, управляемого вручную или автоматически с применением программного управления.

Координатно-револьверный пресс позволяет штамповать не только отверстия, но и наружные элементы листовых деталей: пазы, срезы, закругления, ребра жесткости, жалюзи, а также неглубокую отбортовку.

Наибольшее применение в СССР получили координатно-револьверные прессы с ручным управлением модели ПКР-1 и прессы Видеман типа RA — 41P, имеющие 18 позиций (гнезд) в револьверной головке. Обычно в этом случае применяют способ штамповки по шаблону, который отличается от детали тем, что все отверстия пробиты диаметром 6 мм, соответственно диаметру фиксирующего пальца. Центры одинаковых отверстий детали соединяют на шаблоне цветной линией, что облегчает ручное управление координатной установкой. После штамповки одинаковых элементов производят поворот револьверной головки и установку в рабочую зону следующего сменного штампа.

Малогабаритные фигурные детали, имеющие много отверстий, пробивают в заготовке, рассчитанной на две или четыре детали. На рис. 268 показана пробивка отверстий по шаблону в заготовке на четыре детали. Сначала производят пробивку всех отверстий в верхней левой детали (рис. 268, а), затем, повернув заготовку на 180° , — в нижней левой детали (рис. 268, б). После вторичного поворота заготовки на 180° пробивают отверстия в третьей детали (рис. 268, в), а повернув заготовку еще на 180° , пробивают отверстия в четвертой детали (рис. 268, г). После этого заготовки

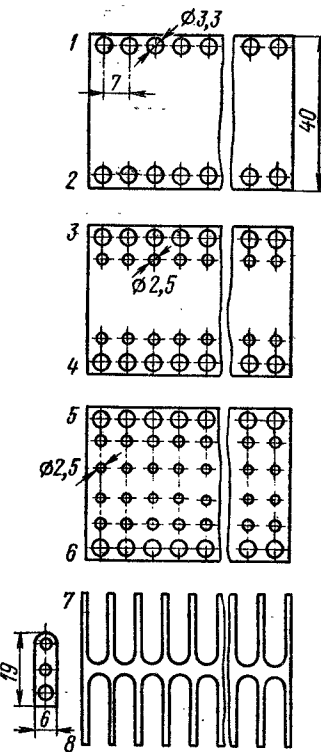


Рис. 267. Схема полуавтоматической штамповки по элементам (1—8 последовательность штамповки)

разрезают на две части (рис. 268, д) и вырезают наружный контур детали на пластинчатом штампе (рис. 268, е), получая законченную деталь (рис. 268, ж). [140].

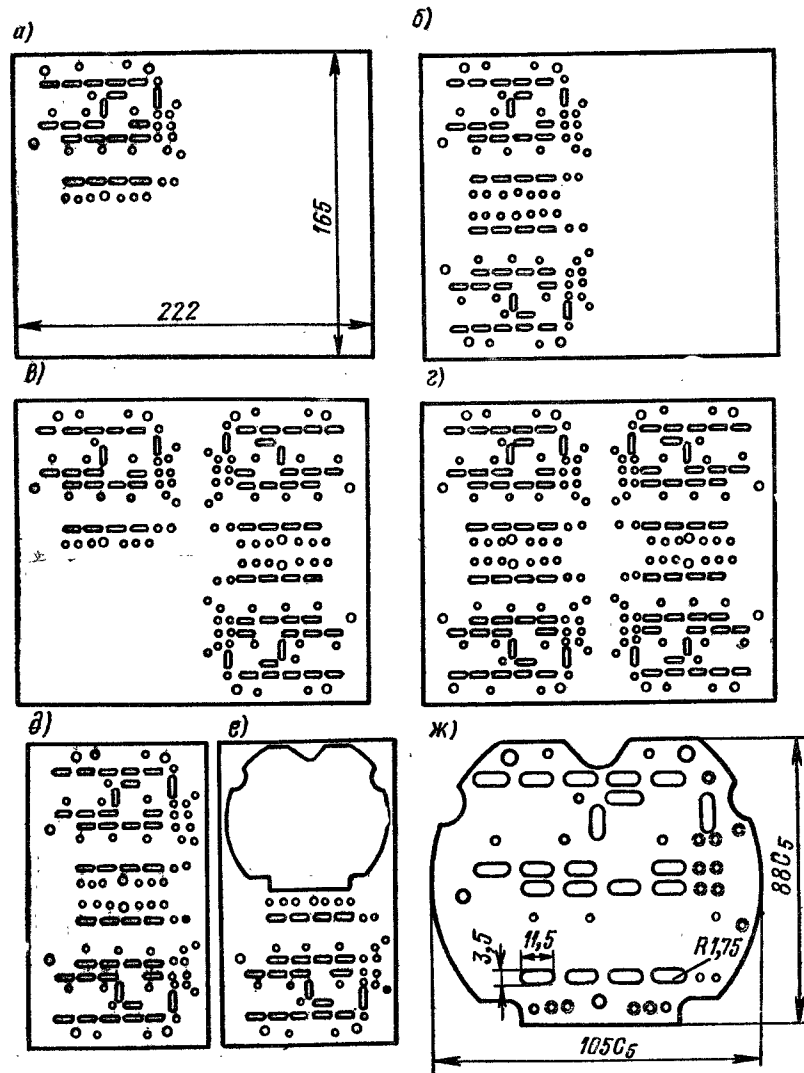


Рис. 268. Последовательность штамповки отверстий в заготовке для четырех деталей

В последнее время все большее применение находят координатно-револьверные прессы с программным управлением моделей К0126А, К0124, КА0126, К0130 [140]. Эти прессы имеют по 28 позиций в револьверной головке, что значительно расширяет область их применения. Перемещение заготовки производится автоматически при помощи винтовых приводов от электродвигателей.

Другим способом поэлементной штамповки является штамповка-высечка на прорезных прессах и обрабатывающих центрах. Этот старый способ быстро совершенствуется и механизмуется. Вначале это была прорезка-высечка контура по разметке или накладному шаблону. Затем были созданы копировально-прорезные станки, снабженные копировальным устройством. В дальнейшем фирма „Трумпф“ (ФРГ) выпустила автоматические копировально-прорезные с фотоэлектрическим управлением подачи заготовки. Последние модели этой фирмы снабжены системой программного управления и устройством для автоматической смены инструмента. (Trumatic 202V и 400V). Одновременно увеличены габариты штампуемых деталей (до 2 × 2 м) и их толщина (до 12 мм). На рис. 269 показана одна из деталей, отштампованная на копировально-прорезном прессе. Длина прорезного контура равна 4650 мм. Время изготовления около 5 мин. Кроме прорези (высечки) наружных и внутренних контуров на прорезных прессах, представляющих собой листообрабатывающие центры, производятся разнообразные штамповочные работы: штамповка круглых и квадратных отверстий, штамповка рифтов и жалюзей, отгибка прямолинейных и круглых бортов, зенкерование, выколотка сфер, чеканка.

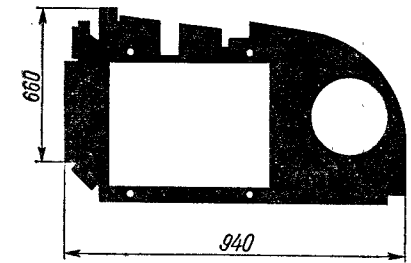


Рис. 269. Пример детали, изготовленной на копировально-прорезном прессе

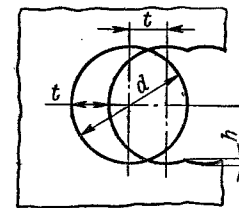
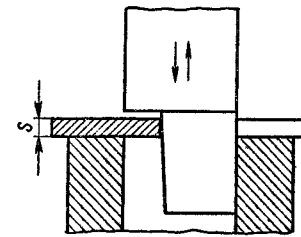


Рис. 270. Схема процесса прорезки-высечки

На рис. 270 показана схема прорезки-высечки, в процессе которой происходит срезание серповидного участка металла. Применяются разные типы пуансонов в зависимости от толщины материала, а также прямоугольные ножи для одностороннего и двустороннего резания (прорезания). Число ходов прорезных прессов малых габаритов составляет от 500 до 1400 ход/мин, а у крупных прессов-автоматов обычно равно 200—400 ход/мин.

При прорезке-высечке круглыми пуансонами получается волнообразный контур среза, зависящий от диаметра пуансона и шага подачи. Последняя находится по формуле

$$t = \sqrt{4h(d-h)},$$

где h — допустимая шероховатость поверхности среза (от 0,04 до 0,2 мм); d — наружный диаметр пуансона (обычно 10—12 мм).

Обычно шаг подачи берется в пределах 0,2—0,4 S. Последние модели автоматических прорезных прессов „Трумпф“ снабжены дополнительной фрезерной головкой с вертикальной цилиндрической фрезой, с большой скоростью срезающей шероховатости контура среза от высечных пуансонов. Недостатком

способа прорезной (высечной) штамповки является небольшая производительность, достоинства способа — быстрая настройка и ничтожная стоимость инструмента.

В мелкосерийном и даже единичном производстве получила применение штамповка на универсально-сборных штампах (УСШ).

Сущность системы УСШ заключается в том, что разнообразные, главным образом, разделительные штампы собираются из универсальных нормализованных элементов и узлов [78; 80]. После выполнения требуемой операции универсально-сборный штамп разбирается на составные элементы, которые используются для монтажа новых штампов.

На рис. 271 приведен УСШ для пробивки отверстий и фигурной отрезки детали,

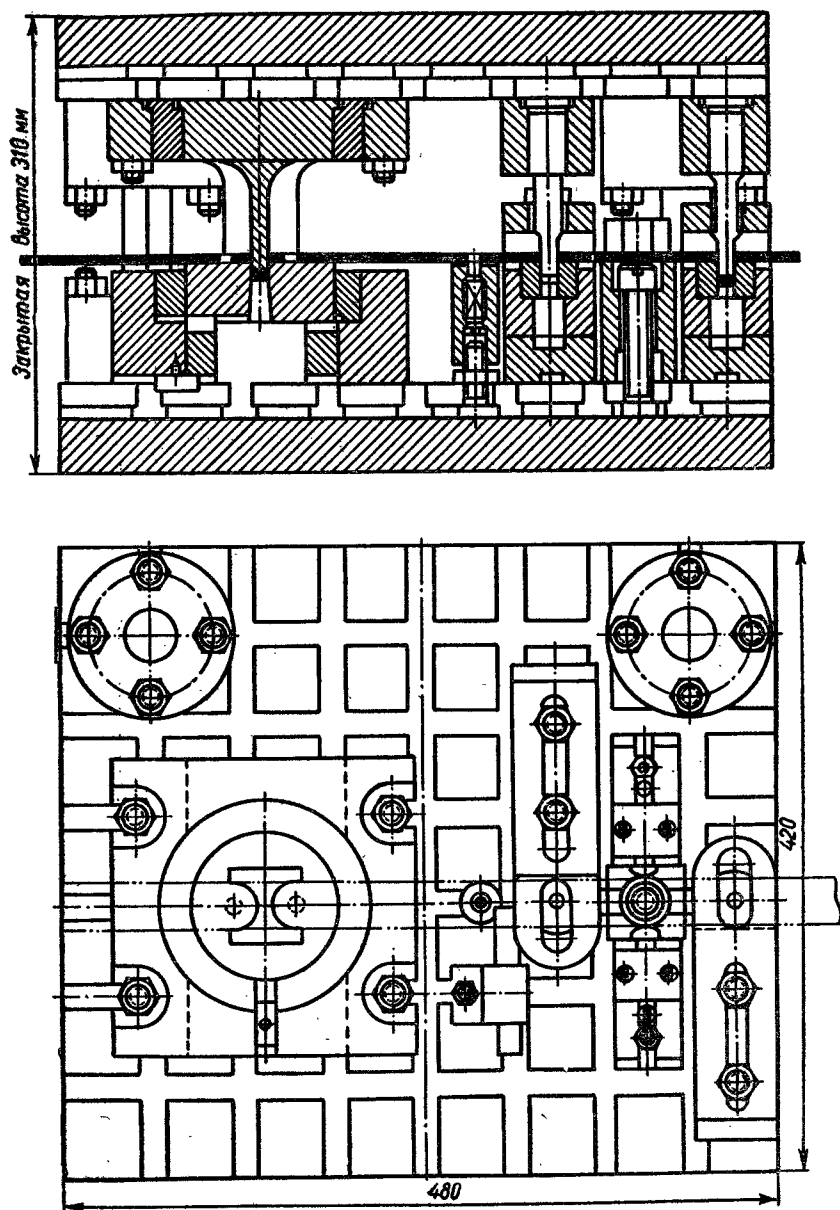


Рис. 271. Универсально-сборный штамп для пробивки и фигурной отрезки детали

Применение УСШ значительно снижает металлоемкость штамповочной оснастки в условиях мелкосерийного и единичного производства. Это достигается за счет длительного срока службы элементов УСШ. Применение УСШ для вырубки пробивки экономически эффективно при партиях деталей от 10 до 1500 шт.

Снижение стоимости УСШ, а следовательно, и повышение эффективности их применения может быть достигнуто путем изготовления их на специализированных предприятиях.

Недостатком универсально-сборных штампов является необходимость индивидуального изготовления рабочих частей, а также специальных пуансонов и матриц-держателей, являющихся наиболее сложными и трудоемкими элементами штампов.

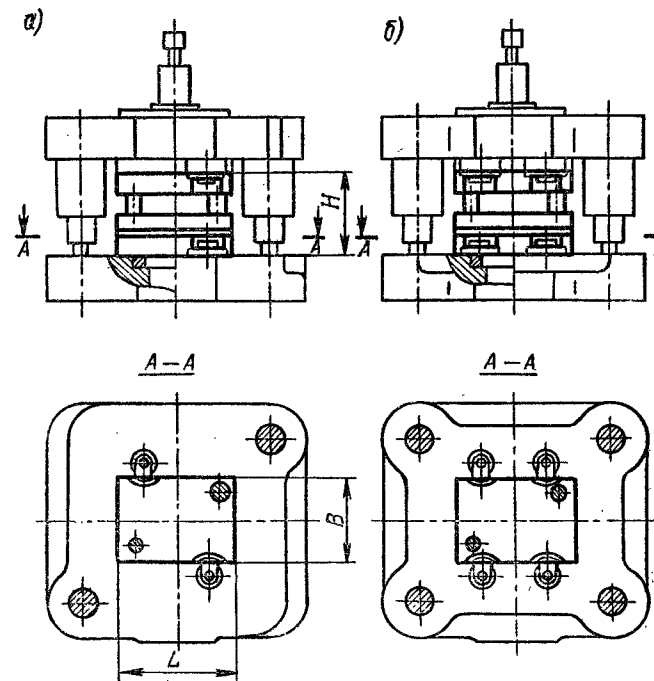


Рис. 272. Универсальный блок для крепления сменных пакетных штампов

Кроме универсальных штампов, в серийном и мелкосерийном производстве применяется частично универсальная штамповая оснастка в виде универсальных блоков со сменными пакетными или пластинчатыми рабочими штампами.

Универсальные блоки устанавливаются на соответствующих прессах и станках их принадлежностью. Установка сменных рабочих штампов в универсальные блоки производится без снятия их с пресса.

Применение универсальных блоков дает значительную экономию металла, идущего на изготовление штампов (до 50%), позволяет сократить срок подготовки производства (проектирование и изготовление нормализованных пакетных штампов) примерно в два раза по сравнению с индивидуальными блочными штампами, позволяет уменьшить на 30–40% площадь складских помещений для хранения штампов, облегчает и ускоряет смену пакетных штампов на прессах и повышает загрузку оборудования. Поэтому применение универсальных блоков со сменными рабочими штампами целесообразно не только в мелкосерийном, но также и в крупносерийном производстве.

В настоящее время получили практическое применение различные типы универсальных блоков со сменными рабочими штампами:

- 1) универсальные блоки со сменными пакетными штампами;
- 2) блоки со сменными пластинчатыми штампами;
- 3) электромагнитные универсальные блоки со сменными пластинчатыми штампами;
- 4) универсальные блоки со сменными пробивными штампами-кассетами.

Некоторые из них стандартизованы (например, по ГОСТ 17663—72, ГОСТ 19842—74), другие подлежат стандартизации.

На рис. 272 приведены стандартизованные универсальные блоки для сменных пакетов разделительных штампов по ГОСТ 17662—72 (рис. 272, а) и по ГОСТ 17663—72 (рис. 272, б).

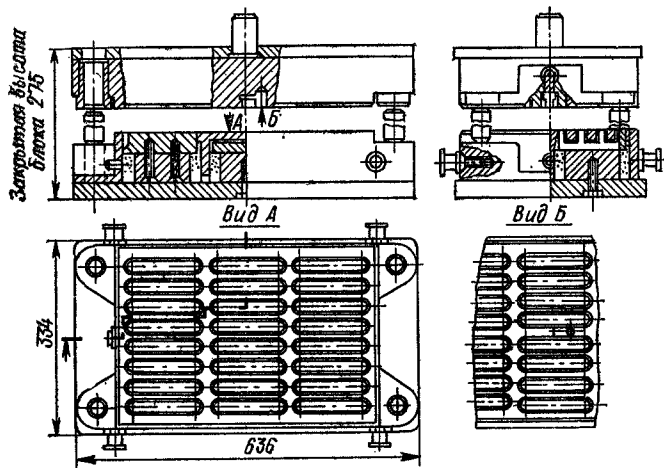


Рис. 273. Электромагнитный блок для крепления пластинчатых штампов

Сменные штампы-пакеты применяют для изготовления различных типов штампов — вырубных, пробивных, совмещенных, вытяжных, гибочных и комбинированных. Они требуют минимального времени для установки на блоке и обладают высокой стойкостью.

Для получения равномерного зазора между режущими кромками, а также для облегчения установки пакетных штампов необходимо сохранение соосности верхней и нижней части пакета. Это осуществляется установкой направляющих колонок (штифтов) и втулок, соединяющих верхнюю и нижнюю плиты пакетного штампа.

В отечественной промышленности успешно применяются универсальные электромагнитные блоки для штамповки простыми и дешевыми пластинчатыми штампами. В последние годы электромагнитные блоки получили применение в мелкосерийном производстве как при штамповке мелких, так и весьма крупных деталей на прессах усилием от 4 до 200 тс.

На рис. 273 показан электромагнитный блок для крепления пластинчатых штампов, предназначенный для прессы усилием 100 тс. Удельное усилие притяжения электромагнитного блока свыше 4 кгс/см², а общее притяжение — 4200 кгс.

Неотъемлемой принадлежностью электромагнитного блока является пульт управления с понижающим трансформатором, селеновым выпрямителем, магнитным пускателем, а также реле тока и напряжения. Питание блоков производится от сети 380 В через селеновый выпрямитель. В каждой плите — шесть последовательно соединенных катушек по 420 витков в каждой (2,8А; 43,9В; 138Вт).

Электрические схемы прессы и блока должны быть взаимно заблокированы так, чтобы при отключении электромагнита пресс автоматически выключался.

Электромагнитные блоки данного типа успешно применяются при штамповке деталей из цветных металлов и сплавов. При штамповке деталей из магнитного металла возникает вредное притяжение заготовки к намагниченной матрице, что затрудняет съем деталей и отходов и подачу заготовки.

В процессе совершенствования данного метода штамповки для устранения притяжения полосы из магнитного металла (сталь) к матрице создана конструкция блока с магнитно-механическим креплением штампа. При установке матрица окончательно закрепляется при помощи двух механических прихватов, после чего электромагнит нижней плиты блока отключается и не препятствует подаче заготовки.

Крепление пуансона остается электромагнитным. Для увеличения универсальности данного способа штамповки в блок монтируются быстросъемные буферные и выталкивающие устройства, благодаря которым стало возможным применение элект-

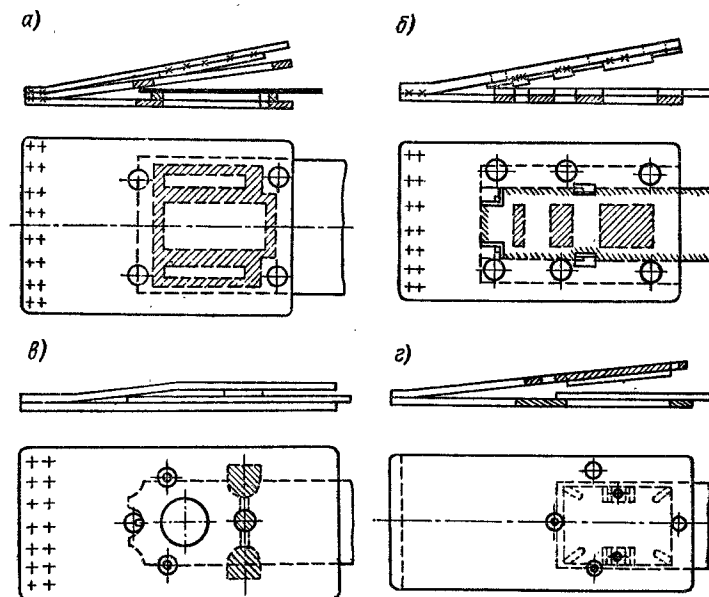


Рис. 274. Конструкции листовых «пинцетных» штампов; а — для вырезки и пробивки; б — для пробивки; в — для отрезки; г — для вырезки

ромагнитных блоков не только для вырубки и пробивки, но и для гибки, вытяжки, отбортовки и комбинированной штамповки.

За рубежом иногда применяют сменные пробивные штампы с смонтированными в пуансонодержатель постоянными магнитами.

Стоимость универсальных электромагнитных блоков примерно в два раза выше, чем универсальных блоков с механическим креплением штампов.

Универсальные блоки с механическим креплением сборных пробивных штампов-кассет получили применение при штамповке крупногабаритных деталей из толстолистового металла, например лонжеронов и других деталей рамы грузовых автомобилей и тракторов, а также при пробивке отверстий в прокатных профилях.

В мелкосерийном производстве получили применение упрощенные листовые штампы, используемые для различного рода вырубных и неглубоких формовочных операций. Детали листовых штампов изготавливают из тонколистовой стали, толщина которой лишь немного превышает толщину штампуемого металла. Пуансоны и матрицы листовых штампов делают из стали У8А или 30ХГСА для штамповки алюми-

ния — без термообработки, а для штамповки стали — с соответствующей термической обработкой.

Для штамповки простых или небольших по габариту деталей иногда применяют штампы «пинцетного» типа (рис. 274), а для штамповки крупногабаритных или сложного контура деталей — листовые штампы с направляющими штифтами (рис. 275). На рис. 275 показаны заготовки корпуса шасси из дуралюмина толщиной 1,5 мм и два штампа — один для вырубki контура и пробивки больших отверстий, а второй — для пробивки более 100 мелких отверстий диаметром от 1,5 мм и выше. Конструкции и способы изготовления листовых штампов изложены в специальной литературе.

В табл. 148 приведена сравнительная характеристика универсальных и частично универсальных штампов, применяемых в мелкосерийном производстве.

148. Сравнительная характеристика разделительных штампов, применяемых в мелкосерийном и серийном производстве

Типы штампов	Группа стоимости	Примерная область применения (программа выпуска)
Универсальные переналаживаемые штампы для поэлементной штамповки	Высокая	От 5—10 до 10000
Универсально-сборные штампы	»	20—2500
Листовые «пинцетные» штампы	Весьма низкая	50—500
Штампы с полиуретановой матрицей	Низкая	10—20 000
Быстросменные пластинчатые штампы к универсальным и электромагнитным блокам	»	200—5000
Сменные пакетные штампы к универсальным блокам:		
простого типа	Средняя	1000—20 000
последовательного и совмещенного типов	Повышенная	5000—50 000
Специальные штампы	Высокая	10 000—100 000

Примерный выпуск деталей является ориентировочным. Оптимальный вариант процесса определяется путем подсчета экономической эффективности применения сравниваемых вариантов.

При изготовлении объемно-полых деталей, требующих операций вытяжки, формовки и отбортовки, в мелкосерийном производстве применяют дешевые и упругие штампы следующих типов: 1) для штамповки резиной по простым металлическим шаблонам; 2) литые свинцово-цинковые штампы; 3) деревянные и деревянно-резиновые штампы и шаблоны; 4) пластмассовые штампы; 5) штампы для гидравлической штамповки. Большинство из них было приведено раньше.

На рис. 276 приведен способ штамповки-вытяжки пластичным металлом (свинцом) по металлической матрице, получивший применение в мелкосерийном производстве. Последовательность процесса штамповки: заготовка уложена на свинцовую подушку и прижата к ней матрицей (рис. 276, а); при рабочем ходе свинец вдавливает заготовку в матрицу (рис. 276, б и в); при холостом ходе выталкивается из матрицы (рис. 276, г); свинец в обжиме обжимается плоской плитой и готов для следующей вытяжки (рис. 276, д и е).

На рис. 277 приведены схемы применения матриц из полиуретана в различного типа гибочных и формовочных штампах:

1) в штампе для гибки по большому радиусу с формовкой ребер жесткости (рис. 277, а);

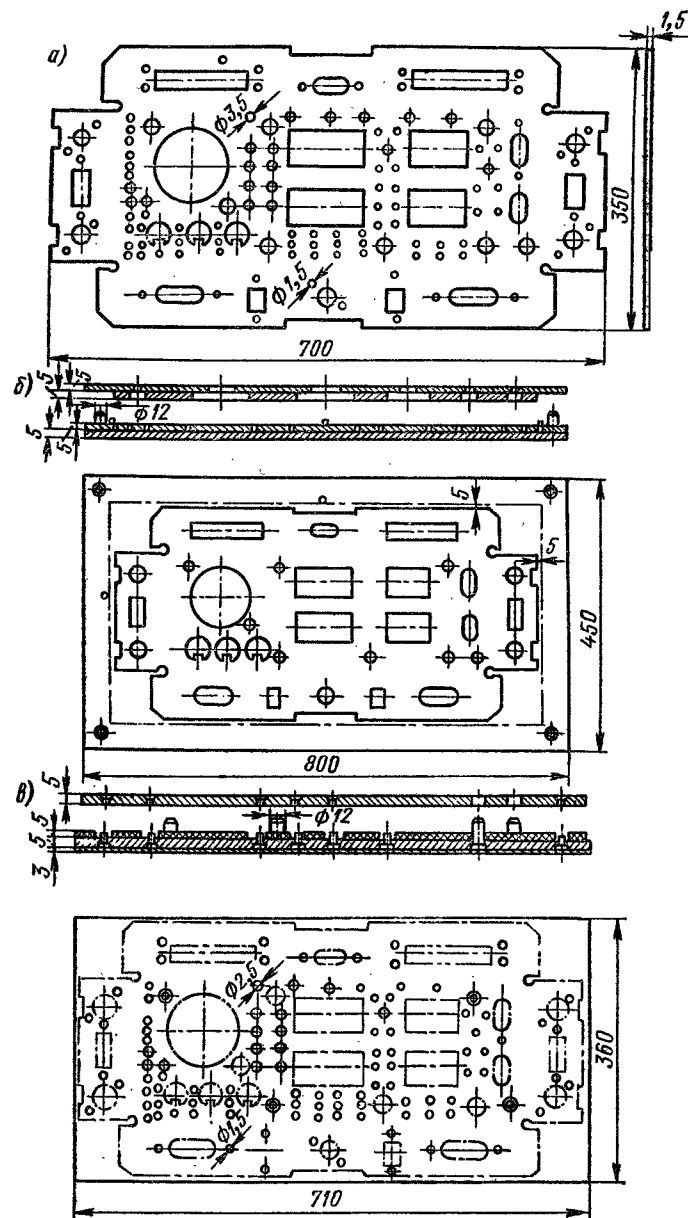


Рис. 275. Листовые штампы для крупногабаритных деталей; а — штампуемая деталь; б — штампы для вырубki и пробивки; в — штамп для пробивки мелких отверстий

2) в штампах, требующих большой глубины вдавливания пуансона, для чего предусмотрен зазор между полиуретаном и обоймой путем закладки прутков (рис. 277, б); различный диаметр прутков позволяет регулировать величину деформации полиуретана и облегчить процесс гибки деталей сложной формы; 3) в штампах, требующих высоких боковых давлений, что достигается применением профильной полиуретановой матрицы и закладкой прутков в углах обоймы (рис. 277, в).

Экспериментально установлены следующие правила применения полиуретановых гибочных матриц:

- 1) при глубине вдавливания до 8 мм применяется плоская матрица с зазором между полиуретаном и стенками обоймы;
- 2) при глубине вдавливания от 8 до 15 мм используют матрицу с подкладными стержнями в углах обоймы;

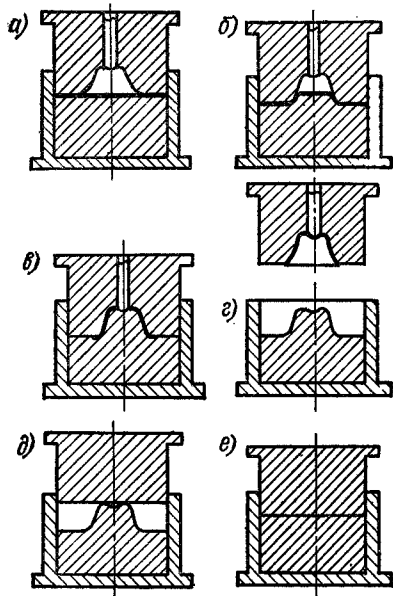


Рис. 276. Способ штамповки-вытяжки свинцом по металлической матрице

3) при глубине вдавливания свыше 15 мм применяют составные (из брусков) или профилированные матрицы.

Для изготовления дешевой неметаллической оснастки в мелкосерийном производстве (форм-блоки, оправки, пуансоны и т. п.) получили применение и другие материалы:

- термопластическая композиция на основе этилцеллюлозы — ТЛК-Э;
- песко-клеевая масса ПСК, приготовленная из формовочного песка и клея ВИАМ Б-3;
- древесно-клеевая масса ДКМ, приготовляемая из древесных опилок и клея ВИАМ Б-3.

7. ТОЧНОСТЬ ШТАМПОВАННЫХ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

Точность листовых штампованных деталей зависит от большого количества факторов, являющихся причиной образования особых погрешностей. Такими факторами являются:

- 1) упругие и пластические свойства материала, определяющие величину упругих деформаций (упругого пружинения) и вызывающие у гнутых и полых деталей — погрешности линейных размеров (одновременно с влиянием величины зазора);

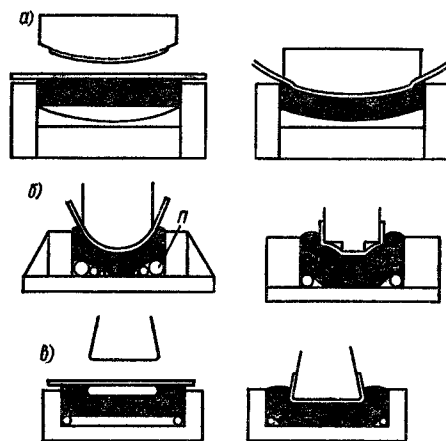


Рис. 277. Схемы применения полиуретановых матриц в гибочных штампах

2) неоднородность листового металла по толщине и механическим свойствам (анизотропия), вызывающие те же погрешности;

3) геометрические размеры деталей (толщина, линейные размеры), с увеличением которых возрастает абсолютная величина погрешностей штамповки;

4) тип штампа и способ фиксации заготовки, определяющие величину погрешностей от установки заготовки;

5) структура технологического процесса (количество и последовательность операций, с увеличением числа которых происходит накопление погрешностей);

6) степень деформации при гибке, определяющая величину упругого пружинения и требующая в ряде случаев применения гибки с растяжением;

7) точность изготовления штампа, от которой зависит начальная (достижимая) точность штампуемых деталей;

8) износ штампа, зависящий от конструкции и способа направления, а также от материала и термообработки рабочих частей штампа. Износ штампа определяет конечную точность деталей.

К этому следует добавить погрешности самого пресса и его настройки, а также погрешности оператора при подаче и фиксации заготовки.

Сложность аналитического определения суммарной погрешности заключается во взаимосвязи перечисленных факторов и взаимно компенсирующем влиянии некоторых погрешностей. Кроме того, абсолютная величина погрешностей в значительной мере зависит от конкретных производственных условий. Все это усложняет и затрудняет разработку единой системы допусков для штампованных деталей.

Особая сложность разработки такой системы состоит в том, что естественные технологические погрешности (отклонения) штампованных деталей направлены главным образом в сторону увеличения их размеров в результате упругой деформации металла при вырубке, вытяжке и гибке. Отдельные исключения не меняют существа вопроса.

Существующая же система допусков и посадок по ГОСТ 7713—62 создана для сопряжения деталей, изготавливаемых обработкой снятием стружки и основана на противоположном направлении погрешностей обработки («в тело детали»).

Таким образом, поля допусков по ГОСТу не совпадают с полями технологических погрешностей штампованных деталей. Однако штампованные детали должны сопрягаться без подготовки с механически обработанными деталями машин и приборов и по сопрягаемым размерам (контурам) должны соответствовать требованиям ГОСТ 7713—62.

Для устранения возникшего противоречия необходимо изменить технологическое поле допуска и номинальные размеры штампуемой детали таким образом, чтобы отштампованная деталь с технологическими погрешностями укладывалась в поле допуска по ГОСТу. Это осуществляется путем подсчета исполнительных размеров рабочих частей штампов. Естественно, что для несопрягаемых размеров и элементов контура такого пересчета не требуется.

Ниже рассмотрены приближенные значения технологических отклонений плоских, гнутых и полых деталей.

Для холодной листовой штамповки наибольшее значение имеет не предельно достижимая точность штампуемых деталей, а так называемая экономическая точность, под которой следует понимать технически осуществимую и экономически наиболее выгодную точность выполнения данной операции с учетом предельно допустимого износа штампа. Отсюда следует, что в мелкосерийном производстве аналогичных деталей экономическая точность несколько выше, чем в крупносерийном и массовом производстве, так как вследствие небольшого выпуска общий износ штампа в серийном производстве меньше, а конечная точность выше.

Плоские детали

В табл. 149—152 приведены приближенные значения отклонений размеров плоских штампуемых деталей, установленные применительно к условиям серийного производства небольших изделий.

149. Отклонения наружных размеров плоских деталей

Толщина материала, мм	Отклонения в мм ($\bar{\Delta}$) в зависимости от типа штампа и размеров детали, мм							
	Вырубной обычной точности				Вырубной повышенной точности			
	До 10	10—50	50—150	150—300	До 10	10—50	50—150	150—300
0,2—0,5	0,08	0,1	0,14	0,2	0,025	0,03	0,05	0,08
0,5—1,0	0,12	0,16	0,22	0,3	0,030	0,04	0,06	0,10
1,0—2,0	0,18	0,22	0,30	0,5	0,040	0,06	0,08	0,12
2,0—4,0	0,24	0,28	0,40	0,7	0,060	0,08	0,10	0,15
4,0—6,0	0,30	0,35	0,50	1,0	0,100	0,12	0,15	0,20

150. Отклонения размеров отверстий

Толщина материала, мм	Отклонения в мм ($\bar{\Delta}$) в зависимости от типа штампа и размеров отверстия, мм					
	Пробивной обычной точности			Пробивной повышенной точности		
	До 10	10—50	50—150	До 10	10—50	50—150
0,2—1,0	0,05	0,08	0,12	0,02	0,04	0,08
1,0—2,0	0,06	0,10	0,16	0,03	0,06	0,10
2,0—4,0	0,08	0,12	0,20	0,04	0,08	0,12
4,0—6,0	0,10	0,15	0,25	0,06	0,10	0,15

151. Отклонения на расстояния между центрами отверстий в плоских деталях

Толщина материала, мм	Отклонения в мм (\pm) в зависимости от типа штампа и расстояния между центрами, мм					
	Пробивной обычной точности			Пробивной повышенной точности		
	До 50	50—150	150—300	До 50	50—150	150—300
До 1	0,10	0,15	0,20	0,03	0,05	0,08
1—2	0,12	0,20	0,30	0,04	0,06	0,10
2—4	0,15	0,25	0,35	0,06	0,08	0,12
4—6	0,20	0,30	0,40	0,08	0,10	0,15

Отклонения наружных размеров при вырубке являются следствием упругой деформации материала и распрямления первоначального прогиба, а также увеличения рабочих размеров матрицы в результате износа и перешлифовки. Поэтому в большинстве случаев технологические отклонения наружных размеров детали направлены в сторону увеличения размеров. По тем же причинам отклонения размеров отверстий направлены в сторону уменьшения размеров отверстия. Это должно учитываться при построении исполнительных размеров матриц и пуансонов.

В табл. 152 приведены отклонения на смещение отверстий от наружного контура для различных способов штамповки.

152. Отклонения на смещение отверстий от наружного контура

Размеры деталей, мм	Отклонения в мм (\pm) в зависимости от типа и точности штампа							
	Смещенный		Последовательный с ловителем		Последовательный без ловителя		Пробивной с фиксацией по контуру	
	Повышенная	Обычная	Повышенная	Обычная	Повышенная	Обычная	Повышенная	Обычная
До 30	0,015	0,02	0,05	0,10	0,10	0,20	0,08	0,15
30—100	0,020	0,03	0,10	0,15	0,15	0,30	0,12	0,20
100—200	0,025	0,04	0,12	0,20	0,25	0,40	0,18	0,30

Гнутые детали

При штамповке изогнутых деталей их неточность складывается из двух погрешностей: размерных погрешностей, зависящих главным образом от точности фиксации и устойчивости заготовки в процессе изгиба и погрешностей формы, от упругости материала, отношения r/S и степени наклепа в месте перегиба.

Размерные погрешности изогнутых деталей выражаются главным образом в отклонении по высоте загибаемых полок, в отклонениях расстояния между отверстиями или расстояния от базы до оси отверстия в том случае, когда отверстия пробиты в плоской заготовке (до гибки). Эти погрешности определяются точностью фиксации заготовки и ее устойчивостью при изгибе в зависимости от нарушения симметричности изгиба и способа прижима и могут быть выражены в долях толщины материала (табл. 153).

153. Отклонения по высоте отгибаемых полок и по расстоянию от базы до оси отверстий (в случае гибки после пробивки отверстий)

Тип штампа	Отклонения (\pm)
Без прижима	(0,3 ÷ 0,4) S
С пружинным прижимом	(0,05 ÷ 0,1) S
С фиксацией кернами (мелкие детали)	(0,1 ÷ 0,15) S
С фиксацией на отверстия (крупные детали)	(0,1 ÷ 0,20) S

В случае пробивки отверстий после гибки достижима более высокая точность их расположения, а допуски могут быть взяты по табл. 151 и 152.

С увеличением количества отдельных операций гибки неточность возрастает вследствие нарастания погрешностей. Поэтому при штамповке деталей повышенной точности целесообразно уменьшать количество отдельных операций гибки за счет усложнения конструкции гибочного штампа.

Отклонение от заданной формы или непараллельность сторон зависит от пружинения материала, рассмотренного в гл. II.

Для уменьшения величины пружинения в случае П-образной гибки применяют обратный легкий выгиб средней полки, а в случае угловой и сложной гибки — калировку с уменьшением радиуса закругления и учетом угла пружинения.

На рис. 278 приведены различные способы, применяемые для получения гнутых деталей повышенной точности: одновременная отрезка и гибка простых деталей (рис. 278, а—в), что обеспечивает одинаковый размер полок; калировка высоты и

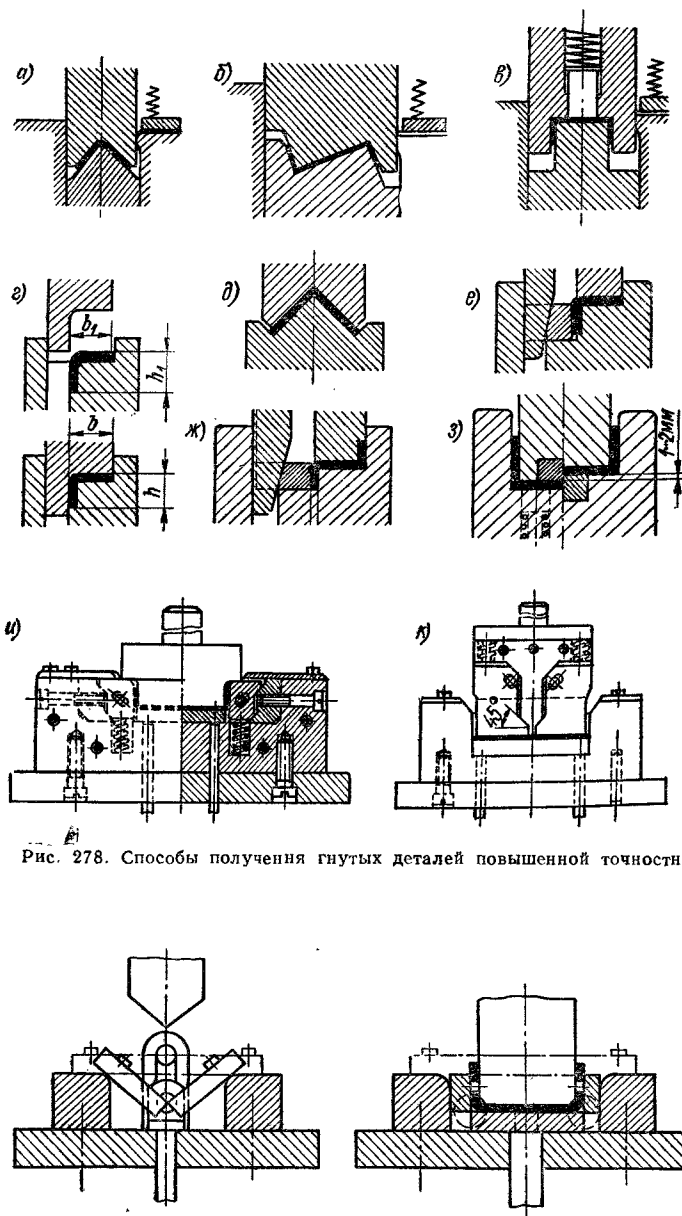


Рис. 278. Способы получения гнутых деталей повышенной точности

Рис. 279. Шарнирно-гибочные штампы для гибки небольших деталей с точным расположением отверстий

ширины полок согнутых деталей (рис. 278, г—ж); гибка скобы в разрезной ее на две угловые детали (рис. 278, з); гибка и правка углов и боковых полок при помощи клиньев с обжимом по пуансону (рис. 278, и) или по матрице (рис. 278, к).

При гибке небольших деталей с точным расположением отверстий применяют шарнирно-гибочные штампы с фиксацией заготовки на отверстия (рис. 279). В исходном положении ось вращения шарнирных матриц должна быть смещена вверх от поверхности, на которую укладывается заготовка, на величину

$$h = 0,215r + S(1 - 0,78x),$$

где r — радиус пуансона; S — толщина материала; x — коэффициент, определяющий положение нейтрального слоя (см. табл. 16).

На штампах указанного типа достижима точность $\pm 0,05 S$.

Полые детали

При вытяжке полых деталей наибольшее значение имеют допуски по наружным размерам (диаметру и высоте) детали. Отклонения размеров по диаметру вытягиваемых деталей зависят в основном от следующих причин:

1) увеличения размеров детали по выходе из штампа вследствие упругих деформаций (пружинения), достигающих наибольшей величины у верхнего края детали; 2) величины зазора между пуансоном и матрицей, определяющего конусность детали еще в момент вытяжки;

3) точности изготовления рабочих частей штампа и степени их износа.

Наибольшее значение имеет упругое увеличение размеров у верхнего края детали, зависящее главным образом от коэффициента вытяжки и относительной толщины заготовки S/D (в обратной зависимости).

В табл. 154 приведены приближенные значения отклонений по диаметру цилиндрических полых деталей без фланца при обычной точности изготовления штампа. В случае вытяжки деталей с широким фланцем упругое увеличение размеров значительно уменьшается, благодаря чему отклонения могут быть взяты меньшими, примерно равными допускам после калибровки.

154. Отклонения по диаметру цилиндрических полых деталей без фланца, в % от диаметра

Коэффициент вытяжки m	Первая вытяжка при $(S/D) 100\%$			Калибровка при $(S/D) 100\%$		
	2,0—1,0	1,0—0,3	0,3—0,1	2,0—1,0	1,0—0,3	0,3—0,1
0,8	0,3	0,4	0,5	0,12	0,16	0,2
0,7	0,4	0,5	0,6	0,16	0,20	0,25
0,6	0,5	0,6	0,7	0,20	0,25	0,3
0,5	0,6	0,7	—	0,25	0,30	—

Отклонения по высоте полых деталей зависят от многих причин: глубины вытяжки, степени анизотропии холоднокатаного материала и образования так называемых фестонов, неточности фиксации заготовки, неравномерности толщины материала, зазора и смазки и т. п.

В табл. 155 приведены приближенные значения отклонений по высоте цилиндрических деталей без фланца, а в табл. 156 — цилиндрических деталей с фланцем. В табл. 157 приведены отклонения поверхности дна от плоскости.

В подавляющем большинстве случаев детали после вытяжки подвергаются обрезке, для чего предусматривается припуск на обрезку. Без обрезки вытягивают лишь неглубокие детали с коэффициентом вытяжки $m = 0,8 \div 0,7$, причем достижимая точность соответствует 3—4-му классу в случае одновременной вырезки и вытяжки и 4—5-му при вытяжке из штучной заготовки.

155. Отклонения по высоте цилиндрических деталей без фланца

Толщина материала, мм	Отклонения в мм (±) в зависимости от высоты детали, мм						
	До 18	18—30	30—50	50—80	80—120	120—180	180—260
До 1	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8
1—2	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,0
2—4	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,0	2,5
4—6	1,0	1,2	1,5	1,8	2,0	2,5	3,0

156. Отклонения по высоте цилиндрических деталей с фланцем

Толщина материала, мм	Отклонения в мм (±) в зависимости от высоты детали, мм						
	До 18	18—30	30—50	50—80	80—120	120—180	180—200
До 1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2
1—2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2	1,4
2—4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,4	1,6
4—6	0,6	0,7	0,8	0,9	1,2	1,6	1,8

157. Отклонения поверхности дна посудной вытяжки от плоскости

Толщина материала, мм	Отклонения от плоскости в зависимости от размеров, мм				
	До 75	75—150	150—250	250—500	Св. 500
До 0,4	0,5	0,7	0,9	1,3	1,5
0,4—1,2	0,5	0,7	0,9	1,0	1,8
1,2—2,0	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
2—3,5	0,25	0,35	0,5	0,6	0,8
Св. 3,5	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7

При разработке технологических процессов холодной листовой штамповки должны быть установлены операционные допуски для всех операционных размеров, относящихся к установочным поверхностям, которые служат для фиксации детали на последующих операциях, и подвергаемых операционному техническому контролю.

При штамповке в одну операцию операционным допуском является допуск готовой детали (по чертежу). На свободных операционных размерах допуски не представляются. На ряде заводов в этом случае применяют допуски 7-го класса точности по системе отверстия. Установление операционных допусков производится в соответствии с экономической точностью того или иного вида штамповки или с требуемой точностью детали.

В случае, если экономическая точность штамповки не обеспечивает получения заданных конструктивных допусков, в технологическом процессе должны быть предусмотрены дополнительные операции (калибровка, правка, зачистка и т. п.) или применены штампы повышенной точности.

Технологическая документация должна соответствовать нормам «Единой системы технологической документации» по ГОСТ 3.1901—74.

В настоящее время в СССР и за рубежом ведутся работы по автоматизированному проектированию технологических процессов холодной листовой штамповки и проектированию штампов при помощи электроинструментальных машин. [Институт технической кибернетики АН БССР, фирмы: „Дайекомп“, „Прессед Стил Фишер“ (США), „Оливетти“ (Италия) и др.].

ГЛАВА III

ВЫБОР ПРЕССОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

8. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ ВЫБОРА ПРЕССА

При выборе пресса исходят из следующих соображений:

- 1) тип пресса и величина хода ползуна должны соответствовать технологической операции;
- 2) номинальное усилие пресса должно быть больше усилия, требуемого для штамповки;
- 3) мощность пресса должна быть достаточной для выполнения работы, необходимой для данной операции;
- 4) пресс должен обладать достаточной жесткостью (малой упругой деформацией), а для разделительных операций — также повышенной точностью направляющих;
- 5) закрытая высота пресса должна соответствовать или быть больше закрытой высоты штампа;
- 6) габаритные размеры стола и ползуна пресса должны давать возможность установки и закрепления штампов и подачи заготовок, а отверстие в столе пресса — позволять свободное проваливание штампуемых деталей (при штамповке „на провал“);
- 7) число ходов пресса должно обеспечивать достаточно высокую производительность штамповки;
- 8) в зависимости от рода работы должно быть предусмотрено наличие специальных устройств и приспособлений (буфера, выталкиватели, механизмы подачи и т. п.);
- 9) удобство и безопасность обслуживания пресса должны соответствовать требованиям техники безопасности.

Таким образом, основными механическими параметрами для выбора пресса являются: усилие, работа, жесткость, величина хода, закрытая высота и размеры стола пресса.

Следует отличать загрузку пресса по усилию от загрузки по мощности (по работе). Первая лимитируется прочностью коленчатого вала или зубчатых передач пресса, а вторая — живой силой маховых масс, мощностью электродвигателя и допустимой его перегрузкой.

Недостаточно производить выбор пресса только по усилию, так как могут быть разные случаи перегрузки пресса:

- 1) пресс перегружен по допускаемому усилию, в результате чего происходит деформация вала, а затем и поломка пресса;
- 2) пресс перегружен по мощности, но не перегружен по допускаемому усилию. В этом случае происходит затормаживание и резкое падение частоты вращения маховика, вызывающее недопустимое скольжение электродвигателя, перегрев его обмотки и порчу изоляции. В результате непродолжительной работы электродвигатель выходит из строя.

Выбор пресса по усилию производят следующим образом. Усилие, необходимое для выполнения технологической операции, находят по соответствующим формулам, приведенным в первом разделе. Определяют усилие сжатия буферов и выталкивателей, суммируют с технологическим усилием и сравнивают с номинальным усилием пресса

$$P_{пр} > P + Q_6.$$

Так как прессы изготовляют в определенном интервале по номинальному усилию (6,3; 10; 16; 25; 40; 63; 80; 100; 125; 160; 200 тс и т. д.), то обычно при выборе пресса расчетное усилие не соответствует точно номинальному усилию. Поэтому пресс берут заведомо большего усилия, чем требуется по расчету. Применение более сильного пресса обеспечивает повышенную жесткость и меньшее пружинение станины, а следовательно, и большую стойкость штампов, особенно для разделительных операций. Некоторый избыток усилия против расчетного предохраняет от поломки при случайном попадании более толстой заготовки, что имеет большое значение для гибки с калибровкой, рельефной и объемной штамповки.

Величина усилия, создаваемого кривошипным прессом, переменна на протяжении хода пресса, достигая наибольшего (номинального) значения в конце рабочего хода.

Обычно каталожные и паспортные данные приводят номинальное усилие кривошипных прессов, создаваемое при угле $\alpha = 20 \div 30^\circ$. Это необходимо учитывать в случае операций, требующих большой величины рабочего хода, так как давление, развиваемое прессом в начале операции, будет меньше номинального. На рис. 280 приведено изменение усилия, развиваемого кривошипным прессом на протяжении рабочего хода. На середине хода усилие составляет от 40 до 50% от номинального. В связи с этим необходимо указать, что номинальное усилие кривошипного пресса, установленное в конце рабочего хода, не может быть использовано для глубокой вытяжки. Это явствует из наложения рабочих диаграмм операций на диаграмму усилия, развиваемого кривошипным прессом на протяжении рабочего хода (рис. 281).

На рис. 281, а наложена рабочая диаграмма процесса вырубki, на рис. 281, б — процесса гибки с калибровкой, а на рис. 281, в — процесса вытяжки. В то время как диаграммы процессов вырубki и гибки не выходят за пределы допускаемого прессом усилия, диаграмма усилия вытяжки выходит за эти пределы и вызывает значительную перегрузку пресса. Отсюда вытекает, что кривошипный пресс при использовании его для вытяжных работ должен быть взят большего номинального усилия по сравнению с расчетным. Приблизительно можно считать, что наибольшее усилие вытяжки должно составлять: при глубокой вытяжке (0,5 ÷ 0,6) $P_{ном}$; при неглубокой вытяжке (0,7 ÷ 0,8) $P_{ном}$. Хотя при вырубке такого наложения рабочих диаграмм нет, разделительные операции вследствие своей специфичности предъявляют повышенные требования к жесткости пресса и также требуют увеличения номинального усилия пресса по сравнению с расчетным.

Рис. 280. Усилие, создаваемое кривошипным прессом на протяжении рабочего хода

своей специфичности предъявляют повышенные требования к жесткости пресса и также требуют увеличения номинального усилия пресса по сравнению с расчетным.

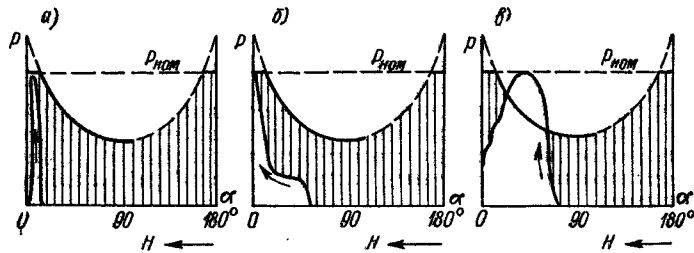


Рис. 281. Наложение рабочих операционных диаграмм на диаграмму усилия, создаваемого кривошипным прессом

На рис. 282 приведены схема и диаграмма допустимого усилия кривошипного пресса. Номинальное усилие пресса устанавливается по прочности коленчатого вала и для обычных кривошипных прессов с односторонним приводом обычно берется равным усилию, создаваемому при угле поворота кривошипа $\alpha = 20 \div 30^\circ$, что соответствует величине рабочего хода ползуна $h_a = (0,05 \div 0,07) H$.

Крутящий момент определяется уравнением

$$M = P \frac{H}{2} \sin \alpha = Pb,$$

где $b = \sqrt{(H - h_a) h_a}$.

Таким образом в конце рабочего хода, при углах $\alpha \leq 30^\circ$, допустимое усилие пресса ограничивается прочностью станины и коленчатого вала, а при углах $\alpha > 30^\circ$ ограничивается величиной допустимого крутящего момента и прочностью зубчатых колес.

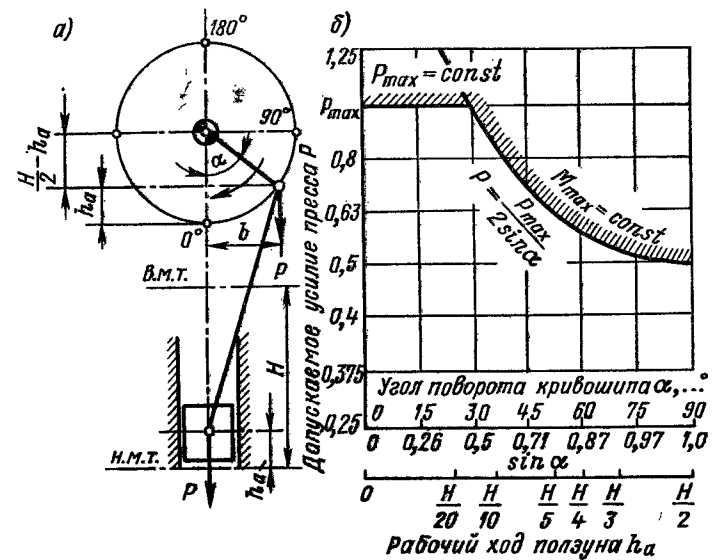


Рис. 282. Допускаемое усилие кривошипного пресса: а — кинематическая схема; б — диаграмма допустимого усилия

Наибольший крутящий момент, определяемый прочностью зубчатых колес, равен (при $\sin \alpha = 0,5$)

$$M_{max} = 0,25 P_{max} H.$$

У прессов с регулируемым ходом уменьшение величины хода позволяет увеличить рабочее усилие в средней части хода ползуна и изменить приведенную на рис. 283 диаграмму допустимого усилия.

Из уравнения крутящего момента имеем $P = 2M / (H \sin \alpha)$. Чем меньше максимального значения H_{max} величина отрегулированного хода H при том же крутящем моменте, тем больше усилие P . Но так как усилие пресса не может быть больше допускаемого прочностью коленчатого вала P_{max} , то приведенное выше равенство сохраняется при увеличении значения $\sin \alpha$ и угла α . Следовательно, наибольшее усилие P_{max} достигается при большей величине угла поворота кривошипа.

На рис. 283 приведены диаграммы изменения допустимого усилия пресса с регулируемым ходом: на рис. 283, а — для прессов с номинальным усилием при $\alpha = 30^\circ$, а на рис. 283, б — для прессов с номинальным усилием при $\alpha = 20^\circ$. Чем меньше отношение H/H_{max} , тем выше кривая допустимого усилия в средней части хода пресса и тем больше угол поворота кривошипа, при котором допускается наибольшее усилие пресса.

При уменьшении величины хода в два раза наибольшее усилие пресса допустимо на протяжении всего хода ползуна. Это явствует из приведенной выше формулы, в которой $H = H_{max}$ при угле $\alpha = 30^\circ$ и $\sin \alpha = 0,5$. Если величину хода уменьшить в два раза ($H = 0,5 H_{max}$), то для сохранения равенства $\sin \alpha$ следует увеличить в два раза и принять его равным единице, что соответствует углу поворота кривошипа

$\alpha = 90^\circ$. Отсюда следует, что во всех случаях, когда это допустимо высотой штампуемой детали, необходимо отрегулировать и уменьшить величину хода пресса,

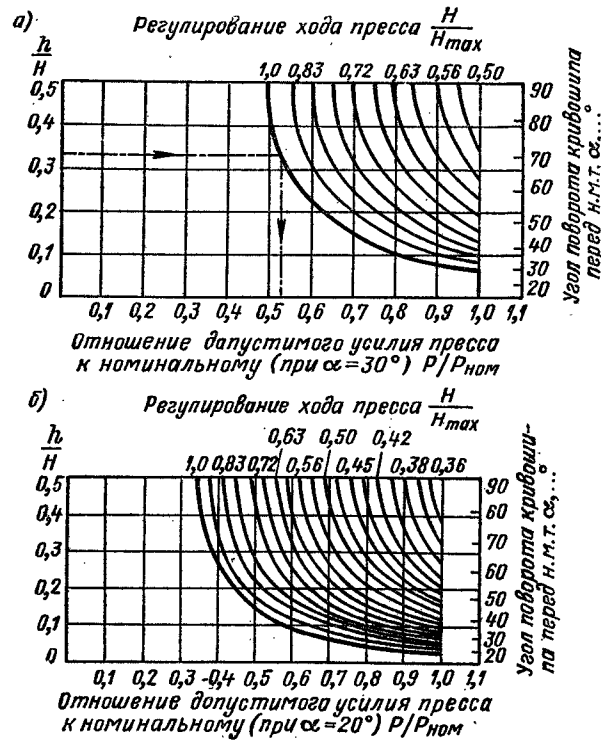


Рис. 283. Диаграмма изменения допустимого усилия пресса с регулируемым ходом

На рис. 284 приведены схема и диаграмма допустимого усилия кривошипно-коленчатого (чеканочного) пресса. Допустимое усилие на ползуне определяется уравнением

$$P = \frac{M_{max} \sin(\delta + \gamma) \cos \eta}{r \sin(\eta + \epsilon) \sin(\alpha - \gamma)}$$

На рис. 285 приведены диаграммы допустимых усилий пресса P и кривые изменения скорости ползуна v в зависимости от поворота кривошипа и величины хода перед нижней мертвой точкой для прессов одинакового номинального усилия 600 тс: кривошипного (рис. 285, а); чеканочного (рис. 285, б); специального для холодного выдавливания (рис. 285, в); гидравлического (рис. 285, г). Заштрихованный участок A представляет собой запас полезной работы пресса, которая должна быть больше работы, требуемой для выдавливания.

Как видно из рис. 285, наименьшим запасом полезной работы обладают чеканочные прессы. Специальные прессы для выдавливания имеют большой запас полезной работы вследствие того, что наибольшее допустимое усилие пресса достигается при угле поворота кривошипа в 45° . Наибольший запас полезной работы у гидравлических прессов.

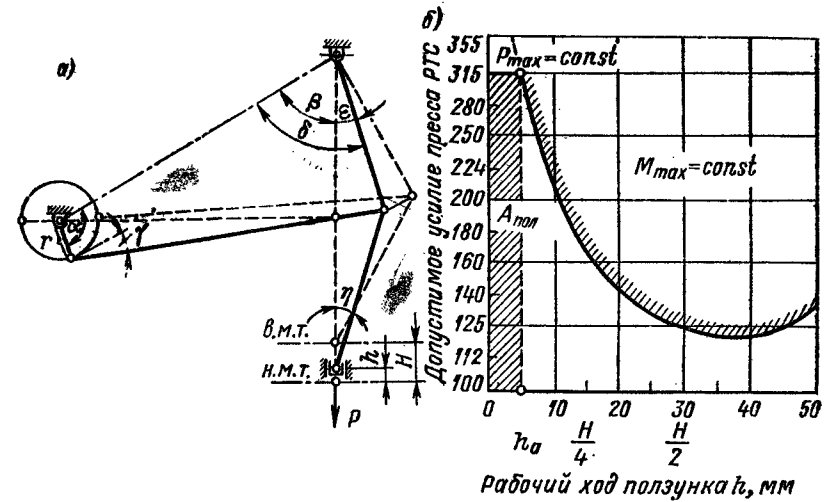


Рис. 284. Допустимое усилие кривошипно-коленчатого (чеканочного) пресса; а — кинематическая схема; б — диаграмма допустимого усилия

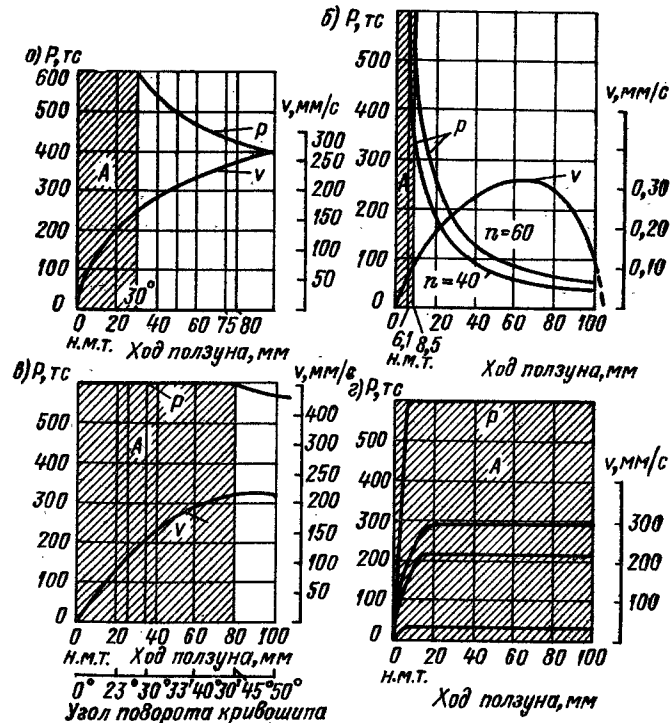


Рис. 285. Диаграммы допустимых усилий прессов различного типа усилием 600 тс

Номинальное усилие пресса принимается по каталожным или паспортным данным. При отсутствии паспортных данных или при переделке старых прессов их усилие может быть определено по прочности коленчатого вала в зависимости от его диаметра. Для совмещенных операций — вырубки и вытяжки или вырубки, вытяжки и обреза — возможна перегрузка пресса, так как вырубной переход выполняется за долго до достижения допустимого усилия номинальной величины. На рис. 286 приведен такой случай: кривая 2, соответствующая операции вырубки, выходит за пределы допустимого усилия пресса при данном повороте угла кривошипа.

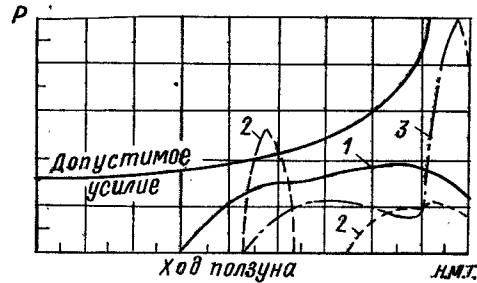


Рис. 286. Наложение рабочих диаграмм на диаграмму допустимого усилия пресса: 1 — вытяжка; 2 — вырубка и вытяжка; 3 — гибка с калибровкой

ного усилия в конце хода (у н. м. т.), а выход за пределы допустимого усилия пресса суммарного усилия вытяжных переходов. На рис. 287 показаны наложение рабочих диаграмм отдельных переходов штамповки на многопозиционном прессе-автомате и графическое построение кривой суммарного усилия. Из сопоставления

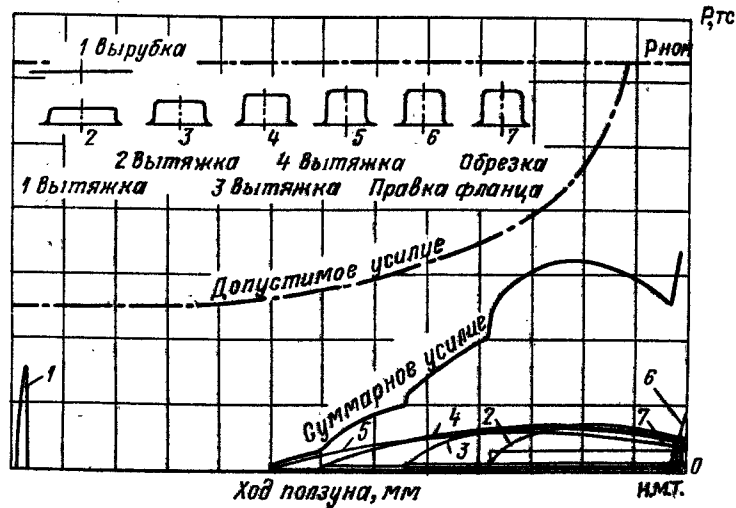


Рис. 287. Наложение рабочих диаграмм вытяжки на многопозиционном прессе-автомате (1—7 — переходы)

кривых допустимого усилия пресса и суммарного усилия вытяжки ясна необходимость выбора пресса большего номинального усилия.

После выбора пресса по усилию необходимо проверить пригодность пресса по мощности (работе).

Работа деформирования определяется по формулам, приведенным в первом разделе. Найденные значения работы суммируют с работой сжатия буфера и вытал-

квателя и сравнивают с работой, которую может произвести пресс за один рабочий ход: $A_{пр} \geq A + A_б$.

Работа, осуществляемая прессом, складывается из полезной энергии маховика (маховых колес) и небольших потерь на трение и упругое пружинение станины пресса. Энергия, отдаваемая электродвигателем, расходуется в основном на преодоление вредных сопротивлений и восстановление потерянной скорости маховых масс.

Маховик пресса при резком увеличении рабочего усилия отдает ранее накопленную энергию на выполнение требуемой деформации, облегчая работу электродвигателя. При этом происходит уменьшение угловой скорости вращения маховика (вместе с валом и приводными шестернями), что может быть представлено через соответствующее уменьшение мгновенной частоты вращения.

Точные энергетические расчеты маховика и электродвигателя приведены в соответствующей литературе [104]. Ниже приводим приближенные формулы для определения полезной энергии маховика (работы, производимой прессом).

Полезная работа пресса, используемая для выполнения технологической операции, равна потере живой силы при падении частоты вращения и составляет лишь часть кинетической энергии маховика.

При допустимом падении частоты вращения маховых масс возможная работа пресса (полезная энергия маховика) составляет [212]

$$A = \frac{n_0^2 - n_1^2}{7100} GD^2 \text{ кгс} \cdot \text{м},$$

где G — масса маховика, кг; D — диаметр инерции маховика, м (приблизительно наружный диаметр); n_0 и n_1 — номинальная и минимальная допустимая частота вращения маховика, об/мин.

Частоту вращения n_1 можно выразить величиной падения частоты вращения в процентах: $n_1 = \left(\frac{100 - p}{100}\right) n_0$ и пользоваться формулой

$$A = \frac{n_0^2 \left[1 - \left(1 - \frac{p}{100}\right)^2\right]}{7100} GD^2 \text{ кгс} \cdot \text{м}.$$

При работе одиночными ходами пресса допустимо уменьшение скорости и частоты вращения на 20%, тогда $A_0 \approx (GD^2 n_0^2) / 19\,700$ кгс·м, а при непрерывной работе пресса (с автоматической подачей) при допустимом уменьшении скорости на 10%

$$A_H \approx (GD^2 n_0^2) / 37\,400 \text{ кгс} \cdot \text{м}.$$

Таким образом, величина полезной работы, которую может выполнять пресс при непрерывном действии, почти в два раза меньше, чем при работе того же пресса одиночными ходами.

Аналогичные данные из опыта стандартизации прессов в ГДР приведены в табл. 158.

Следует иметь в виду, что правильная загрузка пресса по усилию не всегда приводит к правильной загрузке по мощности. Так, например, если расчетное усилие вырубki превышает номинальное усилие пресса, то в таком случае обычно применяют вырубку штампами со скосом режущих кромок (см. гл. I, первый раздел). Однако уменьшение усилия сопровождается не уменьшением, а увеличением работы вырубki (см. рис. 15). Может оказаться, что при правильной загрузке по усилию пресс будет перегружен по мощности.

Весьма важна проверка соответствия мощности многопозиционного пресса работе, необходимой для выполнения операций вытяжки. Нередки случаи, когда выбор многопозиционного пресса только по суммарному усилию приводил к перегрузке по мощности, вследствие чего пресс оказывался неработоспособным и подвергался полной переделке с заменой маховика и электродвигателя.

Увеличение кинетической энергии маховика и допустимой работы пресса можно получить увеличением частоты вращения, так как кинетическая энергия маховика

пропорциональна квадрату скорости вращения

$$A_x = \frac{n_x^2}{n_0^2} A.$$

Однако увеличение частоты вращения маховика не должно приводить и недопустимо высокой скорости на ободу маховика, составляющей 25 м/с для чугуновых и 40 м/с для стальных маховиков.

158. Полезная работа пресса и наибольшая толщина вырубаемого металла в зависимости от номинального усилия пресса P, тс

Тип пресса	Число ходов пресса	Полезная работа, кгс·м (тс·мм)		Наибольшая толщина материала, мм	
		при единичных ходах	при непрерывных ходах	при единичных ходах	при непрерывных ходах
Быстроходный	$250/\sqrt{P}$	$0,315 \sqrt{P^3}$	$0,160 \sqrt{P^3}$	$0,63 \sqrt{P}$	$0,315 \sqrt{P}$
Нормальный	$190/\sqrt{P}$	$0,54 \sqrt{P^3}$	$0,224 \sqrt{P^3}$	$0,90 \sqrt{P}$	$0,450 \sqrt{P}$
Тихоходный	$140/\sqrt{P}$	$0,63 \sqrt{P^3}$	$0,315 \sqrt{P^3}$	$1,25 \sqrt{P}$	$0,630 \sqrt{P}$

Примечания.
 1. Термин „быстроходный“ применен в качестве сравнительной характеристики, так как существуют более быстроходные прессы.
 2. Размерность полезной работы выражена в кгс·м, что равнозначно тс·мм.

На рис. 288 показано сравнение двух прессов одного и того же номинального усилия (100 тс), но различной работоспособности: $A_1 = 560$ кгс·м и $A_2 = 1600$ кгс·м.



Рис. 288. Сравнение двух прессов номинальным усилием 100 тс, но различной работоспособности

Кривые $A = const$ дают зависимость между допустимым усилием пресса и величиной рабочего хода h (положением ползуна перед и. м. т.) при заданной работе A_1 и A_2 . Кривые построены по зависимости $P = A/h$. На рис. 288 нанесены три рабочих диаграммы: a — вырубки, b — вытяжки, $в$ — выдавливания. Процесс вырубки усилием 100 тс одинаково осуществим обоими прессами, но процессы вытяжки и выдавливания осуществимы лишь у пресса работоспособностью $A_2 = 1600$ кгс·м и не осуществимы у пресса с $A_1 = 560$ кгс·м.

В момент наибольшего усилия выдавливания ($h = 37$ мм) допустимое усилие у пресса $A_1 = 560$ кгс·м составляет всего лишь 15 тс, в то время как у пресса $A_2 = 1600$ кгс·м допустимое усилие достигает 44 тс, что выше расчетной величины. Этот пример соответствует также случаю изменения частоты вращения маховика: кривая A_1 — для пониженного, а кривая A_2 — для повышенного числа оборотов.

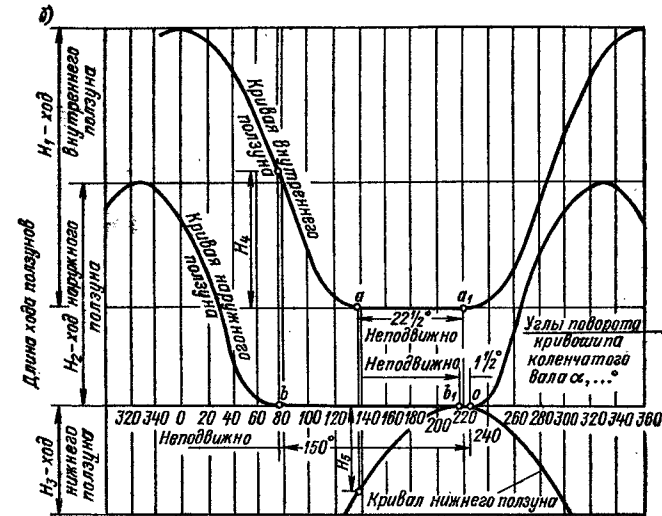
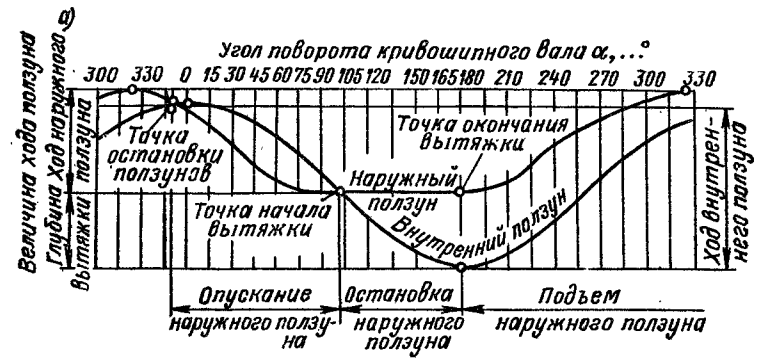


Рис. 289. Графики движения ползунов прессов двойного (а) и тройного (б) действия

Данные по величине допустимой работы пресса, к сожалению, не содержатся ни в ГОСТах, ни в каталогах прессов, что вызывает известные трудности при выборе пресса.

Следующим параметром, необходимым для выбора пресса, является величина хода пресса. Ходом пресса называется движение ползуна пресса вниз и вверх, производимое за один оборот кривошипа.

Производительность прессов измеряется числом ходов в минуту. Величиной хода пресса называется путь, пройденный ползуном в одном направлении.

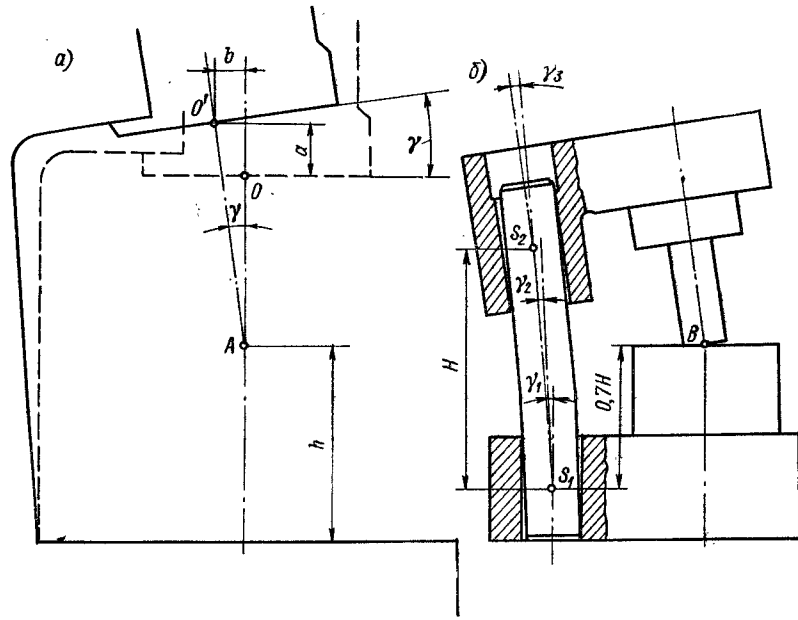


Рис. 290. Схема деформации станины пресса (а) и направляющих штампа (б); А и В — пересечение осей

Выбор пресса по величине хода имеет особое значение для вытяжных и гибочных работ, требующих большого хода пресса. Обычно величина хода пресса для вытяжки берется в 2,5 раза больше высоты вытягиваемой детали, чтобы обеспечить удобство установки заготовки и удаления готовой детали.

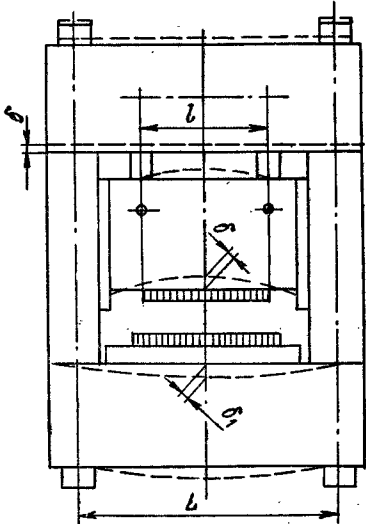


Рис. 291. Упругая деформация станины прессов закрытого типа

На рис. 289 приведены графики движения ползунов прессов двойного и тройного действий, предназначенных для глубокой вытяжки. Для вырубных работ не требуется большая величина хода пресса, так как в этом случае достаточно иметь ход пресса на несколько миллиметров больше величины просвета между матрицей и съемником.

До недавнего времени вопросам жесткости кривошипных прессов не уделялось должного внимания. Большинство прессов старых моделей не обладает необходимой жесткостью, что приводит к значительной упругой деформации станины и перекосу штампов в момент нагрузки.

На рис. 290, а приведена схема деформации С-образной станины кривошипного пресса в момент нагрузки. Центр ползуна пресса переместился из точки О в точку О' по вертикали на величину а, а по горизонтали — на величину b. Направляющие ползуна повернулись на угол γ к вертикальной оси. На рис.

290, б показана деформация штампа в результате упругого изгиба направляющих колонок (участок Н, углы $\gamma_1 - \gamma_3$) и упругих деформаций колонок и плит в местах контакта [205]. Перекос верхней части штампа по отношению к нижней обычно приводит к искажению зазора в вырубных штампах, а иногда — к зарубанию режущих кромок. В двустоечных прессах закрытого типа (рис. 291) упругая деформация станины выражается в удлинении боковых стоек и стяжных болтов в момент нагрузки (б) и прогибе стола и подштамповой плиты пресса (б₁).

Независимо от этого большое значение для работы разделительных штампов имеет горизонтальное перемещение ползуна с верхней частью штампа в направляющих пресса. От величины этого перемещения зависят качество штампуемых деталей и стойкость штампа.

Необходимо различать вертикальную и горизонтальную жесткости пресса. Вертикальная жесткость пресса представляет собой суммарную вертикальную деформацию станины и деталей силовой системы пресса от действующего усилия. Она характеризуется коэффициентом вертикальной жесткости (тс/мм)

$$C_B = \Delta P / \Delta l_B,$$

где ΔP — приращение нагрузки при $P = 0,3 \div 1 P_{ном}$; Δl_B — увеличение расстояния между столом и ползуном.

Вертикальная жесткость кривошипных прессов с С-образной станиной невелика. Так, по нормам ЭНИИКмаша, для пресса усилием 100 тс $C_B = 50$ тс/мм. При нагрузке такого пресса по номинальному усилию упругая деформация пресса составит 2 мм, что для точных работ недопустимо. Желательна вдвое большая величина коэффициента C_B .

Вертикальную жесткость пресса принято определять по графику вертикальной жесткости пресса (рис. 292) (Σz — суммарная величина зазоров кривошипно-шатунной системы пресса; P_H и Δ_H — номинальные значения).

Горизонтальная жесткость станины пресса значительно выше вертикальной жесткости, но большого значения не имеет. Более важное значение имеют горизонтальная жесткость (поперечное смещение) ползуна пресса и горизонтальная жесткость штампа. Совместно эти величины характеризуются горизонтальной жесткостью системы ползун—штанп.

На рис. 293 показаны зависимости горизонтального смещения ползуна пресса (рис. 293, а), смещения штампа (рис. 293, б) и суммарного смещения (жесткости) всей системы ползун—штанп (рис. 293, в) от горизонтального усилия. При постоянном боковом усилии $P_{гор}$ оно представляет собой сумму $P_{гор} = P_{пол} + P_{шт}$ (точка С)

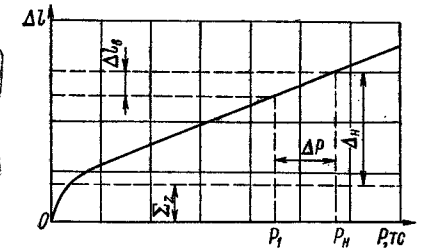


Рис. 292. Типовой график вертикальной жесткости пресса

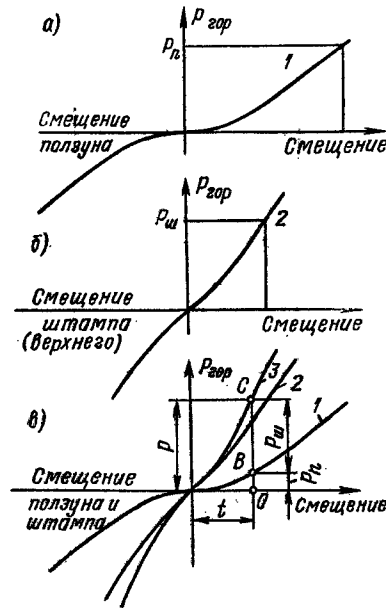


Рис. 293. Горизонтальная жесткость системы ползун—штанп: 1 — пресс; 2 — штанп; 3 — вся система

[206]. Если бы не было направляющих штампа, то при том же боковом усилии P смещение достигло бы величины, приведенной на рис. 293, а.

В случае несовпадения центра давления штампа с осью ползуна возникает опрокидывающий момент, увеличивающий боковое усилие, а следовательно, и боковое смещение ползуна прессы и верхней части штампа.

Горизонтальная жесткость прессы зависит от конструкции направляющих прессы и ползуна. Современные быстроходные штамповочные автоматы имеют восемь направляющих плоскостей, снабженных роликовыми направляющими и устройством для точной регулировки. У этих прессов резко снижены боковые вибрации ползуна, что значительно разгружает направляющие колонки штампа и позволяет получить высокую стойкость твердосплавных штампов.

9. РЕГУЛИРОВКА ПРЕССОВ И ЗАКРЫТАЯ ВЫСОТА ПРЕССА

Благодаря универсальности кривошипных прессов малой и средней мощности их изготавливают с регулируемым по величине ходом. Желательно устанавливать такую величину хода прессы, чтобы верхняя часть штампа не сходилась в в. м. т. с направляющих колонок.

В прессах с постоянной величиной хода шатун надет непосредственно на кривошип или колено рабочего вала. Величина хода в данном случае равна двойному эксцентриситету кривошипа или коленчатого вала.

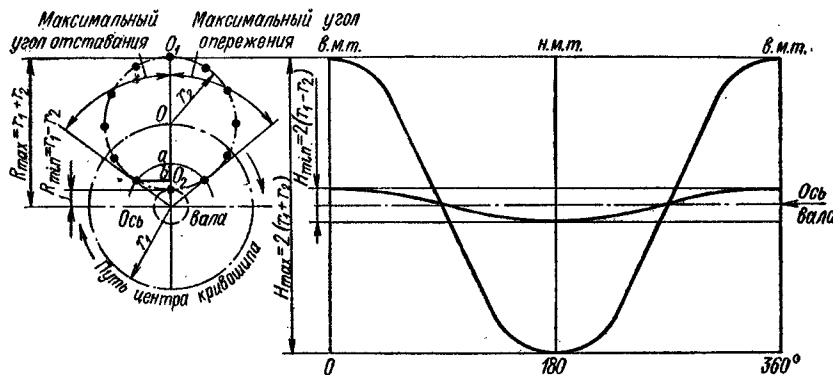


Рис. 294. Схема регулирования эксцентриситета и величины хода кривошипных прессов

В прессах с регулируемым ходом шатун надет на промежуточную эксцентриковую втулку, сидящую на эксцентричном кривошипе или колене рабочего вала.

При вращении рабочего вала вращательное движение эксцентричных частей превращается в возвратно-поступательное движение ползуна прессы. Регулирование хода ползуна производится поворотом эксцентриковой втулки на соответствующий угол.

При расположении эксцентриситетов кривошипа и эксцентрика в одном направлении получаем наибольший эксцентриситет

$$R_{\max} = r_1 + r_2$$

и наибольшую величину хода

$$H_{\max} = 2(r_1 + r_2).$$

При расположении эксцентриситетов кривошипа и эксцентрика в диаметрально-противоположном направлении получаем наименьший эксцентриситет

$$R_{\min} = r_1 - r_2$$

и наименьшую величину хода

$$H_{\min} = 2(r_1 - r_2),$$

где r_1 — радиус эксцентриситета кривошипного вала; r_2 — радиус эксцентриситета эксцентрика.

На рис. 294 изображена схема регулирования эксцентриситета и величины хода кривошипных прессов. Черными точками обозначены различные положения оси шатуна в в. м. т. при различном повороте эксцентриковой втулки. При наибольшей и наименьшей величине хода прессы в момент его выключения шатун и ползун останавливаются в в. м. т. (ось шатуна в точках O_1 и O_2). При промежуточной величине хода в выключенном положении ось головки шатуна находится не на одной вертикали с осью кривошипа, а занимает одно из положений, отмеченных черными точками.

Ось стержня шатуна переходит в наклонное положение, а ось кривошипа в выключенном положении всегда находится в в. м. т. (точка O).

Следовательно, при регулировке эксцентриситета шатун занимает положение с некоторым углом отставания или опережения относительно оси кривошипа. Обычно работают с отставанием шатуна, и поворот эксцентрика производят в сторону, обратную вращению рабочего вала. Ползун в данном случае также не находится в в. м. т., он не доходит до нее на величину $a-b$, равную подъему оси шатуна до верхнего положения при переходе через вертикальную ось. На рис. 294 справа изображены кривые движения ползуна за один оборот вала при наибольшей и наименьшей величине хода.

Как видно из кривых, при регулировании хода открытая высота прессы уменьшается, а закрытая становится больше и величину

$$B = 0,5(H_{\max} - H),$$

где H — установленная величина хода.

✓ Закрытая высота прессы является весьма важной характеристикой для проектирования и установки штампов. Закрытой высотой прессы называется расстояние от подштамповой плиты до ползуна прессы в нижнем его положении при наибольшей величине хода и наименьшей длине шатуна. Регулировка закрытой высоты прессы или расстояния между столом и ползуном производится за счет укорочения или удлинения шатуна, осуществляемого ввинчиванием или вывинчиванием

159. Определение открытой и закрытой высоты кривошипных прессов

Определяемые параметры	Прессы			Положение стола	Опуск	Подъём
	Кривошипный с постоянным ходом	Кривошипный с регулируемым ходом	Кривошипный с регулируемым ходом			
Открытая высота прессы	Ход	Вверх	Наибольший (вверх)	Наибольший (вверх)	Укорочен (ввинчен)	Опустить
	Шатун	Укорочен (ввинчен)	То же	Наименьший (вниз)	То же	↑
Закрытая высота прессы: наибольшая	Ход	Вниз	Наименьший (вниз)	Наименьший (вниз)	Удлинен (вывинчен)	↑
	Шатун	Удлинен (вывинчен)	То же	Наибольший (вниз)	Удлинен (вывинчен)	↑

резьбового стержня, соединяющего головку шатуна с ползуном. В табл. 159 приведены способы определения открытой и закрытой высоты кривошипных прессов.

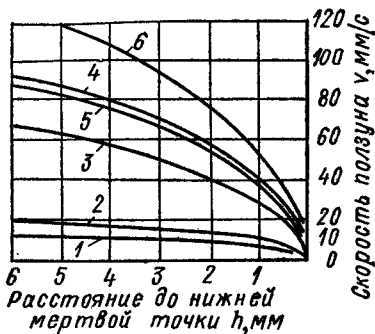


Рис. 295. Диаграмма скорости ползуна при различном рабочем ходе h для прессов с различным числом ходов и величиной хода пресса

прессу с $H = 30$ мм при $n_3 = 50$ и $n_4 = 70$ ход/мин; кривые 3 и 4 соответствуют прессу с $H = 50$ мм при $n_3 = 50$ и $n_4 = 70$ ход/мин.

При изменении числа ходов с целью получения необходимой скорости деформирования необходимо учесть изменение допустимой работы пресса, приведенной на рис. 288.

10. ОСНАЩЕНИЕ ПРЕССОВ ПНЕВМАТИЧЕСКИМИ ПОДУШКАМИ И БУФЕРАМИ

Современные кривошипные прессы снабжаются пневматическими, а крупные прессы — гидропневматическими подушками (буферами), необходимыми для работы прижимов, выталкивателей, выбрасывателей и съемников. Существует два типа пневматических буферов: с неподвижным цилиндром и подвижным поршнем, с подвижным цилиндром и неподвижным поршнем.

На рис. 296, *a* показан первый тип пневматического буфера с неподвижным цилиндром и подвижным поршнем, а на рис. 296, *б* — двоянная пневматическая подушка с подвижными цилиндрами. Многопоршневые подушки применяют в тех случаях, когда требуется увеличить силу прижима.

При выборе типоразмеров пневматического буфера для вытяжки с прижимом принимают его ход равным половине хода ползуна пресса, а усилие, создаваемое буфером, равным 0,2—0,3 номинального усилия пресса.

Усилие, развиваемое пневматической подушкой (буфером),

$$P = pF,$$

где p — давление воздуха, кгс/см²; F — площадь поршня, см².

На рис. 297 приведена схема присоединения пневматического буфера к сети сжатого воздуха давлением 5 кгс/см².

Сжатый воздух из сети проходит вентиль 7, фильтр 6, редукционный клапан 5, обратный клапан 4 и поступает в резервуар (ресивер) 2, соединенный с цилиндром пневматической подушки. При рабочем ходе пресса и поршней пневматической подушки сжатый воздух вытесняется из подушки в ресивер. Давление воздуха в последнем соответственно увеличивается. Редукционный клапан служит для регулирования и поддержания на постоянном уровне давления воздуха в подушке и ресивере.

При модернизации действующего оборудования в серийном производстве возникает необходимость сохранить универсальность прессы и производить вырубные работы «на провал» через стол прессы, а пневматическую подушку применять только на вытяжных работах. Для этой цели иногда применяют откидной пневматический буфер.

Крупные прессы с большой величиной усилия обычно снабжают гидропневматическими подушками, так как пневматические подушки в этом случае достигают громадных размеров.

При вырубке крупных деталей штампами совмещенного действия прижимы и сбрасыватели имеют весьма малую величину хода (от 1 до 3 мм). Поэтому подвесные

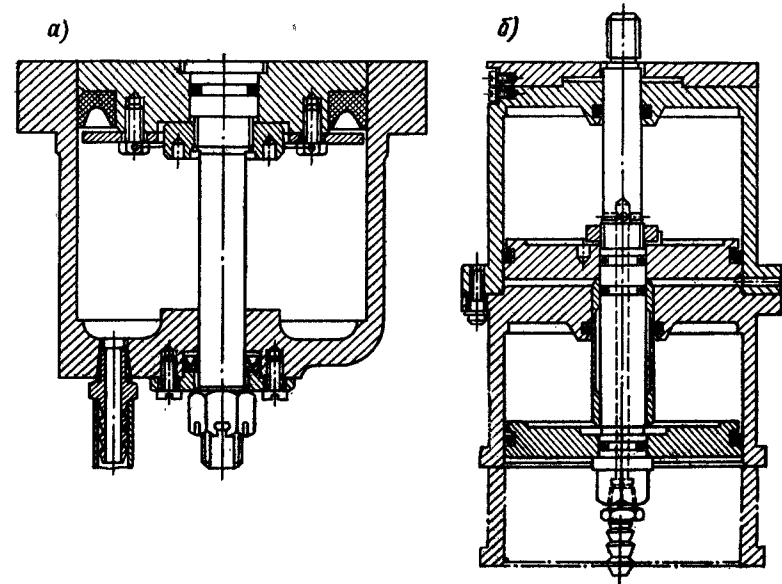


Рис. 296. Пневматические буфера (подушки) к прессам

пневматические подушки здесь не находят применения. Обычно в этом случае применяют пружины. Но при больших габаритах штампов требуется большое количество пружин, причем трудно добиться одинакового их натяга. В таких случаях рекомендуется использовать плоские пневматические буфера, успешно применяемые на электромеханических заводах¹.

На рис. 298, *a* приведены постоянно закрепленные на прессе верхний и нижний пневматические буфера 1 с плоской воздушной камерой, подключенной к сети сжатого воздуха непосредственно или через распределительный клапан. С помощью последнего сбрасывание деталей можно производить в определенном положении ползуна прессы. Уплотнение создается резиновой мембраной 2, на которую во время штамповки давят подвижные кольца 3.

На рис. 298, *б* показаны плоские пневматические буфера с установленным совмещенным штампом для вырубке железа статора.

При отсутствии на предприятии сжатого воздуха применяют пружинные или резиновые буфера, встраиваемые в подштамповую плиту или в основание штампа.

На рис. 299 приведены основные типы пружинных и резиновых буферов для штампов листовой штамповки по ГОСТ 22188—76 — ГОСТ 22202—76: *a* — буфер

¹ Конструкция Л. А. Мечева и В. П. Жукова.

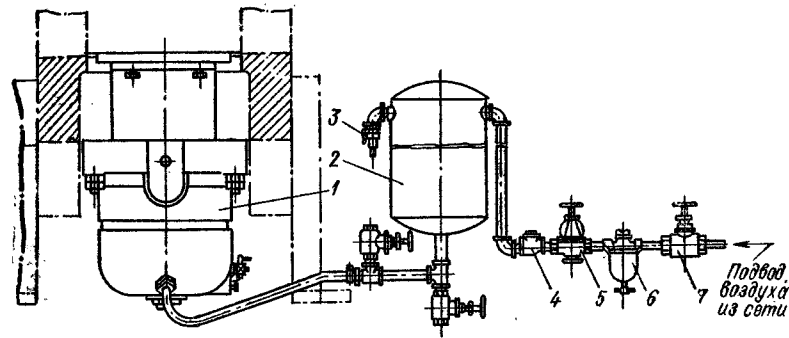


Рис. 297. Схема присоединения пневматического буфера к сети сжатого воздуха: 1 — цилиндр буфера; 2 — ресивер; 3 — предохранительный клапан; 4 — обратный клапан; 5 — редукционный клапан; 6 — фильтр; 7 — сетевой вентиль

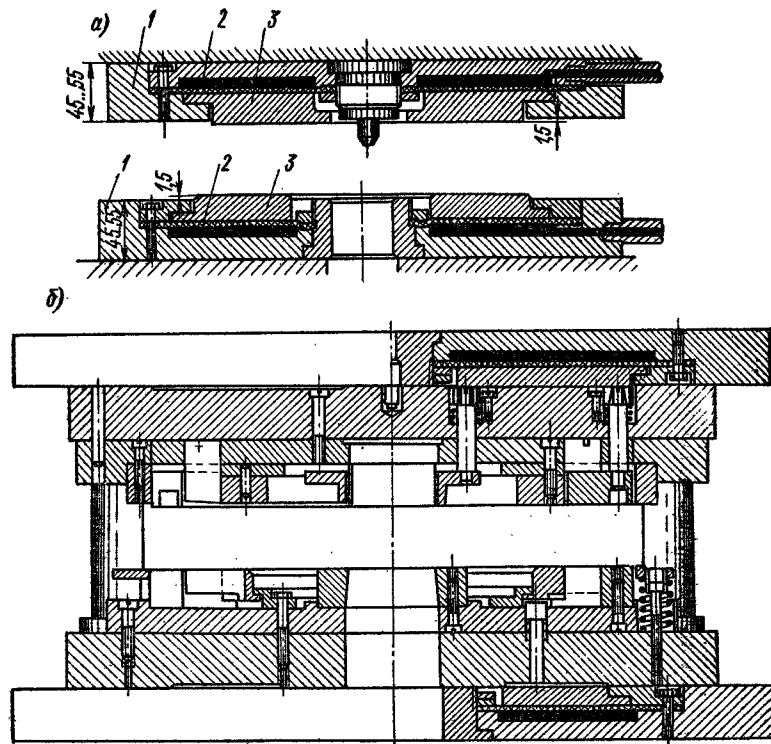


Рис. 298. Пневматические буфера с плоской воздушной камерой

с винтовой пружиной; б — то же для штампов с провальным отверстием; в — буфер с тарельчатыми пружинами; г — буфер с резиновыми или полиуретановыми пружинами; д — то же для штампов с провальным отверстием.

Техническая характеристика стандартизованных буферов наименьшего и наибольшего типоразмеров приведена в табл. 160.

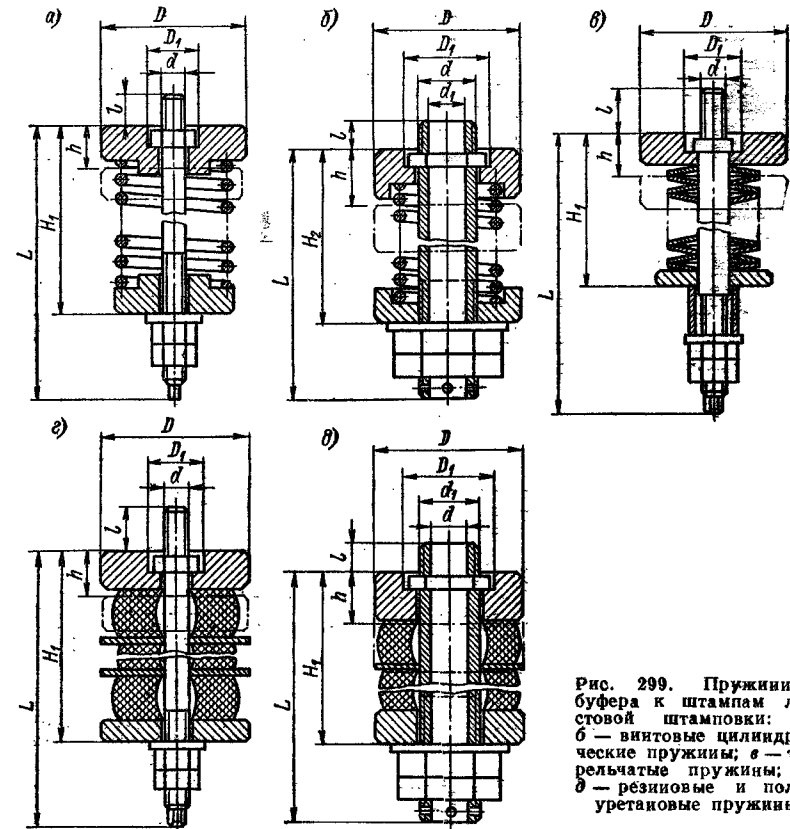


Рис. 299. Пружинные буфера к штампам листовой штамповки: а) б — винтовые цилиндрические пружины; в — тарельчатые пружины; г, д — резиновые и полиуретановые пружины

Амортизационными элементами в буферах являются цилиндрические винтовые пружины сжатия, тарельчатые пружины, резиновые и полиуретановые пружины. Полиуретан применяется марки СКУ-7Л по ТУ 84-404-73, резина маслостойкая. Твердость резины составляет 50—70 единиц, полиуретана—76—86 единиц по Шору, шкала А.

Необходимо указать, что зависимость между усилием и деформацией сжатия резиновых и полиуретановых пружин имеет нелинейный характер. Кроме того, установлено, что при использовании усилия обратного хода пружины, например, в случае применения их в качестве съемников или выталкивателей, необходимо учитывать, что усилие обратного хода меньше усилия нагружения при той же деформации по высоте примерно на 0,25Р.

160. Техническая характеристика стандартизованных буферов (рис. 299)

Тип буфера	Наименьший типоразмер буфера					Наибольший типоразмер буфера				
	Габаритные размеры		Максимальное усилие P , кгс	Максимальный ход h , мм	Диаметр провального отверстия d_1 , мм	Габаритные размеры		Максимальное усилие P , кгс	Максимальный ход h , мм	Диаметр провального отверстия d_1 , мм
	Диаметр D , мм	Высота $L + l$, мм				Диаметр D , мм	Высота $L + l$, мм			
Буфера с винтовыми пружинами: со сплошным штоком	48	150	50	12	—	195	640	1600	63	—
	78	260	315	20	20	195	730	1600	63	43
Буфера с тарельчатыми пружинами	48	435	350	20	—	195	680	6600	32	—
Буфера с резиновыми пружинами	48	200	127	16	—	195	640	4180	63	—
Буфера с полиуретановыми пружинами: со сплошным штоком	48	200	318	16	—	195	690	9430	63	—
	78	340	925	20	20	195	730	2300	63	43

11. СОВРЕМЕННЫЕ ТИПЫ ПРЕССОВ ДЛЯ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

В холодной листовой штамповке применяются разнообразные типы прессов, предназначенные для различных условий работы. Наиболее распространенными в штамповочном производстве являются приводные механические прессы, менее распространены гидравлические прессы.

По способу воздействия на штампуемый материал приводные механические и гидравлические прессы разделяются на прессы простого, двойного и тройного действия.

Прессы простого действия имеют один движущийся ползун и применяются для самых разнообразных штамповочных работ (рис. 300, а).

Прессы двойного действия имеют два независимо движущихся ползуна и применяются для вытяжных работ (рис. 300, б).

Прессы тройного действия имеют или два верхних и один нижний ползун, производящий вытяжку в обратном направлении (рис. 300, в), или два ползуна и движущийся навстречу стол. Первые применяются для сложной глубокой вытяжки деталей типа автомобильных кузовов, а вторые — для производства двояной или строенной глубокой вытяжки.

Конструкции различных типов прессов подробно рассматриваются в специальной литературе и каталогах.

Непрерывное развитие методов холодной листовой штамповки и расширение области ее применения основаны на дальнейшем совершенствовании конструкций прессового оборудования, в том числе увеличении усилия и рабочих габаритов прессов, повышении их производительности, повышении безопасности и улучшении условий эксплуатации.

Современные конструкции листовых штамповочных прессов характеризуются: 1) увеличением рабочего усилия и размеров прессов: кривошипных одностоечных до 300—400 тс; кривошипных двустоечных до 1600 тс, шестерне-эксцентрикных до 4500 тс, многопозиционных (многооперационных) прессов — до 4000 тс, прессов-автоматов с нижним приводом — до 350 тс, прессов-автоматов с верхним приводом — до 400—600 тс, прессов двойного и тройного действия — до 2500 тс,

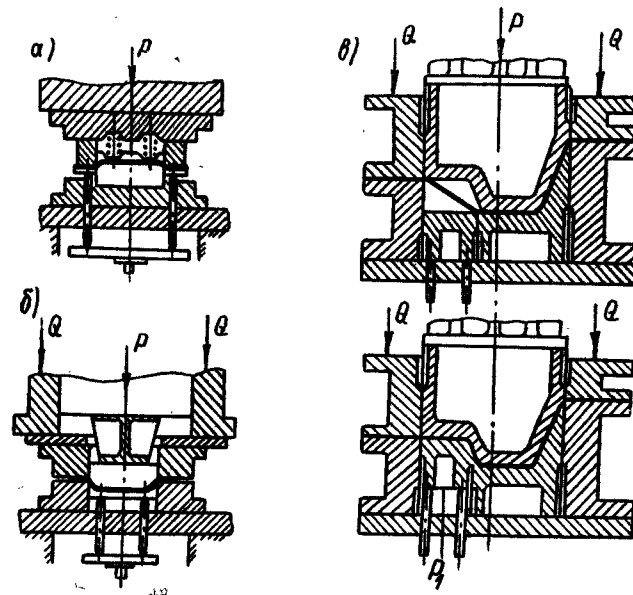


Рис. 300. Схемы штампов к прессам различного типа

гидравлических прессов для штамповки резиной — до 24 000 тс, гидравлических прессов для холодной штамповки и глубокой вытяжки листового металла — до 10 000 тс;

2) увеличением числа ходов крупных вытяжных прессов до 16—18 вместо 8—10 ход/мин;

3) увеличением быстроходности прессов-автоматов и полуавтоматов; последние модели штамповочных прессов-автоматов имеют наибольшее число ходов: мелкие прессы — до 1200—2000 в минуту, крупные прессы — до 350 в минуту; скорость подачи ленты 60 м/мин (вместо 25 м/мин);

4) развитием прессов с автоматической подачей заготовок и программным управлением;

5) усовершенствованием способов управления прессом: использование электро-механического, электропневматического или электрогидравлического управления;

6) модернизацией общей конструкции и внешней формы прессов, созданием станин прямоугольных очертаний.

Благодаря применению централизованной смазки всех движущихся и вращающихся частей пресса последние размещаются внутри станины.

Современное конструирование прессов общего назначения основано на выпуске гаммы прессов, построенной по геометрическому ряду (например, для мелких прессов 10; 16; 25; 40; 63 и 100 тс). При этом в максимальной степени используется унификация и нормализация отдельных узлов, позволяющая с наименьшими производственными затратами создать различные типы прессов.

Конструкции крупных кривошипных прессов также подверглись сильному изменению. Взамен прессов с длинными двухколенчатыми валами создана конструкция шестерне-эксцентриковых прессов, не имеющая коленчатого вала. Вместо него применены два коротких поперечно расположенных вала с насаженными на них монолитными шестернями, имеющими крупные эксцентрики, которые приводят в движение массивные кованые шатуны.

Для повышения числа ходов крупных вытяжных прессов применяют специальные двухскоростные планетарные или электрические муфты, дающие ускоренное опускание ползуна до начала вытяжки, замедленную скорость движения в процессе вытяжки и ускоренный подъем ползуна. Увеличение скорости холостого хода в три раза приводит к повышению производительности в два раза.

На рис. 301 приведены диаграммы скорости движения ползуна у различного типа прессов двойного действия, построенные в координатах путь—время: рис. 301, а — диаграмма скорости движения ползуна механического пресса с обычной муфтой сцепления; рис. 301, б — диаграмма скорости движения ползуна, имеющего ускоренный подъем, осуществляемый системой рычагов; рис. 301, в — диаграмма скорости движения ползуна пресса, снабженного электрическим или электронным устройством. В этом случае холостая часть хода ползуна вниз и подъем его вверх происходят с повышенной скоростью; рис. 301, г — диаграмма скорости движения ползуна пресса, снабженного двухскоростной муфтой сцепления. Здесь также холостая часть хода ползуна вниз и подъем его вверх происходят с повышенной скоростью, а рабочая часть хода — с пониженной.

Прямоугольником отмечена область вытяжки.

Увеличение скорости холостого хода и уменьшение длительности рабочего цикла более чем в два раза приводит к такому же увеличению производительности крупных вытяжных прессов. Это имеет большое значение, так как вытяжные прессы являются головными прессами на поточных и автоматических штамповочных линиях. Увеличение производительности вытяжных прессов означает повышение производительности всей линии.

Большое развитие получили многопозиционные (ступенчатые) прессы-автоматы для многооперационной вытяжки.

Передача заготовок с позиции на позицию производится грейферными линейками. Пресс снабжен разматывающим устройством с правильными роликами, устройством для наматывания отходов, нижним пневматическим выталкивателем, ножницами для резки отходов.

В настоящее время наряду с выпускавшимися ранее небольшими многопозиционными прессами выпускают прессы давлением от 400 до 4000 тс. Эти прессы представляют собой полностью автоматизированную штамповочную линию, которая может быть легко перестроена на производство различных деталей.

Некоторые модели многопозиционных прессов имеют специальные устройства для штамповки ленты (вырезки кружков) в шахматном порядке.

Крупные многопозиционные прессы в ряде случаев снабжаются револьверными механизмами для подачи предварительно вырубленных штучных заготовок, а последние типы прессов фирмы „Коматцу“ (Япония) и др. — автоматической подачей рулонной заготовки вдоль большой оси пресса.

Многооперационные прессы-автоматы небольших размеров получают все большее применение не только в массовом, но и в мелкосерийном производстве, требующем частой смены штампов. Считается рентабельным применение многопозиционных прессов для серий в 10 000—20 000 деталей. Для уменьшения времени на переладку многопозиционные прессы-автоматы снабжают устройствами и приспособлениями для облегчения и ускорения перестановки штампов.

На некоторых отечественных и зарубежных заводах многопозиционные прессы с большим числом рабочих позиций применяют для одновременного изготовления двух разных деталей, требующих трех-четырёх операций каждая. Для этого меха-

низм автоматической подачи ленты для второй детали пристраивают к средней части пресса. Подача заготовок с операции на операцию производится общим грейферным механизмом. При этом на некоторых заводах применяют оригинальный метод вы-

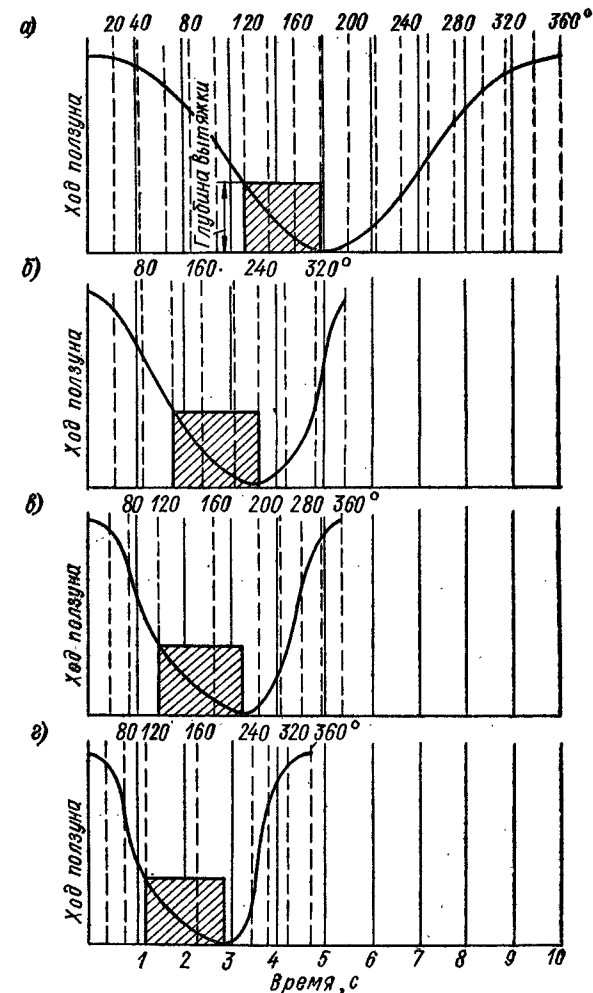


Рис. 301. Диаграмма скорости движения ползуна к различного типа прессов двойного действия (0—360° — углы поворота кривошипа)

рубки заготовки вразрез ленты с небольшим перекрытием контура вырубki, устраняющий потерю металла на перемычки и позволяющий легко удалять отходы ленты.

Для штамповки крупных деталей созданы крупные многопозиционные прессы-автоматы давлением от 400 до 4000 тс сборной конструкции, состоящие из отдельных секций или блоков. Отдельные секции могут быть смонтированы в разнообразных комбинациях.

Секционная конструкция многопозиционных прессов-автоматов позволяет применить короткие, независимые друг от друга ползуны, что предотвращает их перекосы. Крупные многопозиционные прессы-автоматы в ряде случаев удобнее и компактнее громоздких автоматических линий.

Большое значение имеет автоматизация работ при штамповке из нарезанных полос, в том числе и при чистовой вырубке. Для этой цели применяют прессы с автоматической подачей к валковому механизму нарезанных полос из магазина или из пачки при помощи вакуумных резиновых присосов или электромагнитных захватов.

Для чистовой вырубки применяют прессы двух типов: гидромеханические и гидравлические тройного действия.

В СССР разработана конструкция и осваивается выпуск гаммы прессов для чистовой вырубки: гидромеханического типа усилием вырубки до 160 тс и чисто гидравлических тройного действия усилием вырубки до 1000 тс.

В области чистовой вырубки появился новый тип прессы — гидравлический пресс тройного действия горизонтального типа (фирмы „Файнтул—Лоренц“) рабочим усилием 180 тс. Пресс более компактен по сравнению с вертикальным и не требует фундамента.

Аналогичные прессы выпускает также фирма „Аида“ (Япония).

Наряду с развитием и модернизацией механических прессов значительно усовершенствованы гидравлические прессы, применяемые для листовой штамповки.

В области вытяжки листового металла в серийном производстве получили применение процессы штамповки эластичными средами и жидкостью, а также комбинациями их с жесткими металлическими штампами. Наибольшее развитие получил так называемый гидромеханический способ вытяжки (см. стр. 201). Для этой цели созданы специальные гидравлические прессы тройного действия с вытеснением избытка рабочей жидкости через дроссельное устройство в резервуар.

Большое развитие получили штамповочные прессы-автоматы повышенной производительности и точности усилием до 600 тс, предназначенные для штамповки твердосплавными штампами. Штамповочные автоматы с нижним приводом (модели СН-138, А6224, АА6230-100, АА6232-160 и др.) успешно применяются для различной штамповки на штампах последовательного действия. Однако они недостаточно жестки для штамповки листов статора-ротора из электротехнической стали твердосплавными штампами. Для этой цели за рубежом обычно применяют прессы-автоматы с верхним приводом, имеющие более жесткую станину („Аида“, „Шулер“, ВМВ „Коматцу“, „Вайнтарген“, „Гримар“ и др.). Помимо большой вертикальной жесткости эти прессы обладают повышенной горизонтальной жесткостью, так как направление ползуна происходит по восьми плоскостям с роликовыми направляющими.

На рис. 302 приведен общий вид высокопроизводительного прессы-автомата средней мощности. Пресс снабжен механизмом автоматической подачи ленты и ножницами для разрезки отходов. Механизм размотки и правки ленты не показан. Такие прессы-автоматы позволяют штамповать на четырехпозиционном последовательном штампе листы статора размером до 250 мм. Более крупные листы статора до сих пор последовательными штампами не вырубались.

В настоящее время для штамповки крупногабаритных листов статора (от 300 до 800 мм) последовательными твердосплавными штампами фирма „Шулер“ (ФРГ) поставляет установки „Тандем“, состоящие из двух синхронизированных высокопроизводительных прессов с двумя более короткими отдельными штампами и магнитным ступелирующим устройством.

На рис. 303 показана установка „Тандем“ из двух штамповочных прессов-автоматов 125 и 250 тс. Преимущества установки „Тандем“:

- 1) разделение процесса последовательной вырубки на два прессы позволяет использовать прессы меньших усилий, обладающих повышенными числами ходов и обеспечивающих более высокую производительность;
- 2) штампы меньших размеров легче в изготовлении и обслуживании;
- 3) возможны различные комбинации последовательной вырубки в зависимости от более равномерного распределения усилия вырубки;
- 4) автоматическое ступелирование отштампованных листов избавляет от тяжелой ручной работы.

Наряду с указанными прессами-автоматами для серийного производства электрических машин фирмой „Шулер“ созданы высокопроизводительные двоярные прессы-автоматы с программным управлением для вырубки пазов статора и ротора. Автомат снабжен подающим (поворотным) устройством с безынерционным делительным механизмом. За один оборот стола в заготовке вырубается все пазы статора и ротора, вырубается ротор и ступелируется отдельно от статора.

На рис. 304 показан общий вид прессы-автомата для вырубки пазов, работающего с числом ходов до 1200 в минуту, двоярные автоматы работают синхронно и дают до 1000 листов ротора и 1000 листов статора в час. Для аналогичных целей фирма „Вайнгарте“ (ФРГ) выпускает штамповочные автоматы с электронным делительным

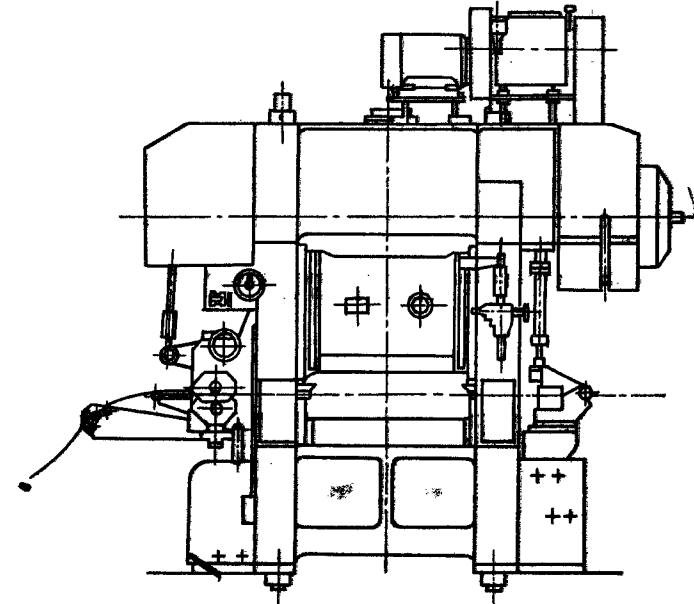


Рис. 302. Быстроходный пресс с верхним приводом для твердосплавных штампов

устройством для вырубки пазов в сегментных листах. Автомат позволяет штамповать как вогнутые сегменты статора, так и выпуклые сегменты ротора с числом ходов до 500 в минуту.

Необходимо отметить серию оригинальных высокопроизводительных прессов-автоматов, не имеющих ползуна, выпускаемых бельгийской фирмой „Лашоссе“ (Бельгия). Рабочее усилие передается двумя шатунами, опирающимися на колодку верхней части штампа. Точность направления обеспечивается колонками штампового блока. Возврат верхней части блока и шатунов в исходное верхнее положение осуществляют пневматические цилиндры при помощи тяг. Рабочее усилие автоматов от 10 до 125 тс. Длина последовательных штампов от 500 до 1400 мм. Точность направления и отсутствие перекосов позволяют применять многопозиционные штампы с твердыми сплавами.

На протяжении ряда лет были созданы различные типы быстроходных прессов-автоматов, работающих с числом ходов до 1200—2000 в минуту и предназначенных главным образом для вырубки небольших деталей. Штамповка с такой скоростью происходит при одновременном движении штампа вместе с лентой. Штампы или ползун совершают сложное движение, состоящее из вертикального рабочего движения и горизонтального перемещения по направлению подачи ленты. После выхода из

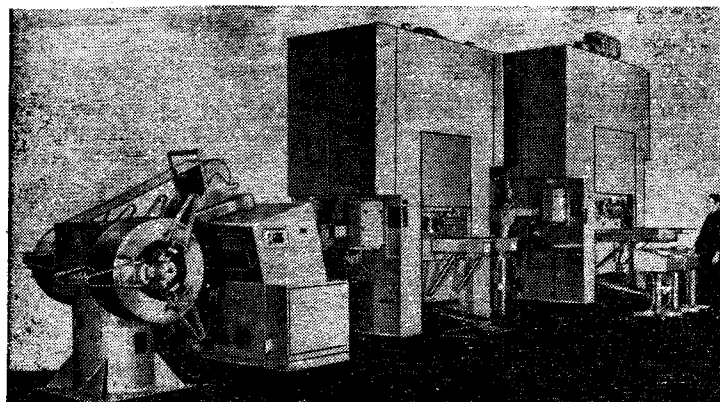


Рис. 303. Синхронизированная тандем-установка двух быстроходных прессов 125 и 250 тс

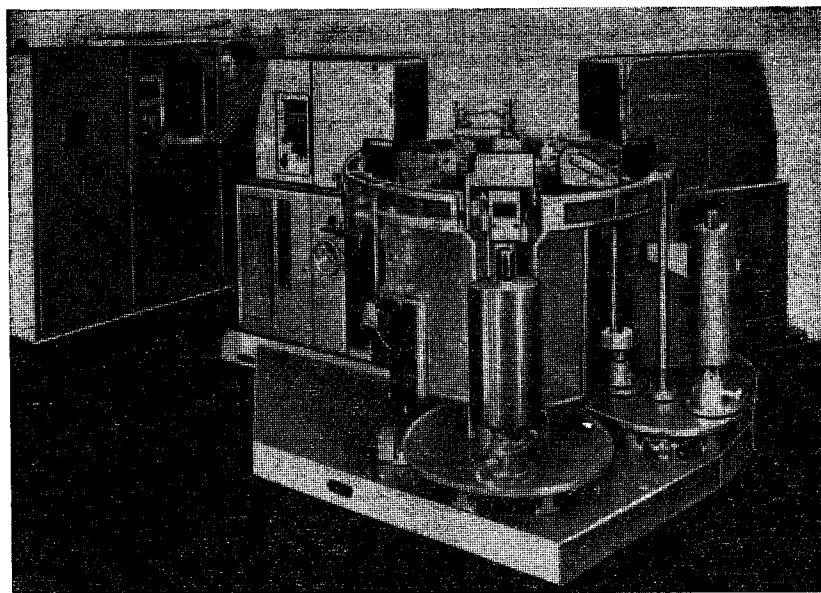


Рис. 304. Штамповочный автомат для вырубки пазов статора и ротора электрических машин

движущейся ленты штамп возвращается в исходное положение и начинает новое движение.

Во время работы автомата штампы сохраняют взаимную параллельность и совершают вращательное движение в соответствии с эксцентриситетом приводных валов. Вращательное движение эксцентрика превращается в вертикальное и горизонтальное перемещение штамподержателя и штампов. Таким образом, за один цикл рабочие части штампа автоматически перемещают ленту на величину шага подачи.

В ряде отраслей промышленности применяются универсально-гибочные (много-ползунковые) автоматы, применяемые для штамповки сложной изогнутых деталей из ленты или проволоки.

Универсально-гибочные автоматы типа „Билер“ (ФРГ) имеют вертикальную или наклонную инструментальную плиту. На плите вокруг центральной гибочной оправки расположены требуемые технологией гибочные ползуны, представляющие собой взаимозаменяемые агрегаты. Гибочные ползуны и другие устройства имеют привод от центральной шестерни, расположенной с задней стороны плиты. Шестерня и вырубной механизм приводятся в действие электродвигателем, снабженным электропневматической муфтой и тормозом. Клещевая автоматическая подача заготовки обеспечивает высокую точность. Универсальные гибочные автоматы имеют производительность 350—500 шт/мин, а специализированные автоматы — до 1000 шт/мин.

Автоматы могут быть оснащены дополнительными механизмами для нарезания резьбы, сварки, клепки, сборки, чеканки, зенкования, сортировки. Естественно, что указанные автоматы требуют высококвалифицированного обслуживания. Аналогичные автоматы освоены нашей промышленностью.

Для мелкосерийного производства фирмой „Трумпф“ (ФРГ) разработана серия копировально-высечных станков для изготовления различных вырезов, отверстий, шлицев и других элементов в крупных листовых заготовках, взамен изготовления крупных и дорогих штампов. Некоторые из таких станков снабжены системами траекторного цифрового программного управления, а некоторые — оптическим копировальным устройством. Отдельные типы станков снабжены механизмами для автоматической смены инструмента, управляемой перфолентой.

Сравнительно новым типом оборудования являются роторные штамповочные машины. Их особенность заключается в том, что обработка детали происходит не во время останковки движущейся заготовки, а в процессе одновременного непрерывного перемещения инструмента и обрабатываемой заготовки.

Особенностью роторных машин является то, что их производительность не зависит от длительности операции. При большой длительности операции роторная машина может обеспечить высокую производительность, для чего необходимо предусмотреть в роторе достаточное количество рабочих блоков с инструментами.

Роторные машины позволяют создать высокопроизводительные комплексные автоматические линии с одинаковой производительностью на самых различных операциях.

Детальное описание конструкций прессов, технических и эксплуатационных характеристик приведено в специальной литературе и каталогах.

12. ПЛАНИРОВКА И ОБСЛУЖИВАНИЕ РАБОЧЕГО МЕСТА

Высокая производительность труда и прогрессивные методы работы возможны лишь при наличии правильной организации трудового процесса и рабочего места.

Весьма ответственной частью производственного процесса является установка штампов на прессах и их наладка, от которых зависят качество штампуемых деталей, надежная безаварийная работа штампов и безопасность работы штамповщика.

Необходимо предусмотреть мероприятия по сокращению потерь времени на переналадку оборудования путем механизации работ по установке штампов и повышению производительности труда наладчиков. Необходимым условием для этого является надлежащая организация штампового хозяйства и транспортирования штампов.

Смена мелких штампов массой до 10 кг обычно не вызывает затруднений и не требует специальных устройств, кроме простых ручных тележек. Транспортирование более тяжелых штампов производится при помощи ручных тележек, снабженных подъемным устройством. Наиболее распространен ручной механический и гидравлический привод подъемного механизма. Подъемные механизмы тележек должны быть самотормозящимися, не допускающими опускания платформы вниз.

Для транспортирования и смены штампов массой от 250 кг до 2 т применяются электропогрузчики ЭП-0,5; ЭП-1; ЭП-2, а также электроштабелеры с выдвигаемым вилочным захватом грузоподъемностью 0,5—1,2 тс.

Наиболее крупные штампы транспортируются и устанавливаются при помощи обычных мостовых кранов, кран-балок и др.

Наиболее крупные прессы снабжаются выдвижными подштамповыми плитами, позволяющими в несколько раз сократить время перестановки штампов.

Для смены штампов у крупных прессов применяются различные переносные (краном) механизмы: приводные рольганги, механизмы с пневмоприводом, простые рольганги, откидные (поворотные) столы и др.

Способы хранения и технического ухода за штампами зависят от размеров штампов и серийности производства. Хорошо зарекомендовала себя система многоярусного хранения штампов с автоматическими программно-управляемыми штабелерами [85]. По заявке цеха кладовщик находит в картотеке шифр штампа и набирает его на пульте, после чего кран отправляется в автоматический поиск.

Горизонтальное и вертикальное движения каретки штабелера совмещены во времени. Захватные вилки каретки входят в гнездо стеллажа и берут поддон со штампом. Затем кран продвигает обратный путь и перегружает штампы на тележку с подъемной платформой, на которой штамп доставляется к прессу.

Надлежащая организация производства и правильное использование цеховых транспортных средств невозможны без правильно выбранной производственной тары. Необходимо пользоваться специально разработанный металлической тарой, рассчитанной для данной продукции и для применяемых транспортных средств. Пользоваться случайной деревянной тарой не рекомендуется. Металлическая тара должна быть приспособлена для многоярусного хранения с грузом, для подъема и перемещения автопогрузчиком, штабелером или краном.

В организацию рабочего места штамповщика входят:

- 1) правильная и наиболее удобная планировка рабочего места, включая способы и места укладки заготовок, готовых изделий и отходов;
- 2) необходимая подготовка материалов и полуфабрикатов;
- 3) обеспечение рабочего места вспомогательным инструментом;
- 4) содержание в исправности и рабочей готовности прессы и штампа;
- 5) содержание рабочего места в чистоте и порядке.

Планировка и организация рабочего места зависят от вида и размеров заготовки (полоса, лента, лист, штучный полуфабрикат), степени механизации работ и способа подачи заготовок (ручная, автоматическая), способа удаления деталей (на провал, с обратным выталкиванием и ручным удалением, с автоматическим удалением — сбрасыванием), типа прессы (вертикальный, наклоняемый, одностоечный, двустоечный, С-образный, двустоечный закрытый и т. д.), мощности (усилия) прессы и размеров штампуемых деталей.

В табл. 161 приведены схемы планировки и организации рабочих мест для основных типов прессов и различных видов заготовок.

Планировка оборудования штамповочных цехов должна предусматривать соответствующую площадь около прессы для укладки заготовок, готовых деталей и отходов, а также необходимые проходы и проезды для внутрицехового транспорта.

Общую площадь холоднштамповочного цеха принято подразделять на производственную и вспомогательную. К производственной относится площадь, занимаемая прессами, механизмами, инвентарем, проходами и проездами между прессами, местами для складывания заготовок, деталей и отходов. Производственная площадь цеха вместе с проходами и проездами, приходящаяся на один пресс, значительно больше площади основания прессы.

К вспомогательной площади относится площадь, занимаемая складами, железнодорожными путями, главными проездами и вспомогательными участками. Вспо-

161. Схемы планировки и организации рабочих мест для основных типов прессов

Тип прессы	Вид заготовки	Способ подачи и штамповки	Схемы рабочего места
Вертикальный одностоечный или двустоечный (С-образный)	Полосы	Ручная подача (штамповка на провал)	
	Ленты	Автоматическая подача (штамповка на провал)	
	Штучные заготовки	Автоматическая подача	
Наклоняемый (С-образный)	Полосы	Ручная подача (штамповка с обратным выталкиванием)	
	Ленты	Автоматическая подача (штамповка с обратным выталкиванием)	
	Штучные заготовки	Автоматическая подача	
Двустоечный одношатуный	Полосы	Ручная подача (поперечная)	
	Штучные заготовки	Ручная подача (штамповка с обратным выталкиванием)	

Продолжение табл. 161

Тип пресса	Вид заготовки	Способ подачи и штамповки	Схемы рабочего места
Двустоечный одноштанунный	Штучные заготовки	Автоматическая подача	
<p>Обозначения: 1 — пресс; 2 — стол для заготовок; 3 — ящик для готовых деталей; 4 — ящик для отходов; 5 — приемный ящик (в столе пресса); 6 — стол для ящиков для штучных заготовок; 7 — катушка с лентой; 8 — катушка с отходом; 9 — загрузочное устройство.</p>			

могательная площадь примерно составляет в крупных штамповочных цехах 70—80%, в средних и малых цехах — 30—50% от производственной.

Планировка типовых холоднштамповочных цехов приведена в специализированных справочниках для проектировщиков, в руководящих материалах проектных организаций и в специальной литературе.

При планировке оборудования в цехах холодной штамповки руководствуются «Нормами технологического проектирования цехов холодной листовой штамповки машиностроительных заводов»; откуда приводим некоторые данные.

В табл. 162 приведены нормы ширины цеховых проходов и проездов, в табл. 163 — нормы расстояний между прессами при различном их расположении, в табл. 164 — нормы расстояния от прессов до колонн или стен здания.

162. Нормы ширины цеховых проходов и проездов

Вид транспорта	Грузоподъемность, тс	Ширина транспорта, мм	Ширина проезда (в мм) при движении транспорта, мм	
			одностороннее	двустороннее
Тележки самоходные аккумуляторные	0,25	700	1300	2000
	1	800	1500	2300
	5	1200	2000	3000
Автопогрузчики и электропогрузчики	1	950	1800	2600
	3	1200	2500	3500
	5	2200	3500	5000

Примечание. В ширину проезда не входят рабочие места у оборудования, обращенные в сторону проезда.

В цехах холодной штамповки применяются следующие подъемно-транспортные средства:

1) мостовые краны и кран-балки, применяемые для подачи листового металла в пачках к рабочим местам, для передачи крупных заготовок от пресса к прессу и транспортирования готовой крупногабаритной продукции;

2) электротельферы, применяемые для обслуживания отдельных прессов и участков, для обслуживания складов штампов и готовой продукции;

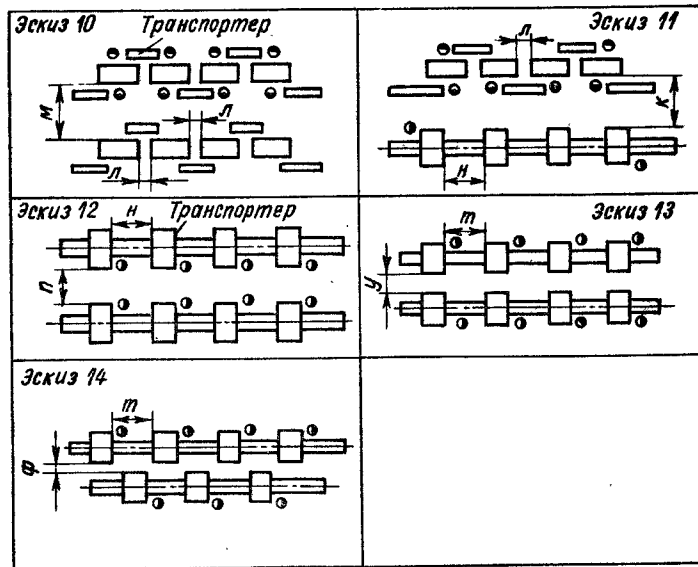
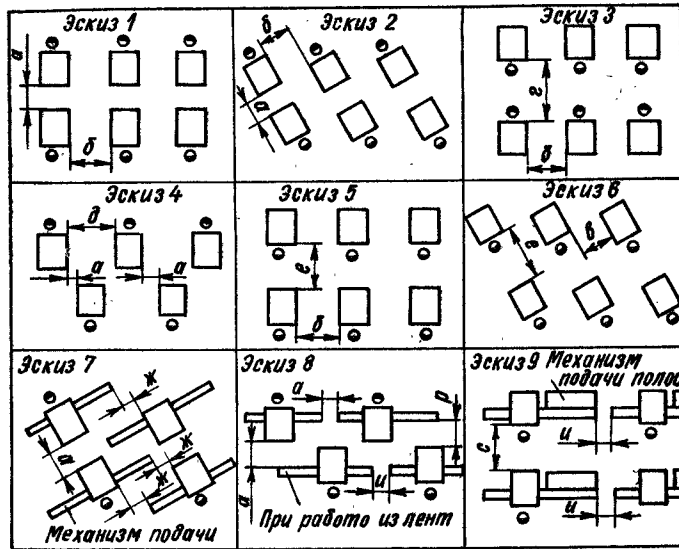
3) подвесные конвейеры для транспортирования крупных деталей с производственных участков на склады и сборку;

4) напольные и подземные транспортеры и рольганги для межоперационной транспортировки и для уборки отходов;

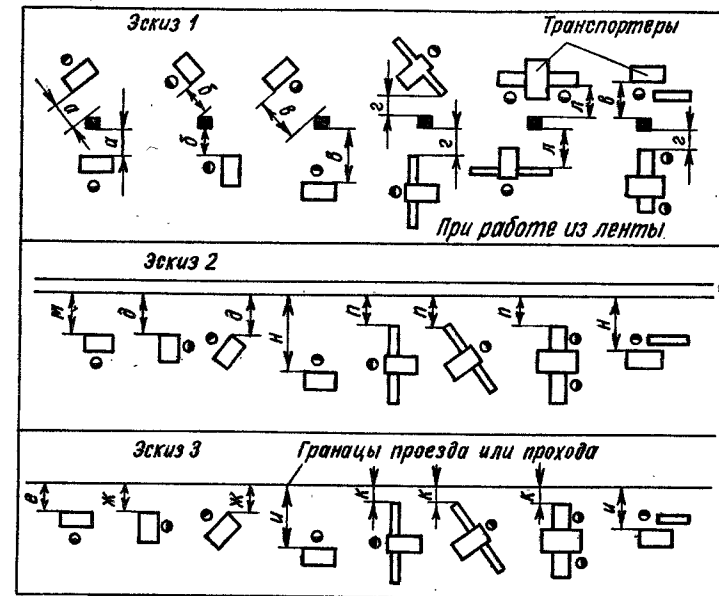
163. Нормы расстояний между прессами

Вид расстояний	Размер	Нормы расстояний (в м) при усилии пресса, тс				
		До 25	40—100	125—250	315—800	Св. 800
Расстояние между задними, боковыми и передними сторонами прессов (эскизы 1—6)	a	0,6	0,8	1,0—1,5	1,8—2,0	2,0—3,0
	b	1,2	1,5	1,8—2,2	2,5—4,5	3,5—6,0
	в	1,0	1,2—1,5	1,8—2,2	2,2—3,0	3,0—4,0
	г	2,5—2,8	3,0—4,0	3,5—4,5	4,0—5,0	4,5—6,5
	д	2a + ширина пресса				
e	1,4—1,7	1,4—1,7	2,5—3,0	3,0—4,5	4,0—5,0	
Расстояние между прессами и средствами автоматизации (эскизы 7—9)	ж	0,8	1,0	1,2	1,4	1,4
	и	0,6	0,6	0,8	1,0	1,0
	p	0,9	1,0	1,3	1,5	1,6
	с	1,7	2,5	3,0	4,5	4,5
Расстояние между прессами при установке их в линии на ленточном фундаменте или подвале в один ряд (эскизы 10—12)	к	—	—	3,0—3,5	3,5—4,0	4,0—5,0
	л	—	—	1,0—1,2	1,5—2,0	2,0—2,2
	м	—	—	3,5—4,5	4,0—5,0	5,0—7,0
	н	—	—	3,0—3,5	3,5—5,0	4,0—6,0
п	—	—	2,0—2,5	2,5—3,0	3,0—3,5	
Расстояние между прессами при установке прессов в два ряда на одном ленточном фундаменте или подвале (эскизы 13 и 14)	т	—	—	2,6—3,0	3,0—4,5	4,0—5,0
	у	—	—	0,4—0,6	0,6—1,0	1,0—1,5
	ф	—	—	До 0,5	До 0,5	До 0,5

Продолжение табл. 16



164. Нормы расстояния от прессов до колонн или стен здания и до границ прохода или проезда



Расстояние	Размер	Нормы расстояний (в м) при усилнии пресса, тс				
		До 25	40—100	125—250	315—800	Св. 800
До колонн (эскиз 1)	a	0,6	0,8—1,2	1,5—2,0	2,2—3,0	3,2—3,5
	b	0,6	0,8—1,0	1,4—2,0	2,2—2,5	2,5—3,0
	e	1,4	1,7—2,0	2,4—3,0	3,0—3,5	3,5—4,5
	g	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
	л	0,7	1,0	1,2	1,5	1,8
До стены (эскиз 2)	д	0,8	1,2—1,4	1,5—2,0	2,2—2,8	3,0—3,5
	и	0,8	1,0—1,4	1,7—2,2	2,4—3,2	3,4—3,7
	и	1,8	2,1	2,8	3,4	4,5
	n	0,8	1,0	1,3	1,5	1,7
До границы проезда (эскиз 3)	e	0,5	0,5	0,6	0,8	1,2
	жс	0,4	0,4	0,6	0,8	1,0
	и	1,0	1,2	1,2—1,5	1,5—1,7	2,0—2,4
	к	0,4	0,4	0,5	0,6	0,8

5) безрельсовый транспорт; электрокары грузоподъемностью до 5000 кгс, автопогрузчики аккумуляторные грузоподъемностью до 1500 кгс, автопогрузчики с двигателями внутреннего сгорания грузоподъемностью до 10 000 кгс.

6) ручные тележки с неподвижной и подъемной платформой для перевозки ящичной тары.

Выбор наиболее пригодных и удобных типов транспортных устройств зависит от величины грузопотока, массы и размеров заготовок и деталей или штампов, протяженности транспортного маршрута и т. п.

В последнее время на заводах массового производства получили применение конвейеры толкающего типа с автоматическим адресованием и централизованным автоматическим управлением. Толкающий конвейер, в отличие от обычного подвесного конвейера, действует автоматически по заранее заданной программе, сортирует грузы и направляет их по различным трассам, перемещает грузы на разных участках пути с разной скоростью, может накапливать в определенных местах, а затем направлять грузы на линию обработки. Это осуществляется путем автоматического управления путевыми стрелками при помощи электромагнита или другого устройства.

Большое значение для правильной организации труда и культуры производства имеет механизация удаления отходов листового и полосового металла. Предварительно должны быть отобраны отходы годные для вторичного использования. Наиболее важное значение механизация удаления отходов имеет в металлоемком производстве.

В современных автомобильных штамповочных цехах удаление отходов происходит через люки в полу цеха при помощи ленточных транспортеров, установленных в подвале цеха. Транспортеры доставляют отходы к гидравлическим пакетировочным прессам, которые спрессовывают их в плотные пакеты, годные для переплавки в электропечах или в вагранках.

Организация труда штамповщика требует рационального освещения цеха и рабочих мест, от которого зависит производительность труда, утомляемость рабочих и опасность травматизма.

В цехах холодной штамповки установлены следующие нормы освещенности:

1) по всему помещению на полу должна быть обеспечена горизонтальная освещенность не менее 20 лк при лампах накаливания и не менее 75 лк при люминесцентных лампах;

2) на рабочей поверхности штампов освещенность не менее 75 лк при лампах накаливания и не менее 200 лк при люминесцентных лампах.

Местное освещение лампами без арматуры не допускается.

Все остекления окон и фонарей штамповочных цехов должны очищаться не реже двух раз в год.

Важное значение имеет надлежащая „легкая“ для глаз окраска прессового оборудования. Наиболее приемлемой признана окраска прессов в гамму зелено-голубых цветов.

Общее наблюдение за прессами и другим оборудованием и поддержание их в должном состоянии выполняется цеховым механиком или отделом главного механика завода.

Правила установки штампов обычно излагаются в специальных инструкциях и указаниях по установке штампов и здесь не приводятся.

Правила обслуживания пресса должны быть освоены каждым рабочим-штамповщиком путем прохождения технициума или соответствующего инструктажа. Эти правила изложены в соответствующих инструкциях и брошюрах.

Раздел третий

ТИПОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ШТАМПОВ, ИХ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ

ГЛАВА I

ТИПОВЫЕ СХЕМЫ ШТАМПОВ

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТИПЫ ШТАМПОВ

Штампы для холодной листовой штамповки могут быть классифицированы по трем признакам: технологическому (по роду и совмещенности операций); конструктивному (по способу направления); эксплуатационному (по способу подачи заготовок и удаления деталей и отходов).

По технологическому признаку штампы разделяются на типовые группы по роду выполняемых операций.

По совмещенности операций штампы разделяются на простые (однооперационные) и комбинированные (многооперационные), выполняющие одновременно несколько операций.

Комбинированные штампы подразделяются по характеру совмещения операций (переходов) во времени на штампы:

1) последовательного действия, в которых изготовление детали производится за несколько переходов под различными пуансонами при последовательном перемещении заготовки;

2) совмещенного действия, в которых изготовление детали производится за один ход пресса концентрированно расположенными пуансонами при неизменном положении заготовки;

3) последовательно-совмещенного действия, в которых изготовление детали происходит путем сочетания последовательной и совмещенной штамповки.

Однооперационные штампы следует применять лишь в мелкосерийном производстве или в случае невозможности технологического объединения операций.

Наиболее характерные типы совмещенных комбинированных штампов приведены в табл. 165. В табл. 166 даны наиболее характерные типы последовательных комбинированных штампов.

2. КОНСТРУКТИВНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ТИПЫ ШТАМПОВ

По конструктивному признаку штампы разделяются на две группы: 1) штампы без направления; 2) штампы с направляющими устройствами.

Подразделение по способу направления относится к технологически различным типам штампов: вырубным, вытяжным, гибочным, а также комбинированным. Количество отдельных пуансонов может быть различно в зависимости от конструкции и технологии изготовления детали.

Штампы без направляющих более просты в изготовлении и имеют малые массу и габаритные размеры, но неудобны при установке, небезопасны в эксплуатации и обладают невысокой стойкостью. Штампы без направляющих применяются только в мелкосерийном и опытно-производстве.

Штампы с направляющими просты и надежны в эксплуатации, удобны при установке, обладают повышенной стойкостью, но более сложны в изготовлении. Применяются в серийном, крупносерийном и массовом производстве.

Наибольшее распространение получили штампы с направляющими колонками, которые в большинстве случаев снабжаются неподвижным или подвижным съемником.

По эксплуатационному признаку, определяемому способами и приемами работ, штампы различаются: по способу подачи и установки заготовок, способу удаления деталей и по способу удаления отходов.

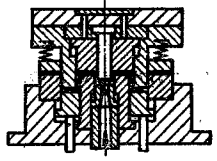
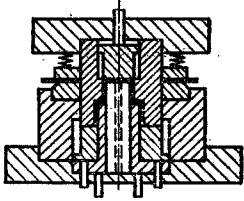
165. Основные типы совмещенных комбинированных штампов

Тип штампа	Схема
Для вырубки и пробивки	
Для обрезки и пробивки	
Для вырубки и чеканки (формовки)	
Для отрезки и гибки	
Для пробивки и отбортовки	
Для вырубки и вытяжки	

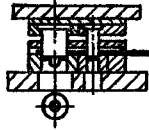
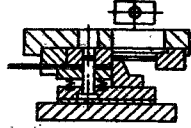
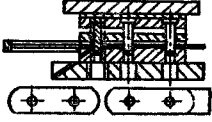
Продолжение табл. 165

Тип штампа	Схема
Для вытяжки и пробивки	
Для вытяжки и формовки	
Для обрезки и формовки	
Для вырубки, вытяжки и пробивки	
Для вырубки, вытяжки и формовки	
Для вырубки, вытяжки и обрезки	

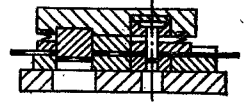
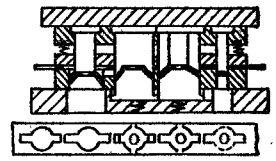
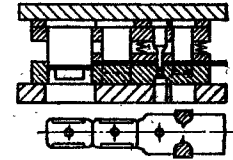
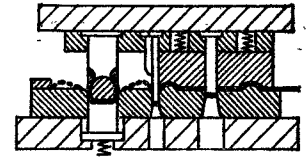
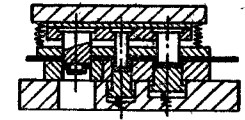
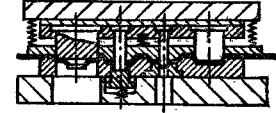
Продолжение табл. 165

Тип штампа	Схема
Для четырех и более совмещенных операций	
Для вырубки и двукратной вытяжки	

166. Основные типы последовательных комбинированных штампов

Тип штампа	Схема
Для пробивки и вырубки	
Для пробивки и отрезки	
Для пробивки и разрезки (фигурной отрезки)	

Продолжение табл. 166

Тип штампа	Схема
Для пробивки, чеканки и вырубки	
Для пробивки, надрезки, гибки и отрезки	
Для обрезки, пробивки, гибки и отрезки	
Для гибки, отрезки и окончательной гибки	
Для последовательной вытяжки и вырубки	
Для последовательной вытяжки, пробивки и вырубки	

Продолжение табл. 166

Тип штампа	Схема
Для пробивки, отбортовки и вырубki	
Для последовательной вытяжки, пробивки, отбортовки и вырубki	

По способу подачи и установки заготовок различают штампы с ручной подачей и штампы с автоматической подачей, являющейся принадлежностью штампа или прессы.

Штампы с ручной подачей отличаются один от другого лишь конструкцией применяемого упора или фиксатора, а штампы с автоматической подачей различаются по типу подачи ленты или штучных заготовок.

По способу удаления деталей различают следующие типы штампов:

- 1) с провалом через отверстие матрицы;
- 2) с обратной вставкой в ленту и удалением вместе с ней;
- 3) с обратным выталкиванием на поверхность штампа и ручным удалением;
- 4) с обратным выталкиванием и автоматическим удалением (сбрасыванием).

Обратное выталкивание осуществляется от пружин выбрасывателя или выталкивателя, от буфера или от прессы. Эти различия по способу удаления деталей одновременно являются и конструктивными, так как в значительной степени определяют конструкцию штампов.

ГЛАВА II

ТИПОВЫЕ УЗЛЫ И ДЕТАЛИ ШТАМПОВ

3. ТИПОВЫЕ ДЕТАЛИ ШТАМПОВ

Все детали штампов могут быть разбиты на две основные группы: *детали технологического назначения*, непосредственно участвующие в выполнении производимой операции и находящиеся во взаимодействии с материалом или изделием; *детали конструктивного характера*, имеющие монтажно-сборочное назначение в конструкции штампа.

При рассмотрении типовых конструктивных и технологических деталей штампов использованы новые ГОСТы на детали штампов, вышедшие в свет до 1978 г.

4. ТИПОВЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ УЗЛЫ И ДЕТАЛИ ШТАМПОВ

Основными узлами штампов являются комплекты верхних и нижних оснований с направляющими устройствами, так называемые блоки и пакеты.

В СССР принята следующая терминология.

Блоки — комплекты верхних и нижних оснований штампов, связанных направляющими устройствами (колонки, планки, цилиндры). Блоки подразделяются на индивидуальные, предназначенные для отдельных штампов, и универсальные или групповые, предназначенные для установки различных сменных пакетных штампов.

Пакеты — верхние и нижние комплекты штампов с пуансонодержателями, заготовками матриц и съёмниками обычно без специальных направляющих устройств или с направлением пуансона по плите съёмника.

Пакеты применяются для установки на стандартных блоках с направляющими колонками, а также в качестве сменных пакетных штампов на групповых универсальных блоках.

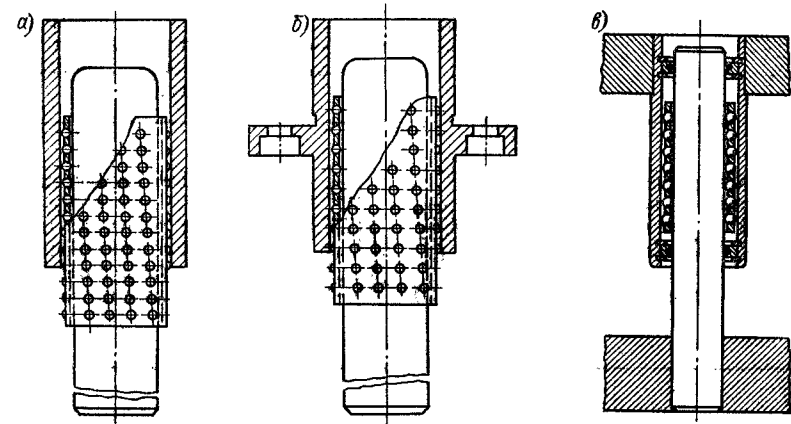


Рис. 305. Направляющие втулки с шариковым направлением

Стандартные блоки штампов с указанием области их применения приведены в табл. 167. В эту таблицу включены некоторые типы блоков по заводским нормам.

В табл. 168 приведены типы универсальных блоков для сменных пакетных и пластинчатых штампов. Первые два типа получили применение в серийном и крупносерийном производстве, а третий и пятый — в серийном и мелкосерийном производстве. В табл. 169 приведены пакеты заготовок для вырезных (разделительных) штампов, предназначенные для нормализованных блоков с направляющими колонками и для универсальных блоков. В табл. 170 представлены пакеты вытяжных штампов, предназначенные для установки на прессах простого действия.

В табл. 171 приведены основные типы направляющих колонок как для обычных нормализованных, так и для прецизионных блоков и штампов, а в табл. 172 — нормализованные типы направляющих втулок с указанием области их применения.

На рис. 305, а, б, в приведены втулки с шариковыми направляющими, получившие применение в прецизионных штампах для штамповки мелких точных деталей, в штампах с твердосплавными режущими частями. Особенно целесообразно их применение на прессах-автоматах с повышенным числом ходов.

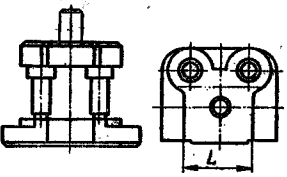
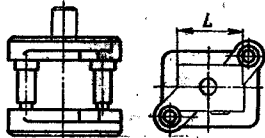
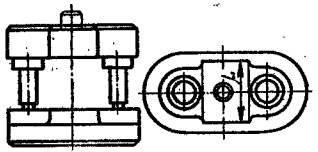
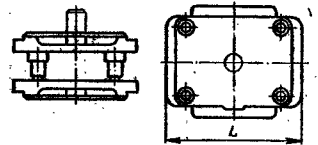
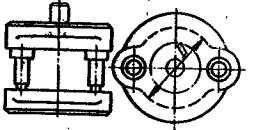
Применение шариковых направляющих вместо обычных втулок снижает коэффициент трения, заменяя трение скольжения трением качения.

Преимущества шариковых направляющих: 1) легкость хода и отсутствие нагревания даже при высоких числах ходов прессы; 2) точность направления, благодаря работе с натягом, и повышенная стойкость штампов при незначительном износе; 3) надежность в эксплуатации.

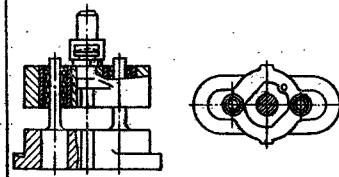
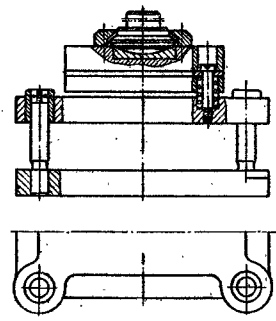
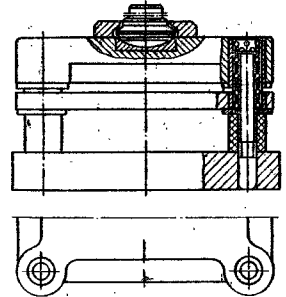
В шариковых направляющих обычно применяют подшипниковые шарики диаметром 3 мм, второй точности с рассортировкой до $\pm 0,001$ мм.

На блоки с осевыми колонками и шариковыми направляющими выпущен ГОСТ 14673—69. Технические условия на шариковые направляющие регламентированы

167. Типы стандартных и нормализованных блоков и их применение

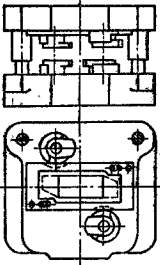
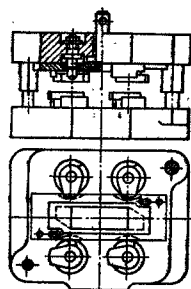
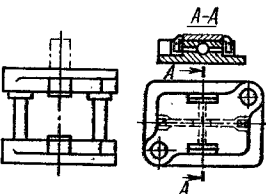
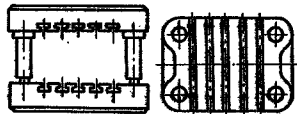
Тип блоков	Эскиз	Применение
С задним расположением направляющих колонок ($L=60 \div +500$ мм) по ГОСТ 13125—75 нормальной точности		Для обычной штамповки деталей средней сложности и точности из полосовых и штучных заготовок (вырубные, пробивные, гибочные, вытяжные и комбинированные штампы)
С диагональным расположением направляющих колонок ($L=60 \div 500$ мм) по ГОСТ 13124—75 повышенной и нормальной точности		Для штамповки более точных деталей при работе из полосы на быстроходных прессах (вырубные и последовательные штампы)
С осевым (симметричным) расположением направляющих колонок ($L=60 \div +500$ мм) по ГОСТ 13126—75 повышенной и нормальной точности		Для штамповки мелких точных деталей главным образом из штучных заготовок (пробивные, гибочные, зачистные, вытяжные и комбинированные штампы)
С угловым расположением четырех направляющих колонок по ГОСТ 21173—75		Для штамповки крупных деталей из больших штучных заготовок, а также для многопозиционных последовательных штампов
Круглые с осевым расположением направляющих колонок ($D=200 \div 1200$ мм), заводская нормаль		Для штамповки круглых деталей повышенной точности из штучных или полосовых заготовок (компаундные штампы в электромашиностроении)

Продолжение табл. 167

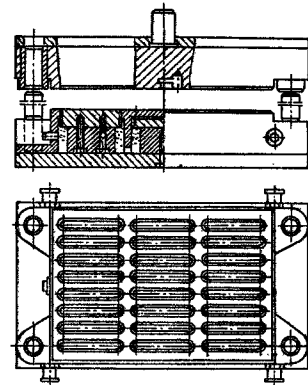
Тип блоков	Эскиз	Применение
Прецизионные с осевым расположением направляющих колонок ($D=60 \div 180$ мм) по ГОСТ 14673—69		Для штамповки мелких точных деталей преимущественно в часовой и радиоэлектронной промышленности. Применяются блоки без направляющих втулок, с втулками, с шариковыми направляющими
Прецизионные с подвижной направляющей плитой, диагональным и угловым расположением направляющих колонок по ГОСТ 14672—69		Для последовательной штамповки точных деталей из тонкого материала. Применяются в радиоэлектронной промышленности в приборостроении
Прецизионные с общим направлением верхней и подвижной направляющей плиты, с угловым расположением четырех направляющих колонок по ГОСТ 14674—69		Для последовательной штамповки точных деталей из тонкого материала, преимущественное при штамповке на прессах-автоматах

Примечание. В ГОСТ 13110—75 — ГОСТ 13117—75 стандартизованы плиты-заготовки разного типа для штампов листовой штамповки.

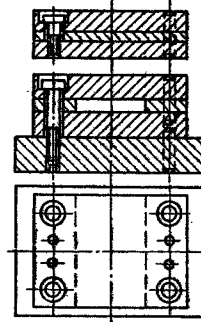
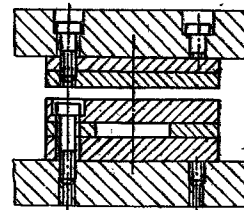
рис. 168. Типы универсальных блоков и их применение

Тип блоков	Эскиз	Применение
Для сменных разделительных штампов с задним расположением направляющих колонок по ГОСТ 17664—72		Для основных типов разделительных штампов (вырубных, пробивных, отрезных)
Для сменных разделительных штампов с диагональным расположением направляющих колонок по ГОСТ 17662—72		Для всех типов разделительных штампов, особенно для совмещенных штампов
Для сменных разделительных штампов с угловым расположением четырех направляющих колонок по ГОСТ 17663—72		Для совмещенных и последовательных штампов
Для универсально-наладочных штампов по ГОСТ 16572—71		Для установки нормализованных пластинчатых штампов в серийном производстве

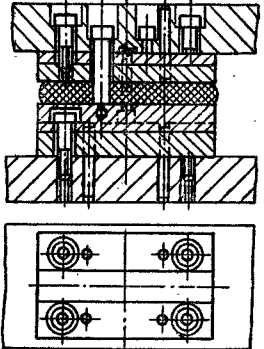
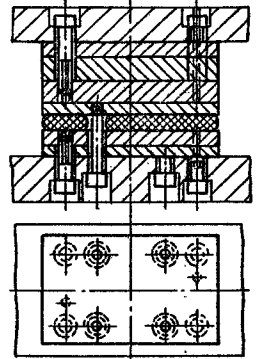
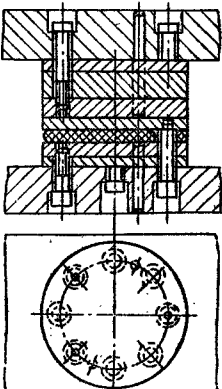
Продолжение табл. 168

Тип блоков	Эскиз	Применение
С электромагнитным креплением пластинчатых штампов (индивидуальные)		Для вырубных, пробивных, последовательных совмещенных, гибочных, формовочных и вытяжных пластинчатых штампов в мелкосерийном производстве

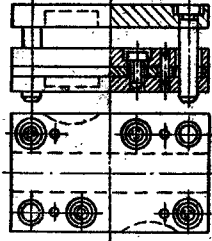
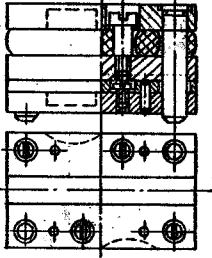
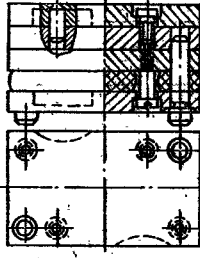
169. Пакеты заготовок для вырезных (разделительных) штампов для нормализованных блоков с направляющими колонками и для универсальных блоков

Тип пакетов	Эскиз	Применение
С направляющими неподвижными съемниками по ГОСТ 18717—73		Для вырубных и последовательных штампов (без блоков)
С неподвижным съемником по ГОСТ 18717—73		Для вырубных и последовательных штампов с применением нормализованных блоков с направляющими колонками

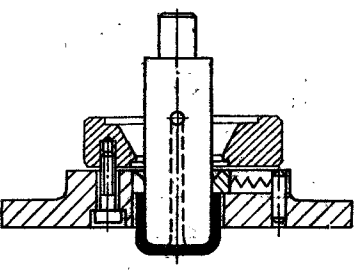
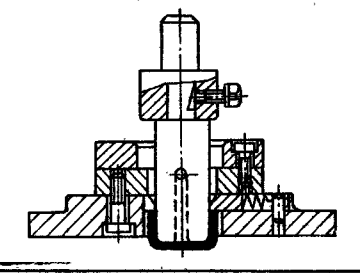
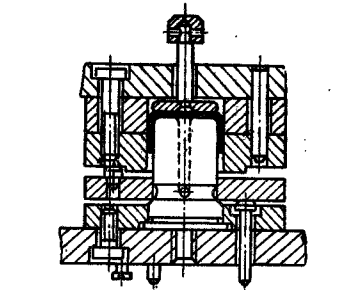
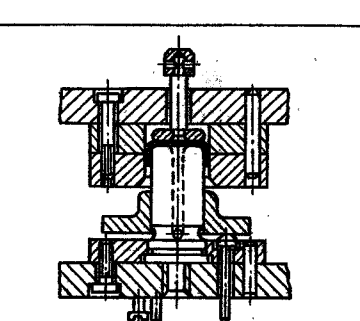
Продолжение табл. 169

Тип пакетов	Эскиз	Применение
С верхним прижимом-съемником по ГОСТ 18717-73		Для вырубных и последовательных штампов с нормализованными блоками при штамповке тонколистового металла
С верхним расположением матрицы по ГОСТ 18717-73		Для совмещенных штампов с нормализованными блоками с направляющими колонками
Круглые с верхним расположением матрицы		Для совмещенных штампов с нормализованными блоками с направляющими колонками при штамповке круглых деталей

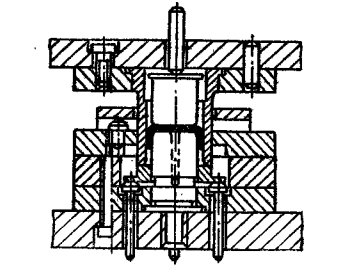
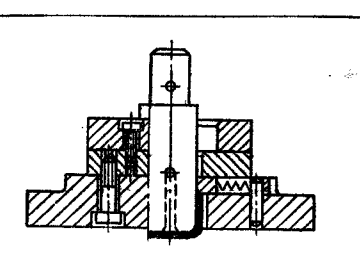
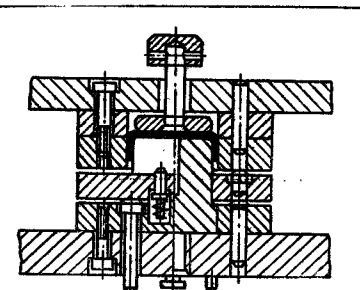
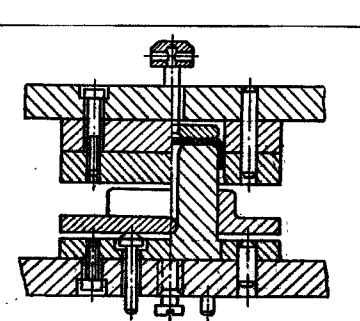
Продолжение табл. 169

Тип пакетов	Эскиз	Применение
Сменные с неподвижным съемником	<p data-bbox="1423 316 1558 338">Исполнение I</p> 	Для вырубных и последовательных штампов с применением универсальных блоков
Сменные с верхним прижимом	<p data-bbox="1423 715 1558 737">Исполнение II</p> 	Для грубых и последовательных штампов при штамповке тонкого материала с применением универсальных блоков
Сменные с верхним расположением матрицы		Для штампов совмещенного действия с применением универсальных блоков

170. Пакеты вытяжных штампов для прессов простого действия

Тип пакетов	Эскиз	Применение
Круглые, тип I		Для первой вытяжки без прижима (на провал). Профиль матрицы строится по трактриссе
Круглые, тип II		Для второй и последующих операций вытяжки без прижима (на провал)
Круглые, тип III		Для первой вытяжки с прижимом плоской заготовки
Круглые, тип IV		Для второй и последующих операций вытяжки с прижимом

Продолжение табл. 170

Тип пакетов	Эскиз	Применение
Круглые, тип V		Для совмещенной вырезки и вытяжки на прессах простого действия
Прямоугольные, тип VI		Для второй и последующих операций вытяжки коробчатых деталей без прижима (на провал)
Прямоугольные, тип VII		Для первой вытяжки коробчатых деталей с прижимом плоской заготовки
Прямоугольные, тип VIII		Для второй и последующих операций вытяжки коробчатых деталей с прижимом

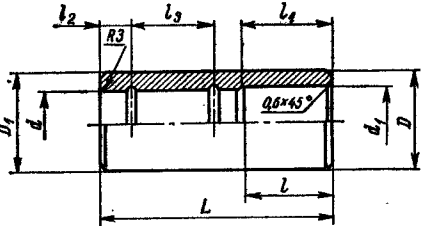
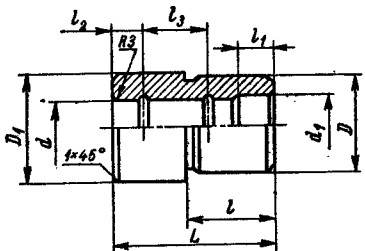
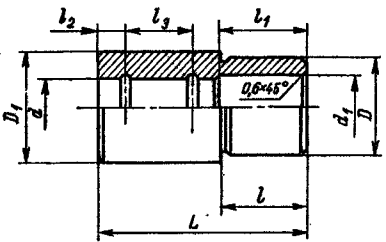

171. Колонки направляющие

Тип направляющих колонок	Эскиз	Применение
Гладкие по ГОСТ 13118—75 (1-го и 2-го класса точности)		Для стандартных блоков (см. табл. 167). Диаметр от 12 до 50 мм
С проточкой (1-го и 2-го класса точности) по ГОСТ 13119—75		Для стандартных и нормализованных блоков (см. табл. 167). Диаметр от 12 до 100 мм
Прецизионные гладкие		Для прецизионных блоков без направляющих втулок. Диаметр от 14 до 30 мм. Направляющая часть колонки пригоняется по направляющим отверстиям верхних плит с зазором 0,001—0,003 мм.
Прецизионные ступенчатые		Для прецизионных блоков, особенно при работе на быстроходных прессах, при коротком рабочем ходе. Пригонка по шариковым втулкам с натягом 0,005—0,007 мм
Ступенчатые (заводская нормаль)		Применяются для крупных штампов. Диаметр 80 и 100 мм. В направляющей части ходовая посадка 3-го класса точности


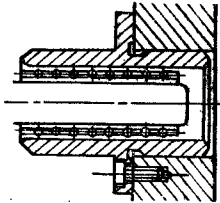
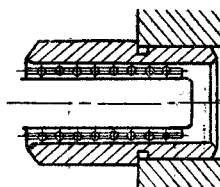
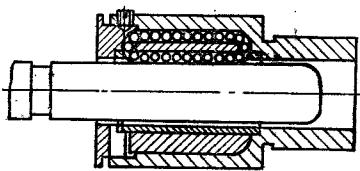
Продолжение табл. 171

Тип направляющих колонок	Эскиз	Применение
Для сменных пакетов вырезных штампов по ГОСТ 18718—73 и ГОСТ 18719—73	 	Для сменных пакетов вырезных штампов: тип I—для пакетов с неподвижным съемником; тип II—для совмещенных штампов
Планки направляющие для крупных штампов по ГОСТ 18811—73		Для плит весьма крупных штампов в автомобильной, тракторной и других отраслях промышленности для направляющего гнезда
Призмы направляющие для крупных штампов по ГОСТ 18811—73		Для плит весьма крупных штампов в указанных отраслях промышленности в качестве направляемого штыря

172. Втулки направляющие

Тип направляющих втулок	Эскиз	Применение
Гладкие по ГОСТ 13120—75 (1-го и 2-го класса точности)		Для стандартных блоков с направляющими колонками (см. табл. 167). Диаметр d от 12 до 50 мм
Степенчатые по ГОСТ 13121—75 (1-го и 2-го класса точности)		Для нормализованных блоков с направляющими колонками (см. табл. 167). После запрессовки нужна доводка (хонингование) отверстия. Диаметр d от 12 до 100 мм
Удлиненные по ГОСТ 13122—75 (1-го и 2-го класса точности)		Для штампов, требующих большей величины рабочего хода. После запрессовки рабочий диаметр втулки не уменьшается. Отпадает последующая доводка. Диаметр d от 12 до 50 мм
Прецизионные для шариковых направляющих		Для прецизионных блоков, применяемых при штамповке точных деталей, особенно при штамповке на быстрходных прессах с малым ходом

Продолжение табл. 172

Тип направляющих втулок	Эскиз	Применение
Сепараторы с шариковыми направляющими по ГОСТ 14678—69		Для указанных выше прецизионных блоков и штампов. Коэффициент трения качения в 20 раз меньше коэффициента трения скольжения. Шарики при качении между втулкой и колонкой создают натяг 0,005—0,007 мм
С фланцем для блоков с шариковым направлением по ГОСТ 14672—69 (исполнение I)		Для блоков разделительных штампов с шариковыми направляющими, в основном при применении на прессах-автоматах с повышенным числом ходов
С буртиком для блоков с шариковым направлением по ГОСТ 14672—69 (исполнение II)		Для блоков разделительных штампов с шариковыми направляющими
Шариковые с неподвижным сепаратором по ГОСТ 17695—72		Для блоков разделительных штампов, в основном при применении на прессах-автоматах с повышенным числом ходов

173. Хвостовики для штампов

Тип хвостовика	Эскиз	Применение
Литой (заводская нормаль)		Для небольших штампов с направляющими колонками. Отливается в одно целое с верхней плитой и обрабатывается
С буртиком по ГОСТ 16715—71		Для всех типов блочных и пакетных штампов. Обеспечивает наилучшую центровку (перпендикулярность оси) штампа
С резьбой по ГОСТ 16716—71		В штампах с направляющими колонками главным образом для гибочных, вытяжных и прочих работ. Для вырубных штампов применять стопор. Небольшая погрешность в перпендикулярности к плоскости штампа
С резьбой и буртиком по ГОСТ 16715—71		То же, что и выше, но погрешность меньше, установка стопорного винта удобнее
Самоустанавливающийся (плавающий) грибовый		В прецизионных штампах с направляющими колонками, работающих без схода с направляющих, для мелкой и точной штамповки

Продолжение табл. 173

Тип хвостовика	Эскиз	Применение
С фланцем по ГОСТ 16718—71		В крупных штампах с направляющими колонками, где хвостовик служит для центральной установки, или в штампах, где по конструктивным соображениям нельзя применить хвостовики другого типа
Самоустанавливающийся со сферическим вкладышем по ГОСТ 16719—71		В прецизионных вырубных, совмещенных и последовательных штампах, а в особенности в штампах с твердосплавными пуансонами и матрицами. Давление хвостовика 1 передается через сферический вкладыш 2 подпятнику 3. При небольшом перекосе хвостовика центр давления практически не меняется

ГОСТ 14679—69, а сепараторы для шариковых направляющих охвачены ГОСТ 14678—69.

При запрессовке цилиндрической втулки ее внутренний диаметр несколько уменьшается. Поэтому необходима доводка внутреннего диаметра, которую рекомендуется производить хонингованием.

Применение шариковых направляющих втулок с фланцем (рис. 305, б) имеет то преимущество, что они могут быть точно выверены по колонкам и закреплены винтами и штифтами. В этом случае не требуется точных отверстий для монтажа направляющих втулок. На рис. 305, в приведена применяемая за рубежом шариковая направляющая втулка с пылепредохранительными устройствами, которые значительно повышают срок службы направляющих.

В качестве смазки рекомендуется применять чистое машинное масло с добавкой дисульфида молибдена (MoS_2). Тавот недопустим при любой конструкции направляющих втулок.

В табл. 173 приведены наиболее употребительные типы хвостовиков штампов. Для установки штампов на прессы, имеющие другие размеры отверстия для хвостовика, применяются или переходные хвостовики или, что лучше, разрезные (пружинящие) переходные втулки. Применяются также переходные головки для крепления штампов с хвостовиками к прессам, имеющим паз типа „ласточкин хвост“.

Крепежные детали штампов

Крепежными деталями штампов являются винты и болты, соединяющие между собой различные детали штампа, и установочные штифты, служащие для предотвращения взаимного смещения деталей штампа при сборке, а также для противодействия боковым срезающим усилиям. Соединительные винты, как правило, применяются только с цилиндрическими головками для потайного соединения,

В штампах рекомендуется применять винты с внутренним шестигранным отверстием, дающие сильное затягивание шестигранным ключом. Только в небольших штампах допускается применение винтов со шлицем, завинчиваемых отверткой. Винты с шестигранным углублением в головке размерами М6, М8, М10 и М12 предусмотрены ГОСТ 11738—72. Для весьма крупных штампов применяют винты с резьбой до М24.

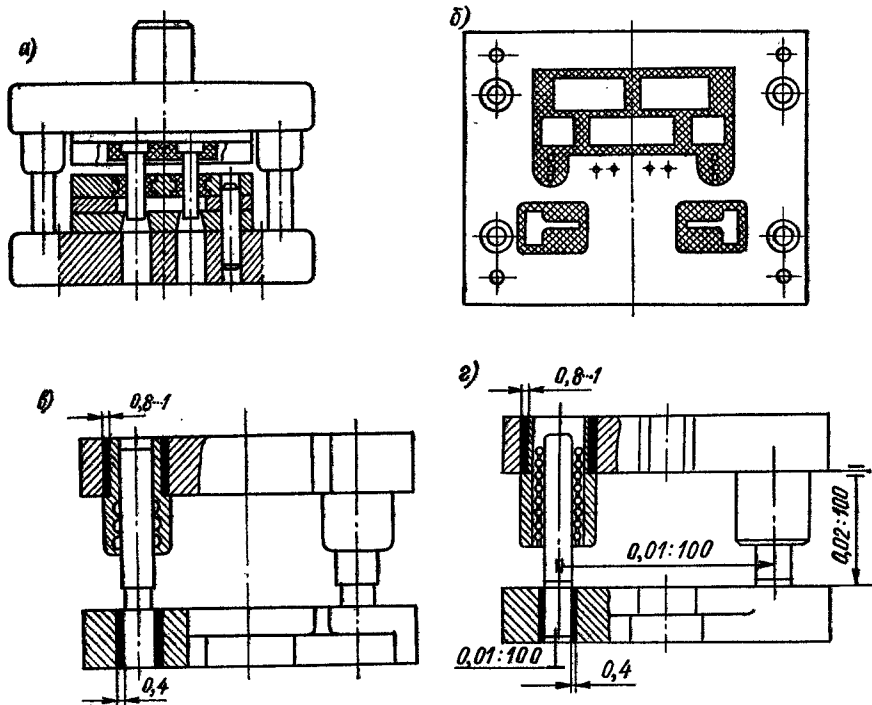


Рис. 306. Применение самоотверждающих пластмасс при изготовлении штампов: а — заливка стиракрилом пуансондержателя и съёмника; б — съёмник с залитыми отверстиями; в — заливка направляющих колонок и втулок эпоксидным компаундом; г — то же в блоке с шариковыми направляющими

Винты со шлицем предусмотрены общими ОСТАми деталей машиностроения и имеются в любых справочниках для конструкторов. В штампах обычно применяют такие винты размерами от М3 до М10. Установочные штифты допускаются только цилиндрические.

При соединении деталей желательна совместная обработка отверстий (сверление и развертывание) под установочные штифты. В закаленных деталях отверстия после вакалки доводят или шлифуют. Изготовление глухих отверстий под установочные штифты не допускается.

В табл. 174 приведены различные способы соединения разных узлов и деталей штампа винтами, а в табл. 175 — различные способы крепления разных узлов и деталей штампов установочными штифтами.

При изготовлении штампов с составными (сборными) матрицами зачастую размеры их не позволяют применить обычное крепление винтами и штифтами. В таких случаях с успехом используется соединение и точная установка сборных пуансонов и матриц путем заливки их легкоплавким (сурьмяно-свинцово-оловянно-висмутным) сплавом. Состав сплава: 48% Вi; 32% Рb; 15% Sn; 5% Sb. Температура

174. Соединение деталей штампов винтами

Тип соединений	Эскиз	Назначение
Тип I для верхней части штампа		Соединение верхней плиты 1 с пуансондержателем 3 с прокладкой 2 или без нее. Резьбы в пуансондержателе
Типы II и IIa для верхней части штампа		Соединение большого и высокого пуансона 4 непосредственно с верхней плитой 1. Резьба в некаленной верхней части пуансона. Глухие отверстия по типу IIa разрешается применять только в случае недопустимости выхода отверстий на рабочую поверхность пуансона (вытяжные, формовочные, чеканочные) и т. п.
Типы III и IIIa для верхней части штампа		Соединение пуансондержателя 3 с большим пуансоном 4 в комбинированных и совмещенных штампах. Резьба в некаленной верхней части пуансона. Глухие отверстия по типу IIIa разрешается применять только в случае недопустимости выхода отверстия на рабочую поверхность пуансона (вытяжные, формовочные, чеканочные и т. п.)
Тип IV для нижней части штампа		Соединение всех деталей нижней части штампа: плиты 1, матрицы 2, направляющих планок 3 и съёмника 4 общим винтом. Резьба в нижней плите. В небольших штампах достаточно только этого соединения. В крупных штампах кроме данного соединения применяются парные соединения нижней плиты и матрицы со съёмником

Тип соединений	Эскиз	Назначение
Типы V и Va для нижней части штампа		Соединения нижней плиты 1 с большой и высокой матрицей 2. Резьба в некаленной нижней части матрицы. Глухие отверстия по типу Va разрешается применять только для вытяжных, формовочных и подобных матриц, в которых недопустим выход отверстия на рабочую поверхность матрицы
Тип VI для нижней части штампа		Рекомендуемый, но не обязательный вариант соединения нижней плиты 1 с матрицедержателем 2 и матрицедержателем 3. При применении съемника последний соединяется с данным узлом общим винтом по типу I. Аналогичное соединение может применяться и для крепления составного пуансона с пуансонодержателем и верхней плитой
<p>Примечания:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Принимать размеры $a \geq 1,5 d$. 2. Рассверловку отверстий диаметром $d + 2$ применять в случае, если $c \geq 2d$. 		

175. Крепление деталей штампов штифтами

Тип креплений	Эскиз	Назначение
Типы I и Ia для верхней части штампа		Тип I — крепление верхней плиты 1 с пуансонодержателем 3 и прокладкой 2. Тип Ia — крепление верхней плиты 1 непосредственно с пуансоном 4. Тип I применяется при пуансонах, запрессовываемых в пуансонодержателе; тип Ia — при крупных пуансонах
Тип II для верхней части штампа		Крепление верхней плиты 1 с пуансонодержателем 3 и пуансонодержателем 4 с составным пуансоном 4. Раздельное крепление позволяет снять для ремонта или перешлифовки целиком пуансонодержатель вместе с секциями составного пуансона, не нарушая их взаимной связи

Тип креплений	Эскиз	Назначение
Типы III и IIIa для нижней части штампа		Тип III — крепление нижней плиты 2 с матрицей 1; Тип IIIa — крепление нижней плиты 2 с матрицедержателем 3. Применяются в крупных штампах. При применении фиксатора или неподвижного съемника последние крепятся с данным узлом отдельно
Типы IV и IVa для нижней части штампа		Тип IV — крепление матрицы 1 с фиксатором 3; тип IVa — крепление матрицы 1 с направляющей планкой 2 и съемником 4. Применяются в крупных штампах
Тип V для нижней части штампа		Рекомендуемый, но не обязательный вариант. Крепление нижней плиты 1 с матрицедержателем 2 с секциями составной матрицы 3. Раздельное крепление позволяет снять для ремонта или перешлифовки целиком матрицедержатель вместе с секциями составной матрицы, не нарушая их взаимной связи. При применении фиксатора или съемника последние крепятся с данным узлом отдельно
Тип VI для нижней части штампа		Общее крепление всех деталей нижней части штампа: плиты 1, матрицы 2, направляющих планок 3 и съемника 4 одним или двумя штифтами. Применяется только в цельных матрицах. Крепление одним штифтом используется в небольших штампах пакетного типа. Крепление двумя штифтами применяется в более крупных пакетных штампах и штампах с направляющими колонками и позволяет при разборке штампа выбить только один штифт, не разъединяя оставшиеся части штампа, направляющиеся части штампа (направляющую плиту 1 и матрицу 2)
<p>Примечание. Рассверловку отверстия диаметром $d+2$ применять в случае, если $c \geq 2d$.</p>		

плавления 95—100° С. Достоинством сплава является то, что он не дает усадки, а при затвердении увеличивается в объеме, повышая прочность соединения.

В отечественной промышленности получили распространение быстротвердеющие синтетические материалы — стиракрил и протакрил, применяемые для заливки пуансонов в пуансонодержателях, а также для заливки направляющих отверстий в съемниках.

Стиракрил представляет собой быстротвердеющую пластмассу, составляемую из порошка (сополимер стирола и метилметакрилата с добавкой катализатора) и жид-

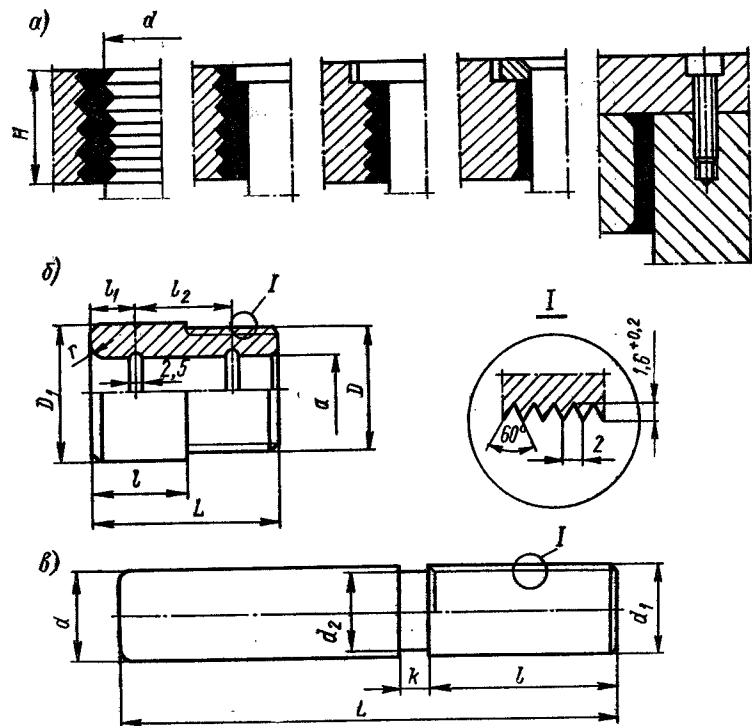


Рис. 307. Соединение деталей штампов быстротвердеющими пластмассами: а — способы подготовки поверхности под заливку; б — нормализованная направляющая втулка; в — нормализованная направляющая колонка

кости (мономер метилметакрилата с добавкой 2% диметиламина в качестве ускорителя). Протакрил имеет аналогичный состав и назначение.

Порошок и жидкость в соотношении 2:1 или 2:1,5 смешивают до густого сметанообразного состояния и заливают пуансонодержатель или съемник. Отверстие в съемнике и пуансоне обезжиривают бензином или ацетоном и затем просушивают на воздухе в течение 10—15 мин. Часть пуансона, проходящая через съемник, покрывается тонким слоем парафина или силиконового масла. Зазор между пуансоном и съемником равен нескольким микронам и зависит от толщины слоя парафина. Предварительное затвердевание стиракрила происходит в течение 25—30 мин, а окончательное — в течение 10—12 ч.

Стиракрил и протакрил хорошо противостоят износу от трения и сохраняют плотное направление пуансона в съемнике. При заливке пуансонов в пуансонодержателе смазка пуансона не производится.

На рис. 306 изображены: схема залитого стиракрилом пуансонодержателя и съемника блочного штампа (рис. 306, а), заливка стиракрилом ряда отверстий в съемнике, причем близко расположенные отверстия заливаются в общем окне (рис. 306, б). Для заливки колонок и втулок в плитах (рис. 306, в) применяется эпоксидный компаунд ЭК-340 на основе эпоксидных смол ЭД5 и ЭД6.

Изготовление съемников с заливкой стиракрилом устраняет несколько операций разметки, координатного сверления, пригонки и значительно ускоряет изготовление штампов, обеспечивая получение высокой точности сопряжения. Некоторыми заводами вместо стиракрила для тех же целей применяется самоотвердевающая пластмасса АСТ-Т (акрилат самоотвердеющий технический).

В Польской народной республике¹ разработаны элементы нормализации соединений деталей штампов быстротвердеющими пластмассами на основе эпоксидных, полиэфирных и полиметакрилатных смол. На рис. 307, а приведены различные способы подготовки поверхностей и заливки пуансонов в пуансонодержателе. На рис. 307, б показана направляющая втулка, подлежащая заливке в плиту штампа в двух исполнениях: 1) с рифленой, 2) с гладкой поверхностью. На рис. 307, в — показана нормализованная направляющая колонка также в двух исполнениях. Нарезка рифтов дает более прочное соединение пластмассового слоя с соединяемой деталью.

На рис. 308 приведен нормализованный блок штампа с направляющей плитой. Здесь также даны два типа соединения: слева без направляющих втулок, с направлением колонок непосредственно по пластмассе, и справа — с залитыми направляющими втулками. Второй способ более надежен в эксплуатации.

В табл. 176 приведены некоторые типы специальных винтов, применяемых в штампах, а также ряд других конструктивных деталей штампов: толкатели, пружины.

Пружины сжатия

Пружины являются настолько распространенным элементом конструкции штампов, что их изготавливают как нормализованные детали, а конструкторы штампов вместо расчета пружин производят подбор их по таблицам и нормальям.

Указания при подборе пружин:

1) пружины ставятся с предварительным натягом (сжатием), величина которого зависит от характера работы съемника или прижима;

2) величина предварительного сжатия $F_{пр}$ находится по требуемому давлению пружины $P_{пр}$ в исходном положении (рис. 309);

3) пружина после предварительного поджатия должна обладать величиной сжатия ($F_{сж} - F_{пр}$) достаточной для того, чтобы обеспечить рабочий ход съемника или выталкивателя и иметь некоторый запас на уменьшение высоты вследствие перешлифовки штампа, а также на случай неточного регулирования шатуна пресса.

Если невозможно подобрать нормализованные пружины, расчет цилиндрических пружин производят по формулам:

$$P = \frac{\pi d^3}{8D} [\tau]; \quad F = \frac{\pi l D^2}{dG}; \quad L = (n + 1,5) d + n f; \quad L_{сж} = (n + 1,5) d,$$

¹ Институт пластической обработки (INOP) в Познани.

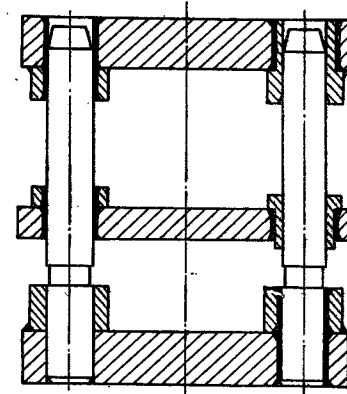
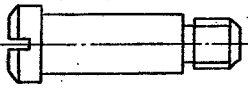
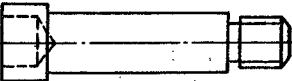
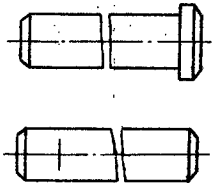
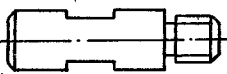
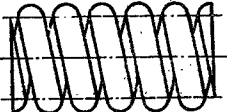
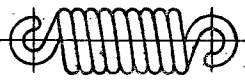


Рис. 308. Нормализованный блок штампа с направляющей плитой с применением соединений быстротвердеющими пластмассами

176. Винты штампов, специальные толкатели, ограничители, пружины

Тип	Эскиз	Применение
Шлицевые специальные винты с цилиндрической головкой по ГОСТ 18787—73		В качестве подвижных винтов с утопающей головкой для прижимов, съемников и т. п.
Винты специальные с шестигранным углублением под ключ по ГОСТ 18787—73		То же, что и выше, но в более крупных штампах, для большей нагрузки
Толкатели нижние и верхние по ГОСТ 18780—73		Для передачи усилия выталкивания соответствующим элементам штампа
Ограничители закрытой высоты штампа стержневые		Для обеспечения установки штампа на прессе, а также для предохранения режущих штампов от повреждения при хранении на стеллажах. Для небольших штампов
Пружины сжатия по ГОСТ 18793—73		Для создания упругих сил прижима, выталкивания и т. п.
Пружины растяжения ГОСТ 18794—73		Для возврата тех или иных элементов в прежнее положение.

где P — максимально допустимая нагрузка, кгс; d — диаметр проволоки, мм; D — средний диаметр пружины, мм; $[\tau]$ — допускаемое напряжение кручения, кгс/мм² ($[\tau] = 50 \div 60$ кгс/мм²); F — максимально допустимое сжатие всей пружины, мм; f — полный прогиб одного витка, мм; L — длина пружины в свободном состоянии, мм; $L_{сж}$ — длина пружины при полном сжатии, мм; n — число витков пружины; G — модуль упругости при кручении, кгс/мм² ($G = 7500 \div 8000$ кгс/мм²).

В нормалях приведены для каждой пружины диаграммы зависимости усилия пружины P от величины сжатия, аналогичные показанным на рис. 310.

На рис. 311, а—е приведены конструктивные способы установки пружин в штампах с независимой регулировкой сжатия пружин [205].

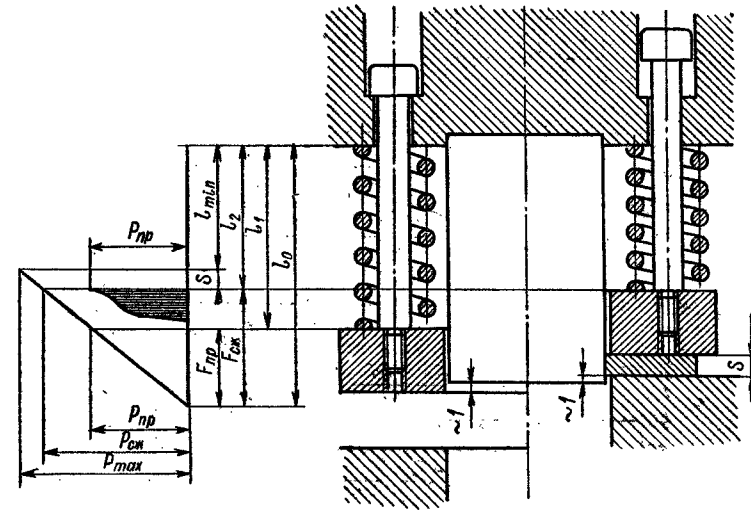


Рис. 309. График сжатия пружины

В штампах для холодной листовой штамповки получили широкое применение тарельчатые пружины, позволяющие создавать значительные нагрузки при малых габаритах (рис. 312, а). Размеры наиболее пригодных для штампов тарельчатых пружин приведены в табл. 177.

На рис. 312 показаны различные способы установки тарельчатых пружин.

1. Последовательно — попарно, основаниями друг к другу (рис. 312, б). Общий прогиб равен сумме прогибов отдельных пружин. Величина усилия сжатия не суммируется.

2. Параллельно, вложенными одна в другую (рис. 312, в). Общий прогиб равен прогибу собранных вачек. Общее усилие сжатия равно сумме усилий отдельных пружин, входящих в пачку.

3. Последовательно-параллельно (рис. 312, г). Усилие сжатия равно сумме усилий пружин, установленных параллельно, а прогиб равен сумме прогибов пружин, установленных последовательно.

В табл. 178 приведены формулы расчета для двух типов собранных пружин, изображенных на рис. 313. Тарельчатые пружины применяются для выталкивателей, съемников, прижимов и буферов.

Недостатком тарельчатых пружин является сравнительно быстрый износ центрального стержня, который следует цементировать и закалывать. Тарельчатые пружины позволяют создавать совмещенно-комбинированные штампы с подпружиненными матрицами, благодаря которым за один рабочий ход осуществляется

последовательно несколько переходов, обычно выполняемых за несколько отдельных операций.

Крупные вырубные и совмещенные комбинированные штампы требуют, особенно в случае деталей сложной конфигурации, весьма большого количества пружин для

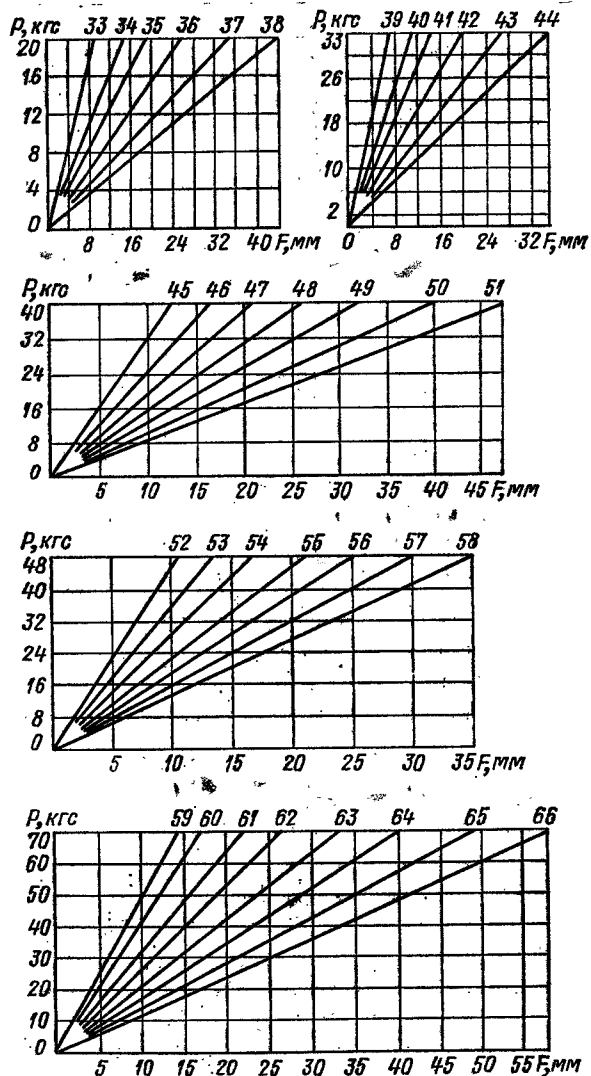


Рис. 310. Диаграммы зависимости усилия пружины P от сжатия F для некоторых номеров пружин

съемников и выталкивателей, что значительно усложняет конструкцию и настройку штампа, так как весьма трудно обеспечить одинаковый натяг всех пружин. Вследствие этого некоторые электротехнические заводы применяют пневматическую систему сжима и сбрасывания вырубленных деталей, состоящую из постоянно закрепленных

на прессах плоских пневматических подушек, подключенных к сети сжатого воздуха или к распределительному клапану. С помощью клапана сбрасывание деталей можно производить в определенном положении ползуна прессы.

177. Размеры и допустимые отклонения (мм) наиболее применяемых тарельчатых пружин

D _{-0,62}	d _{+0,52}	S _{+0,1 -0,03}	f _{+0,4 -0,2}	h _{+0,5 -0,3}	Допустимый прогиб P _{+0,26 -0,13}	Усилие P _{+0,2 -0,1} кгс
30	15	2	0,6	2,6	0,39	550
32	10	2	0,9	2,9	0,58	610
35	15	1,5	1,0	2,5	0,65	280
40	25	2,5	0,8	3,3	0,52	990
45	25	1,5	1,5	3,0	0,97	320
45	25	3,0	1,0	4,0	0,65	1450
50	20	2,0	1,5	3,5	0,97	460
50	30	3,0	1,0	4,0	0,65	1250

Примечания:
1. Материал пружин: сталь 60С2А или другая аналогичная марка пружинной стали; термическая обработка — закалка с отпуском до HRC 46—50.
2. Изготовление пружин путем вытачивания из проката не допускается.

178. Формулы для расчета тарельчатых пружин [208]

Расчетные величины	Одиночное расположение (рис. 313, а)	Многослойное расположение (рис. 313, б)
Допустимая нагрузка, кгс (для пружин D = 30 ÷ 50 мм)	$P = \frac{10\,000 \operatorname{tg}^2 \alpha f S^2}{n \left(1 - \frac{d}{1,5 D}\right)}$	$P = \frac{10\,000 \operatorname{tg}^2 \alpha z f S^2}{n \left(1 - \frac{d}{1,5 D}\right)}$
Общее сжатие всей пружины, мм	$f = nW$	$f = \frac{nW}{z}$
Высота всей пружины в свободном состоянии, мм	$H = nh$	$H = \frac{n}{z} [h + S(z - 1)]$
Количество тарельчатых пружин	$n = \frac{H}{h} = \frac{f}{W}$	$n = \frac{Hz}{[h + S(z - 1)]} = \frac{fz}{W}$
Конусность тарельчатых пружин	$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2(h - S)}{D - d}$	
Обозначения: W — допустимое осевое сжатие одного тарельчатого элемента, мм (0,65 f _m по рис. 312, а); z — количество слоев в пачке.		

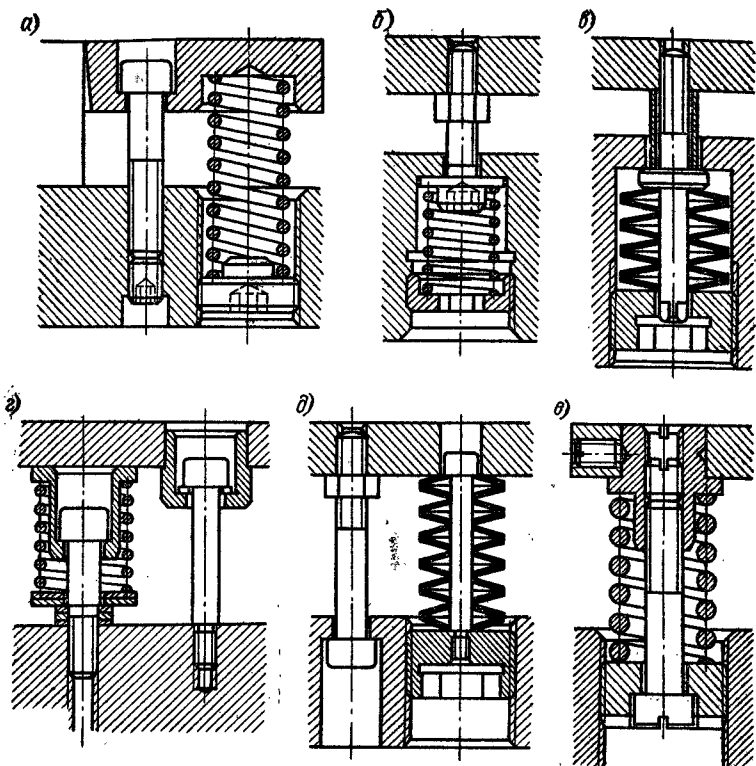


Рис. 311. Способы установки пружин в штампах с независимой регулировкой сжатия

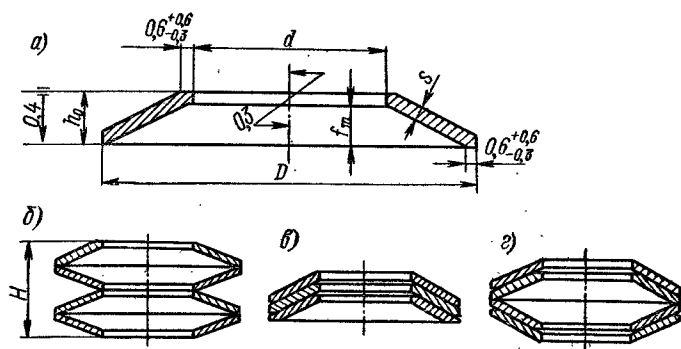


Рис. 312. Тарельчатые пружины (а) и способы их установки (б — е)

В штампах холодной штамповки в ряде случаев необходимо применять упругие конструктивные элементы, создающие высокое давление, которое не может быть осуществлено ни пружинными, ни пневматическими буферными устройствами. В этих случаях применяют кольцевые пружины, обладающие наибольшей демпфирующей жесткостью — наибольшей способностью гашения энергии воспринимаемых ударов.

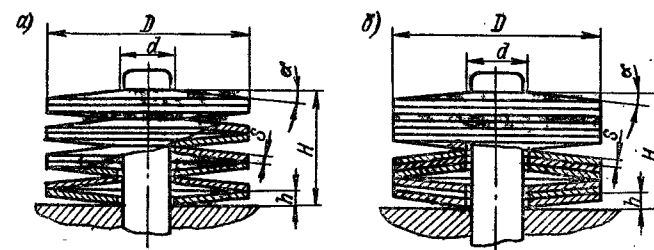


Рис. 313. Два типа собранных тарельчатых пружин: а — одиночные; б — многослойные

Кольцевые пружины (рис. 314) состоят из стальных термически обработанных наружных колец 1, имеющих конические поверхности с внутренней стороны, и внутренних колец 2, имеющих конические поверхности с наружной стороны, собранные так, что их конические поверхности опираются друг на друга. С каждого торца пружины устанавливаются опорные полукольца 3.

Осевое давление, воспринимаемое кольцевой пружиной, создает на соприкасающихся конических поверхностях большие усилия, под действием которых наружные

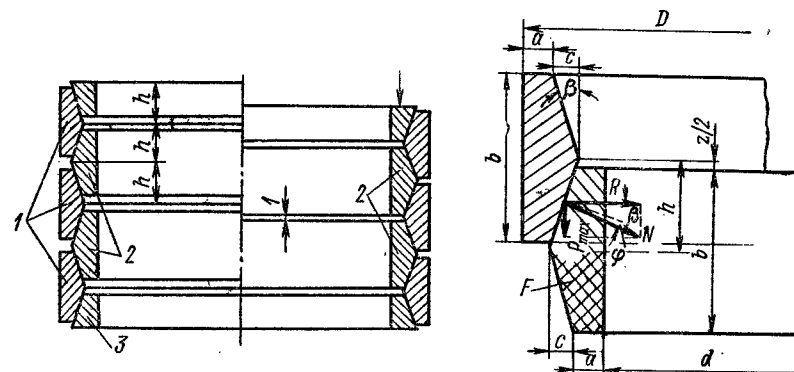


Рис. 314. Разрез кольцевой (клиновой) пружины

Рис. 315. Схема действующих сил и элементы сечения кольцевой пружины

кольца растягиваются, а внутренние — сжимаются. Вследствие этого кольца вдавливаются друг в друга, а размер h и общая высота пружины уменьшаются (правая часть, рис. 314).

Примерные конструктивные элементы кольцевых пружин:

высота колец $b = (0,16 \div 0,20)D$;

средняя толщина колец $a + c = (0,25 \div 0,35)b$;

угол конусности $\beta = 12 \div 15^\circ$;

наименьший зазор между кольцами в сжатом состоянии $z_{\min} = 1$ мм;

шаг пружины (в свободном состоянии) $h = 0,5(b + z) \leq 0,5(b + W_{\max})$;

наибольшее осевое сжатие всей пружины $f_{\max} = nW_{\max}$;
 высота собранной кольцевой пружины в свободном состоянии (с торцовыми полукольцами) $H = nh = 0,5 n (b + z)$.

В приведенных выражениях приняты следующие обозначения:
 n — количество соприкасающихся конических поверхностей;
 z — зазор между кольцами в ненагруженном состоянии;
 W_{\max} — наибольшее допустимое осевое перемещение одной пары конических поверхностей.

Из схемы действующих сил (рис. 315) видно, что силы нормального давления N создают большие радиальные усилия R , вызывающие упругую деформацию колец. После снятия нагрузки размеры колец и всей пружины восстанавливаются за счет сил упругости.

Наибольшее усилие сжатия кольцевой пружины может быть найдено по формуле

$$P_{\max} = 2\pi F [\sigma]_{\text{сж}} \operatorname{tg} (\beta + \varphi),$$

где F — половина сечения внутреннего кольца, мм^2 (см. рис. 315); $[\sigma]_{\text{сж}}$ — допустимое напряжение на сжатие, равное 100—110 $\text{кгс}/\text{мм}^2$; β — угол конусности; φ — угол трения (со смазкой $\varphi = 6 \div 9^\circ$).

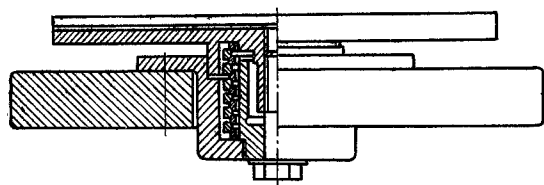


Рис. 316. Амортизирующие предохранительные устройства с кольцевыми пружинами

При $\beta = 12 \div 14^\circ$, $\varphi = 6 \div 8^\circ$, $[\sigma]_{\text{сж}} = 100 \text{ кгс}/\text{мм}^2$ усилие сжатия составляет

$$P_{\max} = (200 \div 250) F \text{ кгс.}$$

Наибольшее осевое перемещение одной пары конических поверхностей находится по приближенной формуле

$$W_{\max} = \frac{r_n [\sigma]_n + r_b [\sigma]_{\text{сж}}}{E \operatorname{tg} \beta} \approx \frac{D + d}{400 \operatorname{tg} \beta},$$

где E — модуль упругости, равный 20 000 $\text{кгс}/\text{мм}^2$; r_n и r_b — радиусы центров тяжести наружного и внутреннего колец.

Расчетное (рабочее) усилие сжатия кольцевой пружины составляет

$$P = \frac{W}{W_{\max}} P_{\max},$$

где W — расчетное (рабочее) перемещение одной пары конических поверхностей. Кольца изготавливают из пружинно-рессорной стали марки 60С2А и термически обрабатывают (закалка в масле и отпуск при 400—450° С).

Благодаря компактности и возможности создавать весьма высокие давления кольцевые пружины применяются в амортизирующих устройствах, предохраняющих от перегрузки прессы, гибочные, калибровочные и чеканочные штампы и штампы для объемной штамповки, работающие на глухом ударе. Эти амортизаторы-предохранители устраняют опасность поломки или заклинивания прессы в случае перегрузки при плюсовых отклонениях по толщине заготовок и даже при случайном попадании двоянной слянишей заготовки.

На рис. 316 приведено амортизирующее предохранительное устройство с кольцевой пружинной к чеканочному прессу. Предварительный натяг производится центральным болтом. Предохранительным устройством от перегрузки иногда снабжаются также отдельные чеканочные и калибровочные штампы.

Кольцевые пружины помимо их использования в амортизирующих и предохранительных устройствах применяются в штампах совмещенного действия с подпружиненными рабочими элементами (наряду с тарельчатыми пружинами). В табл. 179 приведена характеристика некоторых типоразмеров кольцевых пружин.

Во всех случаях применения кольцевые пружины должны находиться в закрытой полости, наполненной смазкой. Недостаток или отсутствие смазки приведет к нагреву от трения и быстрому износу колец. Необходимо через соответствующее отверстие контролировать не только наличие, но и температуру смазки.

Недостатком кольцевых пружин является большая сложность изготовления и более высокая стоимость по сравнению с дешевыми тарельчатыми пружинами.

179. Характеристика некоторых типоразмеров кольцевых (клиновх) пружин

Максимальная нагрузка, тс	Диаметр, мм		Шаг пружины h , мм	Высота колец b , мм	Перемещение на 1 элемент, мм
	наружный	внутренний			
5,5	82	72,0	9,0	14	1,35
8,5	102	89,5	11,0	17	1,65
14,2	128	111,6	13,5	21	2,1
22,2	160	140,5	17,0	26	2,4
32,2	200	173,8	21,0	32	3,3
52,8	250	218,6	26,0	40	3,9

5. ТИПОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УЗЛЫ И ДЕТАЛИ ШТАМПОВ

Рабочие детали штампов

Пуансоны. В холодной листовой штамповке применяется большое количество пуансонов различного технологического назначения. Значительная часть из них не является типовой, а зависит от формы и характера штампуемых деталей, например фасонные вырубные, гибочные, формовочные и пр.

Здесь рассмотрены типы и конструкции наиболее характерных вырубных и пробивных пуансонов. Способы крепления некоторых из них применимы и для крепления пуансонов, выполняющих другие технологические операции (вытяжку, формовку, гибку).

В табл. 180 приведены наиболее распространенные типы круглых пробивных и вырубных пуансонов, в табл. 181 — распространенные типы быстросменных пуансонов, в табл. 182 — широко применяемые типы сменных пуансонов для пробивных работ, в табл. 183 — даны основные типы сварных заготовок для режущих секций составных пуансонов и матриц.

Режущие секции составных штампов и способы их крепления представлены на рис. 317. Конструктивные способы сопряжения режущих секций пуансонов и матриц [205] приведены на рис. 318, а—ж.

Стыки секций матриц не должны совпадать со стыками секций пуансонов.

Матрицы. Общим конструктивно-технологическим элементом матриц в вырубных и пробивных штампах является форма рабочего отверстия.

В табл. 184 приведены типы рабочих отверстий вырубных и пробивных матриц с указанием их применения.

При вырубке и пробивке деталей 5-го класса точности и выше следует применять прижим заготовки.

В табл. 185 приведены типовые конструкции круглых пробивных матриц.

Для вырубки точных деталей (5-го класса точности и выше) следует применять штампы с обратным выталкиванием и прижимом заготовки к матрице.

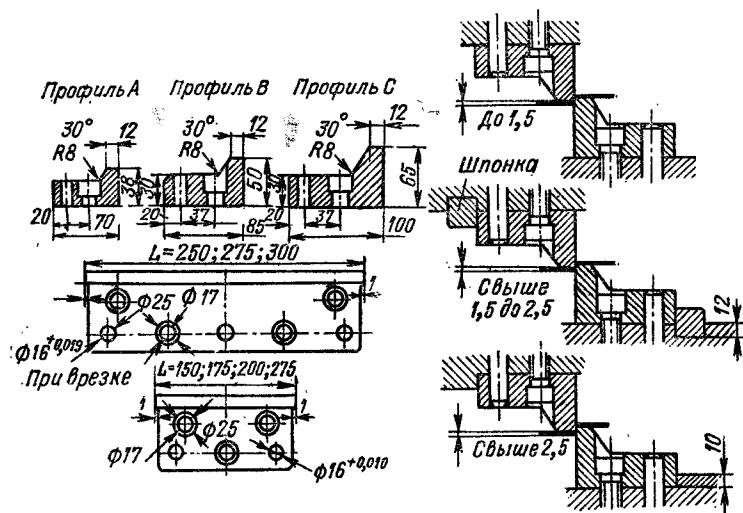


Рис. 317. Типы режущих секций и их крепление в штампах

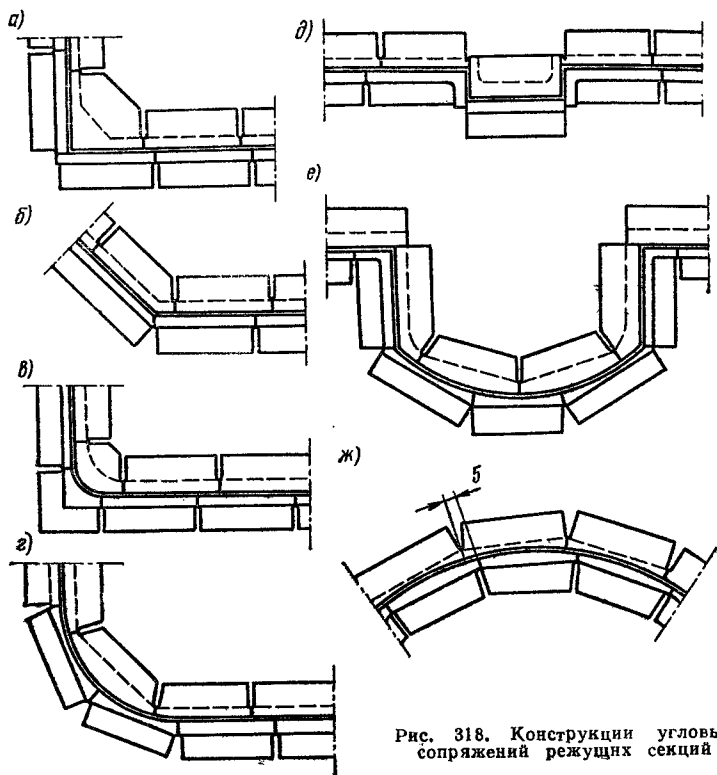
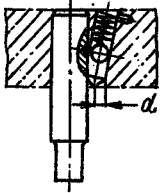
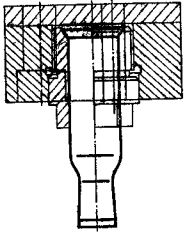
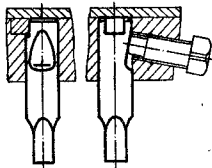


Рис. 318. Конструкции угловых сопряжений режущих секций

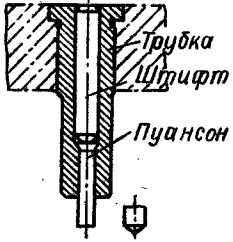
180. Основные типы круглых пуансонов

Тип пуансонов	Эскиз	Применение
С заплечиком по ГОСТ 16621—71		Для пробивки отверстий диаметром до 5 мм при $d > S$
Усиленный с буртиком по ГОСТ 16623—71		Для пробивки отверстий диаметром от 5 до 26 мм при $d > S$. При удельной нагрузке свыше 10 кгс/мм ² применять прокладку
Усиленный с буртиком по ГОСТ 16625—71		Для пробивки отверстий и вырезки деталей диаметром от 26 до 50 мм. При диаметре пуансона свыше 40 мм в торце делать выточку для уменьшения поверхности шлифования. При удельной нагрузке свыше 10 кгс/мм ² применять прокладку
С наставкой		Для пробивки отверстий и вырубки деталей диаметром от 50 до 250 мм. С целью экономии инструментальной стали наставка делается сменной
Удерживаемый расклепкой головки (не нормализован)		Используется в пакетных штампах, особенно в случае близкого расположения пробивных пуансонов и конструктивной невозможности применения пуансонов с буртиком. Обычно изготавливается из стали серебрики. Применять прокладку
Удерживаемый расклепкой головки (не нормализован)		Применяется в пакетных штампах с направляющей плитой. Диаметр d_1 изготовлять по скользящей посадке 2-го или 3-го класса точности. Применять прокладку

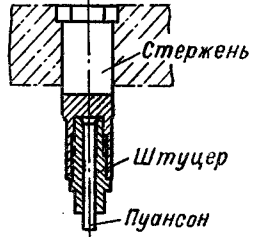
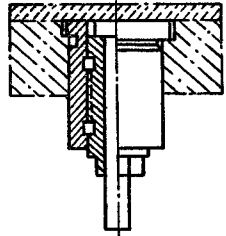
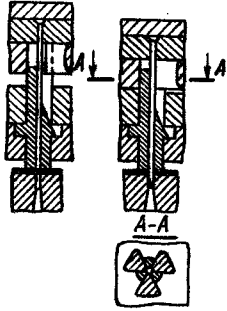
181. Основные типы быстросменных пуансонов

Тип пуансонов	Эскиз	Применение
Тип I по ГОСТ 16626—71 и ГОСТ 16627—71		Закрепляется шариком под действием пружины. Замену производят, не снимая штампа с пресса посредством нажатия через отверстие d на шарик. Применяется при пробивке большого количества отверстий в материале толщиной до 6 мм. Диаметр рабочей части от 1,5 до 22 мм
Тип II по ГОСТ 16621—71		Закрепляется затяжной гайкой. Применяется для более тяжелых пробивных работ. Диаметр рабочей части от 5 до 26 мм
Тип III по ГОСТ 16632—71 и ГОСТ 16630—71		Закрепляется стопорным винтом. Применяется для пробивки квадратных и овальных отверстий

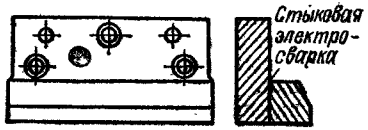
182. Сменные пробивные пуансоны

Тип пуансонов	Эскиз	Применение
Тип I, закрепляемый в трубке		Для пробивки отверстий диаметром от 0,8 до 12 мм в случае тяжелых условий работы; а) при пробивке твердых материалов; б) при пробивке малых отверстий $D = (0,7 \div 1,3) S$. При заточке на конус возможна пробивка отверстий $D = (0,5 \div 0,6) S$. Для замены необходимо разобрать штамп, снять пуансонодержатель

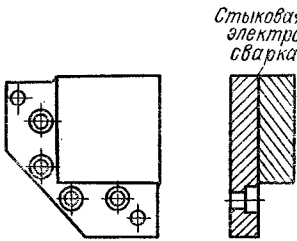


Продолжение табл. 182

Тип пуансонов	Эскиз	Применение
Тип II, закрепляемый штуцером		В тех же случаях, что и пуансон в трубках при пробивке отверстий диаметром до 4 мм. Замену пуансона производят, не снимая штампа с пресса, путем вывинчивания резьбового штуцера
Тип III, закрепляемый штуцером		Устройство аналогично типу II. Применяется в случае тяжелых условий при пробивке отверстий диаметром от 4 до 24 мм в толстом материале
Тип IV, с постоянным направлением в подвижной втулке		Для пробивки весьма малых отверстий $D = (0,3 \div 0,5) S$. Шлицевая направляющая втулка (служащая также прижимом для материала) обеспечивает постоянное направление по всей длине пуансона, предохраняя его от продольного изгиба

183. Основные типы сварных заготовок для режущих секций составных пуансонов и матриц

Тип секций	Эскиз
Прямолинейные сварные секции	

Продолжение табл. 183

Тип секций	Эскиз
Угловые сварные секции	
Криволинейные (радиальные) выпуклые сварные секции	
Криволинейные (радиальные) вогнутые сварные секции	
Примечание. Вместо сварных секций иногда применяют литые режущие секции.	

Фиксирующие детали штампов

Способ фиксации заготовки в рабочей зоне штампа является весьма важным эксплуатационно-производственным фактором, определяющим как производительность, так и безопасность работы.

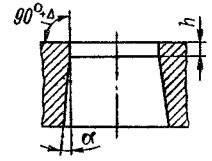
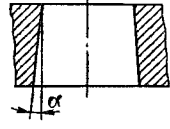
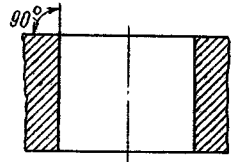
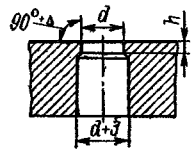
Упоры. Конструкция и тип упора имеют большое значение в холодной штамповке, так как они в значительной степени определяют точность и производительность штамповки.

В табл. 186 приведены наиболее распространенные типы упоров. Расположение упора в последовательных штампах делается на 0,2—0,3 мм больше требуемого шага подачи для того, чтобы ловитель при точной фиксации немного подтянул полосу назад, но не толкал ее вперед, так как этому препятствует постоянный упор.

На рис. 319, а и б представлены два типа «качающихся» упоров автоматического действия, применяемых в вырубных штампах при ручной подаче полосового материала [205]. Упор 1 вначале упирается рабочим концом на поверхность матрицы. Подаваемая заготовка поджимает рабочий конец по направлению подачи, в таком положении и происходит вырубка. В конце рабочего хода штифт 2 нажимает на лопатку упора, приподнимая рабочий конец вверх, а пружинка поворачивает его в обратном направлении.

При падении вниз рабочий конец упора попадает на перемычку, не мешает ее перемещению, вьюсь зашелкивается на поверхности матрицы, позволяя переместить

184. Типы рабочих отверстий вырубных и пробивных матриц

Тип рабочего отверстия	Схема	Применение
Тип I, с шейкой		Для вырубки деталей сложной конфигурации. Высота шейки h и допустимое отклонение угла (Δ) берутся в зависимости от толщины материала: при S до 0,5 мм $h=3+5$ мм, $\Delta=10'$; при $S=0,5+5$ мм $h=5+10$ мм, $\Delta=20'$; при $S=5+10$ мм $h=10+15$ мм, $\Delta=30'$; Угол α от 3 до 5°
Тип II, конусный		Для вырубки небольших деталей простой конфигурации. Угол α берется в зависимости от толщины материала: при $S=0,1+0,5$ мм $\alpha=10+15'$; при $S=0,5+1$ мм $\alpha=15+20'$; при $S=1+2$ мм $\alpha=20+30'$; при $S=2+4$ мм $\alpha=30+45'$; при $S=4+6$ мм $\alpha=45'+1°$. При указанных углах возможна значительная перешлифовка матрицы по толщине
Тип III, призматический		При вырубке деталей с обратным выталкиванием в штампах совмещенного типа и в случае вырубки крупных деталей
Тип IV, с цилиндрическим уширением		В круглых вставных матрицах для пробивки отверстий (до 25 мм). Цилиндрическое уширение дается с целью упрощения изготовления матрицы. Высота шейки h и допустимое отклонение угла (Δ) берутся в зависимости от толщины материала (см. тип I)

185. Типы круглых сменных пробивных матриц

Тип матриц	Эскизы	Применение
Тип I, круглая запрессовываемая по ГОСТ 16637—71 и ГОСТ 16640—71		Для пробивки мелких отверстий, а также вырубки деталей круглой формы диаметром до 40 мм. Закрепляется путем прессовой посадки
Тип II, круглая с заплечиком по ГОСТ 16639—71 и ГОСТ 16640—71		В тех же случаях, что и предыдущий тип матриц. Наибольший диаметр отверстия—65 мм. Закрепляется путем тугой посадки и удерживается заплечиком
Тип III, круглая быстросменная (с пружинкой) по ГОСТ 16628—71		Для пробивки отверстий в материале толщиной до 6 мм, диаметром до 22 мм. Удерживается шариком посредством давления пружинки
Тип IV, круглая быстросменная для квадратных и овальных отверстий по ГОСТ 16641—71 и ГОСТ 16645—71		Для пробивки квадратных и овальных отверстий. Удерживается стопорным винтом

186. Наиболее распространенные типы упоров

Тип упоров	Эскиз	Применение
Постоянный (неподвижный) цилиндрический по ГОСТ 18740—73		В вырубных штампах при штамповке толстого материала. Диаметр от 8 до 16 мм

Продолжение табл. 186

Тип упоров	Эскиз	Применение
Постоянный грибовый (с круглой головкой) по ГОСТ 18793—73		В вырубных и последовательных штампах при штамповке из полосы или ленты шириной свыше 20 мм при ручной подаче материала. Диаметр головки от 6 до 40 мм
Постоянный (неподвижный) крючкообразный по ГОСТ 18745—73		В вырубных и последовательных штампах при ручной подаче материала для более крупных деталей. Должен быть предохранен от сворачивания во время работы
Цилиндрический переставной (регулируемый)		Упор, регулируемый по величине подачи, применяется в универсальных отрезных штампах
Утопающий (подвижной), тип I по ГОСТ 18747—73 и ГОСТ 18749—73		В вырубных и совмещенных штампах, у которых матрица расположена в верхней части, а пуансон—в нижней части штампа
Утопающий (подвижной), тип II, пружинный по ГОСТ 18750—73		В вырубных и совмещенных комбинированных штампах, у которых матрица расположена в верхней части, а пуансон с подвижным съемником—в нижней части штампа
Утопающий (подвижной) пружинный, тип III по ГОСТ 18755—73		В вырубных и последовательных штампах для тонкого материала

Продолжение табл. 186

Тип упоров	Эскиз	Применение
Подвижной пружинный возвратного действия (не нормализован)		В вырубных штампах при вырубке узких деталей (от 6 до 20 мм) толщиной не менее 0,5 мм для коротких и не менее 1 мм для длинных деталей, обеспечивая высокую производительность работы. Способ действия: зацепление за перемычки при подаче полосы и обратном подтягивании
Временный (предварительный) боковой по ГОСТ 18740—73		В штампах последовательного действия для первоначальной установки полосы под первый переход. Вводится в действие нажатием пальца
Упор, бокового шагового ножа (один из типов)		В вырубных и последовательных штампах при вырубке небольших деталей из материала толщиной от 0,3 до 3 мм в том случае, когда другие типы упоров не применимы. Устанавливается с одной стороны полосы. Установка с двух сторон полосы производится только в случае, когда боковой нож одновременно производит фигурную обрезку бокового контура детали

187. Основные типы ловителей

Тип ловителей	Эскиз	Применение
Тип I, стержневой		Для фиксации ленты по предварительно пробитым отверстиям. Диаметр берется от 3 до 10 мм
Тип II, стержневой вставной по ГОСТ 18769—73		Для точного центрирования предварительно пробитого отверстия по отношению к контуру вырубного пуансона. Применяется для отверстий диаметром до 12 мм

Продолжение табл. 187

Тип ловителей	Эскиз	Применение
Тип III, вставной, с резьбовым отверстием по ГОСТ 18770—73		Назначение то же, что и у типа II. Применяется для отверстий диаметром от 12 до 50 мм
Тип IV, накладной, прикрепленный винтами (не нормализован)		В последовательных штампах при фиксации прямоугольных отверстий, а также при фиксации деталей в обрезных штампах

188. Основные типы фиксаторов

Тип фиксаторов	Эскиз	Тип фиксаторов	Эскиз
Штифтовые		Цельные полузакрытые	
Составные планочные		Цельные закрытые	
Цельные открытые		Передвижные универсальные	

189. Направляющие планки и боковые прижимы

Типы планок и прижимов	Эскиз	Применение
Пальцы направляющие		В открытых штампах с пружинным прижимом-съемником или при работе на пробивных прессах со съемником, укрепленным на станине прессы
Планки направляющие		В штампах с жестким съемником для полос средней и большой ширины (свыше 60 мм)
Съемники с направляющим пазом		В штампах с жестким съемником для узких полос шириной до 60 мм
Боковой прижим пружинный по ГОСТ 18765—73		В последовательных штампах для центрированного перемещения полосы или леиты. Величина прижима (колебание ширины полосы) 2—3 мм. Толщина пружин от 0,5 до 1 мм
Боковой прижим колодочный		В последовательных штампах для более толстых полос и леит. Величина поджима 5—8 мм. Толщина пружин от 0,5 до 1,5 мм
Боковой прижим шарнирным роликом		В последовательных штампах с ручной подачей. Необходимо применение пружинного съемника

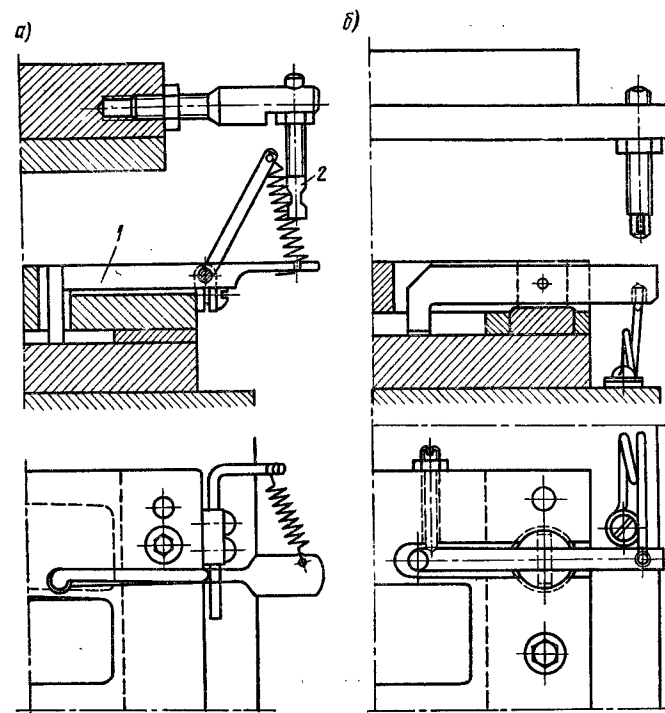


Рис. 319. Конструкции качающихся автоматических упоров

заготовку только на величину шага подачи. Применение автоматических качающихся упоров позволяет увеличить производительность на вырубных операциях с ручной подачей заготовок.

Ловители. В последовательных штампах для точной фиксации полосы недостаточно одного только упора, какой бы конструкции он ни был, так как упоры не обеспечивают точности и совпадения осей предварительно пробитого отверстия и вырезной матрицы (наружного контура). Для получения более точных деталей применяют ловители, устраняющие погрешности подачи и обеспечивающие соосность внутреннего отверстия и наружного контура с точностью до $\pm 0,1$ мм (для небольших деталей толщиной до 2 мм).

В табл. 187 приведены основные типы ловителей, применяемых в последовательных штампах. Эксцентricность ловителя относительно оси пуансона допускается в пределах 2-го класса точности.

Фиксаторы (трафареты). Для точной и быстрой установки штучных заготовок (как плоских, так и деформированных) по оси пуансона и матрицы применяют фиксаторы или трафареты. Основные типы фиксаторов приведены в табл. 188.

190. Величина просвета между матрицей и съемником

Толщина полосы, мм	Высота упора, мм	Высота просвета H , мм	
		с штифтовым упором	с боковым шаговым ножом
0,3—2,0	3	6—8	4—6
2,0—3,0	4	8—10	6—8
3,0—4,0	4	10—12	6—8
4,0—6,0	5	12—15	8—10
6,0—10,0	8	15—25	10—15

191. Основные типы съемников

Тип съемников	Эскиз	Применение
Жесткий (неподвижный) открытый		В мелкосерийном производстве для грубой вырубki из материала толщиной > 3 мм или при пробивке отверстий в крупных деталях. Небезопасен в работе
Жесткий (неподвижный) закрытый		В штампах с направляющими колонками применяется как съемник; в пакетных штампах — одновременно как направляющая плита для пуансона. Безопасен в работе
Подвижной пружинный верхний		В штампах с направляющими колонками: 1) при пробивке крупных деталей из тонкого материала с прижимом заготовки; 2) в комбинированных совмещенных штампах. Небезопасен в работе
Подвижной пружинный или резиновый нижний		В штампах с направляющими колонками: 1) при вырубке из тонкого материала (до 0,2 мм); 2) при вырубке крупных деталей; 3) при комбинированной вырубке и пробивке как крупных, так и мелких деталей в совмещенных штампах. Вместо пружин можно применять резиновые буфера
Подвижной резиновый верхний		В серийном производстве в пробивных, главным образом, многопуансонных или в открытых вырубных штампах для крупных деталей. Надевается на пуансон или штифт и удерживается сжатием резины. Защитные шайбы привулканизированы. Размеры d от 5 до 30 мм, D от 20 до 60 мм. Давление одного съемника от 200 до 300 кгс

Продолжение табл. 191

Тип съемников	Эскиз	Применение
Подвижной буферный		В штампах с направляющими колонками, снабженными нижним буфером, или в штампах, устанавливаемых на прессах с пневматическими буферными устройствами. Технологическое применение аналогично пружинному нижнему съемнику
Подвижной отжимаемый		В штампах для пробивки отверстий в полых деталях, а также в штампах для холодного выдавливания по обратному методу. Назначение — применить более короткие пуансоны и увеличить рабочую высоту для свободного удаления деталей
Подвижной направляемый		Служит съемником материала и направляющей плитой для пуансонов. Применяется в штампах с нестандартными длинными и тонкими пуансонами, например при пробивке отверстий в высоких вытянутых деталях, когда по конструктивным соображениям применить пуансоны в трубках не представляется возможным. При очень большой величине хода пресса направление в верхней плите делать не обязательно
Присасывающего действия		Для подъема и удержания на весу вырезанной крупной детали со сбрасыванием ее на подвижное удаляющее устройство
Секционно-кольцевой пружинящий		Для вытяжных штампов при работе на провал для деталей диаметром до 100 мм

Продолжение табл. 191

Тип съемников	Эскиз	Применение
Радиально-крючковый пружинящий		Для вытяжных штампов при работе на провал для деталей диаметром свыше 100 мм. Вместо потайных цилиндрических пружин иногда применяют плоские наружные
Радиально-крючковый самоустанавливающийся (плавающий)		Для протяжных штампов при изготовлении крупных и длинных гильз
Радиально-планочный		Для вытяжных и протяжных штампов при работе на провал. Съемные планки поворотного-наклоняемого типа

Фиксаторы цельные закрытые и полузакрытые обеспечивают лучшую фиксацию, но требуют применения устройств для автоматического сбрасывания деталей.

Направляющие планки и боковые прижимы. Значение направляющих планок и бокового прижима при штамповке из полосы было рассмотрено ранее.

В табл. 189 приведены основные типы направляющих планок и устройств для бокового прижима полосы к боковой направляющей планке.

Определенные величины просвета между направляющими планками было изложено ранее (см. второй раздел, гл. II). В табл. 190 указаны величины просвета между матрицей и съемником для прохода полосы в зависимости от типа упора.

Прижимающие и удаляющие детали штампов

Съемники. Способ съема и удаления деталей оказывают большое влияние на производительность и безопасность работы.

Наиболее производительным способом является удаление деталей из штампа на провал через отверстие матрицы. К другому способу съема с обратным выталкиванием деталей на поверхность штампа следует прибегать лишь в следующих случаях: 1) при комбинированной штамповке; 2) при вырубке и пробивке с прижимом заготовки; 3) при крупных размерах штампуемых деталей; 4) при штамповке в упор (гибка, формовка и т. п.).

В табл. 191 приведены основные типы съемников и даны рекомендации по их применению.

Выталкиватели. В листовой штамповке применяется большое количество выталкивателей отштампованных деталей на поверхность штампа. Наибольшее значение имеют выталкиватели принудительного действия из верхней части штампа. Однако одно и то же действие осуществляется конструктивно различно в зависимости от геометрических параметров штампуемой детали.

На рис. 320, а—е приведены различные конструкции выталкивателей принудительного действия в зависимости от соотношения между наружным и внутренним диаметром вырубки [205].

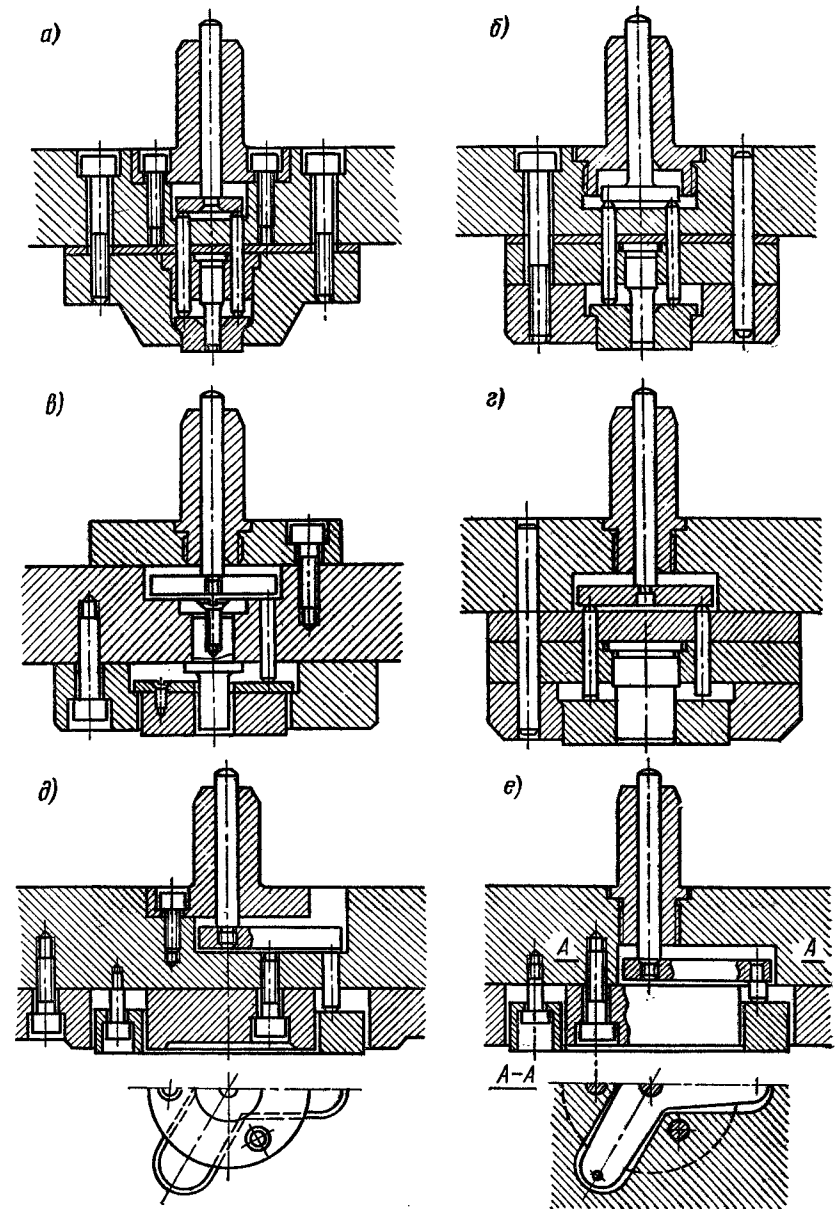


Рис. 320. Конструктивное выполнение выталкивателей в зависимости от размеров деталей

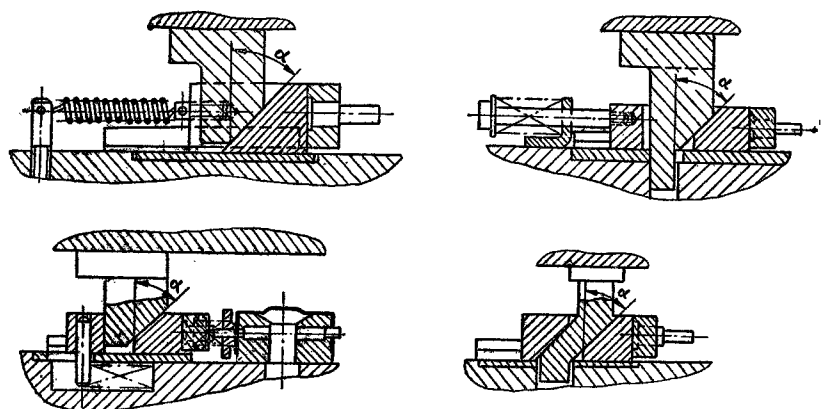


Рис. 321. Клиновые устройства пробивных штампов

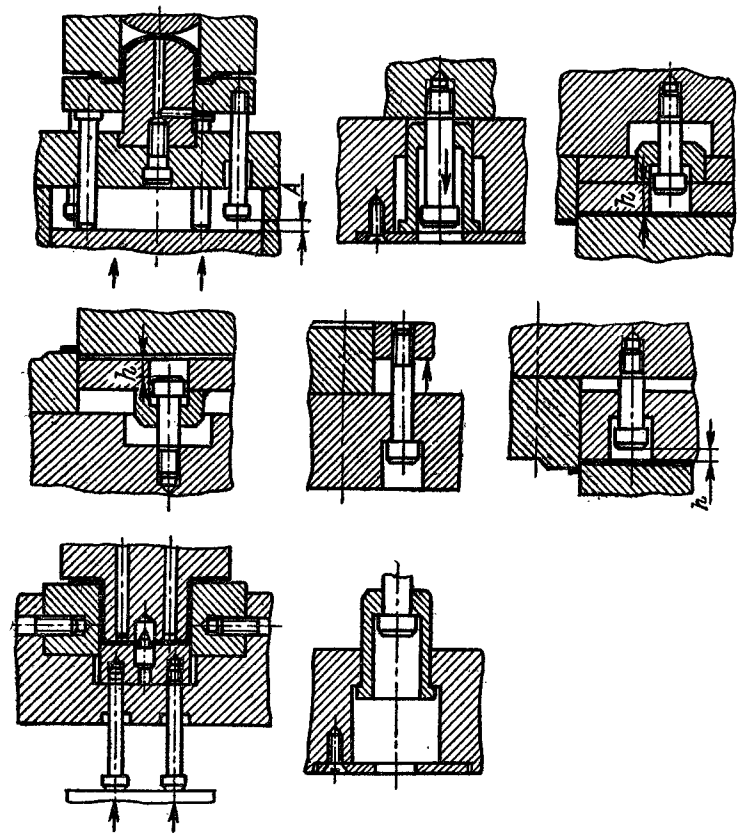


Рис. 322. Различные способы соединения подвижных деталей с неподвижными при помощи винтов с утопленной головкой

Клиновые устройства. Для пробивки отверстий в боковых стенках полых или гнутых изделий применяют клиновые пробивные штампы, позволяющие пробивать несколько отверстий или производить пробивку одновременно с другими операциями.

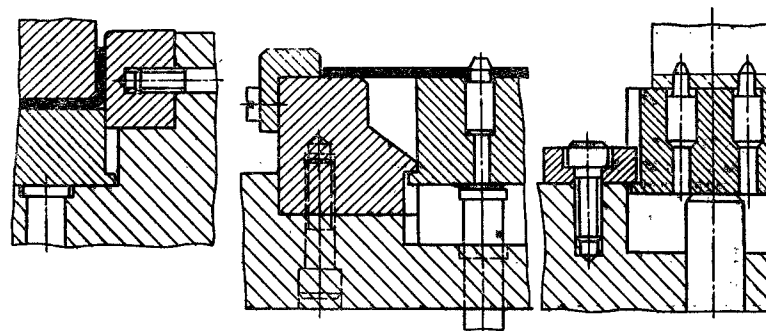


Рис. 323. Способы удержания подвижных частей при помощи запечиков

На рис. 321 приведены некоторые типы клиновых устройств пробивных штампов. Соединение подвижных деталей штампов с неподвижными может быть осуществлено как при помощи винтов с утопленной головкой, так и при помощи запечиков

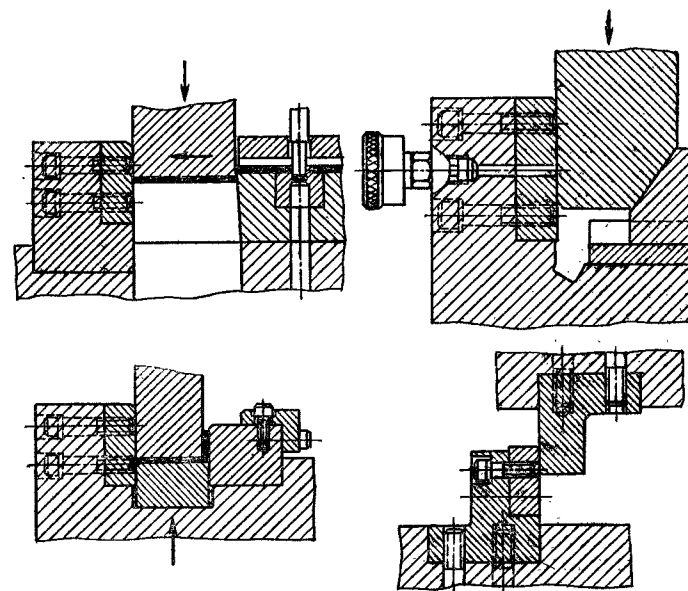


Рис. 324. Различные способы применения противоотжимных устройств

(буртиков), скоб и планок. На рис. 322 приведены различные способы соединений первого типа, а на рис. 323 — способы удержания подвижных частей при помощи запечиков в штампах с буферными устройствами,

На рис. 324 показаны различные способы применения противоотжимных устройств при односторонней резке или гибке сравнительно толстого материала ($S > 2$ мм) или при большой длине рабочей кромки.

При штамповке тонкого материала ($S < 0,5$ мм) вопрос о применении противоотжимных решается в зависимости от поперечных размеров и устойчивости пуансона, а также от требуемой точности штампуемых деталей.

6. ТОЧНОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ЧИСТОТА ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ШТАМПОВ

Штампы для холодной листовой штамповки представляют собой сложную конструкцию, состоящую из большого количества деталей разнообразного технологического и конструктивного назначения. Исходя из условий работы и различного характера сопряжения, эти детали требуют различной точности изготовления.

192. Рекомендуемая шероховатость поверхности деталей штампов (по ГОСТ 2789—73)

Поверхности деталей штампов	Класс шероховатости поверхности	Параметры шероховатости, мкм	
		Ra	Rz
Поверхности, не требующие чистой обработки (провальные отверстия плит штампов)	3	—	80 до 40
Поверхности деталей, не соприкасающиеся с другими деталями, а также поверхность отверстий после сверления или зенкерования	4	—	40 до 20
Опорные поверхности без особых требований (выступающая часть хвостовика, опорные поверхности винтов и т. п.)	5	—	20 до 10
Опорные поверхности плит блоков обычной точности, держателей пуансонов и матриц, отверстия под врезку, соединение профильных пуансонов с пуансодержателями	6	2,5 до 2,0 2,0 » 1,6 1,6 » 1,25	—
Поверхности отверстий для посадок по 2-му классу точности, прилегающие поверхности деталей пакета, установочные штифты, упоры, запрессовываемая часть направляющих колонок и втулок и т. п.	7	1,25 до 1,0 1,0 » 0,80 0,80 » 0,63	—
Подвижная часть направляющих колонок и втулок, изготавливаемых по 2-му классу точности, рабочая поверхность большинства вырубных и гибочных штампов, поверхности вытяжных пуансонов	8	0,63 до 0,60 0,50 » 0,40 0,40 » 0,32	—
Рабочая поверхность вытяжных матриц и складкодержателей, режущие поверхности вырубных прецизионных штампов, рабочие поверхности штампов для холодного выдавливания, направляющая поверхность колонок и отверстия направляющих втулок, изготавливаемых по 1-му классу точности.	10	0,16 до 0,125 0,125 » 0,10 0,10 » 0,08	—
Направляющая поверхность колонок прецизионных штампов, в частности с шариковым направлением, рабочие поверхности формообразующих штампов при повышенных требованиях	11	0,08 до 0,063 0,063 » 0,050 0,050 » 0,020	—

Наиболее точного изготовления требуют рабочие детали вырубных штампов — пуансоны и матрицы, а также направляющие колонки и втулки прецизионных штампов. Шероховатость поверхности деталей штампов определяется назначением детали и требованиями, предъявляемыми к ней. В соответствии с этим для изготовления детали применяются те или иные способы механической обработки.

Шероховатость поверхности оценивается в классах и параметрах по ГОСТ 2789—73. В табл. 192 приведена рекомендуемая шероховатость поверхности деталей штампов. Параметры шероховатости поверхности: Ra — среднее арифметическое отклонение профиля; Rz — высота неровностей профиля по десяти точкам (см. ГОСТ 2789—73).

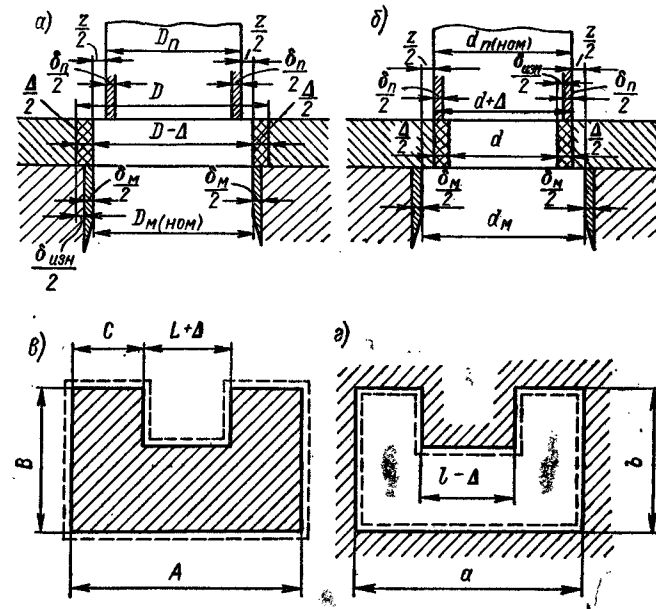


Рис. 325. Схемы построения допусков на изготовление вырубных и пробивных пуансонов и матриц: а — при вырубке наружного контура; б — при пробивке отверстия; в, г — для увеличивающихся и уменьшающихся сопрягаемых размеров

Точность обработки отдельных деталей штампов, тип посадки и сопряжения и шероховатость обработанных поверхностей приведены в многочисленных государственных стандартах на штампы листовой штамповки.

Допуски на изготовление рабочих частей вырубных пуансонов и матриц тесно связаны с величиной технологического зазора между ними, так как допуски увеличивают размер зазора. Независимо от этого допуски на изготовление находятся в зависимости от номинальных размеров рабочих частей. На рис. 325 приведены схемы построения допусков на изготовление вырубных и пробивных пуансонов и матриц. На рис. 325, а изображена схема построения допусков при вырубке наружного контура с заданным допуском $D - \Delta$. В данном случае номинальный размер матрицы берется равным наименьшему предельному размеру изделия $D_{м(ном)} = D - \Delta$.

Исполнительные размеры вырубных матриц и пуансонов определяются по формулам, приведенным в табл. 193.

Допуск на износ матрицы и пуансона составляет при вырубке наружного контура $\delta_{изн.м} = \Delta - \delta_m$; при пробивке отверстия — $\delta_{изн.п} = \Delta - \delta_n$. Поэтому при определении исполнительных размеров матриц и пуансонов рекомендуется

193. Формулы для определения исполнительных размеров рабочих частей вырубных и пробивных штампов

Вид выполняемой работы и характер детали		Исполнительные размеры матрицы	Исполнительные размеры пуансона
Сопрягаемые детали с заданным допуском	Вырубка наружного контура размером $D - \Delta$ (рис. 325, а)	$D_m = (D - d)^{+\delta_m}$	$D_{п.} = (D - \Delta - z)_{-\delta_{п.}}$
	Пробивка отверстия размером $d + \Delta$ (рис. 325, б)	$d_m = (d + \Delta + z)^{+\delta_m}$	$d_{п.} = (d + \Delta)_{-\delta_{п.}}$
Сопрягаемые элементы деталей сложного контура	Вырубка элементов контура с размерами, уменьшающимися при износе и перешлифовке $L + \Delta$ (рис. 325, в)	$L_m = (L + \Delta)_{-\delta_m}$	$L_{п.} = (L + \Delta - z)_{-\delta_{п.}}$
	Пробивка элементов контура с размерами, увеличивающимися при износе и перешлифовке $l - \Delta$ (рис. 325, г)	$l_m = (l - \Delta + z)^{+\delta_m}$	$l_{п.} = (l - \Delta)^{+\delta_{п.}}$
Несопрягаемые детали свободных размеров	Вырубка наружного контура размером D	$D_{м. св} = D^{+\delta'_m}$	$D_{п. св} = (D - z)_{-\delta'_{п.}}$
	Пробивка отверстия размером d	$d_{м. св} = (d + z)^{+\delta'_m}$	$d_{п. св} = d_{-\delta'_{п.}}$

Обозначения: D_m и $D_{п.}$ — исполнительные размеры матрицы и пуансона при вырубке наружного контура с заданным допуском ($D - \Delta$); D — номинальный размер детали; δ_m и $\delta_{п.}$ — допуски на изготовление матриц и пуансона для сопрягаемых деталей с заданным допуском; δ'_m и $\delta'_{п.}$ — допуски на изготовление матрицы и пуансона для деталей свободных размеров (берутся по 4-му классу точности); z — номинальный (наименьший) зазор; Δ — допуск детали и отверстия; d_m и $d_{п.}$ — исполнительные размеры матрицы и пуансона при пробивке отверстия с заданным допуском; d — номинальный размер отверстия; $D_{м. св}$ и $D_{п. св}$ — исполнительные размеры матрицы и пуансона при вырубке деталей свободных размеров; $d_{м. св}$ и $d_{п. св}$ — исполнительные размеры матрицы и пуансона при пробивке отверстий свободных размеров; L_m и $L_{п.}$ — исполнительные размеры матрицы и пуансона при вырубке элемента с уменьшающимися при износе матрицы размерами $L + \Delta$; l_m и $l_{п.}$ — исполнительные размеры матрицы и пуансона при пробивке элемента с увеличивающимися размерами.

использовать полностью величину допуска детали Δ . Это увеличивает допуск (припуски) на износ пуансонов и матриц и удлиняет срок службы штампов.

Необходимо обратить внимание на то, что заданные допуски направлены в „тело“ детали: для наружного контура $D - \Delta$; для отверстия $d + \Delta$, так же как и у элементов сложного контура ($L + \Delta$; $l - \Delta$), что вызвано необходимостью сопряжения их с другими деталями по допускам и посадкам, установленным действующими ГОСТами. Это находится в полном противоречии с физическими естественными отклонениями при штамповке деталей в связи с износом штампа: вырубка наружного контура дает отклонения $+\Delta$, пробивка отверстия — Δ (из „тела“ детали). Поэтому следует отказаться от применения на не сопрягаемые размеры допусков по ГОСТам, так как это зачастую приводит к необоснованному забракованию вполне годных деталей.

В табл. 193 приведен расчет исполнительных размеров для сопрягаемых элементов деталей сложного контура, размеры которых уменьшаются при вырубке и увеличиваются при пробивке по мере износа и перешлифовки штампа (рис. 325, в и 325, г).

В табл. 194 приведены допуски на изготовление круглых взаимозаменяемых вырубных и пробивных пуансонов и матриц диаметром до 50 мм.

Следует предостеречь от применения таблиц с расчетными величинами допусков на изготовление пуансонов и матриц во всех случаях, так как требование раздельного изготовления пуансонов и матриц по предельным размерам в ряде случаев (особенно для фигурного контура) не соответствует реальным условиям мелкосерийного, а тем более единичного изготовления штампов.

Допуски и точность изготовления вырубных пуансонов и матриц зависят от типа производства, серийности и способа изготовления штампов. В настоящее время получили развитие различные прогрессивные методы инструментальной техники от широкого применения профильного шлифования профилированными и алмазными кругами, электроэрозионных методов вплоть до использования лазеров.

Однако в серийном производстве распространен еще старый способ, основанный на слесарной пригонке пуансона по матрице.

При изготовлении вырубных и пробивных штампов для несопрягаемых деталей свободных размеров, для которых не требуется направление допусков обязательно в „тело“ детали, номинальный размер матрицы (пуансона) берется равным номинальному размеру детали (отверстия) и изготавливается по 4-му классу точности.

Допуски на изготовление вытяжных пуансонов и матриц зависят от допусков на толщину металла и требуемого зазора.

Схемы построения допусков для вытяжных пуансонов и матриц различны для двух случаев: когда задан наружный размер детали (колпачка) с допуском, когда задан внутренний размер детали (колпачка) с допуском. Соответствующие им схемы построения допусков приведены на рис. 326.

194. Допуски на изготовление круглых взаимозаменяемых вырубных и пробивных пуансонов и матриц

Толщина материала, мм	Наименьший двусторонний начальный зазор z , мм	Диаметральные допуски на изготовление, мм	
		матрицы ($+\delta_m$)	пуансоны ($-\delta_{п.}$)
0,3	0,02	0,015	0,010
0,5	0,03	0,020	0,010
0,8	0,05	0,020	0,012
1,0	0,06	0,025	0,015
1,5	0,10	0,030	0,020
2,0	0,14	0,040	0,020
2,5	0,20	0,050	0,030
3,0	0,24	0,060	0,030
4,0	0,40	0,080	0,040
5,0	0,60	0,100	0,050
6,0	0,80	0,120	0,060
8,0	1,30	0,160	0,080
10,0	1,80	0,200	0,100
12,0	2,40	0,250	0,120

Примечания

1. По указанным допускам изготавливать раздельно только круглые взаимозаменяемые вырубные и пробивные пуансоны и сменные матрицы размером до 50 мм.

2. Для толщин материалов, находящихся между указанными в таблице, принимать промежуточные значения.

На рис. 326, а изображена схема построения допусков для вытяжки с заданным наружным размером ($D - \Delta$). В этом случае номинальный размер матрицы берется равным наименьшему предельному размеру детали $D_{м(ном)} = D - \Delta$.

На рис. 326, б изображена схема построения допусков для вытяжки с заданным внутренним размером ($d + \Delta$). В этом случае номинальный размер пуансона берется равным номинальному размеру детали $d_{п(ном)} = d$.

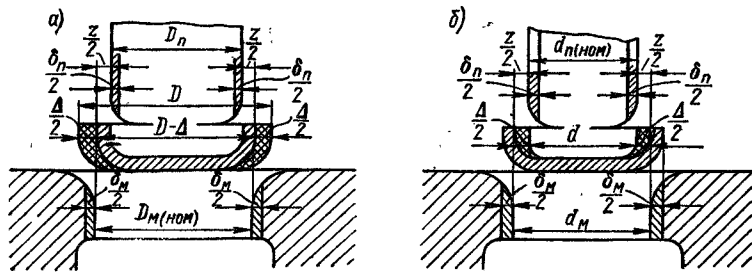


Рис. 326. Схемы построения допусков на изготовление вытяжных пуансонов и матриц: а — при заданном наружном размере; б — при заданном внутреннем размере

Исполнительные размеры вытяжных пуансонов и матриц определяются по формулам, приведенным в табл. 195.

195. Формулы для определения исполнительных размеров рабочих частей вытяжных штампов

Случай вытяжки	Исполнительные размеры матрицы	Исполнительные размеры пуансона
Вытяжка деталей с допуском по наружному размеру $D - \Delta$	$D_m = (D - \Delta) + \delta_m$	$D_p = (D - \Delta - z) - \delta_p$
Вытяжка деталей с допуском по внутреннему размеру $d + \Delta$	$d_m = (d + \Delta) + \delta_m$	$d_p = d - \delta_p$

Обозначения: D_m и D_p — исполнительные размеры матрицы и пуансона при вытяжке деталей с допуском по наружному размеру; D — номинальный наружный размер колпачка; δ_m и δ_p — допуски на изготовление матрицы и пуансона; Δ — допуск детали (в «тело»); z — номинальный диаметральный зазор между пуансоном и матрицей; d_m и d_p — исполнительные размеры пуансона и матрицы при вытяжке деталей с допуском по внутреннему размеру; d — номинальный внутренний размер колпачка.

В табл. 196 приведены допуски на изготовление вытяжных пуансонов и матриц для вытяжки некалиброванной тонколистовой стали. Для вытяжки калиброванного листового металла допуски на изготовление вытяжных пуансонов и матриц берутся на 20—25% ниже указанных. Как видно из табл. 196, допуски на изготовление вытяжных пуансонов и матриц в несколько раз больше допусков на изготовление вырубных пуансонов и матриц.

196. Допуски на изготовление вытяжных пуансонов и матриц для вытяжки некалиброванной тонколистовой стали, мм

Толщина материала, мм	Значения допусков (в мм) в зависимости от номинального диаметра вытяжки, мм					
	10—50		50—200		200—500	
	$+\delta_m$	$-\delta_p$	$+\delta_m$	$-\delta_p$	$+\delta_m$	$-\delta_p$
0,25	0,02	0,010	0,03	0,015	0,03	0,015
0,35	0,03	0,020	0,04	0,02	0,04	0,025
0,50	0,04	0,030	0,05	0,03	0,05	0,035
0,60	0,05	0,035	0,06	0,04	0,06	0,040
0,80	0,07	0,040	0,08	0,05	0,08	0,060
1,00	0,08	0,050	0,09	0,06	0,10	0,070
1,20	0,09	0,060	0,10	0,07	0,12	0,080
1,50	0,11	0,070	0,12	0,08	0,14	0,090
2,00	0,13	0,085	0,15	0,10	0,17	0,12
2,50	0,15	0,100	0,18	0,12	0,20	0,14

Вследствие большого зазора между вытяжным пуансоном и матрицей, а также простоты конфигурации для большинства вытягиваемых деталей применяется раздельное изготовление круглых вытяжных пуансонов и матриц по предельным размерам, полученным расчетом.

7. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ШТАМПОВ

Рабочие детали штампов (пуансоны и матрицы) подвергаются ударной нагрузке с сильной концентрацией напряжений на рабочих кромках или на рабочей поверхности. Поэтому к материалу пуансонов и матриц предъявляется требование высокой или повышенной твердости и износоустойчивости при наличии достаточной вязкости. Ниже на стр. 456 приведен разработанный автором способ расчета фактической локальной нагрузки режущих кромок пуансонов и матриц в зависимости от отношения S/d . С увеличением этого отношения локальная нагрузка режущих кромок резко возрастает, в связи с чем для пуансонов и матриц различных размеров требуются разные типы инструментально-штамповых сталей, обладающих различной прочностью и стойкостью.

Однако в настоящее время отсутствуют показатели, непосредственно характеризующие фактическую прочность режущих кромок пуансонов и матриц при вырубке. Показатель твердости закаленных сталей HRC не характеризует эксплуатационной прочности режущих кромок. Наоборот значительное увеличение твердости (закалка без отпуска) приводит к обратному результату. Показатель прочности на изгиб закаленного образца ($\sigma_{из}$) также не характеризует прочности режущих кромок при вырубке.

Необходимо создать новые методы испытания прочности режущих кромок штампов, соответствующие фактическим условиям нагрузки пуансонов и матриц. До этого вопрос о пригодности той или иной инструментальной стали для конкретных условий может быть решен лишь приближенно.

В табл. 197 приведены марки материалов, применяемые для изготовления пуансонов и матриц.

Стали, применяемые для изготовления рабочих частей штампов холодной листовой штамповки, делятся на следующие группы.

I. Углеродистые инструментальные стали небольшой прокаливаемости (ϕ до 25 мм): У8А, У10А, У8, У10.

II. Легированные стали повышенной прокаливаемости (ϕ до 40—50 мм): X (ШХ15), X09 (ШХ9), 9X, 9XC, 9XF, XВГ, 9XВГ, XГСВФ.

197. Материалы, применяемые для изготовления пуансонов и матриц

Детали штампов	Марки сталей и материалов	
	Рекомендуемые	Допускаемые заменители
Пуансоны и матрицы вырубные и пробивные: простой формы сложной формы (при высокой нагрузке)	У10, У10А, Х12Ф1 Х12ВМ, Х6ВФ, Р6М5, ВК20	5ХВ2С, ШХ15, Х12М 7ХГ2ВФМ, Р12
Пуансоны и матрицы для чистовой вырубки-пробивки: простой формы сложной формы	Х12Ф1, Х6ВФ Х12ВМ, Р6М5	7ХГ2ВФМ, Р6М5 Р12
Пуансоны и матрицы гибочные	У10А, Х6ВФ	У10, Х12Ф, ШХ15
Пуансоны и матрицы вытяжные и формовочные	У10А, Х12, ВК8, модифицированный чугун МСЧ 32-52	Х12Ф1, Х6ВФ, специальный легированный чугун
Пуансоны и матрицы для холодного выдавливания алюминия и меди	Х12М, Р6М5	Х12Ф1, 7ХГ2ВФМ, Р12

III. Высокохромистые стали высокой прокаливаемости (\varnothing до 80 мм), высокой износостойкости, мало деформируемые при закалке: Х12Ф1, Х12Ф, Х12М, Х12, также Х6ВФ и ХГ3СВФ.

IV. Легированные стали повышенной вязкости (при твердости HRC 56—58): 4ХС, 6ХС, 4ХВ2С, 5ХВ2С, 6ХВ2С, 5ХВГ.

Углеродистые инструментальные стали после правильно выполненной термической обработки обладают такой же твердостью и прочностью как и многие легированные стали.

Основным недостатком углеродистых инструментальных сталей является их низкая прокаливаемость, в результате чего в больших сечениях (свыше 20—25 мм) сохраняется непрокаленная сердцевина с пониженной твердостью. Однако, в ряде случаев, при работе штампов со значительными динамическими нагрузками, например, на прессах с большим числом ходов, это свойство углеродистых сталей становится положительным.

Применение углеродистых инструментальных сталей ограничивается рабочими частями штампов простой формы толщиной или диаметром до 25 мм. Наиболее пригодны для изготовления штампов стали марок У10А и У10, имеющие более высокую прочность на изгиб, чем другие марки углеродистой инструментальной стали ($\sigma_{из} = 200 + 230$ кгс/мм² при HRC 59—60).

Легированные инструментальные стали повышенной прокаливаемости позволяют изготавливать рабочие части штампов толщиной до 40 мм (при закалке в воду). Прочность на изгиб этих сталей после закалки и отпуска на твердость HRC 59—61 несколько выше, чем у углеродистых сталей и достигает $\sigma_{из} = 250$ кгс/мм².

Высокохромистые стали обладают высокой прокаливаемостью и закалываемостью, что позволяет использовать их для штампов больших сечений и применить закалку с умеренным охлаждением, что уменьшает деформацию изделия.

Высокохромистые износостойчивые стали имеют некоторые различия по механическим свойствам после закалки. Сталь Х12Ф1 несколько пластичнее сталей Х12Ф и Х12М. Но сталь Х12М имеет несколько более высокую твердость (на одну единицу по Роквеллу) и большую износостойчивость. Сталь Х12 при высокой твердости обладает несколько меньшей вязкостью и применяется для штампов простой формы, которые работают без значительных ударных нагрузок, но от которых требуется повышенная износостойчивость.

Для вытяжных штампов рекомендуется применять стали Х12, Х12Ф1 с азотированием поверхности при твердости наружного слоя HRC 68—69 и твердости закаленного подслоя HRC 58. Стали этой группы подвергаются закалке с нагревом до высоких температур (Х12М, Х12Ф, Х12 — 1020—1040° С; Х12Ф1 — 1070—1090° С) и низкому отпуску (150—170° С). Твердость HRC 61—63.

Высокохромистые стали хорошо закалываются при охлаждении на воздухе, однако вследствие высокой температуры нагрева происходит значительное обезуглероживание поверхности.

Наряду с достоинствами высокохромистые стали обладают некоторыми недостатками: 1) повышенной карбидной неоднородностью, являющейся зачастую причиной выкрашивания поверхностей и рабочих кромок; 2) необходимостью повышенной температуры закалки (1020—1090° С) и высокой чувствительностью к возможным колебаниям температур закалки.

Приведенная в табл. 197 сталь марки Х6ВФ обладает в два раза большей вязкостью, чем сталь Х12Ф1 при одинаковой прочности. В ряде случаев сталь Х6ВФ имеет преимущество перед сталью Х12М.

В СССР разработаны, исследованы и рекомендованы для промышленного внедрения новые марки малодеформирующихся штамповых сталей 7ХГ2ВФМ и ХГ3СВФМ.

Прочность на изгиб закаленных до твердости HRC 57 образцов составляет 280—290 кгс/мм². По сравнению со сталями марок Х12М и Х12Ф1 эти стали обладают значительно меньшей карбидной неоднородностью (балл < 1) и не требуют высокой температуры нагрева при закалке. Стойкость их выше стойкости стали Х12Ф1.

Термическая обработка новых марок стали для получения твердости HRC 57—60 следующая:

сталь ХГ3СВФМ — закалка 800—840° С, отпуск 150—250° С;
сталь 7ХГ2ВФМ — закалка 850—860° С, отпуск 150—200° С.

При изготовлении из указанных марок сталей пуансонов и матриц сложной формы и небольших сечений (30—40 мм) применяется закалка с охлаждением на воздухе, дающая твердость HRC 59—62.

В последнее время, для повышения твердости и износостойкости пуансонов и матриц вытяжных и формовочных штампов, разработан новый способ азотирования перед закалкой, наряду с азотированием после окончательной термической обработки. Предварительно азотированию подвергаются стали Х12М, Х6ВФ и 7ХГ2ВФМ. Азотирование производят при 560—600° С или при 520—540° С длительностью 8—12 ч. В результате получается более глубокий азотированный слой, стойкость вытяжных штампов повышается в 1,5—2 раза.

Для штамповки высокопрочных и жаропрочных сплавов, а также для штампов холодного выдавливания рекомендуются новые штамповочные стали ЭИ958 и ЭИ959 (4Х5В2ФС и 4Х2В5ФМ). Эти стали обладают высоким пределом прочности на изгиб ($\sigma_{из} = 170 + 180$ кгс/мм²), повышенной теплостойкостью и удовлетворительными пластичностью и вязкостью ($a_n = 3 + 4$ кгс/см² при 20° С). Твердость сталей после закалки и высокого отпуска (650° С) HRC 45—48.

Твердость рабочих частей вырубных и пробивных штампов после термообработки зависит от нагрузки режущих кромок и марки стали.

В мелкосерийном производстве нет надобности стремиться к высокой стойкости рабочих частей штампов. Поэтому в некоторых случаях могут быть применены пуансоны и матрицы из более дешевой стали марки 45 с закалкой в воде и отпуском при 200—250° С до твердости HRC 45—50.

198. Марки материалов и сталей, применяемые для изготовления различных деталей штампов

Детали штампов	Марки материала		Термообработка
	Основная	Заменители	
Плиты штампов литые	Чугун СЧ 21-40 или СЧ22-44	Стальное литье 30Л, 40Л	—
Плиты штампов остальные	Стали 40, 50	Ст5	—
Хвостовики	Стали 35, 40	Ст4 и Ст5	—
Колонки направляющие	Сталь 20 Стали 45, 50	Ст2	Цементировать на глубину 0,5—1,0 мм; калить HRC 58—62 Калить HRC 45—50
Втулки направляющие	Сталь 20 Стали 45, 50	Ст2	Цементировать на глубину 0,5—1 мм, калить HRC 58—62 Калить HRC 45—50
Втулки для шариковых направляющих	ШХ15	—	Калить HRC 58—62
Пуансонодержатели	Стали 35, 45	Ст3	—
Подкладки под пуансон	Сталь 45	Ст5	Калить HRC 40—45
Съемники	Ст3	Сталь 25	—
Прижимы, направляющие планки, выталкиватели	Стали 40, 45	Ст5	Калить HRC 50—54
Упоры	Сталь 45	—	Калить HRC 40—45
Ловители	У8А	У7А	Калить HRC 50—54
Штифты	Сталь У8	Ст6	Калить HRC 45—50
Винты	Сталь 45	—	Калить головку HRC 40—45
Пружины	Стали 65Г, 60С2	Стальная проволока 11-го класса	Калить HRC 40—48

Хорошим материалом для изготовления вытяжных матриц являются также алюминиевые бронзы типа БрАЖН-10-4-6, весьма устойчивые против налипания при вытяжке нержавеющей стали.

В последнее время вытяжные штампы для деталей автомобильных кузовов и других изделий изготавливают из различного рода пластмасс, которые рассмотрены ниже.

В табл. 198 даны марки сталей для изготовления других деталей штампов. Резина в штампах применяется в следующих случаях:

1) в качестве рабочего инструмента: при вырезке резной на гидравлических прессах; при формовке и гибке на гидравлических прессах; при штамповке с резиновыми накладками на падающих молотах;

2) в качестве упругого амортизатора-буфера при штамповке на прессах (для съемников, выталкивателей, прижимов и т. п.).

Для вырезки резной применяют резину повышенной твердости (по Шору 70). Для формовки-гибки резной применяют сорта средней твердости (по Шору 45—65). Для вытяжки резинной матрицей применяют наиболее эластичные сорта резины, допускающие большую степень деформации.

Для штамповки на падающих молотах в зависимости от толщины и сорта металла применяют твердую резину (при штамповке стали) и резину средней твердости (при штамповке дуралюмина).

8. ПЛАСТМАССОВЫЕ ШТАМПЫ [64]

Одним из многообещающих направлений в развитии инструментально-штампового производства является применение пластмасс для изготовления штампов или их деталей. Штампы из пластмасс имеют следующие преимущества перед металлическими:

- 1) уменьшение массы штампа в три-четыре раза, что особенно эффективно при изготовлении крупных вытяжных и формовочных штампов;
- 2) уменьшение трудоемкости изготовления от 20 до 50% вследствие устранения копировально-фрезерных и слесарно-доводочных работ;
- 3) более простое и более дешевое оборудование;
- 4) возможность быстрого освоения новых типов изделий.

Пластмассовые массы применяют для следующих видов штампов: для изготовления полностью пластмассовых штампов или их деталей; для облицовки рабочей поверхности пуансонов, матриц и складкодержателей вытяжных штампов; для крепления пуансонов в пуансонодержателях, колонок и втулок в плитах, а также для заливки направляющих отверстий в съемниках.

Наибольшее применение пластмассовые штампы получили в автомобильной и авиационной промышленности при серийном и мелкосерийном типе производства.

Пластмассы, применяемые для изготовления штампов, состоят из следующих компонентов:

- 1) искусственные смолы, служащие для связывания всех составных частей;
- 2) отвердители — вещества, служащие для отверждения смол путем перевода их в высокомолекулярное соединение;
- 3) пластификаторы — химические вещества, вводимые для снижения хрупкости и повышения эластичности после затвердевания;
- 4) наполнители — различные инертные твердые вещества, вводимые в композиции для повышения механических свойств, а также для экономии смолы и удешевления стоимости штампов.

Наибольшее применение для изготовления штампов получили пластмассы на основе эпоксидных, фенольноформальдегидных и акриловых смол.

Пластмассы на основе эпоксидных смол (эпоксипласты)

Отличительной чертой эпоксипластов являются:

- 1) высокая механическая прочность, достигающая в зависимости от типа наполнителя большой величины ($\sigma_b = 6 \div 25$ кгс/мм²);
- 2) малая усадка (от 0,1 до 0,2%), что позволяет получать точные рабочие размеры;

- 3) высокая адгезия (прилипаемость) к металлу, дереву, наполнителям;
 4) устойчивость к действию влаги и масел;
 5) теплостойкость от -20 до $+100$ °С.

Основой эпоксиластов, применяемых в отечественной промышленности, являются эпоксидные смолы: ЭД-5, ЭД-6 и Э-40, а также чешские эпоксидные смолы: эпокси 1200, эпокси 2100 и эпокси 2200.

Отверждение жидких эпоксидных смол происходит в результате введения в них отвердителей, которые вступают в химическое взаимодействие с молекулами эпоксидной группы и осуществляют процесс полимеризации. Количество вводимого отвердителя должно быть строго определенным.

В зависимости от температуры полимеризации отвердители делятся на две группы: холодного и горячего отверждения. В отечественной промышленности наиболее широкое применение получили отвердители холодного отверждения — аминсоединения: полиэтиленамин, гексаметилендиамин и кубовый остаток последнего. Жизнеспособность (пригодность к использованию) при комнатной температуре составляет для первых двух — от 1,5 до 2 ч, а для кубового остатка — от 2 до 3 ч. Более высокую жизнеспособность смеси (6—7 ч) создает применение жидких низкомолекулярных полиамидных смол, которые одновременно являются и отвердителями и пластификаторами.

В качестве отвердителей горячего отверждения (150 °С) применяют малеиновый или фталиевый ангидриды, причем их вводят в смолу в расплавленном состоянии,

199. Состав и назначение различных композиций эпоксиластов, применяемых для изготовления штампов

Обозначение композиции	Состав композиции в массовых долях											Назначение пластмассы						
	Смола	Отвердитель	Пластификатор	Наполнители														
				ЭД5	ЭД6	Кубовый остаток	Дибутилфталат	Ж	Г	М	П		К	Мс	Ст	Вм	Гр	
ЭЖ-1	100	20	10—15	200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Облицовочный состав для прессовых штампов и формблоков
ЭЖ-2	100	20	10—15	200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2—3	3—5	
ЭЖ-3	100	20	15—18	200	75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
ЭГ-1	100	20	15—18	—	150	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3—5	
ЭМ-1	100	20	15—18	—	—	250	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3—5	
ЭГ-2	100	20	15—25	—	100	—	—	—	100	—	—	—	—	—	—	—	5	Облицовочный состав для штампов падающих молотов
ЭГ-3	100	20	15—20	—	150	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
ЭМ-2	100	20	15—25	—	—	150	—	—	100	—	—	—	—	—	—	—	—	
ЭМ-3	100	20	15—25	—	—	250	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5	
ЭСт-1	100	20	15—25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6	—	—	
ЭП-1	100	20	10—15	—	—	—	1000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Наполнительный состав (подслой) прессовых штампов
ЭП-2	100	20	10—15	—	—	—	500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
ЭП-4	100	20	10—20	—	—	500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
ЭК-1	100	20	10—15	—	—	—	—	300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Обозначения: Ж — железный порошок; Г — гипс; М — маршалит; П — песок формовочный; К — керамзит; Мс — металлическая стружка; Ст — стеклоткань; Вм — волокнистый материал; Гр — графит.

Пластификаторы вводятся в смолу для уменьшения вязкости жидкой и уменьшения хрупкости композиции. Для эпоксидных смол в качестве пластификатора чаще всего применяются дибутилфталат и дифенилфталат, являющиеся дешевым материалом.

Наполнители вводятся в композиции с целью повышения механических свойств и экономии смолы. Различают два типа наполнителей: волокнистые (армирующие) и порошковые (наполняющие).

Волокнистые наполнители значительно повышают механические свойства эпоксиластов (сопротивление растяжению, сжатию, изгибу, удару). Наиболее широко для этой цели применяются стеклоткань и стекловолокно, рекомендуемые для армирования рабочей поверхности штампов, работающих на удар. Недостаток — низкая стойкость на износ. Поэтому облицовочный слой вытяжных штампов (3—5 мм) обычно делается из износостойчивого эпоксиласта с железным порошком в качестве наполнителя. Армирование эпоксиластов металлическими волокнами (проволока, стружка) повышает износостойкость и теплостойкость эпоксиластов (150 — 170 °С).

Порошковые наполнители не вызывают большого увеличения прочности, но значительно влияют на физические свойства эпоксиластов. Получили применение металлические (железные, стальные, алюминиевые) и минеральные (тальк, гипс, маршалит, графит, мел) порошковые наполнители. Железный порошок значительно увеличивает износостойкость эпоксиластов. Стойкость вытяжных штампов с такой облицовкой достигает 3000 деталей без ремонта.

Износостойкость штампов повышается при введении в качестве наполнителя графита.

Для наполнительных эпоксиластов, применяемых для изготовления корпусов штампов, в качестве наполнителей используют строительные порошкообразные и зернистые материалы: формовочный песок (по массе в 10 раз больше массы смолы), керамзит, цемент и др.

В табл. 199 дан состав и назначение различных композиций эпоксиластов, применяемых для изготовления штампов (по данным НИИпластмасс), а в табл. 200 — физико-механические свойства различных композиций эпоксиластов.

В последнее время они получили промышленное применение для заливки направляющих колонок в втулок в блоках вырубных штампов с твердосплавными рабочими частями.

200. Физико-механические свойства различных композиций эпоксиластов

Обозначение композиции	Предел прочности, кгс/мм ²		Ударная вязкость, кгс·м/см ²	Усадка, %	Твердость по Бринеллю	Плотность, г/см ³
	при статическом изгибе	при сжатии				
ЭЖ-1	8,2	12	5,2	0,04	23	2,10
ЭЖ-2	8,5	10	8,4	0,05	23	1,98
ЭЖ-3	8,0	12	7,5	0,09	18	1,99
ЭГ-1	4,0	7	5,3	0,07	16	1,70
ЭМ-1	3,3	8	6,0	0,05	16	1,65
ЭГ-2	5,5	8,0	6,0	0,03	14	1,80
ЭГ-3	5,5	7,4	5,0	0,05	15	1,70
ЭМ-2	6,5	8,4	6,0	0,04	16	1,65
ЭМ-3	5,5	6,7	6,3	0,03	16	1,60
ЭСт-1	5,5	6,7	29	0,03	11	1,20
ЭП-1	4,0	14,0	4,0	0,12	14	1,80
ЭП-2	4,0	8,9	5,6	0,11	18	1,80
ЭМ-4	4,0	6,7	4,6	0,17	13	1,83
ЭК-1	—	4,6	3,1	0,35	—	1,00

Необходимо указать на токсичность некоторых компонентов эпоксиластов. Этим свойством обладают летучие вещества, выделяемые при нагревании оксидных смол; малеиновый и фталиевый ангидриды, применяемые для горячего отверждения; отвердители холодного отверждения (за исключением низкомолекулярных полиамидов). Токсическое и кожно-раздражающее действие этих компонентов проявляется во время приготовления композиций и в процессе изготовления (заливки) штампов. Твердые эпоксиласты безвредны для работающих.

При изготовлении пластмассовых штампов необходимо строго соблюдать правила техники безопасности и личной гигиены. Рекомендуется во время работы пользоваться резиновыми перчатками, а еще лучше — защитными перчатками типа „невидимые перчатки“ на основе казеина или метилцеллюлозы с глицерином или пастой Селисского на основе талька, крахмала и желатина [64].

Пластмассы на основе акриловых смол (акрилопласты)

К этой группе пластмасс относятся два вида акрилопластов: АСТ-Т и стиракрил (протакрил).

АСТ-Т (акрилат самоотвердеющий технический) представляет собой зубопротезный материал. В состав пластмассы входят порошок и жидкость в соотношении 2 : 1 и различные наполнители — гипс, стружка оргстекла, стекловата, графит. Порошок представляет собой полиметилметакрилат с добавкой 2% инициатора, а жидкость — метилметакрилат с добавкой 3% диметиламина (активатора). Время полного отверждения АСТ-Т 20—25 мин.

Пластмасса АСТ-Т применяется для армирования съемников штампов и для заливки пуансонов в пуансонодержателях.

Физико-механические свойства пластмассы АСТ-Т следующие:

Плотность, г/см ³	1,16—1,18
Ударная вязкость, кгс · м/см ²	8—12
Прочность при изгибе, кгс/мм ²	8—12
» сжатии, кгс/мм ²	12—16
Твердость по Бринелю	13—19
Усадка, %	0,4
Адгезия к металлам	Высокая

Стиракрил представляет собой также быстротвердеющую пластмассу, состоящую из порошка и жидкости в соотношении 2 : 1 или 2 : 1,5. Порошок — это сополимер стирола и метилметакрилата с добавкой 1—2% катализатора. Жидкость — мономер метилметакрилата с добавкой 0,2% диметиламина в качестве ускорителя.

Основные свойства стиракрила марки ТШ:

Плотность, г/см ³	1,16—1,18
Ударная вязкость, кгс · м/см ²	12—15
Прочность при изгибе, кгс/мм ²	7—8
» сжатии, кгс/мм ²	9
Твердость по Бринелю	12—15
Усадка, %	0,2—0,3
Адгезия к металлам	Высокая

Аналогичные состав и свойства у протакрила.

Время отверждения стиракрила больше, чем у АСТ-Т. Предварительное отверждение протекает в течение 40—60 мин. Полное отверждение наступает через 12 ч.

Акрилопласты АСТ-Т и стиракрил ТШ применяют в вырезных штампах для получения неподвижных соединений: для закрепления колонок или втулок в плитах блоков, для заливки пуансонов в пуансонодержателях, для точного направления пуансонов в съемнике, для заливки направляющей поверхности втулок и т. п.

Незначительная усадка акрилопластов и малая величина зазоров позволяют получить подвижные посадки высокой точности без применения доводки, а малый коэффициент трения этих пластмасс по стали позволяет достичь высокой износостойкости направляемых деталей,

Пластмассы на основе этилцеллюлозы

Здесь относится термопластичная литейная композиция ТЛК-Э, применяемая для изготовления гибочных, вытяжных и формовочных штампов для штамповки мягких цветных сплавов и малоуглеродистой стали толщиной до 2 мм. Благодаря термопластичности ТЛК-Э можно многократно использовать старую оснастку, предварительно разбив ее на куски размером до 100 мм. При нагреве до 200° С пластик ТЛК-Э расплавляется до вязкотекучего состояния, а при охлаждении до комнатной температуры вновь затвердевает.

Пластмассы на основе фенольноформальдегидных смол

Обычно для изготовления штампов применяют не чистые смолы, а фенольноформальдегидный клей ВИАМ Б-3, представляющий собой водный раствор смолы, смешанный с отвердителем, который ускоряет процесс полимеризации.

Получили промышленное применение два типа пластмасс на основе фенольноформальдегидных смол: древесно-клеевая масса ДКМ и песко-клеевая масса ПСК. Древесно-клеевая масса ДКМ применяется главным образом для получения облицовочного слоя пуансонов в штампах для падающих молотов. Состав ДКМ: 70—75% клея ВИАМ Б-3 и 25—30% сухих древесных опилок.

Штампы из ДКМ в несколько раз дешевле штампов из эпоксиластов. Стойкость штампов ниже, чем эпоксидных, но достаточно высокая и вполне приемлемая для серийного производства.

Песко-клеевая масса ПСК применяется главным образом для обтяжных пуансонов и доводочных болванов в авиационной промышленности. Состав ПСК: 15% клея ВИАМ Б-3 и 85% сухого просеянного песка. Это наиболее дешевая композиция.

Способы и порядок изготовления деталей штампов из пластмасс изложены в специальной литературе.

Применение полиуретана в штампах

Новым материалом для изготовления рабочих частей гибочных, формовочных и вытяжных штампов является полиуретан, или полиуретановый эластомер, представляющий собой полимер эфира диизоцианата и диалкоголя.

Полиуретан представляет собой плотный резиноподобный синтетический материал, обладающий высокой упругостью и износостойчивостью. В отличие от резины полиуретан не обладает пористостью (исключая искусственно вспененный пенополиуретан), благодаря чему он практически не сжимается и не уменьшается в объеме. Вследствие нежесткости полиуретана для его деформирования требуются значительно более высокие усилия, чем для других эластомеров той же твердости.

Рабочие кривые усилия сжатия — деформация аналогичны кривым для структурных пластмасс.

Полиуретан является новым синтетическим материалом, в котором соединяется ряд ценных свойств: высокая упругость, большое сопротивление удару, разрыву и истиранию, а также способность выдерживать большую нагрузку. Кроме того, полиуретан весьма стоек к воздействию масла, кислорода и нагрева.

В табл. 201 приведены механические свойства литевых полиуретанов отечественного производства [142].

Для вырубных, гибочных и формовочных работ наиболее применим полиуретан марки СКУ-7Л. Полиуретановые заготовки подвергаются различным видам механической обработки: резке ленточной пилой и на ионциках, обтачиванию, фрезерованию, сверлению, иарезанию резьбы. Ниже приводятся схемы типовых штампов с рабочими частями из полиуретановой резины и краткие сведения по их применению.

На рис. 327 показан прямоугольный блок из полиуретана, использованный в стандартном штампе литейного пресса, позволяющий гнуть стальные листы толщиной до 2,8 мм. Один и тот же полиуретановый блок можно применять с пуансонами различной формы.

201. Механические свойства литевых полиуретанов

Марка полиуретана	Прочность на разрыв, кгс/см ²	Удлинение, %		Сопротивление раздиру	Твердость по ТМ-2 (шкала А)
		относительное	остаточное		
СКУ-6	450—500	500—550	0—2	30	55—60
СКУ-7Л	500—600	500—600	2—4	50—70	75—80
СКУ-7-85	500—600	500	2—5	50—65	80—90
СКУ-7-100	570—630	350—380	15—20	90—100	91—99
СКУ-ПФЛ	400—500	350—400	6—10	90—100	92—95
СКУ-ПФ-15	350	500	2	40	80

Гибка в полиуретановых штампах дает точные размеры и позволяет гнуть с меньшими радиусами закруглений ($R = 1,6$ мм при $S = 6,4$ мм), а также уменьшает

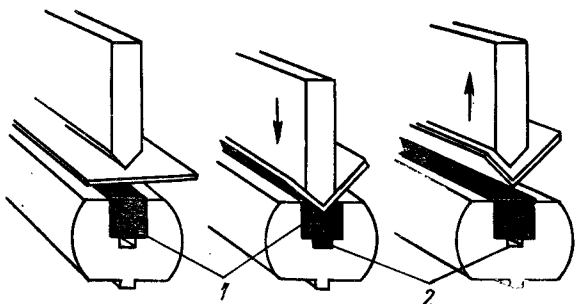


Рис. 327. Прямоугольный блок из полиуретана для гибочного штампа:
1 — полиуретановый брусок; 2 — канавка

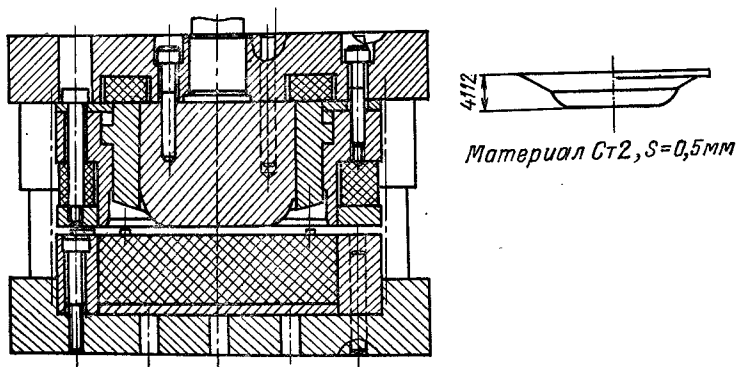


Рис. 328. Применение полиуретана в вытяжных штампах

величину пружинения материала по сравнению с гибкой в обычных штампах, так как материал заготовки находится под высоким давлением. Стойкость полиуретановых штампов в зависимости от сложности штамповки составляет от 1000 до

150 000 деталей. Необходимо предохранять полиуретановые матрицы от повреждения стружкой или заусенцами.

Сплошные блоки из полиуретана вследствие их несжимаемости не должны деформироваться больше чем на 1/3 толщины. В тех случаях, когда этого недостаточно, предусматривают зазор между дном полиуретановой матрицы и поверхностью матрицедержателя (рис. 327). Наличие зазора снижает напряжение, возникающее в полиуретане, и дает возможность деформировать металл при меньшем давлении.

На производстве применяется большое количество штампов с рабочими частями из полиуретана: вырубные, гибочные для различного профиля, вытяжные по жесткому пуансону, то же — по жесткой матрице, формовочные, отбортовочные, обжимные, а также комбинированные штампы совмещенного и последовательного действия.

Мы лишены возможности рассмотреть эти конструкции в справочнике и отсылаем к первоисточнику [176].

На рис. 328 приведен пример комбинированного штампа с полиуретановой матрицей и буферами, устройство которого ясно из чертежа.

Применение полиуретана в штампах дает значительный эффект, заключающийся в снижении стоимости оснастки в 4—6 раз, сокращении сроков изготовления оснастки в 5—10 раз, уменьшении металлоемкости от 10 до 40 раз. Однако одновременно с этим в несколько раз уменьшается производительность. Практика показала, что штамповка полиуретаном эффективна при годовой программе до 10 000 деталей.

Полиуретан применяется также в качестве буферов в съемниках и прижимках. Последние создают большее по величине и более равномерное давление. На рис. 329 приведена диаграмма давления буфера в зависимости от сжатия для полиуретана СКУ-7Л.

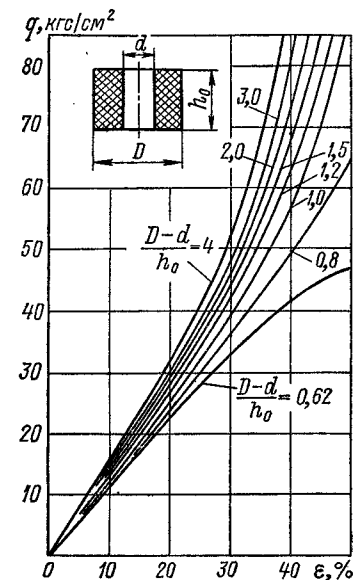


Рис. 329. Давление полиуретановых пружинок в зависимости от деформации сжатия

9. СТОЙКОСТЬ ШТАМПОВ

Долговечность штампов измеряется количеством деталей, отштампованных до полного износа рабочих частей, определяемого невозможностью их восстановления и получением размерного брака штампуемых деталей.

Однако значительно раньше этого вида брака возникает брак по снижению качества штампуемых деталей (заусенцы при вырубке и пробивке, задир, риски и царапины при вытяжке, гибке). Этот вид брака сравнительно легко устранить путем перешлифовки вырубных и пробивных штампов или зачистки наростов металла на поверхности вытяжных и гибочных штампов и т. д.

Таким образом, следует различать долговечность или полную стойкость штампов и промежуточную (качественную) стойкость или стойкость между двумя перешлифовками или зачистками рабочих частей.

Полная стойкость штампов в большинстве случаев находится в прямой зависимости от качественной стойкости, так как количество допустимых перешлифовок и зачисток ограничено полным использованием рабочих частей штампов или выходом из заданных размеров и получением размерного брака деталей.

Стойкость штампов зависит от следующих факторов: 1) сорта и механических свойств штампуемого материала; 2) конфигурации детали; 3) относительной

толщины материала; 4) конструкции штампа и типа производимой операции; 5) величины зазора; 6) материала и термообработки рабочих деталей штампа; 7) состояния пресса; 8) способа и типа смазки.

Стойкость штампа является условным понятием, так как различные рабочие части штампа изнашиваются по-разному. Наиболее важен вопрос о стойкости разделительных штампов.

В последнее время выполнен ряд исследований по стойкости рабочих частей штампов [124; 131], которыми установлена зависимость стойкости пробивных универсально-сборных штампов от основных факторов.

Математическая обработка результатов исследований позволила получить расчетную формулу для определения стойкости пробивных штампов до перешлифовки

$$N_{ст} = \frac{16000}{\sqrt[3]{S^2 \sigma_B} \sqrt{\sigma_B}} \text{ тыс. шт.},$$

где S — толщина материала, мм; σ_B — предел прочности, кгс/мм².

Указанная формула получена при следующих производственно-технологических условиях:

- 1) штампуемый материал — стали Ст3, Ст4, Х18Н9Т ($\sigma_B = 40 + 60$ кгс/мм²);
- 2) толщина материала $S = 4 + 10$ мм ($S/d = 0,3 + 0,5$);
- 3) двусторонний зазор $z = 12 + 18\%$ от S ;
- 4) материал пуансона и матрицы — сталь Х12М с термообработкой до твердости HRC 56—62;
- 5) критерий износа — образование заусенца высотой 0,2 мм.

При изготовлении рабочих частей пробивных штампов из сталей У8А—У10А стойкость пробивных УСШ резко падает и составляет от 40 до 60% указанной выше стойкости.

Учитывая, что стойкость пробивных штампов, монтируемых на постоянных блоках с направляющими колонками, в среднем на 30% выше стойкости универсально-сборных штампов, стойкость до перешлифовки обычных пробивных штампов может быть подсчитана по следующей формуле:

$$N_{ст. пр} = \frac{21\,500}{\sqrt[3]{S^2 \sigma_B} \sqrt{\sigma_B}} \text{ тыс. шт.}$$

при указанных выше технологических условиях.

Стойкость вырубных штампов несколько выше (на 30—40%) стойкости пробивных штампов вследствие того, что удельная нагрузка на режущих кромках крупной вырубной матрицы ниже, чем на режущих кромках пробивного пуансона. Поэтому стойкость вырубных штампов до перешлифовки может быть найдена по следующей формуле:

$$N_{ст. выр.} \approx \frac{21\,500}{\sqrt[3]{S^2 \sigma_B} \sqrt{\sigma_B}} 1,4 \approx \frac{30\,000}{\sqrt[3]{S^2 \sigma_B} \sqrt{\sigma_B}} \text{ тыс. шт.}$$

Приведенные выше расчетные формулы являются универсальными для большинства разделительных штампов при указанных выше производственно-технологических условиях.

Приведенные формулы приближенно применимы и для материалов меньшей толщины при меньшей величине допустимого заусенца h путем введения поправочного коэффициента K , установленного экспериментально [124].

Коэффициент K при различных S и h имеет следующие приближенные значения:

S , мм	10—4	4—2	2—0,6	0,6—0,2
h , мм	0,2	0,15	0,1	0,05
K	1	0,75	0,55	0,3

В табл. 202 приведена ориентировочная плановая стойкость рабочих частей штампов до полного износа, подсчитанная для листовой стали средней твердости при условии, что вырубные штампы подвергаются 20—25 перешлифовкам. Однако в определенных отраслях промышленности встречаются значительные отклонения от средних норм стойкости.

202. Ориентировочная плавовая стойкость рабочих частей штампов до полного износа

Тип штампа	Толщина материала, мм	Стойкость (в тыс. ударов) в зависимости от материала рабочих частей	
		Углеродистая сталь (У10А, У11А)	Легированная сталь (Х12М, Х12Ф1)
Вырубной (с направляющими колонками)	До 0,5	800—1000	1100—1400
	1,0	600—800	800—1100
	2,0	450—600	600—850
	3,0	350—500	500—700
	5,0	300—400	400—600
Пробивной	$S/d = 0,3 + 0,5$	120—200	300—400
	$S/d = 0,5 + 0,7$	70—120	200—300
	$S/d = 0,8 + 1,0$	40—80	150—200
Гибочный простой « сложный Вытяжной простой Формовочный	До 3	1000—1200	1400—1700
	« 3	600—700	800—1000
	« 3	1200—1600	1800—2400
	« 3	400—500	600—800

Примечание. Наименьшие значения стойкости относятся к штамповке более твердых материалов (стали 30, 40), а наибольшие — к штамповке более мягких материалов (стали 10, 20, Ст2).

Стойкость вырубных штампов в значительной мере зависит от конструкции и способа изготовления рабочих частей штампа. С целью упрощения изготовления вырубных штампов и уменьшения объема слесарных работ, а также для устранения дефектов при термической обработке, повышения точности изготовления и увеличения стойкости штампов применяют составные (секционные) матрицы, обрабатываемые на профилировальных станках.

Ориентировочная стойкость штампов для чистовой вырубки до перешлифовки по данным фирмы „Файнтул“ (Швейцария) составляет:

Для деталей простого контура, тыс. шт.	30—40
» » сложного » » »	15—25

Однако в производственных условиях стойкость указанных штампов значительно ниже.

Значительное повышение стойкости вырубных и вытяжных штампов достигается при использовании твердых сплавов. Применяют два вида твердых сплавов: литые и спечаемые.

Литые твердые сплавы наплавляются дуговой или газовой сваркой на подготовленные для наплавки рабочие кромки пуансонов и матриц и применяются редко и главным образом для крупных штампов.

Менее крупные вырубные и вытяжные штампы оснащают вставками из спечаемых (металлокерамических) твердых сплавов. На рис. 330 изображена диаграмма с характеристиками прочности, твердости и плотности металлокерамических карбидовольфрамовых твердых сплавов в зависимости от процентного содержания карбида вольфрама и кобальта.

Само название „твердый сплав“ весьма условно, так как физически это не сплав, а композит, состоящий из частиц карбида вольфрама, спеченных в одну массу связующим кобальтом.

В табл. 203 приведены марки и характеристики твердых сплавов по ВНИИТСу, применяемых в нашей промышленности при изготовлении вставок для штампов холодной штамповки. Наиболее широко применение для изготовления твердосплавных вставок получили марки ВК15 и ВК20, обеспечивающие резкое повышение стойкости вырубных штампов.

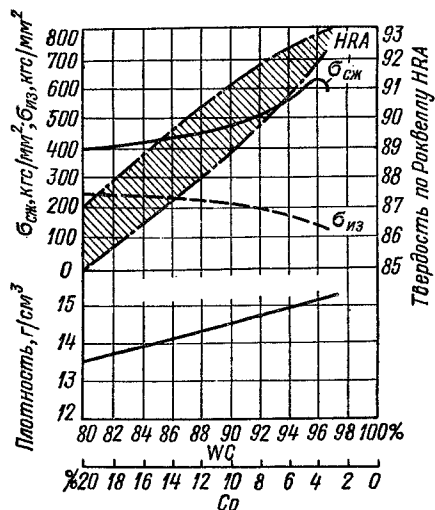


Рис. 330. Характеристика свойств твердых сплавов

В табл. 204 приведены данные по применению твердых сплавов в вырубных и пробивных штампах электротехнической промышленности, а также даны средние значения стойкости между перешлифовками.

Стойкость вырубных штампов с твердосплавными рабочими частями в 30—50 раз выше стойкости обычных штампов и достигает 500—1000 тыс. деталей до переточки

203. Марки и механические характеристики твердых сплавов, применяемых в штампах холодной штамповки

Марка сплава	Химический состав, %		Плотность, г/см³	Твердость HRA	Сопротивление изгибу, кгс/см²	Ударная вязкость, кгс·м/см²
	WC	Co				
ВК8ВК	92	8	14,5	87	171	0,34
ВК12ВК	88	12	14,1	87	191	0,40
ВК15ВК	85	15	13,9	86	216	0,90
ВК12ВС	88	12	14,1	88,5	190	—
ВК15ВС	85	15	13,9	88,0	200	—
ВК20ВС	80	20	13,5	85,6	230	1,26
ВК15УС	85	15	13,9	87,2	198	0,70
ВК20УС	80	20	13,4	85,4	224	0,76

Примечание. Первые буквы маркировки обозначают состав твердого сплава (вольфрам и кобальт), цифры указывают процентное содержание кобальта, следующая за цифрой буква обозначает способ восстановления вольфрама (водородный или углеродистый), последняя буква характеризует зернистость сплава (С — среднезернистый, К — крупнозернистый).

204. Применение твердых сплавов и стойкость штампов между перешлифовками (тыс. шт.)

Типы штампов	Штампующий материал	Штампы средних габаритов		Крупногабаритные штампы		Средняя стойкость штампов между перешлифовками (тыс. шт.)	
		Матрица	Пуансон	Матрица	Пуансон	стальных	твердосплавных
Ножевые	Электротехническая сталь толщиной до 0,5 мм	ВК8В	ВК8В	ВК15	ВК15	30	3000
		ВК15	ВК15	—	—	25	1500
		ВК20	ВК25	—	—	20	1000
Пробивные и вырубные для прямоугольных пластин	Сталь 45 толщиной до 4 мм	ВК15	ВК20	ВК20	ВК25	10	500
Вырубные сложной формы (листы статора, ротора, пластины трансформаторов)	Электротехническая сталь толщиной до 0,5 мм	ВК15	ВК20	ВК20	ВК25	10	500

при общей стойкости штампа 20—60 млн. деталей. Стоимость небольших твердосплавных вырубных штампов в пять раз превышает стоимость стальных штампов вследствие высокой трудоемкости изготовления и доводки рабочих частей из твердых сплавов.

Штампы с твердосплавными рабочими частями делают более прочными и жесткими, применяя массивные блоки с плавающими хвостовиком, четырьмя направляющими колонками и удлиненными втулками.

На рис. 331 изображены различные способы крепления твердосплавных вставок и вырубных и вытяжных штампов. Кроме механического крепления вставок применяют запрессовку или припайку сплавом НИАТ-23 (температура плавления 100° С).

На рис. 332 приведены различные способы крепления твердосплавных вставок в матрицах.

Твердосплавные вставные матрицы успешно применяются в небольших вытяжных штампах, а также в штампах для холодного выдавливания. В этих случаях они запрессовываются в обойму с большим натягом, что создает остаточные напряжения обратного знака по отношению к рабочим напряжениям.

Стойкость небольших вытяжных штампов из твердых сплавов при штамповке тонколистового материала достигает десятка миллионов деталей без зачистки и исправлений.

Одной из новинок в области твердых сплавов является разработка и применение титано-карбидного твердого сплава (композита) на железной основе, получившего название „Ferro-TiC“ фирма „Хромаллойкорпорейшен“ (США).

Основой является хромомолибденовая сталь с присадкой 30% карбида титана. Этот материал подвергается термической обработке до твердости HRC 68—72 и вполне заменяет вольфрам-карбидные твердые сплавы ВК15, ВК20 (табл. 205).

По зарубежным данным, режущие части, изготовленные из Ferro-TiC „С“, обладают высокой стойкостью; при штамповке листов из кремнистой стали выдерживают 300 000 деталей до перешлифовки, а при штамповке деталей из малоуглеродистой стали — до 2 000 000 деталей.

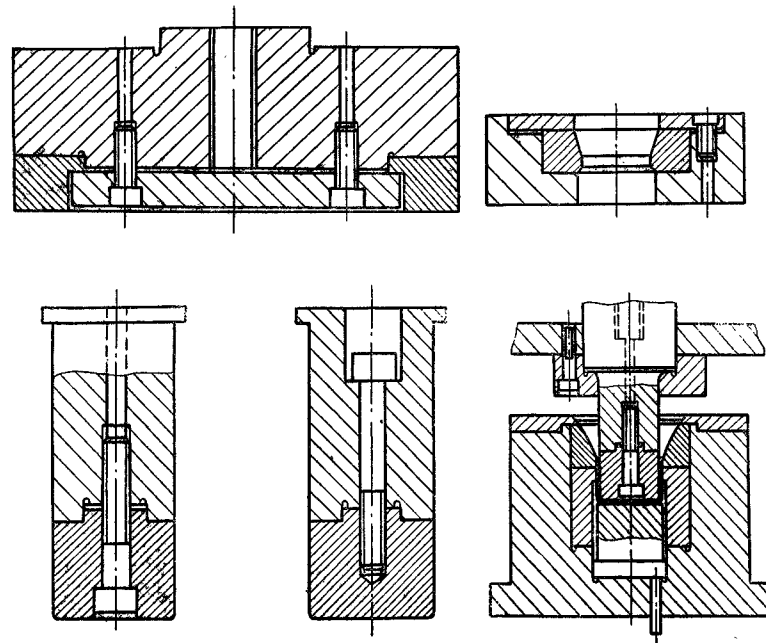


Рис. 331. Различные способы крепления твердосплавных вставок

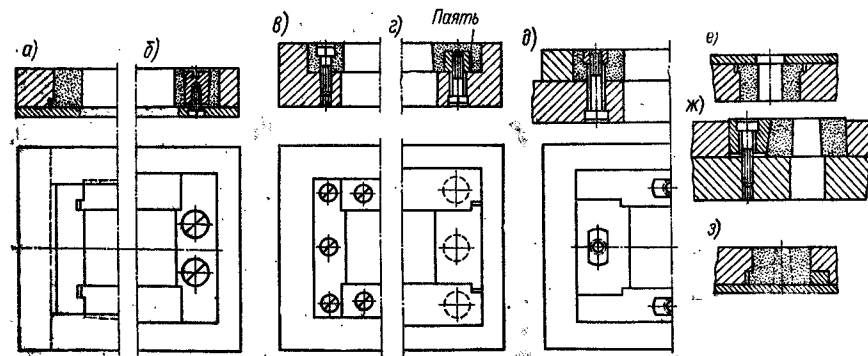


Рис. 332. Способы крепления твердосплавных вставок в матрицах: а — буртиком; б — клиновидной пробкой; в — винтами; г — заплевками; ж — клиновидные детали медленно охлаждаются вместе с печью. О новом процессе двойного азотирования штампов — до и после термической обработки было указано выше.

Вопрос о повышении „качественной“ стойкости штампов имеет значение не только для вырубных, но и для вытяжных работ, так как в ряде случаев царапины и задиры появляются после штамповки 500—1000 деталей, вследствие чего требуется остановка прессы и зачистка штампа.

С целью повышения износоустойчивости и предотвращения царапин и задиры при глубокой вытяжке применяют следующие материалы для изготовления рабочих частей вытяжных штампов:

1) для крупных вытяжных штампов — специальные хромоникелевые чугуны;

2) для вытяжных штампов средних размеров, а также для гибочных, формовочных и других штампов — графитизированную сталь марок ЭИ293 и ЭИ366. Графитовые включения, образующиеся в процессе отжига этой стали, повышают ее антифрикционные свойства и износоустойчивость;

3) для мелких вытяжных матриц — твердые сплавы (ВК8, ВК15), обладающие большой износоустойчивостью (в десятки раз больше углеродистой стали) и невосприимчивостью к налипанию частиц металла.

Хорошими способами повышения износоустойчивости являются хромирование, азотирование и силицирование пуансонов и матриц вытяжных, гибочных и других штампов, а также электронно-лучевой способ упрочнения поверхности вырубных штампов.

Электролитическое хромирование применяется с целью повышения поверхностей твердости и сопротивления износу пуансонов и матриц.

В ряде случаев применяется размерное хромирование небольших вытяжных пуансонов и матриц, имеющее целью восстановление их размеров после износа. Детали штампов, подлежащие хромированию, предварительно термически обрабатываются до требуемой твердости и подвергаются окончательной механической обработке (шлифование, полирование или электрополирование). Размеры после механической обработки должны учитывать толщину наносимого слоя хрома. Толщина хромового покрытия выбирается в зависимости от условий эксплуатации от 0,01 до 0,06 мм. Хромовое покрытие обычно наносится непосредственно на сталь без подслоя меди и никеля.

Азотирование вытяжных и гибочных пуансонов и матриц повышает их поверхностную твердость и износоустойчивость. Процесс азотирования заключается в насыщении поверхностного слоя стали азотом с образованием нитридов, имеющих весьма высокую твердость. Поверхностная твердость после азотирования составляет 800—1150 единиц по Виккерсу. Процесс азотирования протекает успешнее в случае изготовления штампов из стали марки Х12М.

Азотирование производится в специальных электрических или газовых муфельных печах при 500—600° С в среде диссоциированного аммиака, поступающего в печь из баллона. Выдержка деталей в печи зависит от требуемой глубины азотированного слоя (при глубине 0,2—0,3 мм выдержка 42—48 ч). По окончании процесса азотированные детали медленно охлаждаются вместе с печью. О новом процессе двойного азотирования штампов — до и после термической обработки было указано выше.

Электронно-лучевой способ упрочнения поверхности штампов основан на использовании процесса электрической эрозии металлов, заключающегося в выбросе

205. Физико-механические свойства сплава Ferro—TiC [193]

Свойства	Состояние сплава	
	после отжига (для обработки резаньем)	после закалки с отпуском 200° С
Плотность, г/см ³	6,64	6,64
Твердость, HRC	38—42	68—72
Сопротивление разрыву, кгс/мм ²	180—190	190—200
Сопротивление сжатию, кгс/мм ²	130—150	390—400
Сопротивление изгибу, кгс/мм ²	89—90	120—130

материала электрода под действием электрического разряда, переносе его через искровой промежуток и отложении на упрочняемой поверхности. В результате электроискровой обработки происходит изменение структуры, повышение твердости и износоустойчивости поверхностного слоя упрочняемого изделия.

Физическая природа электроискрового упрочнения изучена еще недостаточно полно. Установлено, что при упрочнении стали твердым сплавом Т15К6 на упрочняемой поверхности образуется белый слой, в котором обнаружены карбиды вольфрама, карбиды титана и нитриды железа. Микротвердость этого слоя в несколько раз выше микротвердости исходной стали. Толщина слоя находится в пределах 0,05—0,1 мм.

Недостатками этого способа являются шероховатость и неравномерность по толщине поверхностного слоя, недопустимые для вытяжных штампов. Эти недостатки устраняются путем доводки, производимой чугунными притирами с 40-процентной пастой карбида бора.

В качестве наносимого материала (материала электрода) обычно применяются стандартные пластинки твердого сплава Т15К6 и Т30К4, а также графитовые электроды марок ЭГ2 и ЭГ4 (электрошпечки). Процесс упрочнения ведется на разных режимах в зависимости от требуемой толщины слоя и шероховатости поверхности.

Для электроискрового упрочнения применяются установки различной конструкции, состоящие из двух частей: питающего устройства, оформленного большей частью в виде переносного аппарата; электроискрового вибратора электромагнитного действия, вызывающего вибрации электрода, необходимые для получения частых разрывов и замыканий цепи разрядного контура.

ГЛАВА III

ТИПОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ШТАМПОВ ХОЛОДНОЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

В листоштамповочных цехах применяется большое количество штампов самых разнообразных типов и конструкций. Свести все многообразие конструкций штампов к ограниченному количеству типовых представителей весьма затруднительно.

В классификации операций (рис. 1) и в табл. 165 и 166 приведено подразделение основных типов однооперационных, совмещенных и последовательных штампов по технологическим признакам. Однако различие по техническим параметрам изделий (толщина, габариты, степень точности и сложность контура детали) приводит к необходимости применять штампы разных конструкций. Кроме того, как было указано ранее, выбор конструкции штампа в значительной степени предопределяется вопросами экономической эффективности. Штампы для мелкосерийного производства конструктивно резко отличаются от штампов крупносерийного и массового производства.

Ниже приведены основные типы штампов, характеризующиеся выполняемым технологическим процессом. В основном эти штампы предназначены для крупносерийного производства.

Некоторые типы штампов (зачистные, гидравлические, резиновые, листовые и др.) рассмотрены в соответствующих разделах справочника и здесь не приводятся.

10. ТИПОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ШТАМПОВ (ПРОСТОГО, ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО И СОВМЕЩЕННОГО ДЕЙСТВИЯ)

Т и п I. На рис. 333 показан типовой вырубной штамп для штамповки деталей различной конфигурации. Основой конструкции штампа является стандартный блок с направляющими колонками. Заднее расположение направляющих колонок позволяет вести работу с ручной подачей полосы (справа — и влево). Более уравнове-

ненным является блок с диагональным расположением направляющих колонок. Конструкция штампа предельно проста. Рабочие части штампа пуансон 1 и матрица 3 непосредственно прикрепляются к верхней и нижней плите. Вырубка происходит „на провал“ через отверстие в матрице и нижней плите. Для съема отхода с пуансона и матрицы установлен жесткий съемник 2. Пластина 4 служит для поддержания подаваемой полосы. С целью увеличения производительности штамповки, штамп снабжен автоматическим качающимся упором 5.

Т и п 2. На рис. 334 приведена конструкция штампа для вырубки крупных заготовок. В данном случае рабочие части штампа пуансон и матрица сделаны из со-

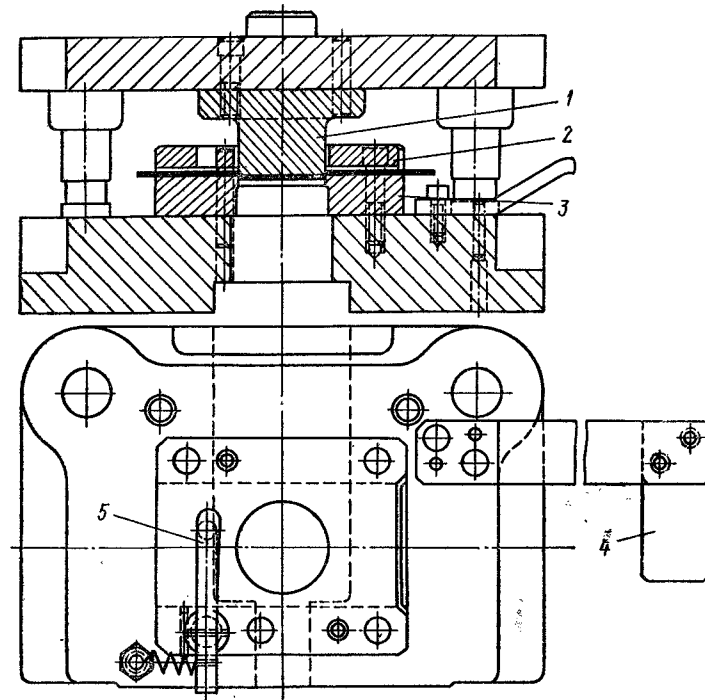


Рис. 333. Типовой вырубной штамп

ставных секций 1 и 2. Секции пуансона смонтированы непосредственно на верхней плите, а секции матрицы — на матричной плите 3. Так как секции работают в условиях одностороннего реза, то для противодействия их смещению установлены специальные противоотжимы. Съем отхода с пуансона производится пружинящим выталкивателем 5. Нижние пружинные штифты 6 поднимают заготовку на 10 мм над поверхностью штампа. Установка штампа на пресс производится по ограничителям хода 7.

Т и п 3 и 4. На рис. 335 приведены штампы последовательного действия для различной серийности производства. На рис. 335, а показан типовой последовательный штамп для серийного производства с ручной подачей полосового или рулонного материала. Штамп снабжен автоматическим качающимся упором.

На рис. 335, б показан аналогичный последовательный штамп для массового производства. Подача ленты автоматическая, без упора, но с фиксацией ленты ловителями, Пуансоны снабжены пружинящими „отлипателями“, предохраняющими от

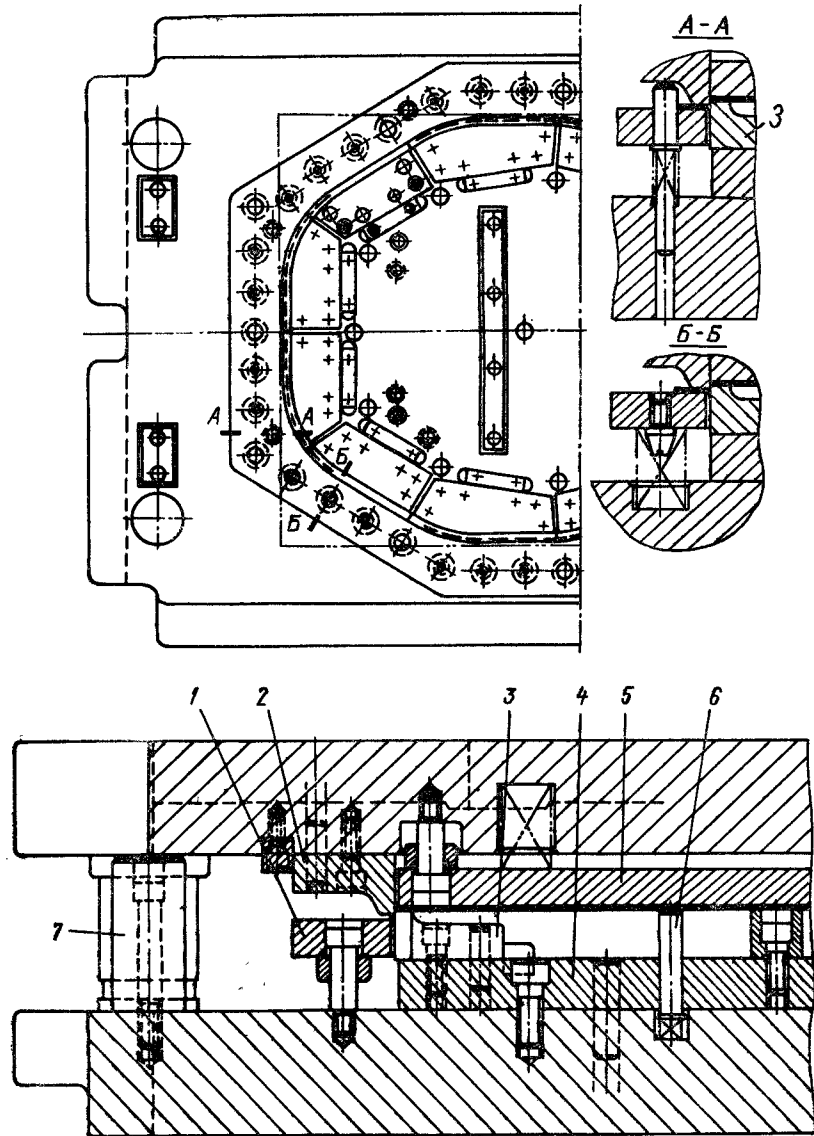


Рис. 334. Вырубной штамп для крупных деталей с секционным пуансоном и матрицей

прилипания детали к торцу пуансона. Целесообразнее применить хвостовик „плавающего“ типа.

Тип 5. В ряде случаев вырубка детали по всему контуру не обязательна. На рис. 336, а показан штамп последовательного действия, выполняющий пробивку

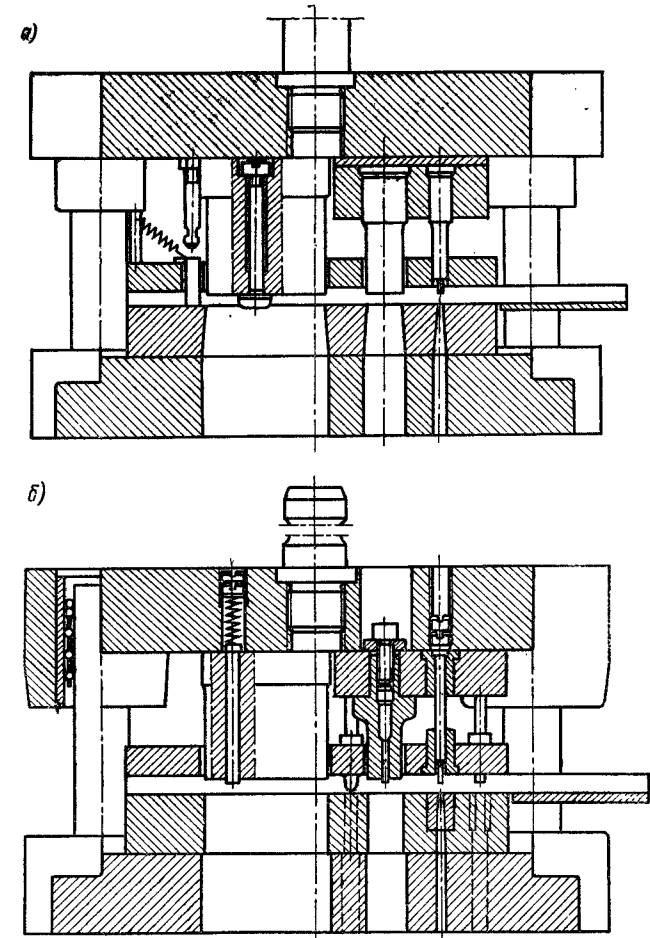


Рис. 335. Типовые последовательные штампы

отверстий и вырезку фигурной перемычки, оформляющей одновременно конец левой и начало правой детали (рис. 336, б), который подается до упора.

Штамп выполнен на блоке с задним расположением направляющих колонок. Отрезной и пробивные пуансоны запрессованы в пуансонодержатель 1, прикрепляемый к верхней плите штампа. Матрица 3 может быть выполнена как целой, так и разрезной с целью облегчения изготовления. На жестком съемнике 2 установлена планка для упора.

Тип 6. На рис. 337, а приведен штамп последовательного действия для изготовления пластин с отверстиями (рис. 337, б). За каждый рабочий ход изготавливается по две пластины. Одна из них проваливается в отверстие матрицы, а вторая отрезается

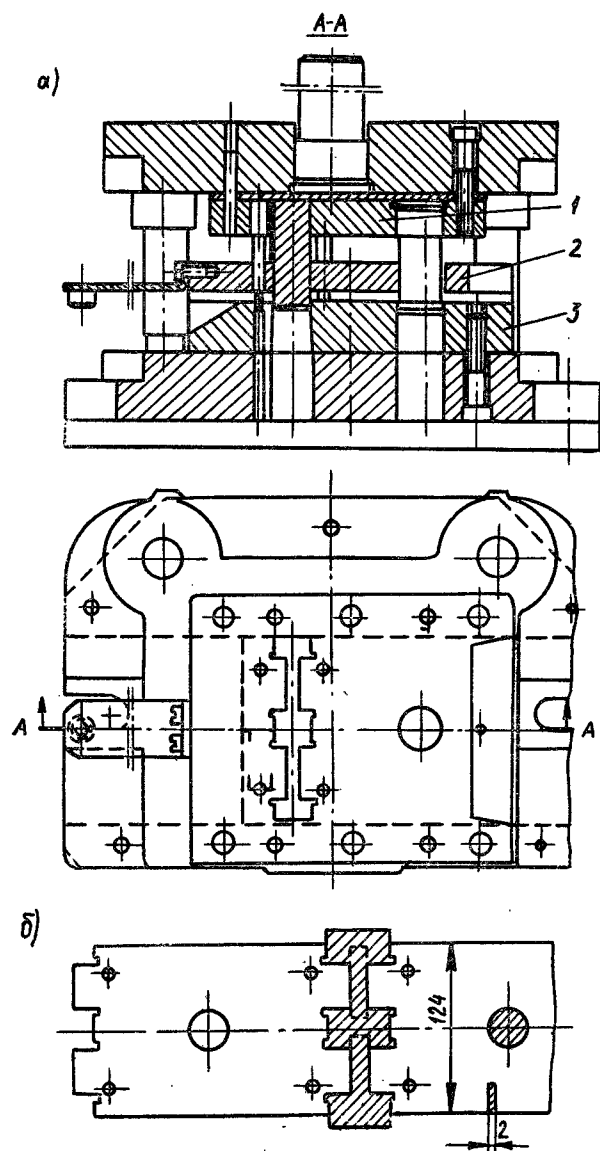


Рис. 336. Последовательно-отрезной штамп

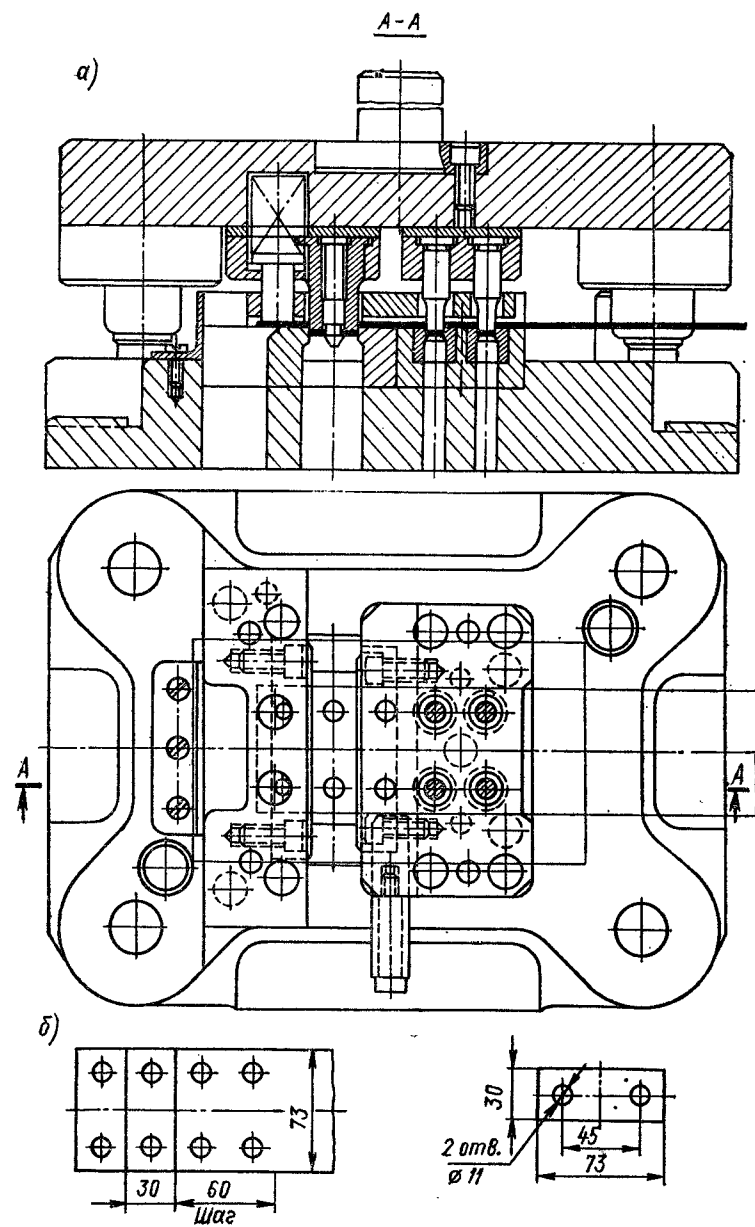


Рис. 337. Последовательный штамп для пробивки и отрезки (по 2 шт. за рабочий ход)

и по скосу скользит в соседнее провальное отверстие. Штамп предназначен для штамповки из ленты на прессе-автомате, снабженном механизмом для автоматической подачи материала.

Блок штампа с четырьмя направляющими колонками может быть заменен блоком с диагональным расположением колонок.

Пробивные круглые пуансоны монтируются в отдельном пуансонодержателе от вырезного пуансона. Сменные цилиндрические матрицы запрессованы в отдельный

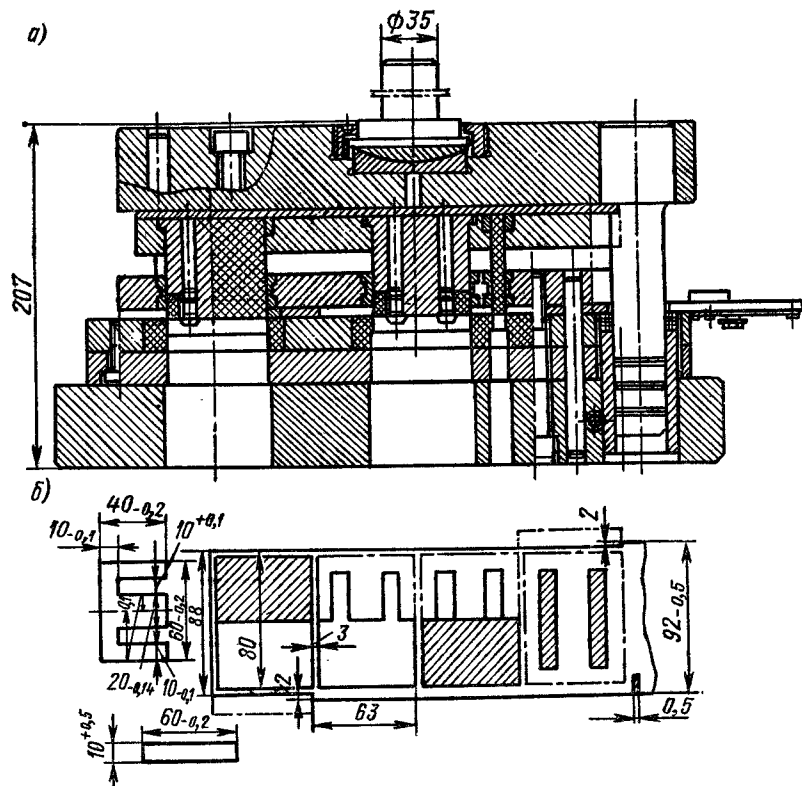


Рис. 338. Последовательный штамп с твердосплавными вставками (а) для пластин трансформатора (б)

матрицедержатель. Детали и отходы удаляются „на провал“, но направляются в различную тару.

Тип 7. На рис. 338 показан последовательный штамп с твердосплавными вставками для штамповки пластин трансформатора. За каждый ход пресса вырубается две Ш-образные и две замыкающие пластины.

Твердосплавные вставки припаяны сплавом НИАТ-23 (50% Вi; 32% Рb; 15% Sn; 5% Sb). Блок штампа с четырьмя направляющими колонками, две из которых имеют обратное направление, и с „плавающим“ хвостовиком. Пуансоны закреплены в пуансонодержателе заливкой стиракрилом. Им же залиты отверстия в направляющей плите-съемнике. Детали удаляются „на провал“ через отверстие в матрице и нижней плите.

Тип 8. На рис. 339, а приведена конструкция многопозиционного штампа последовательного действия для изготовления электротехнической детали весьма

сложной конфигурации. Штамповка происходит последовательно на пяти позициях 1—5 (рис. 339, б).

Штамп представляет собой прецизионный блок с четырьмя направляющими колонками, по которым направляется и верхняя плита, и съемник — направляющая пуансонов. Направляющие колонки и втулки имеют шариковые направления, выполненные по 1-му классу точности. Профильные пуансоны подогнаны по профильной матрице и залиты в пуансонодержателе и направляющей стиракрилом. Под

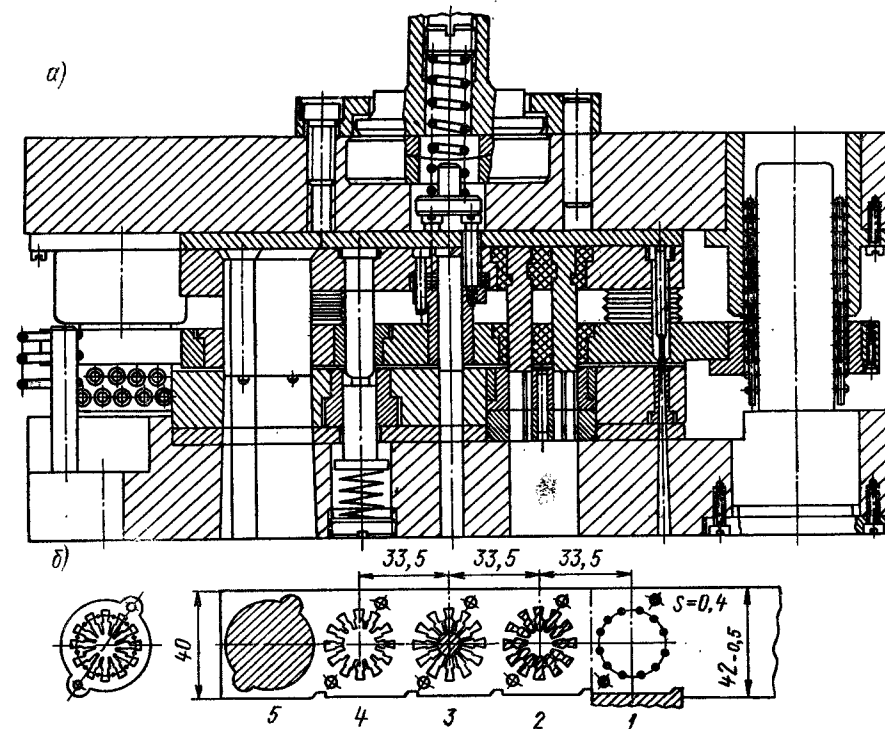


Рис. 339. Многопозиционный штамп последовательного действия (а). деталь и схема последовательности штамповки (б)

головки пуансонов и матриц подложены стальные закаленные прокладки, воспринимающие давление.

Ввиду малой толщины материала и малого зазора между режущими кромками штамп снабжен самоустанавливающимся „плавающим“ хвостовиком, освобождающим штамп от погрешностей пресса.

Для повышения стойкости штампа пробивные пуансоны и матрицы на первой позиции, а также фигурные пуансоны и матрицы на второй позиции рекомендуется изготавливать из твердого сплава ВК20.

Штамп может работать как при ручной подаче, так и при автоматической подаче ленты. Готовая деталь и отходы удаляются „на провал“, что способствует высокой производительности штампа.

Тип 9. На рис. 340 приведена типовая конструкция штампа совмещенного действия для вырубki крупных шайб, дисков с отверстиями и т. п. Для штампа использован стандартный блок с направляющими колонками.

В верхней части штампа установлен в пуансонодержателе 1 центральный пуансон 2. К тому же пуансонодержателю прикреплена вырубная матрица 3 посредством

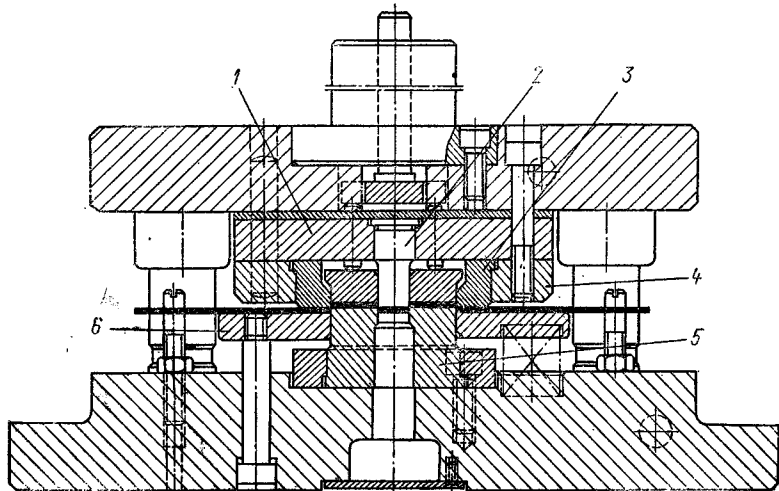


Рис. 340. Типовая конструкция штампа совмещенного действия для изготовления кольцевых деталей

обоймы 4, жестко соединенной с верхней плитой штампа. К нижней плите прикреплен пуансон-матрица 5. Отход полосы снимается с пуансон-матрицы подпружиненным съемником 6, а отштампованная деталь выталкивается из верхней матрицы выталкивателем, действующим в верхнем положении штампа от поперечины ползуна пресса.

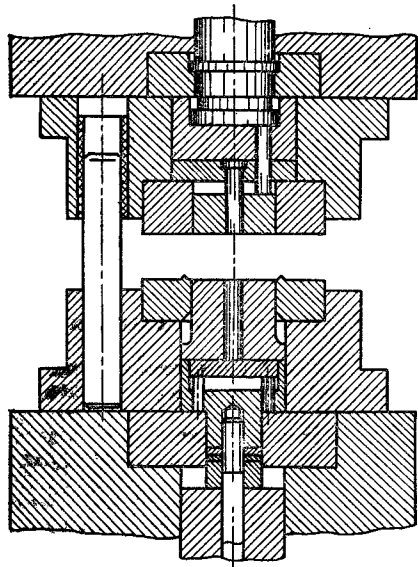


Рис. 341. Штамп для чистой вырубки для прессы тройного действия (с подвижным пуансоном)

На рис. 341 показан типовой штамп для чистой вырубки и пробивки. Штамп предназначен для гидравлического прессы тройного действия с нижним ходом. Это наиболее распространенная конструкция штампа с подвижным пуансоном.

Последовательность работы штампа была приведена на рис. 21.

Фирма „Файнтул“ выпускает универсальные блоки штампа с нормализованными заготовками сменных рабочих частей. Благодаря этому уменьшаются расходы на штампы и значительно сокращается время их перестановки.

Тип 10. На рис. 342 показан совмещенный штамп с твердосплавными рабочими частями, применяемый в массовом производстве.

Штамп смонтирован на блоке с четырьмя прецизионными направляющими колонками с шариковым направлением. Конструкция штампа обуславливается сложностью контура детали. Рабочие части

штампа следующие: матрица 3, служащая для вырезки наружного контура; пуансоны 1, служащие для пробивки пазов детали и залитые легкоплавким сплавом 2 в пуансонодержателе; пуансон-матрица 4, являющаяся пуансоном для наружного контура и матрицей для пробивки пазов отверстия. Все эти рабочие части изго-

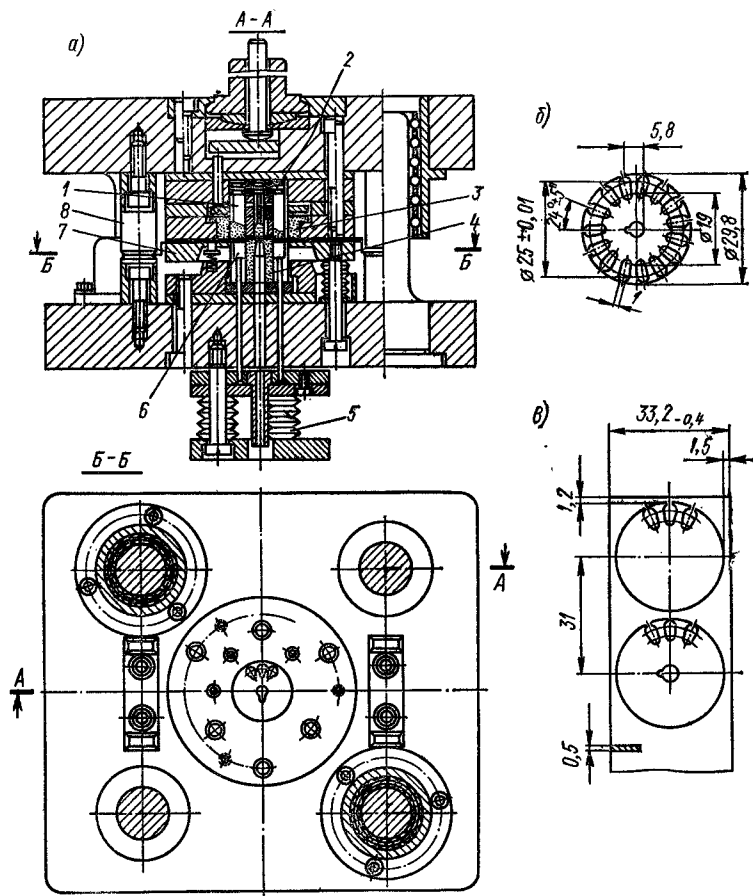


Рис. 342. Вырубной совмещенный штамп с твердосплавными рабочими частями: а — конструкция штампа; б — штампуемая деталь; в — раскрой полосы

товлены из твердого сплава ВК-20. Прижим отходов осуществляется сильным буфером из тарельчатых пружин 5 при помощи толкателей 6. Съем полосы с пуансон-матрицы производится подпружиненным съемником 7. Выталкивание детали из верхней части штампа осуществляется жестким выталкивателем, действующим от поперечной планки прессы.

Установка штампа на прессе (по закрытой высоте) производится по ограничителям хода 8.

11. ТИПОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ФОРМОИЗМЕНЯЮЩИХ ШТАМПОВ (ГИБОЧНЫЕ, ВЫТЯЖНЫЕ, КОМБИНИРОВАННЫЕ)

Тип 11. В качестве простого гибочного штампа приводим конструкцию штампа для гибки скоб (рис. 343). Штамп снабжен направляющими колонками. Пуансон 1 (рис. 343, а) прикреплен к верхней плите. Матрица выполнена в виде двух секций 2, врезанных в углошечную нижнюю плиту. Согнутая деталь (рис. 343, б) снимается с пуансона съемником 3. Гибка производится с прижимом к выталкивателю 4, при глухом калибрующем ударе. Установка заготовки производится вручную по упорам, что является существенным недостатком данного штампа. Мелкие скобы и угольники в крупносерийном производстве обычно изготавливают на последовательно-гибочных штампах.

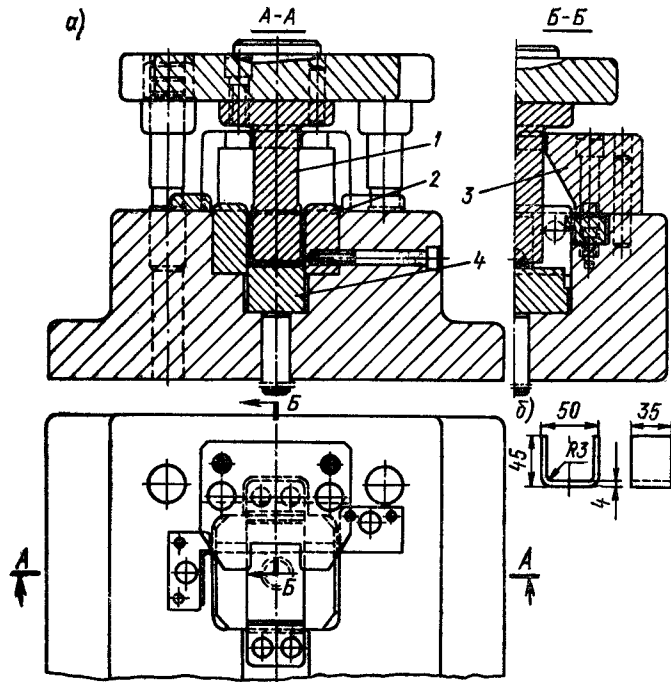


Рис. 343. Штамп для двухугловой гибки с прижимом

Тип 12. На рис. 344, а приведена конструкция гибочного штампа для гибки полок (рис. 344, б) в противоположных направлениях. Вначале производится гибка правой полки пуансоном 2 на прижиме-выталкивателе 3, пружинным нижним буфером 4. После сжатия пружины верхнего выталкивателя 1, последний отжимает прижим 3 вниз и производит гибку левой полки. По окончании работы деталь выталкивается на поверхность штампа.

Фиксация заготовки производится вручную по трафаретам, установленным на поверхности матрицы, что является недостатком данного штампа.

Тип 13. На рис. 345, а представлен многопозиционный штамп для изготовления гнутых деталей на прессе с автоматической подачей в массовом производстве. Одновременно штампуются две детали на всех переходах (1—13). Последовательность штамповки по переходам приведена на рис. 345, в.

Штамп смонтирован на блоке с четырьмя направляющими колонками. Матрица сделана составной, впрессованной в наружную обойму. На последней позиции деталь нижнего ряда отрезается угловым пуансоном и скатывается по скосу плиты вниз, а деталь верхнего ряда отрезается от соседней и также скатывается вниз. Готовые детали сдуваются сжатым воздухом со стола прессы в тару.

Тип 14. На рис. 346 приведена конструкция вытяжного штампа для прессы двойного действия. К внутреннему ползуну прессы прикрепляется (через промежуточную деталь) вытяжной пуансон 1. К наружному ползуну прикрепляется прижим 2, прижимающий плоскую заготовку к поверхности вытяжной матрицы 3. Вытяжная деталь выталкивается из матрицы выталкивателем 4, действующим от буфера. С пуансона деталь снимается прижимом 2.

При небольших размерах штампуемых деталей вытяжка может производиться „на провал“.

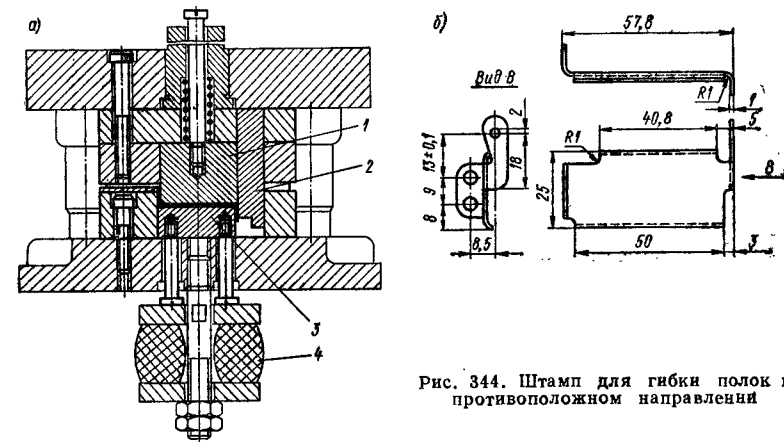


Рис. 344. Штамп для гибки полок в противоположном направлении

Для данного штампа необходимы предварительно вырубленные (или вырезанные на дисковых ножницах) круглые заготовки. В массовом производстве стремятся обойтись без заготовительной операции и вырубку производят на том же штампе, используя прижим как вырубной пуансон.

Тип 15. На рис. 347 приведен штамп для последующей вытяжки на кривошипном прессе. Особенностью данного штампа является то, что вытяжной пуансон 1 установлен на нижней плите, а вытяжная матрица 2 — на верхней. У пуансона расположено цилиндрическое прижимное кольцо 3, действующее от нижнего буфера. В исходном положении заготовка надевается на это кольцо (см. штриховую линию). По окончании вытяжки это же кольцо снимет деталь с пуансона, а верхний прирудительный выталкиватель выбросит ее из матрицы.

Тип 16. На рис. 348 показан комбинированный штамп для одновременной вырезки заготовки и вытяжки кожуха с фланцем. Штамп предназначен для кривошипного прессы простого действия.

Вырубная матрица 1 и вытяжной пуансон 3 врезаны и прикреплены к нижней плите штампа. Матрица-пуансон 4, служащая вырубным пуансоном и вытяжной матрицей, прикреплена к верхней плите. Необходимый для вытяжки прижим создается прижимным кольцом 2, действующим от нижнего буфера.

Снятие отхода с пуансона-матрицы производится пружинным съемником. Выталкивание детали осуществляется выталкивателем 5 прирудительного действия (от планки прессы).

Существует большое количество комбинированных штампов совмещенного действия, совмещающих вытяжку с различными операциями. Здесь их мы не рассматриваем.

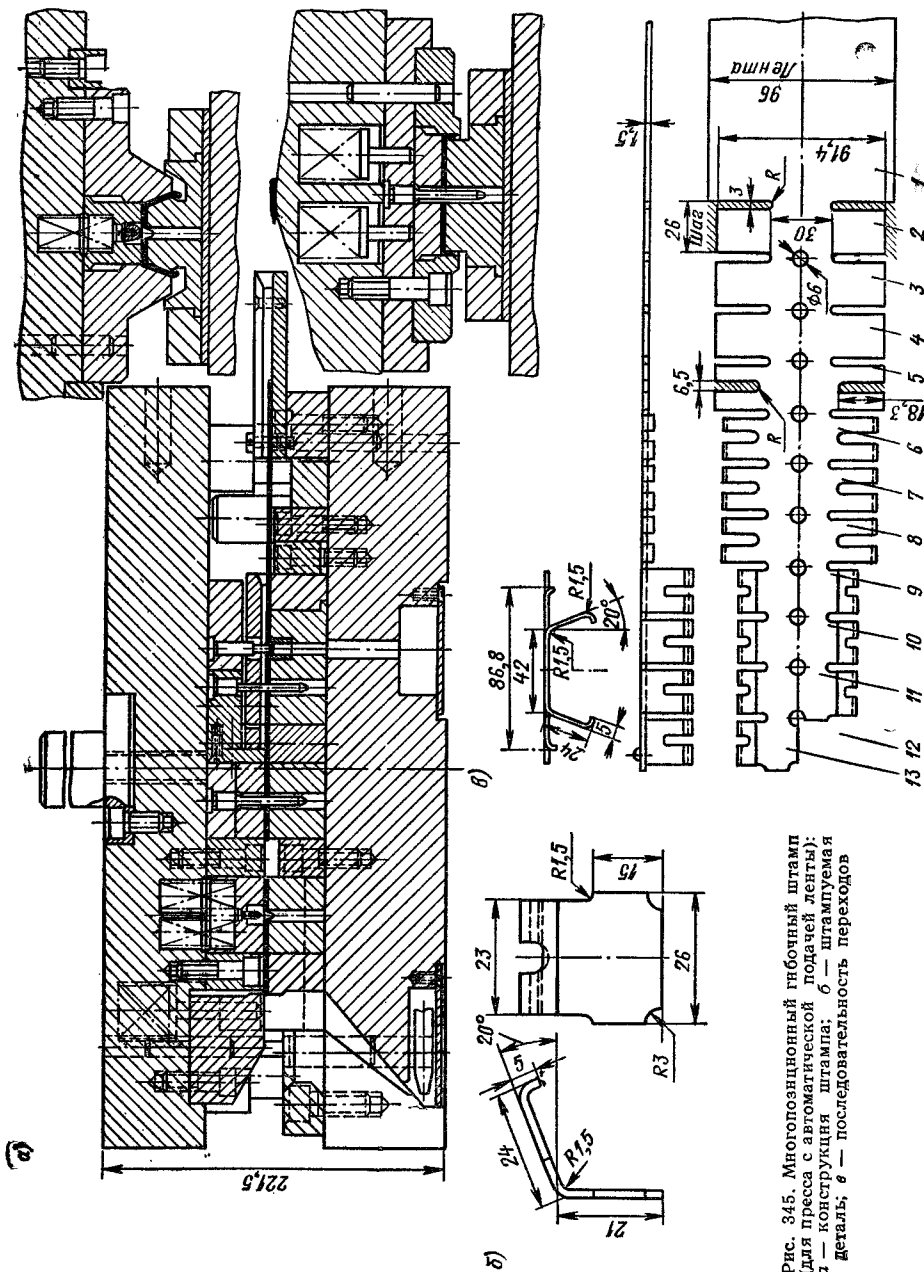


Рис. 345. Многопозиционный гибочный штамп (для прессы с автоматической подачей ленты): а — конструкция штампа; б — штампуемая деталь; в — последовательность переходов

Т и п 17. На рис. 349 показан вытяжной штамп (1-й вытяжки) для многопозиционного прессы-автомата (с грейферной автоматической подачей).

Особенностью штампов для многопозиционных прессов является требование одинаковой высоты и ровной поверхности нижних блоков и штампов, иначе автоматическая передача заготовок с позиции на позицию не осуществима.

Все штампы для данного типа прессов имеют стандартные блоки одинаковой высоты и ширины, а также стандартные гнезда и головки верхней части штампов.

Другим условием беспрепятственной автоматической передачи заготовок является необходимость устойчивого положения полуфабриката на поверхности штампов. В результате этого все детали вытягиваются дном кверху. При этом форма или выпуклость дна никакого влияния на ход процесса не имеет,

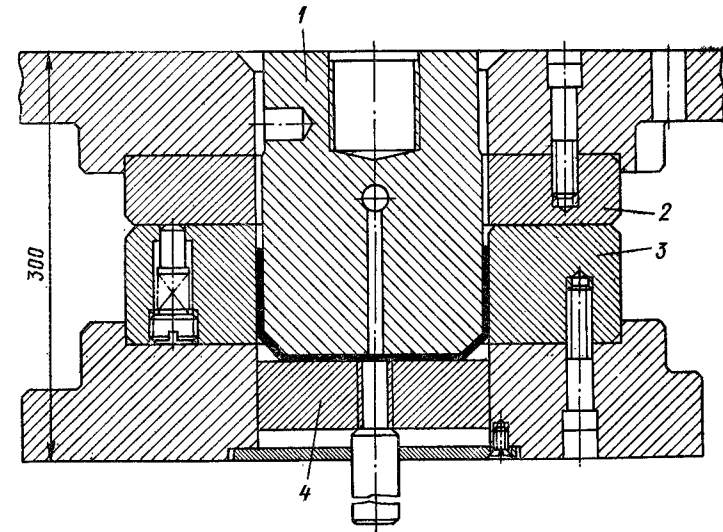


Рис. 346. Вытяжной штамп для прессы двойного действия

Отсюда вытекают особенности конструкции рассматриваемого вытяжного штампа. Вытяжной пуансон установлен в гнезде нижнего блока, а вытяжная матрица — верхней части штампа.

Как правило производится вытяжка деталей с небольшим фланцем. Коэффициенты вытяжки обычно берутся несколько смягченными. Необходимый прижим заготовки создается пружинным или пневматическим буфером, действующим на прижимное кольцо. В полость вытяжной матрицы входит подпружиненный прижим-выталкиватель, снабженный особым отлителем.

На последующих позициях вытяжки зачастую применяются двойные буфера: один — для фиксации заготовки на утопленный цилиндрический фиксатор-прижим, а второй — для создания прижима в процессе вытяжки.

Т и п 18. На рис. 350, а изображен многопозиционный последовательно вытяжной штамп для вытяжки мелких деталей (рис. 350, б), работающий с автоматической подачей ленты. Блок штампа имеет четыре направляющих колонки. Матрица сделана составной и состоит из следующих секций: вырубной 1, блока вытяжных матриц 2 и надрезной. Прижим материала во время вытяжки и съем с пуансонов осуществляются индивидуальными съемниками 5. Для осуществления подачи лента поднимается подъемными направляющими линейками 3, опускаемыми при рабочем ходе вниз толкачами 4. Вырубной пуансон 6, а также пробивной и надрезной пуансоны регулируются по высоте (после перешлифовки) посредством резьбовых пробок 7. Высота пуансонов отрегулирована таким образом, что вначале происходит вытяжка на

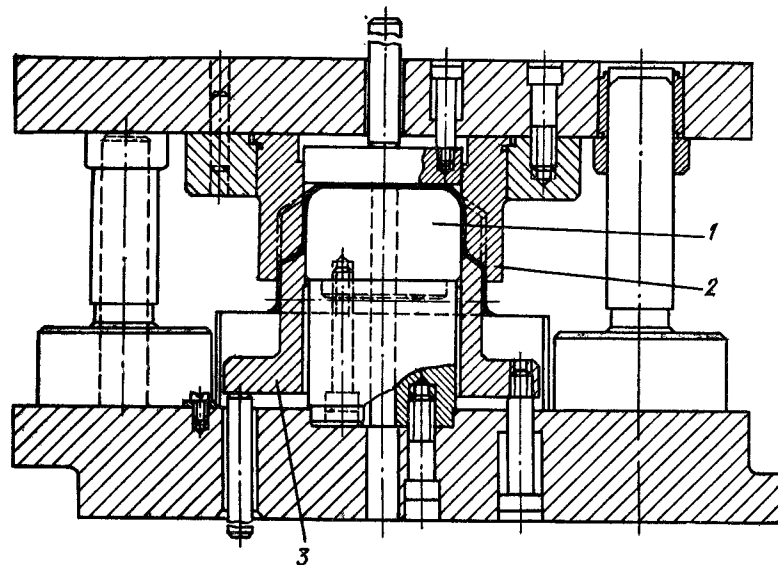


Рис. 347. Штамп для последующей вытяжки на кривошипном прессе

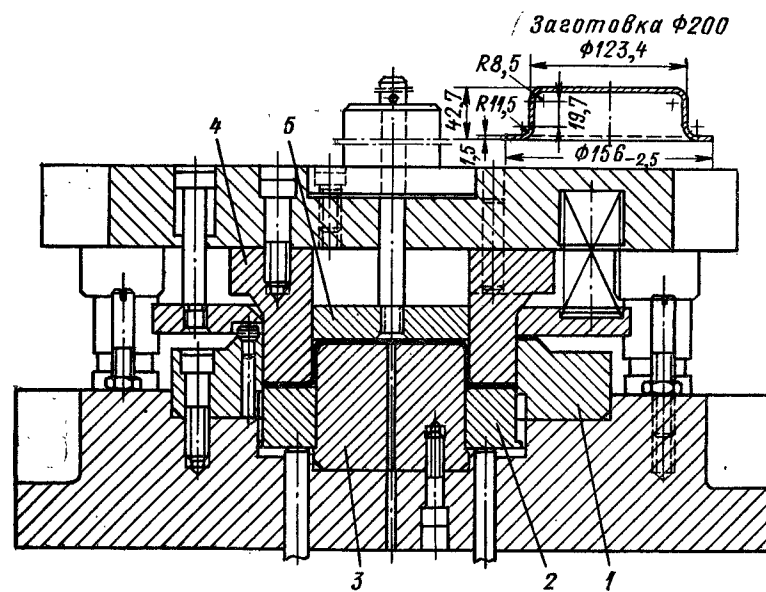


Рис. 348. Комбинированный штамп для одновременной вырубкн и вытяжки

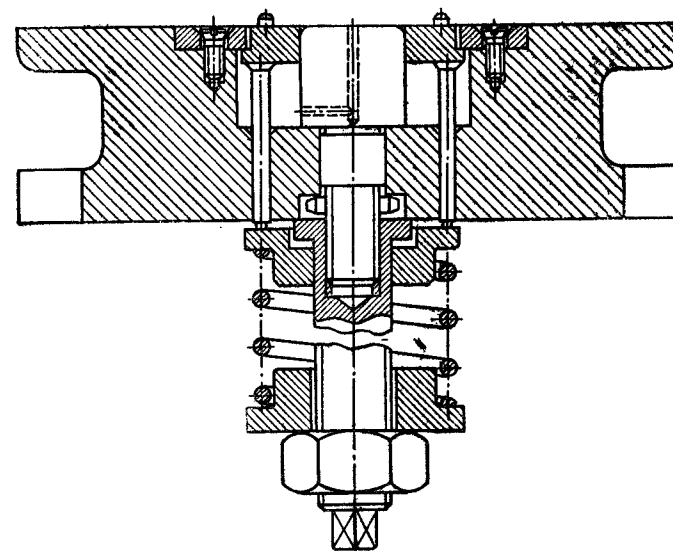
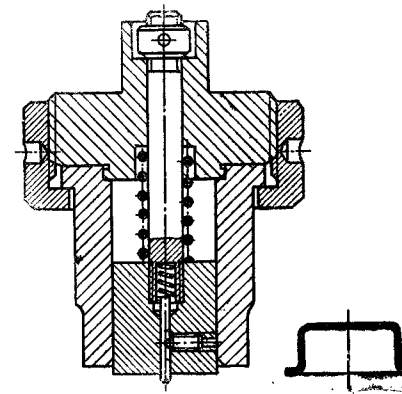


Рис. 349. Вытяжной штамп для многопозиционного пресса-автомата

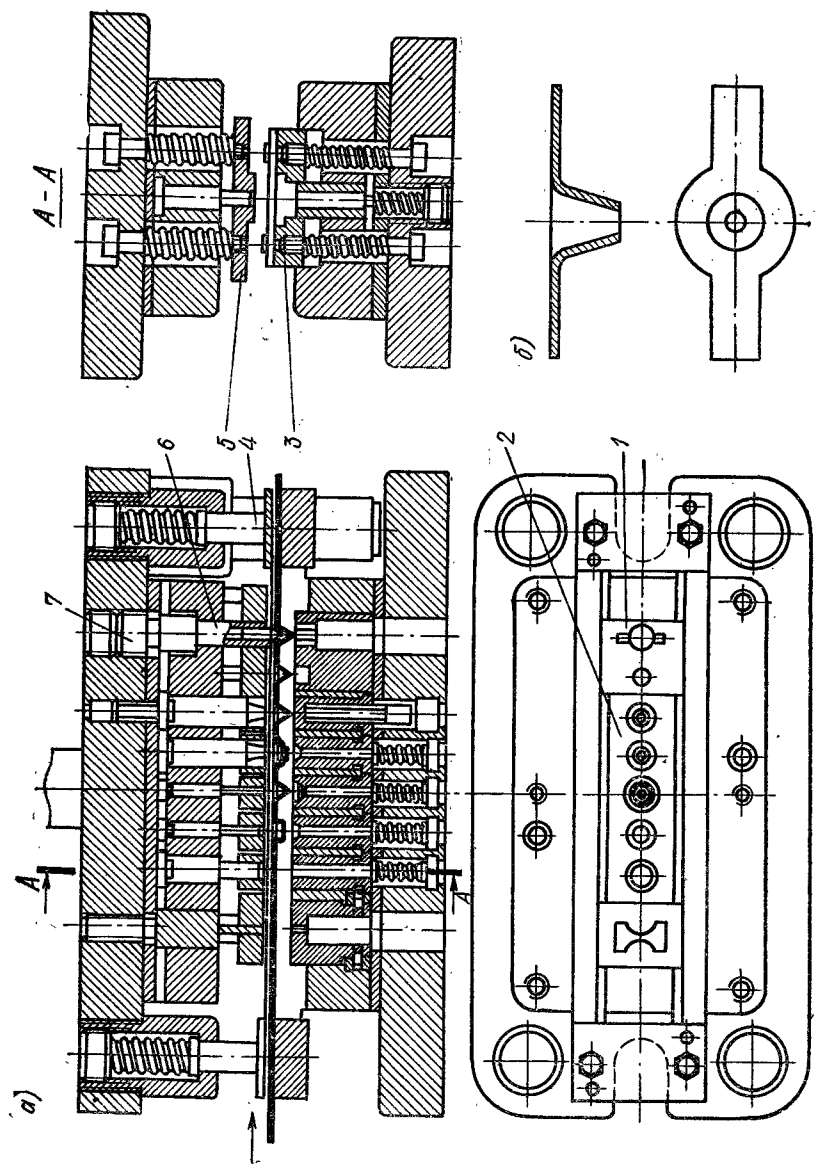


Рис. 350. Многопозиционный (последовательный) штамп для вытяжки мелких деталей, работающий с автоматической подачей ленты

вытяжных позициях, а в конце хода производится нарезка, пробивка, вырубка наружного контура и калибровка фланца.

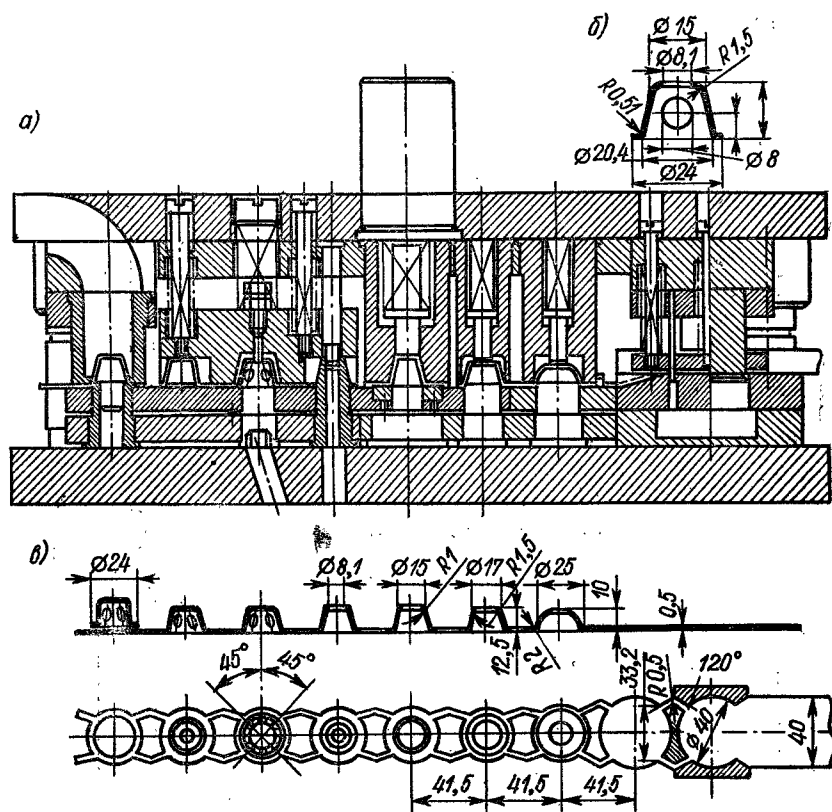


Рис. 351. Многопозиционный (последовательный) вытяжной штамп для вытяжки колпачка с отверстиями

На рис. 351, а показан многопозиционный последовательный штамп для вытяжки колпачка. Форма и размеры колпачка (рис. 350, б) не являются типовыми, а приведены для ориентации. Последовательность штамповки показана на рис. 351, в. Особенность данного штампа заключается в том, что вытяжка колпачков производится дном вверх. Вытяжные пуансоны установлены в нижней части штампа, а вытяжные матрицы — в верхней. Это облегчает ручную фиксацию ленты на пуансоны. Удаление готовых деталей производится через трубку в верхней части штампа. Как правило, такие штампы делаются с четырьмя направляющими колонками.

ГЛАВА IV

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТЫ
ШТАМПОВ НА ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ

12. ПОРЯДОК И ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Конструкция штампа должна полностью отвечать требованиям технологического процесса в отношении получения требуемой формы и точности штампуемой детали, должна обеспечить необходимую производительность и безопасность работы, а также должна быть технологичной в изготовлении и экономически эффективной для данного масштаба производства.

Этапы и порядок проектирования несколько отличаются друг от друга в зависимости от серийности производства, степени организации подготовки производства, наличия нормалей, типовых конструкций штампов и т. п.

Наличие разработанных типовых конструкций штампов и их узлов, а также нормалей деталей штампов значительно ускоряет и облегчает как проектирование, так и изготовление штампов. В ряде случаев проектирование типовых штампов может вестись по так называемым „слепышам“ — бланк-чертежам типовых конструкций, изготовленным типографским способом на прозрачной бумаге. Способы скоростного проектирования штампов с использованием бланк-чертежей нормализованных разделительных штампов изложены в РТМ 26—61.

На некоторых заводах, обладающих высокой степенью организации подготовки производства, изготовление штампов производится по чертежам общего вида, без детализации их, что значительно сокращает как количество чертежей, так и сроки проектирования штампов. При этом все необходимые размеры, знаки шероховатости поверхности проставляются на чертеже общего вида. Детализуются лишь отдельные наиболее сложные или мелкие детали, которые невозможно изобразить на чертеже общего вида достаточно четко. Этот метод успешно применяется на автомобильных и других заводах, располагающих мощными инструментально-штамповочными цехами.

В радиоэлектронной и аналогичных отраслях промышленности, применяющих мелкие штампы сложной конструкции, рабочие части штампов и некоторые детали требуют детализации, так как их невозможно оформить со всеми размерами, допусками и знаками обработки на чертеже общего вида. Однако в любых случаях следует стремиться к упрощению конструкций, уменьшению объема чертежей и к сокращению срока проектирования штампов.

Проектирование и изготовление штампов весьма облегчается при применении универсальных блоков со сменными пакетными или пластинчатыми штампами.

Общий вид штампа (разрез) выполняется в рабочем положении, предпочтительно в натуральную величину (М 1 : 1). Это обеспечивает наилучшую увязку всех элементов конструкции. На общем виде должна быть вычерчена штампуемая деталь со всеми размерами и техническими указаниями, а также раскрой полосы (ленты).

Рекомендуется вычерчивать две проекции в плане (используя слепыши или трафареты блоков); план нижней и план верхней части штампа.

Правила выполнения чертежей штампов должны соответствовать ГОСТ 2.424—74 „Правила выполнения чертежей штампов листовой штамповки“.

13. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ УЗЛОВ
И ДЕТАЛЕЙ ШТАМПОВ

Основное требование к конструкции штампа — полное соответствие технологическому процессу — может быть выполнено различными конструктивными решениями путем создания конструкций штампов различной степени сложности.

Из ряда возможных конструктивных решений конструктор должен выбрать наиболее целесообразное не только с технологической стороны, но и с точки зрения простоты и удобства изготовления, а также ремонта штампа в процессе эксплуатации.

Иначе говоря, конструкции деталей и узлов штампов должны быть технологичны при их изготовлении и эксплуатации. Кроме того, степень конструктивной сложности и стоимость штампов должны соответствовать масштабу производства.

В крупносерийном производстве от конструкций штампов требуется повышенная надежность в работе и высокая стойкость (длительность службы). В серийном производстве эти требования значительно снижены, а в мелкосерийном — практически невелики. Это кардинально меняет конструкцию штампа. В крупносерийном производстве оправданы массивные штампы повышенной металлоемкости, что обеспечивает надежность и длительность работы.

В серийном, а тем более в мелкосерийном производстве требуется максимальное снижение металлоемкости и массы штампа, следовательно, должны быть применены другие конструктивные решения. По иному решаются вопросы взаимного соединения и крепления деталей штампов. В крупносерийном производстве довольно распрост-

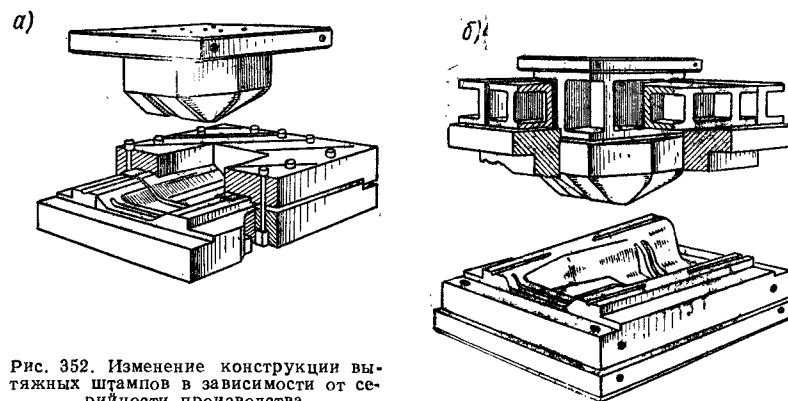


Рис. 352. Изменение конструкции вытяжных штампов в зависимости от серийности производства

ранена врезка рабочих или держащих деталей в плиты, установка врезных шпонок и др. В штампах серийного и мелкосерийного производства это нецелесообразно. Вместо врезки или установки врезных шпонок рекомендуется крепление установочными штифтами. Если обычно установочные штифты не обеспечивают достаточной прочности при повышенной нагрузке, рекомендуется применять штифты большего размера.

Различные требования к стойкости штампов вынуждают применять различные марки материалов для рабочих и вспомогательных деталей штампов. Так, например, в крупносерийном производстве для рабочих частей вырубных штампов применяют износостойкие легированные инструментальные стали. В серийном производстве достаточная стойкость штампов обычно обеспечивается применением углеродистой инструментальной стали, а в мелкосерийном производстве вполне оправданно применение стали 45 с термической обработкой или незакаливаемых марок стали. Общее количество деталей, подвергаемых термической обработке, соответственно уменьшается.

Таким образом, слепое копирование типовых конструкций безотносительно к масштабу и особенностям производства не дает положительных результатов.

Ниже приведены примеры конструктивных решений вытяжных штампов из американской практики.

На рис. 352, а показан вытяжной штамп, предназначенный для мелкосерийного производства, устанавливаемый на пресс простого действия. Пуансон прикреплен непосредственно к верхней плите. Прижимная плита — накладная с затяжкой болтами. Не требуется обязательного крепления штампа к ползу и подштамповой плите. Рекомендуется изготавливать пуансон из пластмассы, а матрицу и прижим из цинкового сплава.

На рис. 352, б приведен вытяжной штамп, применяемый в серийном производстве и устанавливаемый на прессах двойного действия. В данном случае пуансон прикрепляется к внутреннему, а прижим — к наружному ползуну пресса. Штамп имеет выталкиватель, действующий от буферного устройства. Пуансон, матрицу и прижим изготавливают из чугуна.

На рис. 353 показан вытяжной штамп, предназначенный для вытяжки деталей из более толстого материала в крупносерийном производстве. В конструкции штампа предусмотрены выталкиватели, надежное направление прижима с закаленными направляющими, также возможность быстрой ликвидации неисправностей штампа.

Фирма „Шевроле“ (Франция) приводит следующие сведения по стойкости (долговечности) штампов, изготовленных из разных материалов:

1) при изготовлении вытяжного пуансона из пластмассы, а матрицы и прижима из цинкового сплава „Кирксайт“ — 200—500 деталей;

2) при изготовлении всех рабочих частей из цинкового сплава „Кирксайт“ — 500—1500 деталей;

3) при изготовлении пуансона из пластмассы с металлическими рабочими частями, а матрицы и прижима из малоуглеродистой стали — 1500—100 000 деталей;

4) при изготовлении пуансона, матрицы и прижима из малоуглеродистой стали — 100 000—288 000 деталей;

5) при изготовлении рабочих частей из инструментальной стали — свыше 288 000 деталей.

В серийном производстве получили довольно широкое применение вырубные, обрезные и комбинированные штампы с ленточными пуансонами или матрицами, более простые и дешевые в изготовлении.

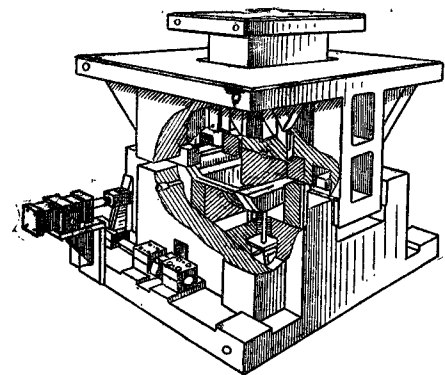


Рис. 353. Вытяжной штамп для крупносерийного производства

На рис. 354 показана монтажная схема комбинированного штампа с ленточной матрицей, применяемого в серийном производстве. Режущие элементы 1 вырубной матрицы представляют собой стальную ленту, запрессованную и закрепленную в пазах фанерной плиты 2. Вырубная матрица и пуансон 6 монтируются на стальных плитах 9 и 5, прикрепляемых к верхней и нижней плитам штампа 3 и 10. Отверстие в заготовке 7 пробивается пуансоном 8. Съемники выполнены из полиуретановых пластинок 4, прикрепляемых к нижней плите 5.

Наибольшую сложность изготовления имеют рабочие части штампов — пуансоны и матрицы сложной формы.

Вырубные матрицы требуют наивысшей точности изготовления. С целью упрощения изготовления и уменьшения объема механической обработки пуансоны и матрицы крупных вырубных штампов изготавливают из нормализованных секций. Вырубные матрицы небольших штампов делают разрезными (составными) для того, чтобы имелась возможность обработки их внутреннего контура на шлифовальных станках, без ручной доводки и подгонки.

Вначале необходимо определить оптимальное расположение плоскостей разреза, а затем — способ крепления к нижней плите.

На рис. 355 приведены примеры оптимального расположения линий разреза составных матриц и схема последовательного штампа с вставными разрезными матрицами. Для симметричных конфигураций желательно делать разъем таким образом, чтобы одновременно обрабатывать две части. Это позволяет повысить точность матрицы и снизить трудоемкость обработки.

На рис. 356 показана составная матрица (б) для последовательного штампа, составленная по схеме раскроя (а). Матрица состоит из четырех частей 1, 2, 3 и 4,

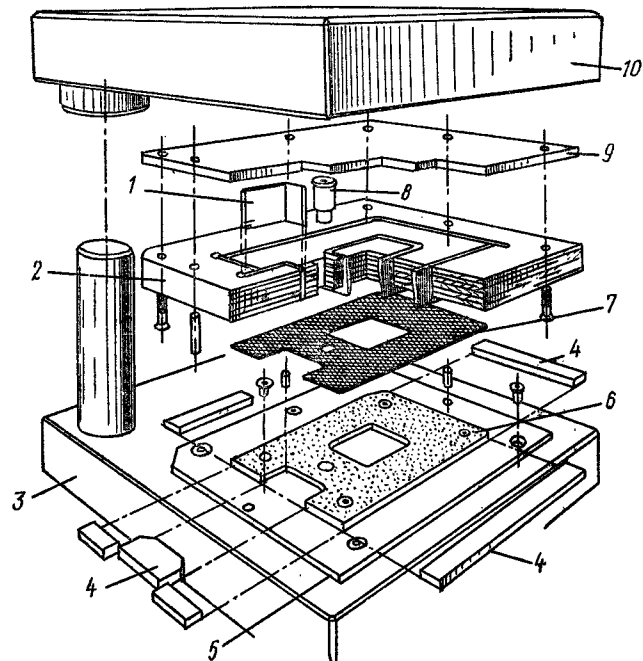


Рис. 354. Монтажная схема комбинированного штампа с ленточной матрицей

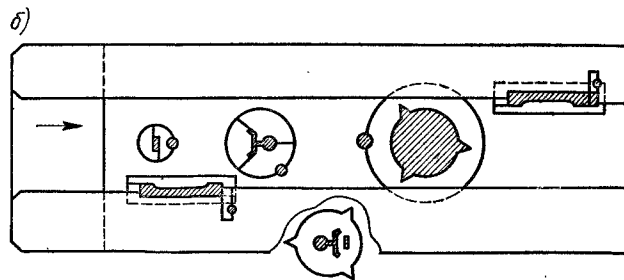
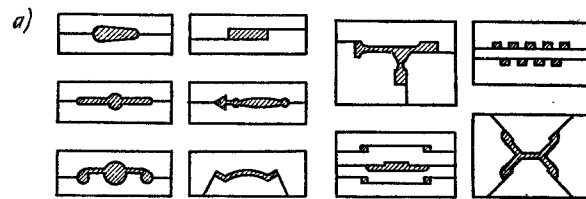


Рис. 355. Примеры оптимального расположения линий разреза составных матриц (а) и схема последовательного штампа (б)

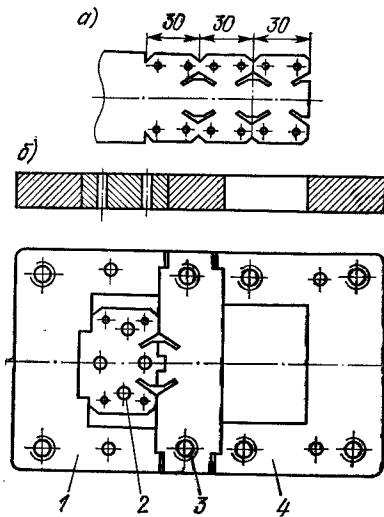


Рис. 356. Составная матрица для последовательного штампа

вырубные и пробивные пуансоны последовательных штампов скорее изнашиваются, чем вытяжные, то в результате сошлифовок высота вырубных пуансонов уменьшает-

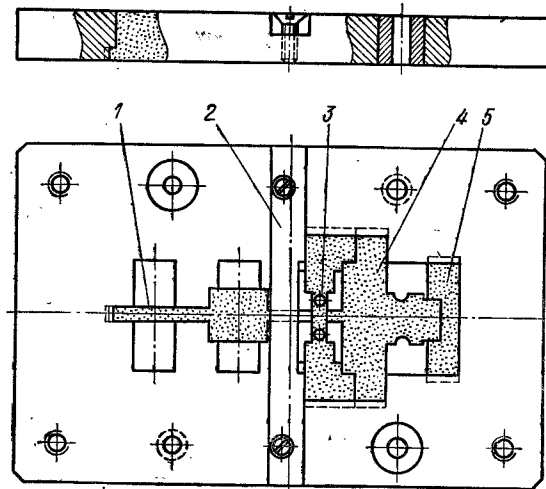


Рис. 357. Матрица последовательного штампа с твердосплавными вставками

соединяемых в замок. Это обеспечивает точность сопряжения секций при креплении их к нижнему основанию штампа.

На рис. 357 приведена матрица последовательного штампа с твердосплавными вставками 1—5. Консольная вставка 1 закрепляется прижимной планкой 2, а вставки 3—5 собираются в замок и крепятся в обойме на заплечиках.

Способы крепления твердосплавных матриц и пуансонов были приведены ранее.

Проектирование и изготовление многопозиционных последовательных штампов имеет ряд особенностей, рассмотренных в специальной литературе [110].

Особенно отметим необходимость сохранения правильного взаимодействия всех элементов штампа — пуансонов, матриц, прижимов, съемников и выталкивателей. Очень часто после перешлифовки штампа правильное взаимодействие всех частей штампа нарушается. Для устранения этого к комплекту чертежей штампа должна быть приложена схема расположения рабочих частей штампа, в которой должны быть указаны предельные размеры каждого рабочего элемента от основной базы (рис. 358). Так как

В последовательных штампах небольших размеров регулирование высоты пуансонов производится простым способом. Под головки вытяжных пуансонов устанавливается стальная прокладка, сошлифовываемая на ту же величину, что и вырубные пуансоны. Таким образом, взаимодействие вырубных и вытяжных пуансонов не нарушается.

При изготовлении многопуансонного вытяжного последовательного штампа практически невозможно обеспечить строгую соосность пуансонов и матриц, даже при применении координатно-расточного станка. В данном случае для удешевления

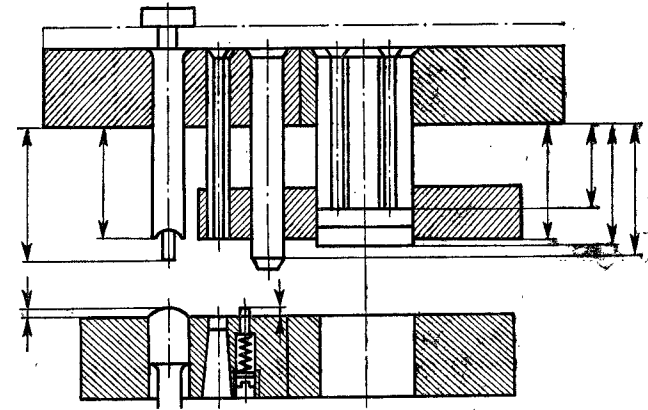


Рис. 358. Схема взаимного расположения рабочих частей последовательного штампа

штампа применяют самоцентрирующиеся (плавающие) вытяжные пуансоны, устанавливаемые в отверстие в пуансонодержателе с номинальным зазором 0,1 мм (допуск отверстия от +0,02 до +0,03 мм, допуск стебля пуансона от -0,02 до -0,03 мм). Благодаря этому допуск на расстояние между осями может быть взят в пределах от ±0,03 до ±0,04 мм, что больше допуска на толщину ленты. Такая точность изготовления доступна любому инструментальному цеху.

14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНТРА ДАВЛЕНИЯ ШТАМПА

Для правильной уравновешенной работы штампа необходимо вырезаемый контур расположить на матрице таким образом, чтобы центр давления совпадал с осью хвостовика. В противном случае в штампе возникают перекосы, несимметричность зазора, износ направляющих, быстрое притупление режущих кромок, а возможно и поломка штампа. Нахождение центра давления имеет значение главным образом для сложных вырубных, многопуансонных пробивных и последовательных комбинированных штампов. Существует два способа определения центра давления штампа: графический и аналитический.

Графический способ нахождения центра давления

Графический способ нахождения центра давления показан на рис. 359. На нем изображена верхняя часть штампа с шестью пуансонами (рис. 359, а). Усилия вырубки пропорциональны периметрам пуансонов. Из центров тяжести фигур А, В, С, D и E проводятся в произвольном масштабе отрезки P_1, P_1', P_2, P_2' и т. д., величины которых пропорциональны периметрам. Затем строится веревочный многоугольник (рис. 359, б), для чего в стороне параллельно отрезкам P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 и P_6 на одной

ся, в то время как высота вытяжных пуансонов остается постоянной. Поэтому в конструкции последовательных штампов должна быть предусмотрена возможность регулирования положения режущих кромок пуансонов (и матриц) по высоте.

прямой в масштабе откладывается отрезок P_1 , далее P_2 и т. д. до P_6 . Выбирается произвольная точка O , с которой соединяются концы отрезков (сил) P_1, P_2 и т. д. Полуоченные линии (лучи) обозначаются цифрами 1, 2 и т. д.

Под фигурой на продолжении отрезка P_1 берется произвольная точка A' и через нее проводится линия, параллельная лучу 1. От точки A' до пересечения с продолжением сил P_2 проводится линия параллельно лучу 2 и т. д. до линии (луча) 6. Точка

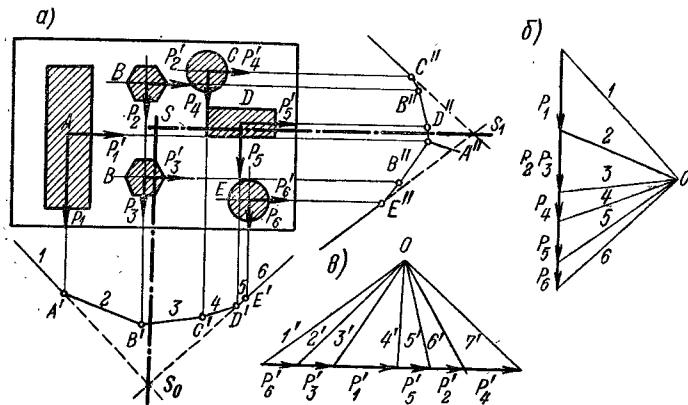


Рис. 359. Графический способ нахождения центра давления штампа

пересечения лучей 1 и 6 дает ось центра давления S_0 . Так как пуансоны расположены несимметрично, находим ось центра давления в перпендикулярном направлении (рис. 359, в), для чего, повторив построение веревочного многоугольника, найдем точку S_1 (вторая ось центра давления). Пересечение линий, проходящих через эти точки, дает точку S_0 — центр давления данного штампа.

Аналитический способ нахождения центра давления

Этот способ основан на равенстве момента равнодействующей нескольких сил сумме моментов этих сил относительно одной и той же оси.

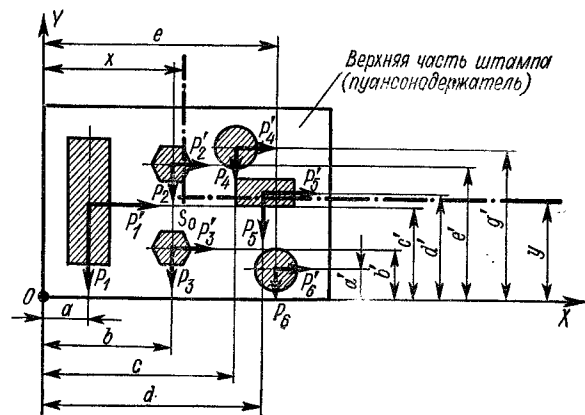


Рис. 360. Схема к аналитическому способу определения положения центра давления штампа

Направление осей берем по сторонам пуансонодержателя, от которых производится его разметка (рис. 360). Ввиду несимметричности расположения пуансонов составляем уравнения равенства моментов относительно обеих осей.

Уравнение моментов относительно оси Y дает

$$x = \frac{P_1 a + P_2 b + P_3 b + P_4 c + P_5 d + P_6 e}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6};$$

уравнение моментов относительно оси X дает

$$y = \frac{P'_1 c' + P'_2 e' + P'_3 b' + P'_4 g' + P'_5 d' + P'_6 a'}{P'_1 + P'_2 + P'_3 + P'_4 + P'_5 + P'_6},$$

где x — искомое расстояние от оси OY до центра тяжести; y — искомое расстояние от оси OX до центра тяжести; a, b, c и т. д. — расстояние центра тяжести фигуры до оси OY ; a', b', c' и т. д. — то же, до оси OX ; P_1, P_2 и т. д. — усилие вырубki каждой фигуры.

При расчете вместо усилий вырубki (P_1, P_2 и т. д.) следует подставлять длину соответствующего контура.

15. РАСЧЕТЫ ДЕТАЛЕЙ ШТАМПОВ НА ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ

В производственной практике конструктору штампов, пользующемуся нормами на детали штампов, обычно не приходится производить расчеты на прочность плит или иных деталей, так как соответствующие расчеты обычно выполняются при разработке нормалей. В тех случаях, когда требуется разработать специальные конструкции штампов, следует произвести хотя бы и приближенные расчеты. Однако более важно обеспечить достаточную жесткость плит (устойчивость на упругий изгиб), а не прочность на излом. Достигается это путем увеличения толщины плиты штампа и уменьшения изгибающих моментов.

Способа расчета толстых плит с нагрузкой вдоль контура отверстия произвольной формы не существует. Существовавший ранее способ расчета нижних плит как балок является несовершенным и непригодным.

Исследования нижних плит штампов при установке их на стол прессы с малым провальным окном и с опорой на полную нижнюю поверхность плиты, выполненные

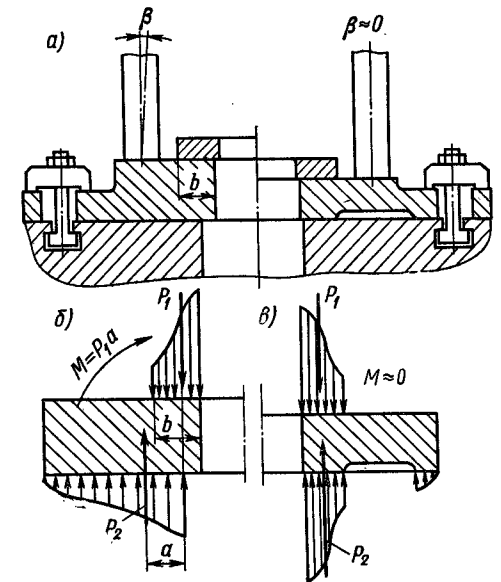


Рис. 361. Уменьшение ударного изгибающего момента и увеличение прочности нижней плиты штампа: a — схема установки при опоре на всю поверхность плиты; b — распределение удельных усилий; a — то же в плите с опорным поясом вокруг провального отверстия

в ЛИИЖТе, показали возникновение в момент наибольшей нагрузки значительного упругого всестороннего изгибающего момента $M = Pa$, опрокидывающего плиту в провальное отверстие стола прессы, ввиду большого смещения приложения равно-

действующих удельных усилий (рис. 361). В результате происходит перекокс и упругий изгиб направляющих колонок, вызывающий заедание и ускоренный износ направляющих деталей штампа. Таким образом, штампы выходят из строя в результате недостаточной жесткости плит, а не потери прочности.

На основе указанного исследования Э. А. Шраером предложен оригинальный способ уменьшения деформаций плит штампов путем уменьшения изгибающих моментов в результате изменения нижней опорной поверхности плиты и передачи давления на стол пресса опорными поясами, расположенными у провального отверстия (рис. 361, б). В этом случае плита подвергается сжатию, а изгибающий момент практически отсутствует.

Применение штампов с малыми размерами провальных отверстий на прессах с большим отверстием в столе недопустимо, так как приводит к ускоренному износу и поломке штампа. В этом случае рекомендуется применять сменные плиты или гильзы со сменными переходными вкладышами.

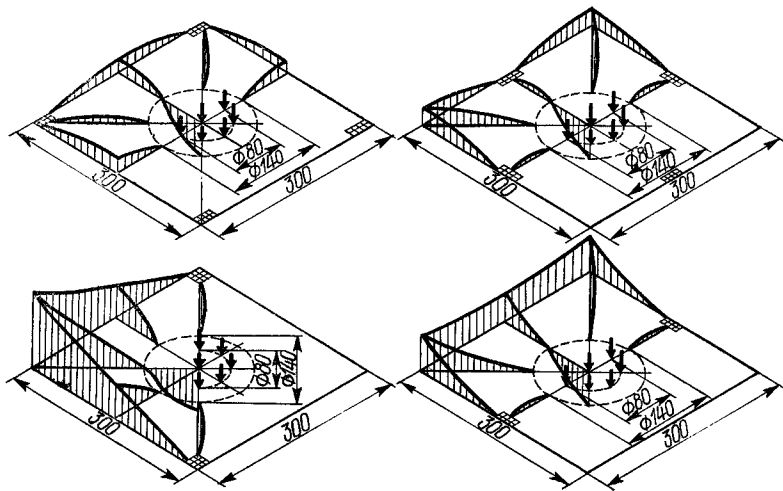


Рис. 362. Деформация нижней плиты штампа при различных способах крепления

Аналогичное решение увеличения стойкости твердосплавных матриц предложено тем же автором, так как матрицы наряду с нормальными напряжениями подвергаются знакопеременному импульсному изгибу.

В связи с доминирующим значением жесткости плит штампов вновь встал вопрос о методах расчета жесткости плит. Аналитический способ расчета встретил серьезные математические трудности. Лучшие результаты дал метод моделирования упруго-деформированного состояния плит на моделях из органического стекла, с последующим пересчетом на натуральные объекты, в соответствии с теорией моделирования [43].

На рис. 362 приведены эпюры деформаций квадратных плит с центральной нагрузкой при различных способах крепления плиты к столу пресса [43].

Анализом эпюр нетрудно установить оптимальный способ крепления в местах расположения направляющих колонок, что на практике обычно не соблюдается.

Подсчеты поворота направляющих колонок показывают, что штампы с угловым расположением колонок, при условии закрепления плиты по четырем углам, может выдержать нагрузки в 5,8 раза больше, чем штампы с креплением в двух точках, при расположении двух колонок в другой вертикальной плоскости. Для возможности крепления плит в четырех точках подштамповые плиты должны иметь диагональное и осевое расположение Т-образных пазов.

Расчет толщины матриц обычно не производят, а определяют их размеры по эмпирическим формулам и соотношениям.

Ширина вырубной матрицы находится по формуле

$$B = b + (3 \div 4) H,$$

где b — наибольшая ширина матричного отверстия; H — толщина матрицы, выбираемая по табл. 206.

206. Толщина вырубной матрицы

Наибольшая ширина матричного отверстия b , мм	Толщина матрицы при толщине вырубаемого материала		
	До 1 мм	1—3 мм	3—6 мм
До 50	$(0,3 \div 0,4) b$	$(0,35 \div 0,5) b$	$(0,45 \div 0,6) b$
50—100	$(0,2 \div 0,3) b$	$(0,22 \div 0,35) b$	$(0,30 \div 0,45) b$
100—200	$(0,15 \div 0,2) b$	$(0,18 \div 0,22) b$	$(0,22 \div 0,30) b$
Св. 200	$(0,10 \div 0,15) b$	$(0,12 \div 0,18) b$	$(0,15 \div 0,22) b$

В ряде случаев толщина вырубных матриц определяется не столько прочностными сколько эксплуатационными требованиями. Так, например, в практике электротехнических заводов допускается перешлифовка матрицы в процессе эксплуатации на 2/3 ее первоначальной высоты, что значительно увеличивает срок службы штампов. С другой стороны, стремление снизить расход инструментальной стали привело к успешному внедрению тонких матриц (до 3 мм), укрепляемых на матрицах-основаниях.

В табл. 207 приведено расстояние осей крепежных и штифтовых отверстий от наружного края, а также от рабочего контура матрицы.

207. Расположение крепежных болтов и штифтов

Расположение болтов										
Размеры болтов, мм	M8	M10	M12	M16	M20	M22				
Расстояние осей болтовых отверстий, мм	$\frac{12}{9}$	$\frac{14}{11}$	$\frac{16}{13}$	$\frac{20}{16}$	$\frac{25}{20}$	$\frac{27}{22}$				
Расстояние осей отверстий под головки болтов с внутренним шестигранником, мм	14	17	19	24	28	32				
Расположение штифтов										
Диаметры штифтов, мм	3	4	5	6	8	10	13	16	20	25
Расстояние осей штифтовых отверстий, мм	$\frac{6}{4}$	$\frac{7}{4,5}$	$\frac{8}{5}$	$\frac{9}{6}$	$\frac{11}{7}$	$\frac{12}{8}$	$\frac{15}{10}$	$\frac{16}{13}$	$\frac{20}{16}$	$\frac{25}{20}$
Примечание. В числителе даны размеры для закаленных, а в знаменателе — для незакаленных деталей.										

Сильно нагруженные матрицы, а также матрицы со сложным остроугольным профилем рабочего отверстия, следует рассчитывать на разрыв под действием распирающей силы, возникающей в результате выдавливания материала в отверстие матрицы.

Можно принять, что наибольшая величина распирающей (отжимающей) силы составляет около 40% усилия вырубки, действует нормально к режущим кромкам и распределяется равномерно по длине контура. При расчете необходимо учитывать концентрацию напряжений в узких и острых углах матриц (по аналогии с ударным изгибом надрезанных образцов).

Во избежание резкой концентрации напряжений, а также для удобства изготовления матрицы с узкими и остроугольными рабочими отверстиями рекомендуется делать составными или секционными. В последнем случае необходимо производить расчет прочности крепления секционных матриц и пуансонов под действием отжимающей нагрузки [46].

Расчет локальной удельной нагрузки режущих кромок вырубных и пробивных штампов

В первом разделе показана зависимость сопротивления срезу при вырубке-пробивке не только от механических свойств металла (σ_b , σ_T), но также от относительной толщины заготовки и величины зазора.

На рис. 9 приведены диаграммы зависимости $\sigma_{ср}$ от относительной толщины заготовки S/d для разных материалов. Увеличение $\sigma_{ср}$ в зависимости от роста отношения S/d объясняется значительным повышением жесткости вырубляемых деталей или отходов, вызывающей увеличение радиальных напряжений сжатия и упрочнения металла в зоне резания.

Наибольшее значение указанная зависимость имеет при расчете локальной удельной нагрузки режущих кромок штампов [127]. До сих пор такие расчеты не выполнялись и выбор инструментально-штамповых сталей производился без расчетных обоснований, независимо от фактической нагрузки режущих кромок, с вытекающими отсюда ошибками и неудачами, как то: преждевременным выкрашиванием и поломкой пуансонов.

Исследованиями автора [127] установлено, что максимальная локальная удельная нагрузка режущих кромок при вырубке стальных деталей равна

$$p_{\max} = 3,12 \left(k \frac{S}{d} + 1 \right) \sigma_b,$$

где k — коэффициент, зависящий от величины зазора при

$$\begin{array}{cccccc} z = 0,15S & 0,10S & 0,05S & 0,025S & 0,005S \\ k = 2,0 & 2,38 & 3,33 & 4,1 & 5,0 \end{array}$$

При чистовой вырубке сопротивление срезу выше, чем при обычной вырубке, и составляет

$$\sigma_{ср} = \left(m \frac{S}{d} + 0,75 \right) \sigma_b,$$

где $m = 3,0$ при $z = 0,005S$ (беззазорная вырубка); $m = 2,5$ при $z = 0,025S$.

Максимальная локальная удельная нагрузка режущих кромок пуансонов при чистовой вырубке (без противодействия) при $z = 0,005S$ равна

$$p_{\max} \approx 3,9 \left(4 \frac{S}{d} + 1 \right) \sigma_b,$$

а с учетом противодействия

$$p'_{\max} \approx 4,5 \left(4 \frac{S}{d} + 1 \right) \sigma_b.$$

Локальная нагрузка режущих кромок матриц при чистовой вырубке несколько ниже нагрузки пуансонов и составляет:

$$p_{\max м} \approx 3,6 \left(4 \frac{S}{d} + 1 \right) \sigma_b.$$

На рис. 363 приведена зависимость p_{\max}/σ_b от отношения S/d , действительная для различных марок углеродистой и нержавеющей стали. Так как с увеличением отношения S/d величина локальной нагрузки режущих кромок резко возрастает, то для режущих частей штампов различных размеров целесообразно применять разные типы штамповых сталей, обладающих различной прочностью и стойкостью. При чистовой вырубке мелких деталей сложного контура целесообразно все режущие части делать из стали одной марки, требуемой условием прочности малых пуансонов. Это позволяет унифицировать и упростить процесс термической обработки рабочих частей штампа. При этом прочность и стойкость вырубной матрицы возрастают. Сказанное относится и к обычной вырубке мелких деталей сложного контура.

На рис. 364 приведены абсолютные значения максимальной величины локальной удельной нагрузки режущих кромок пуансонов в зависимости от отношения S/d , для наиболее распространенных штампуемых материалов (сталей) [127].

На рис. 364 приведены значения максимальной нагрузки режущих кромок для обычной вырубке-пробивки при оптимальной величине двустороннего зазора $z = 0,15S$. При меньшей величине зазоров ($z = 0,1S$; $0,05S$; $0,005S$) величина максимальной нагрузки значительно увеличивается.

На рис. 365 приведены максимальные значения нагрузки режущих кромок для чистовой вырубке при зазоре $z = 0,005S$ (беззазорная вырубка) для материалов: 1 — сталь с $\sigma_b = 30$ кгс/мм²; 2 — сталь с $\sigma_b = 40$ кгс/мм²; 3 — сталь с $\sigma_b = 50$ кгс/мм²; 4 — сталь с $\sigma_b = 65$ кгс/мм². Ввиду отсутствия методов испытания на прочность режущих кромок на диаграммах нанесены ориентировочные границы области применения различных типов термически обработанных штамповых сталей по наиболее вероятной прочности режущих кромок [127; 128].

Отметим, что прочность режущих кромок вырубных и пробивных штампов не равнозначна сопротивлению изгибу или твердости закаленных сталей, так как они не сопоставимы по характеру нагружения и виду деформации.

Из диаграмм, приведенных на рис. 365, видно, что локальная нагрузка режущих кромок при чистовой вырубке-пробивке значительно превышает нагрузку при обычной вырубке и может достигнуть большой величины. Этим объясняется относительно низкая стойкость рабочих частей штампов для чистовой вырубке.

Для увеличения прочности и износостойкости быстрорежущих сталей для режущих инструментов применяется особый *термомагнитный* отпуск, ускоряющий

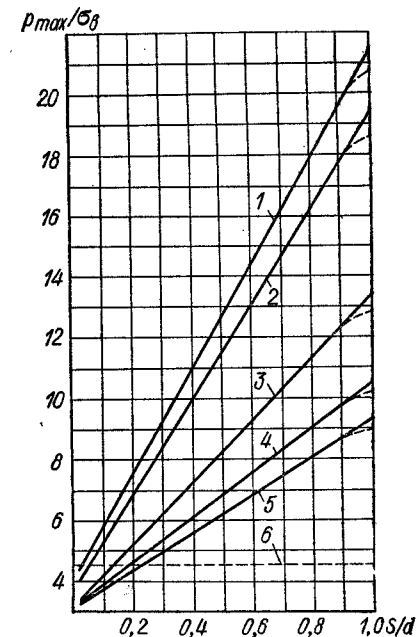


Рис. 363. Зависимость относительной локальной удельной нагрузки режущих кромок p_{\max}/σ_b от относительных размеров детали или отверстия S/d :

1 — чистовая вырубка ($z = 0,005S$); 2 — беззазорная вырубка ($z = 0,005S$); 3 — вырубка при $z = 0,05S$; 4 — вырубка при $z = 0,1S$; 5 — вырубка при $z = 0,15S$; 6 — значение по формуле фирмы «Файнтул»

мартенситное превращение и повышающий износостойкость инструмента. Приводим режим термоманитного отпуска быстрорежущей стали Р6М5 [128]: 1) нагрев в соляных ваннах с выдержкой при 550° С в течение 60 мин; 2) охлаждение в индукторе ЭМО-1 в переменном магнитном поле ча-

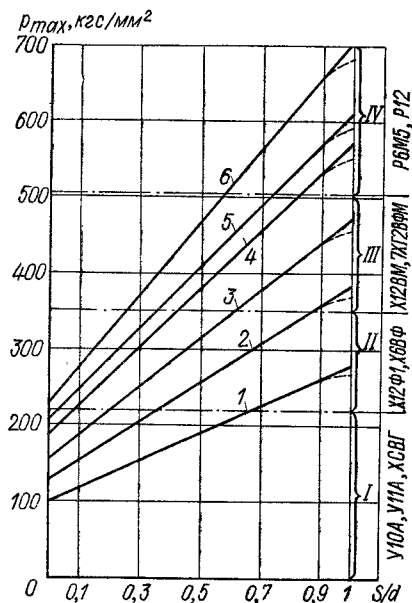


Рис. 364. Локальная удельная нагрузка режущих кромок (максимальные напряжения) в зависимости от отношения S/d (при $z = 0,15S$);

1 — сталь 08кп; 2 — сталь 20 и СтЗ; 3 — сталь 30; 4 — сталь 45; 5 — сталь Х18Н10Т; 6 — сталь 65Г; I, II, III, IV — области рекомендуемого применения различных марок штамповых сталей

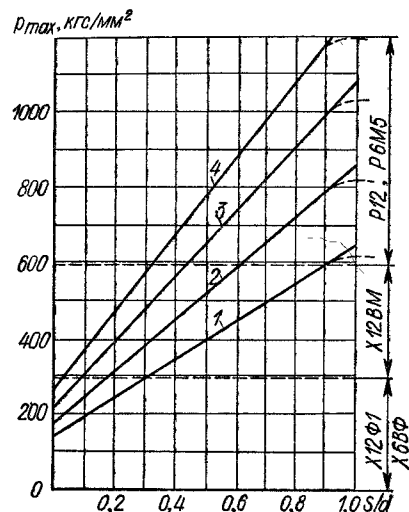


Рис. 365. Максимальная удельная нагрузка режущих кромок (максимальные напряжения) при чистой вырубке с зазором $z = 0,005 S$;

1 — сталь 08кп; 2 — сталь 20; 3 — сталь 30; 4 — сталь 45

по расчетному усилию и выбирать прессы большего номинального усилия, но с более жесткой станиной. Прессы с С-образной станиной не желательны.

Приближенный расчет пуансонов на прочность приведен в табл. 208.

208. Приближенные расчеты пуансонов на прочность

Способ расчета	Формула
Расчет опорной поверхности головки пуансона на смятие	$\sigma_{см} = P/F$
Расчет пуансона на сжатие в наименьшем сечении	$\sigma_{сж} = \frac{P}{f} \leq [\sigma]_{сж}$
Расчет свободной длины пуансонов на продольный изгиб	$l = 4,43 \sqrt{\frac{EJ}{nP}}$
<p>Обозначения: $\sigma_{см}$ — напряжение смятия опорной поверхности, кгс/мм²; F — опорная поверхность головки пуансона, мм²; если $\sigma_{см} = 10$ кгс/мм², необходима стальная каленая прокладка. Она необходима также, когда головка пуансона упирется в хвостовик; $\sigma_{сж}$ — напряжение сжатия, кгс/мм²; f — площадь наименьшего сечения пуансона, мм²; $[\sigma]_{сж}$ — допустимое напряжение на сжатие; для обычных пуансонов из закаленной инструментальной стали $[\sigma_{сж}] = 160$ кгс/мм², для направляемых пуансонов при пробивке отверстий малого диаметра $[\sigma_{сж}] = 200 \div 300$ кгс/мм²; l — длина свободной части пуансона, см; E — модуль упругости, кгс/см² ($2,2 \cdot 10^6$); J — момент инерции сечения, см⁴; n — коэффициент безопасности (для сырой стали $n = 4 \div 5$, а для закаленной $n = 2 \div 3$).</p>	

Расчет бандажированных матриц

Значительного увеличения прочности сильно нагруженных небольших цилиндрических стальных и особенно твердосплавных матриц можно достигнуть запрессовкой их в обойму (последняя в свою очередь запрессовывается в наружную обойму). В результате в матрицах возникают сжимающие напряжения большой величины, противодействующие расширяющему усилию и вызываемым им растягивающим напряжениям.

Следовательно, увеличить прочность можно не только путем увеличения расчетных размеров или изменения химического состава и структуры металла, но и механически — созданием заранее рассчитанного напряженного состояния. Этот способ может быть применен к сменным вытяжным, волоочильным, протяжным, обжимным матрицам, и к матрицам для холодного выдавливания. В данном случае применяется многобандажное крепление тонкостенных матриц, выдерживающих без разрушения рабочее давление до 250 кгс/мм² за счет создания в них предварительного напряженного состояния сжатия. При этом внутреннее кольцо и матрица подвергаются значительной пластической деформации. Это достигается последовательной запрессовкой в холодном состоянии нескольких конических бандажей (колец) с большими натягами. Конусность бандажей 1°30'. При штамповке крупных деталей ($\varnothing 90$ мм) применяют 3—4 бандаж (кроме матрицы), а при штамповке мелких — 1—2 бандаж.

Существует несколько различных методов расчета запрессовки бандажей и величины напряжений, возникающих на поверхности матрицы и бандажных колец.

Исходными данными для расчета является величина рабочего давления внутри матрицы p .

На рис. 366 приведены схемы распределения напряжений для простой цилиндрической матрицы (рис. 366, а), матрицы с одним бандажом (рис. 366, б) и матрицы с двумя бандажами (рис. 366, в).

В целой матрице в результате давления металла на стенки возникают радиальные сжимающие напряжения σ_r и тангенциальные (окружные) растягивающие напряжения σ_t . Максимум растягивающих напряжений находится на рабочей поверхности матрицы. При высоких рабочих давлениях, имеющих место при холодном выдавливании,

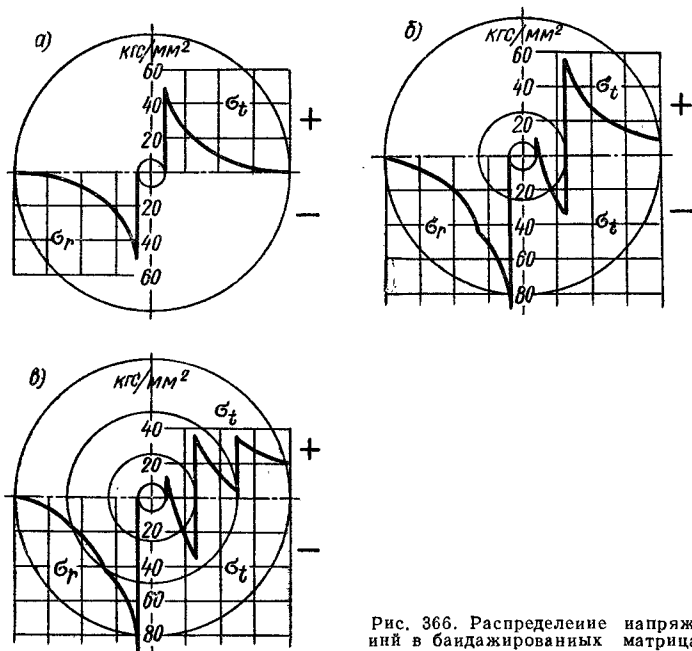


Рис. 366. Распределение напряжений в бандажированных матрицах

тангенциальные растягивающие напряжения достигают значительной величины и приводят к разрыву матрицы.

При запрессовке одного бандажа в матрице возникают предварительные (монтажные) напряжения, причем в матрице, сжатой бандажом, возникают тангенциальные напряжения сжатия, максимум которых находится на внутренней рабочей поверхности матрицы.

В рабочем положении (рис. 366, б) внутреннее давление p , действующее на стенки матрицы, приводит к сжатию в радиальном и растяжению в тангенциальном направлении. Однако предварительное сжимающее напряжение противодействует растягивающим напряжениям и создает результирующее тангенциальное напряжение σ_t , показанное в правой части этой схемы.

На рис. 366, в показано двухбандажное усиление матрицы. На схеме показано распределение результирующих радиальных и тангенциальных напряжений в момент выдавливания. Двухбандажное крепление матрицы позволяет значительно увеличить рабочее давление без разрушения матрицы.

На схемах рис. 366 приведен пример подсчета величины напряжений и наибольшего рабочего давления p (в кгс/мм²) для цельной однобандажной и двухбандажной матрицы, в соответствии с расчетными величинами, приведенным в табл. 209.

209. Расчетные данные

Тип матрицы	Отношение внутреннего диаметра к наружному				Расчетный предел текучести, кгс/мм ²			Наибольшее рабочее давление, кгс/мм ²
	цельной матрицы	внутренней матрицы	промежуточного бандажа	наружного бандажа	матрицы	промежуточного бандажа	наружного бандажа	
Цельная	0,1	—	—	—	100	—	—	50
Однобандажная	—	0,315	—	0,315	100	—	100	90
Двухбандажная	—	0,315	0,50	0,630	100	80	50	90

Из приведенных в этой таблице данных следует, что при применении цельной матрицы наибольшее рабочее давление не превышает 50% предела текучести. Для закаленной инструментальной стали можно допустить $\sigma_t = 160$ кгс/мм², для твердосплавных матриц предел на изгиб составляет $\sigma_{из} = 100 \div 130$ кгс/мм². При бандажировании допустимое рабочее давление может быть увеличено почти в два раза.

Приведенные расчеты показывают, что увеличение числа бандажей не позволяет повысить допустимое рабочее давление, а приводит к более равномерному распределению напряжений в бандажных кольцах и позволяет применить для их изготовления менее прочные стали ($\sigma_t = 80 \div 50$ кгс/мм²).

Наружный бандаж рекомендуется изготавливать из особо вязкой улучшаемой стали. Промежуточный бандаж рекомендуется изготавливать из твердой, но вязкой инструментальной стали твердостью HRC 54—58. Матрицы следует изготавливать из легированной (хромомолибденовой или другой) штамповой стали твердостью HRC 60—63.

Величина и распределение напряжений зависят от принятого соотношения диаметров матрицы и бандажей.

По данным американской практики рекомендуются следующие соотношения:

$$D_1 = 1,6d_0; D_2 = 1,6^2d_0; D_3 = 1,6^3d_0; D_{нар} = 1,6^4d_0,$$

где d_0 — рабочий диаметр матрицы.

Отечественная практика рекомендует следующие соотношения:

$$D_1 = 1,2d_0; D_2 = 1,6d_0; D_3 = 2,2d_0; D_{нар} = 3d_0.$$

Натяг при запрессовке матрицы в обойму выбирают исходя из того, чтобы тангенциальные сжимающие напряжения на внутренней поверхности матрицы при запрессовке были примерно равны растягивающим тангенциальным напряжениям, возникающим во время штамповки (коэффициент натяга $a = 1$).

Величина натяга зависит от того, в горячем или холодном состоянии производилось бандажирование. По данным Горьковского автозавода для твердосплавных вставок рекомендуется натяг $\delta = (0,0025 \div 0,003)d_1$ при нагреве обоймы до 400° С.

Большой же частью запрессовку бандажей производят в холодном состоянии, причем значение натяга при изготовлении бандажей увеличивается от наружного к внутреннему диаметру и для крупных матриц составляет $\Delta_3 = 0,004d_3; \Delta_2 = 0,008d_2; \Delta_1 = 0,025d_1$.

При запрессовке размеры внутренних бандажей уменьшаются и фактические натяги увеличиваются по сравнению с указанными. Матрица запрессовывается с наибольшим натягом и ее внутренний диаметр уменьшается. Окончательный рабочий размер матрицы получается после шлифования в запрессованном виде.

Расчет резиновых буферов

К расчету деталей штампов относятся также подсчеты, связанные с определением давления резиновых съемников, выталкивателей, прижимов и буферов. На буферные устройства, применяемые в штампах и прессах холодной штамповки, разработаны

ГОСТ 22188—76 — ГОСТ 22202—76, содержащие указания по выбору типа и размера буфера.

На рис. 367 приведена диаграмма для определения напряжений сжатия резины твердостью 50, а на рис. 368 — для резины твердостью 60 по твердому ТМ-2,

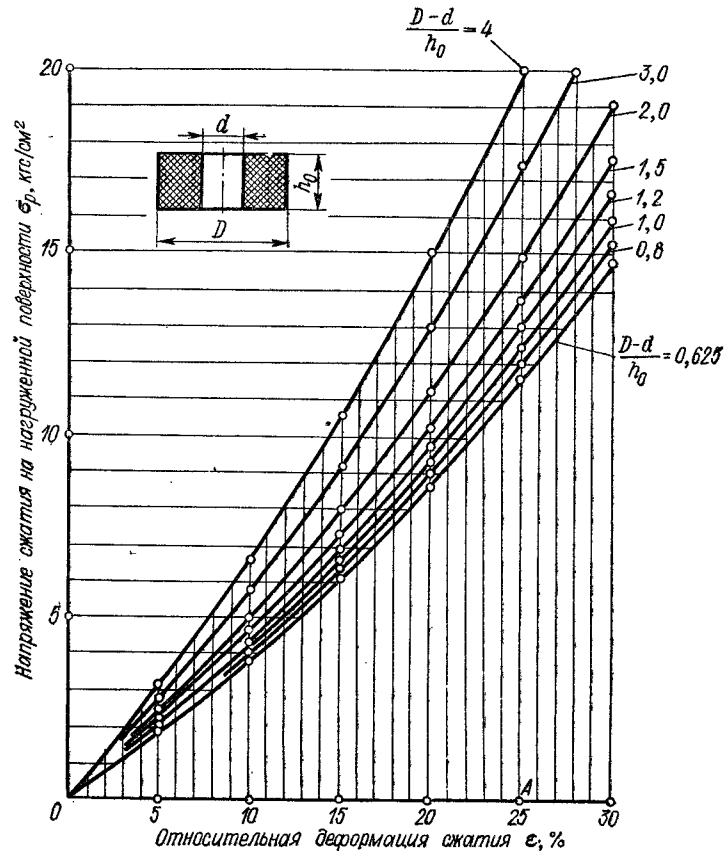


Рис. 367. Диаграмма для определения напряжений сжатия резины твердостью 50 (модуль упругости $E = 30$ кгс/см²)

Усилие резинового буфера определяется по формуле

$$P = F\sigma_p,$$

где F — площадь контактной поверхности кольца, см².

Обычно задается величина наибольшей нагрузки буфера P , а площадь контактной поверхности находится по приведенной формуле.

16. ЗАКРЫТАЯ ВЫСОТА ШТАМПА И ПРЕССА

Штамп проектируется в его нижнем рабочем положении. В этом положении наилучшим образом увязывается взаимодействие рабочих, прижимающих и удаляющих деталей штампа. При этом почти исключается возможность конструктивных

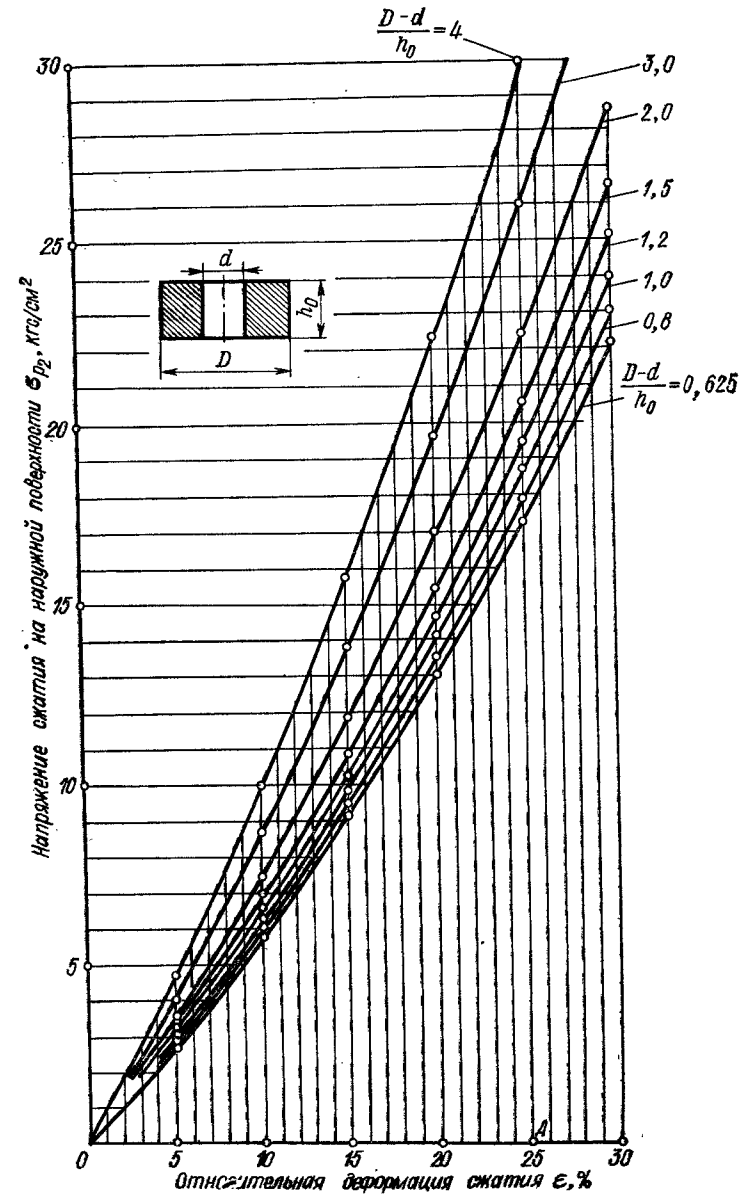


Рис. 368. Диаграмма для определения напряжений сжатия резины твердостью 60 (модуль упругости $E = 45$ кгс/см²)

ошибок по несогласованности верхней и нижней частей штампа, как, например, длинные направляющие колонки и короткие пуансоны, вследствие чего штамп не сможет работать, так как колонки будут выходить за пределы верхней плиты и упираться в торец ползуна и т. д.

Высота штампа в нижнем рабочем положении называется закрытой высотой штампа; она должна быть увязана с закрытой высотой пресса.

Закрытой высотой пресса называется расстояние от плиты до ползуна пресса в его нижнем положении при максимальном ходе и укороченной длине шатуна. Закрытая высота пресса указывает на предельную высоту штампа, который может быть установлен на данном прессе.

Штамп, имеющий закрытую высоту большую, чем закрытая высота пресса, не может быть установлен на этот пресс, а если он и будет установлен в верхнем положении ползуна, то при пуске пресса может произойти его поломка.

Для прессов с регулируемым ходом закрытая высота принимается в случае работы при наибольшей величине хода пресса. При уменьшении величины хода закрытая высота увеличивается пропорционально отношению $(h_{\max} - h)/2$.

Основное правило при проектировании штампов: штампы должны проектироваться на конкретные прессы в соответствии с их технической характеристикой или на группу прессов, близких по мощности и аналогичных по технической характеристике.

На рис. 369 приведена схема рабочего пространства

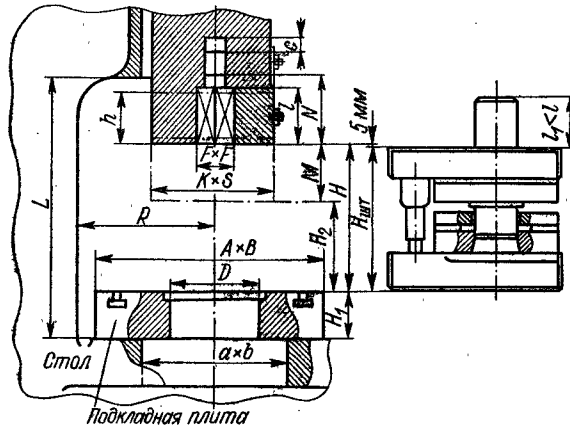


Рис. 369. Рабочее пространство кривошипного пресса и его размерные характеристики

кривошипного пресса и устанавливаемого на нем штампа, необходимые конструктору при проектировании штампов.

Обозначения приняты на рисунке: h — величина хода ползуна; M — величина регулировки длины шатуна; N — наибольшая закрытая высота пресса (расстояние от плиты до ползуна в его нижнем положении при максимальном ходе и наименьшей длине шатуна); L — расстояние от стола направляющих; R — вылет от оси ползуна до станины; $A \times B$ — размеры стола (не показан); $a \times b$ — размеры отверстия в столе; $A \times B$ — размеры подкладной плиты; H_1 — толщина подкладной плиты; D — диаметр отверстия в подкладной плите; $k \times S$ — размеры нижней площади ползуна; $F \times F$ — размеры квадратного отверстия в ползуне; I — глубина квадратного отверстия в ползуне; N — расстояние от выталкивателя до нижней поверхности ползуна; C — ход выталкивателя; H_2 — наименьшая закрытая высота пресса ($H - M$); $H_{\text{шт}}$ — закрытая высота штампа.

Закрытая высота штампа (в нижнем рабочем положении) должна находиться между наибольшей и наименьшей закрытой высотой пресса $H_2 = H - M$. В большинстве случаев принимают: $H - 5 \text{ мм} \geq H_{\text{шт}} \geq H_2 + 10 \text{ мм}$.

Обычно штампы проектируют ближе к наибольшей закрытой высоте пресса, учитывая желательность работы при укороченном (свииченном) шатуне, а также уменьшение высоты штампа вследствие последующих перешлифовок.

В случае, если закрытая высота штампа $H_{\text{шт}}$ будет меньше H_2 , необходимо применение промежуточных подкладных плит.

Раздел четвертый

МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ХОЛОДНОЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

ГЛАВА I

СПОСОБЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И МЕХАНИЗАЦИИ ЛИСТОШТАМПОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

1. ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

Автоматизация листовых штамповочных работ позволяет в несколько раз увеличить производительность труда, а также обеспечивает полную безопасность работы на прессах.

При ручной подаче заготовок и ручном удалении изделий и отходов число ходов пресса используется лишь на 25—30%, а в ряде случаев и меньше. При полной автоматизации работы коэффициент использования числа ходов пресса достигает 100%, хотя абсолютное число используемых ходов за рабочую смену несколько ниже предельно возможного из-за потерь времени на перестановку штампов, заправку ленты и т. п. и составляет от 80 до 95%. Кроме того, автоматизация процесса штамповки позволяет увеличить номинальное число ходов пресса без его модернизации на 20—30%, а с модернизацией в два-три раза.

В случаях, когда полная автоматизация процессов листовой штамповки затруднительна из-за сложности и длительности внедрения или экономически невыгодна, следует применять простейшую механизацию вспомогательных работ — подачи заготовок и удаления изделий и отходов.

Автоматизация листоштамповочного производства осуществляется одним из следующих способов:

- 1) автоматизацией штамповки на универсальных кривошипных прессах;
- 2) штамповкой на универсальных штамповочных автоматах, допускающих переналадку для изготовления различных изделий;
- 3) штамповкой на специальных штамповочных автоматах, предназначенных для изготовления одного определенного изделия;
- 4) комплексной автоматизацией с применением автоматических или автоматизированных линий.

Степень возможной автоматизации процессов холодной штамповки зависит прежде всего от типа и масштаба производства, а также от экономической целесообразности ее применения.

В массовом производстве однотипных деталей обычно осуществляется полная комплексная автоматизация всех звеньев производственного процесса. При этом широко используются специальные прессы-автоматы. В массовом производстве средних и крупных изделий широко применяются автоматические поточные линии.

В крупносерийном производстве обычно применяют универсальные штамповочные автоматы, а также автоматизацию штамповки на универсальных кривошипных прессах. При штамповке крупных деталей из больших и тяжелых листов механизмуется подача заготовок и удаление изделий при помощи механических рук, или промышленных роботов, а также создаются автоматизированные поточные линии.

В серийном и мелкосерийном производстве применяется полная или частичная автоматизация (механизация) штамповки на универсальных кривошипных прессах. При этом используют универсальные средства механизации, пригодные для любых или многих деталей серийного производства.

Обычно целесообразность применения той или иной степени механизации бывает очевидна, но как правило, экономическая целесообразность устанавливается подсчетом. Однако даже в случае отсутствия ощутимой экономической эффективности следует отдать предпочтение механизированному изготовлению, так как кроме легко учитываемой экономии на прямой заработной плате, механизация процессов дает трудно учитываемую эффективность от сокращения производственного цикла, умень-

шения задела, ускорения оборачиваемости оборотных средств, уменьшения складских площадей и т. п.

Особенно большое преимущество механизации и автоматизации штамповочных процессов заключается в полной безопасности работы, так как отпадают ручные операции в рабочей зоне штампа.

В случае наиболее опасных работ, как, например, с мелкими штучными заготовками, необходимо предусмотреть полную или частичную механизацию (хотя бы в виде автоматического сбрасывания и удаления деталей) *независимо от экономической целесообразности ее применения.*

Автоматизация штамповки на универсальных кривошипных прессах производится двумя способами: применением автоматических и полуавтоматических штампов, снабженных механизмами для подачи заготовок; оснащением кривошипных прессов универсальными механизмами для подачи заготовок.

Применение автоматических и полуавтоматических штампов позволяет почти полностью использовать число ходов пресса и увеличить производительность в три-четыре раза. Иногда ошибочно считают, что штампы с индивидуальным механизмом подачи менее целесообразны и рентабельны по сравнению со штампами с механизмом подачи, постоянно закрепленным на прессе. Если это справедливо для подачи широких полос при большой величине шага подачи (свыше 50 мм), то совершенно неверно в отношении подачи узких полос при малой подаче (до 50 мм). В последнем случае рекомендуется применять механизмы универсальной регулируемой подачи клещевого типа, пристраиваемые к любому штампу.

Для автоматизации работы на обычных кривошипных прессах применяют следующие типы механизмов автоматической подачи заготовок: для ленточного материала — валковая, клещевая, клиноролковая и крючковая; для штучных заготовок — магазинная, бункерная подачи, механическая рука или промышленный робот.

Штамповка на универсальных штамповочных автоматах получает все большее применение в различных отраслях промышленности. К числу таких автоматов относятся:

- 1) вертикальные автоматические прессы с валковой, клещевой и револьверной подачей заготовок;
- 2) горизонтальные автоматические прессы с бункерной подачей заготовок;
- 3) многопозиционные (многооперационные) прессы;
- 4) прессы-автоматы с нижним или верхним приводом.

Специальные штамповочные автоматы, предназначенные для изготовления какого-либо определенного изделия, получили применение в массовом производстве изделий как мелких, так и средних размеров. Сюда относятся, например, специальные автоматы В. П. Буша, применяемые для штамповки мелких радиотехнических деталей, и штамповочные автоматы ЛОМО для изготовления деталей оптических приборов.

Правильное решение вопросов механизации и автоматизации холодной штамповки может быть получено лишь при условии правильной разработки технологических процессов и, в частности, при правильном совмещении операций в одном штампе.

Прежде чем разрабатывать устройства для механизации, необходимо максимально совместить отдельные переходы и уменьшить количество операций. Следует полностью или в максимально возможной степени избавиться от последующих операций с ручной установкой штучных заготовок. Это возможно при применении последовательной штамповки с обратной заправкой вырубленной детали в ленту и передачей ее под гибочный (формовочный) пуансон.

Применение таких штампов позволяет устранить вторые операции с ручной подачей заготовок и снизить трудоемкость изготовления деталей на 40—60%. Этот способ пригоден при толщине материала от 0,3 до 1,5 мм.

Необходимо помнить, что применение многооперационных последовательных штампов является наиболее простым и эффективным способом механизации процесса штамповки.

Штампы совмещенного типа позволяют сократить количество операций (с соответствующими установками заготовок и удалением деталей) и наиболее целесообразны в случае штамповки деталей повышенной точности или большого габарита. Однако при применении этих штампов задача механизации процесса штамповки решается только в случае автоматической подачи заготовок и удаления деталей,

При автоматической подаче ленты многооперационные последовательные штампы представляют собой полный автомат, для которого требуется лишь установка нового бунта ленты и периодическое наблюдение за износом рабочих частей и качеством деталей.

Последовательная штамповка в ленте при автоматической подаче представляет собой максимально сконцентрированную *автоматическую линию* прямолинейно-прямочного типа с жесткой связью. То, что эта автоматическая линия осуществлена в одном штампе последовательного действия и требует только одного пресса, является большим преимуществом данной линии.

Весьма эффективно применение многооперационной последовательной штамповки в массовом производстве мелких деталей при многорядном способе штамповки. В данном случае достигаются наиболее высокая производительность и экономное использование материала.

Способ многооперационной последовательной штамповки мелких деталей имеет значительное преимущество по сравнению со штамповкой на однооперационных прессах-автоматах. Многооперационные последовательные штампы для вытяжки в ленте обычно не требуют большой точности и выполняются с самоустанавливающимися вытяжными пуансонами, что позволяет изготавливать их сравнительно небольшими предприятиями, не располагающими достаточной инструментальной базой.

Конструкции устройств для автоматизации и механизации штамповочных процессов подробно описаны в обширной специальной литературе по данному вопросу, ниже приводится лишь краткий обзор основных типовых устройств, а также даются общие указания по их применению.

2. КОМПЛЕКСНАЯ МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ

Комплексная механизация и автоматизация заготовительных и штамповочных процессов получила применение в массовом и крупносерийном производстве, особенно при изготовлении металлоемких изделий, создающих большие грузопотоки заготовок, изделий и отходов. В этих случаях вся подготовка металла выполняется в раскройно-заготовительных отделениях, в которых производится приемка и контроль поступающего металла, правка и резка его на полосы, узкие ленты или штучные заготовки, отправка их на штамповочные прессы.

При больших грузопотоках металла изменяется характер транспортировки. Периодическая транспортировка заготовок, деталей и отходов становится неприемлемой. Вместо нее применяются средства непрерывной транспортировки.

На заводах крупного электромашиностроения даже при серийном выпуске машин перерабатывается большое количество листов электротехнической стали, вследствие чего требуется автоматизация раскроя металла и механизация начальных операций технологического процесса.

На передовых электромашиностроительных заводах осуществлена механизация процессов заготовительного цеха, механизирована подача материала к прессам, а также транспортировка отштампованных деталей и уборка отходов.

В современных прессовых цехах автомобильных заводов принцип автоматизации заготовительных работ основан на применении широкорулонной стальной ленты шириной до 2,3 м, толщиной от 0,8 до 3 мм, с массой рулонов до 30 т. Это позволяет автоматизировать раскройно-заготовительные и штамповочные работы и получить значительную экономию металла путем более рационального раскроя металла.

Экономическая эффективность автоматизации процессов листовой штамповки определяется путем сопоставления предполагаемых одновременных затрат на автоматизацию с ожидаемой экономией на текущих затратах производства: производственной заработной плате, расходе штампуемого материала, расходах на эксплуатацию и амортизацию оборудования и штампов, общецеховых накладных расходах.

Сумма дополнительных затрат на автоматизацию процессов листовой штамповки не должна превышать суммы экономии, ожидаемой в течение срока изготовления данного изделия.

Методика определения экономической эффективности автоматизации процессов листовой штамповки изложена в нормативных материалах [75],

В холодной листовой штамповке механизмируют и автоматизируют следующие элементы производственного процесса:

- 1) подачу полос, лент и штучных заготовок в процессе штамповки;
- 2) удаление деталей и отходов из штампа;
- 3) подсчет и укладку отштампованных деталей;
- 4) управление процессом штамповки, сортировку и удаление брака или выключение прессы при появлении брака;
- 5) межоперационную транспортировку заготовок (передачу их с операции на операцию);
- 6) удаление отходов из цеха.

ГЛАВА II

УСТРОЙСТВА ДЛЯ МЕХАНИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ ШТАМПОВКИ

3. МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДАЧИ МАТЕРИАЛА И ЗАГОТОВОК

В зависимости от характера материала (заготовки) применяются следующие виды механизации подачи:

- 1) для рулонного и полосового материалов — автоматизация подачи при помощи устройств валкового, клещевого и крючкового типов;
- 2) для листового материала — обычно механизация подъема и направления листа, реже автоматизация подачи при штамповке (зигзагового типа);
- 3) для штучных заготовок — автоматизация подачи при помощи бункерных устройств и грейферных механизмов, в ряде же случаев — механизация подачи посредством лотковых, револьверных, фрикционных и магазинных механизмов, требующих ручной укладки заготовок в определенном положении.

Устройства для автоматической подачи рулонного и полосового материала имеют наибольшее значение, так как при применении комбинированных штампов последовательного или совмещенного типа они позволяют полностью автоматизировать процесс штамповки.

Автоматизация подачи ленты осуществляется следующими устройствами:

- 1) механизмами автоматической подачи ленты, смонтированными на универсальных прессах;
- 2) механизмами подачи специальных штамповочных автоматов;
- 3) механизмами подачи ленты, входящими в конструкцию штампа;
- 4) универсальными съемными механизмами подачи, монтируемыми к любому штампу.

Наиболее распространены механизмы автоматической подачи, устанавливаемые на универсальных прессах: валковая, клещевая, клиноролликовая, клиноножевая, крючковая. Эти механизмы подачи являются универсальными, допускают регулирование шага подачи и наладку на различную толщину ленты. Обычно прессы снабжаются двусторонней валковой подачей с приводом от эксцентрика, установленного на валу прессы. Значительно реже применяется односторонняя валковая подача, используемая как тянущая (при толщине материала от 0,1 до 1 мм) или (при толщине материала свыше 1 мм) как толкающая подача.

Двусторонняя валковая подача более универсальна и применяется в большем диапазоне толщин материала. Имеется возможность самостоятельного регулирования углов поворота выходной пары валков, что позволяет учесть некоторое увеличение длины отходов ленты при вырубке или укорочение при последовательной вытяжке в ленте.

Основные и присоединительные размеры механизмов автоматической подачи ленты нормализованы (ГОСТ 21141—75—ГОСТ 21146—75),

На рис. 370 приведена схема механизма валковой подачи. Осевой привод является клиноролликовая муфта рабочего и холостого хода. При движении тяги

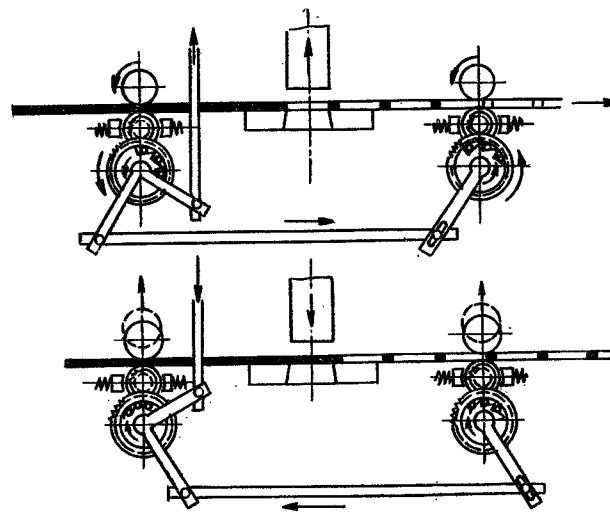


Рис. 370. Схема механизма валковой подачи ленты

вверх происходит заклинивание роликов, сцепление с наружной обоймой, поворот валков и перемещение ленты на величину шага подачи. При движении тяги вниз ролики соскальзывают, сцепления с наружной обоймой не происходит и валки не вращаются.

Ввиду возможности скольжения ленты и нарушения точности подачи рекомендуется применение ловителей в штампах.

На рис. 371 приведена диаграмма зависимости точности валковой подачи от шага подачи и числа ходов прессы. При большей величине шага подачи погрешности подачи увеличиваются. В этом случае для возможности применения валковых подач необходимо уменьшение числа ходов прессы.

Клещевая подача также универсальна по широкому диапазону толщин подаваемого материала (до 5 мм) и обладает повышенной точностью. В прессах обычно применяется двусторонняя клещевая подача, схема которой приведена на рис. 372, хотя иногда применяется и более простая односторонняя толкающая подача.

Клещевая двусторонняя подача имеет два неподвижных (тормозных) зажима и два подвижных зажима, захватывающих ленту и подающих ее в рабочую зону штампа. На верхней схеме рис. 372 показано начало подачи, а на нижней схеме — начало обратного хода подающих зажимов (кареток).

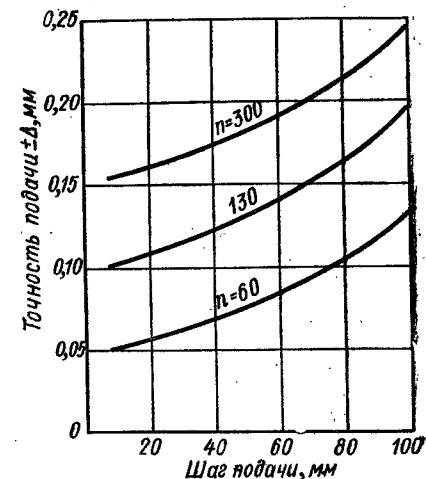


Рис. 371. Диаграмма зависимости точности валковой подачи от шага подачи и числа ходов прессы

В современных прессах с автоматической подачей применяют пневматический и гидравлический привод зажима клещей и перемещения подвижной каретки.

Клещевые подачи не находят применения в быстроходных прессах-автоматах вследствие развивающихся значительных инерционных сил. Точность клещевой

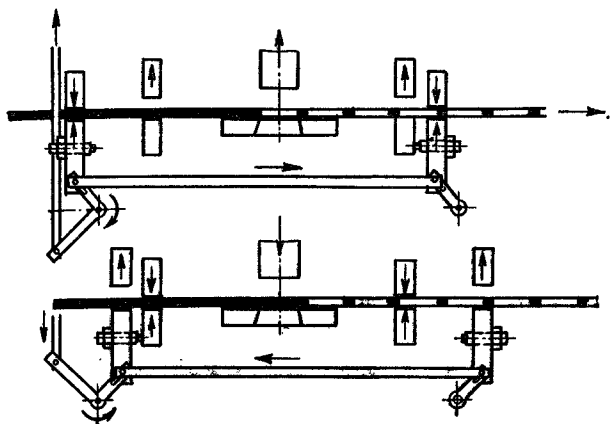


Рис. 372. Схема двусторонней клещевой подачи ленты

подачи выше, чем валковой, и составляет от $\pm 0,02$ мм (при шаге подачи до 40 мм) до $\pm 0,08$ мм (при шаге подачи до 150 мм).

Клинороликовая подача является разновидностью клещевой подачи. Она выполняется как односторонняя толкающая (рис. 373) или тянущая подача.

Механизм подачи состоит из неподвижной (тормозной каретки со стальными роликами, установленными в конической обойме) и подвижной (подающей) каретки

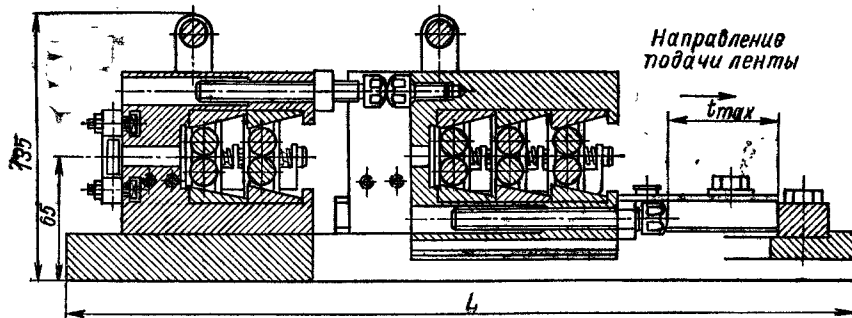


Рис. 373. Клинороликовая толкающая подача ленты

с несколькими парами стальных роликов, между которыми проходит полоса или лента.

Разновидностью клино-роликовых подач является клино-ижевая подача ленты и прутков.

Развитие штамповочной техники и увеличение производительности прессов-автоматов потребовали создания новых типов механизмов автоматической подачи штамповочной ленты и увеличения скорости подачи. Вместо скорости подачи 25 м/мин потребовались скорости в 50 и 70 м/мин.

В последние годы в США был создан безинерционный механизм подачи, известный под именем Фергюсона (рис. 374). Это двухвалковый механизм непрерывного действия, приводимый во вращение вертикальным валом с профильной нарезкой, которая периодически вращает роликовую головку, установленную на нижнем (приводном) валике. Вращение и простой головки чередуются и определяются профилем нарезки валика. Вначале механизм подачи Фергюсона имел одну постоянную скорость подачи (50 или 70 м/мин) и предназначался для вырубных автоматов, работающих с постоянным числом ходов. Для изменения скорости подачи необходимо было менять диаметры валиков. В дальнейшем ряд заводов внес в эту подачу изменение в виде сменных зубчатых колес, позволивших менять скорость подачи без смены подающих валиков.

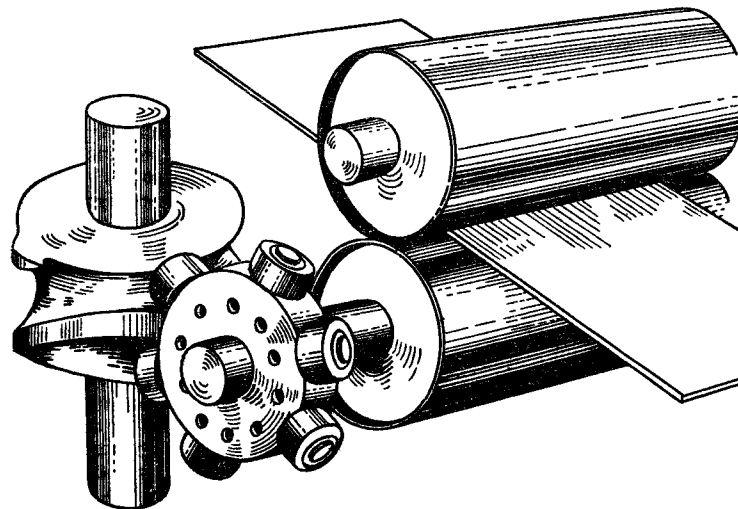


Рис. 374. Безинерционная подача (Фергюсона)

В настоящее время подача Фергюсона применяется для ленты шириной до 1200 мм, толщиной до 2 мм и подачей от 5 до 630 мм с точностью 0,05 мм.

В табл. 210 приведено сопоставление технических характеристик некоторых типов механизмов подачи рулонного материала в современных высокопроизводительных прессах.

210. Сопоставление технических характеристик современных механизмов подачи

Тип подачи	Наибольшая толщина ленты, мм	Наибольшая ширина ленты, мм	Скорость подачи, м/мин	Наибольшая длина подачи, мм	Точность подачи, \pm мм
Валковая обычная	4	730	До 25	630	0,15
Валковая безинерционная (Фергюсона)	2	1200	> 70	630	0,05
Клещевая механическая	6	500	> 20	400	0,15
Клещевая пневматическая	3	500	> 10	400	0,05
Клещевая гидравлическая	8	2000	> 40	9000	0,10

Для подачи на большую величину при высоком числе ходов пресса (600 в минуту) создана оригинальная конструкция пневматической автоматической подачи, приведенная на рис. 375.

Механизм подачи имеет по два пневматических цилиндра с каждой стороны. Цилиндры снабжены подвижными каретками с зажимными клеммами *A* и *B*, перемещаемыми по отдельным направляющим салазкам.

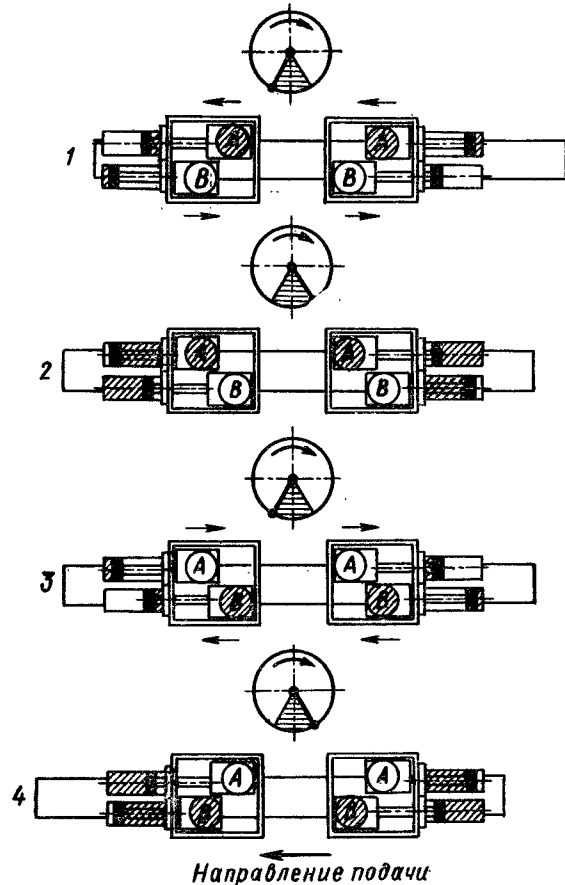


Рис. 375. Схема автоматической подачи ленты на большую величину шага

следних 40 мм подачи, производимых с замедленной скоростью. Фотоэлемент производит выключение механизма подачи. Длительность импульса соответствует подаче на 0,4 мм. Когда рабочий ход окончен, включается новый цикл автоматической подачи.

Весьма большое значение имеют индивидуальные механизмы подачи, входящие в конструкцию штампов или прикрепляемые к штампу и превращающие их в автоматические и полуавтоматические штампы. В этом случае штампы могут быть установлены на простом универсальном кривошипном прессе, не имеющем устройства для автоматической подачи.

В положении 1 клеммы *A* зажимают ленту, а пневматические цилиндры перемещают ее справа налево. В то же время клеммы *B* освобождают ленту и пневматическими цилиндрами перемещаются слева направо (в исходное положение). Таким образом, исключена потеря времени на обратный ход подающих кареток.

В положении 2 происходит процесс штамповки. В это время производится переключение давления зажимов с *A* на *B*.

В положении 3 лента зажимается клеммами *B* и второй парой пневматических цилиндров подается на шаг подачи справа налево. Каретки с клеммами *A* в это время возвращаются в правое исходное положение.

В положении 4 происходит переключение давления зажимов и выполняется процесс штамповки.

На приведенных круговых схемах показано положение кривошипа к началу данного цикла и направление вращения вала. Заштрихованный сектор соответствует процессу штамповки.

Весьма интересен пример автоматической подачи ленты на длину до 4000 мм за каждый ход пресса с точностью до 0,4 мм, созданный в Англии. Подача происходит со скоростью 12 м/с, кроме

Приведем некоторые типы простейших механизмов автоматической подачи ленты, встраиваемых в штампы.

На рис. 376 показано простое и дешевое устройство клещевого типа для автоматической подачи ленты, широко применяемое на заводах счетно-аналитических машин.

Механизм подачи состоит только из одной подающей каретки 1, действующей от пружин 3, сжимаемых при давлении верхней части штампа на скос каретки. Заклинивание ленты во время толкающей подачи производится собачкой 2. Торможение ленты во время возвращения каретки в исходное положение производится подпружиненным пальцем 4 или пружинным фиксатором. Шаг подачи определяется величиной скоса боковых полок каретки. Эти механизмы подачи делаются как односторонними, так и двусторонними.

На рис. 377 представлено устройство для автоматической подачи ленты клинорюликового типа. Это устройство принципиально не отличается от предыдущего типа, за исключением заклинивающих деталей, которыми являются ролики, находящиеся в обоим, а также перемены мест подвижной и неподвижной кареток 2 и 3. Ввод пружины в рабочее положение осуществляется клином 1, прикрепленным к верхней части штампа. Практика эксплуатации показала устойчивую работу данного механизма при шаге подачи до 50 мм.

К числу простейших механизмов автоматической подачи ленты, являющихся узлом штампа, следует отнести крючковые механизмы подачи ленты, успешно применяемые на ряде заводов, производящих предметы широкого потребления.

Схема конструкции крючкового механизма приведена на рис. 378.

К универсальным съемным механизмам подачи ленты, пристраиваемым к последовательно-вырезным штампам, относится универсальное приспособление Б. С. Литвиненко с регулируемым шагом подачи.

В табл. 211 приведена техническая характеристика простейших механизмов автоматической подачи ленты, встраиваемых в конструкцию штампа.

211. Техническая характеристика простейших механизмов автоматической подачи ленты, встраиваемых в конструкцию штампа

Тип механизма подачи	Шаг подачи, мм	Размеры ленты, мм	Наибольшее число ходов пресса в минуту	Точность шага подачи, ± мм
Клещевой (рис. 376)	До 40	До 1,0 × 100	250	0,20—0,30
Клинорюликовый (рис. 377)	» 50	» 1,5 × 100	250	0,06—0,15
Крючковый (рис. 378)	10—50	(0,3 ÷ 3) × 100	250	0,20—0,50

В ряде случаев приходится иметь дело со штучными заготовками — при изготовлении деталей из толстолистовых материалов (свыше 4 мм), из крупных штучных заготовок, а также в массовом производстве мелких деталей типа колпачков, гильз

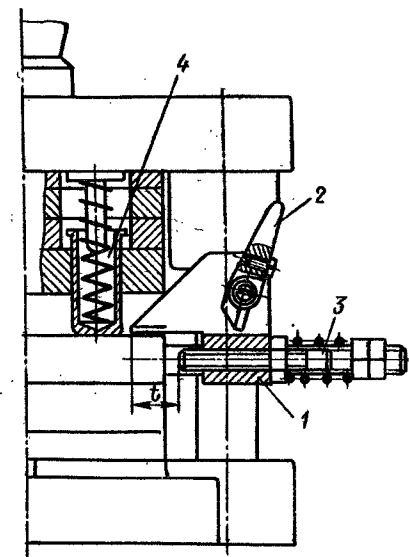


Рис. 376. Клещевой механизм простейшего типа, встраиваемый в штамп

и т. п. В последнем случае заготовки следует рассматривать как сыпучую массу и применять соответствующие механизмы сортировки, ориентации и подачи (механические или вибрационные бункеры и пр.).

Автоматизация подачи штучных заготовок требует применения более сложных механизмов для каждой из отдельно автоматизируемых операций.

Поэтому более правильный и эффективный путь автоматизации холодной штамповки — это полное устранение последующих штамповочных операций с ручной подачей штучных заготовок, а не автоматизация подачи этих заготовок.

К механизмам для автоматической подачи штучных заготовок относятся следующие: 1) револьверные; 2) магазинные (шиберные) по ГОСТ 15824—70; 3) бункерные; 4) грейферные по ГОСТ 15989—70; 5) шарнирно-рычажные (механические руки) по ГОСТ 16558—71; 6) промышленные роботы (автоматические манипуляторы).

Их устройство и применение изложено в РТМ 70—63—РТМ81—63 „Автоматизирующие устройства для холодной листовой штамповки штучных заготовок“. Здесь приведем лишь общие сведения и указания.

Револьверные механизмы в подавляющем большинстве случаев являются принадлежностью специальных револьверных прессов. Их применение в конструкции отдельных автоматизированных штампов.

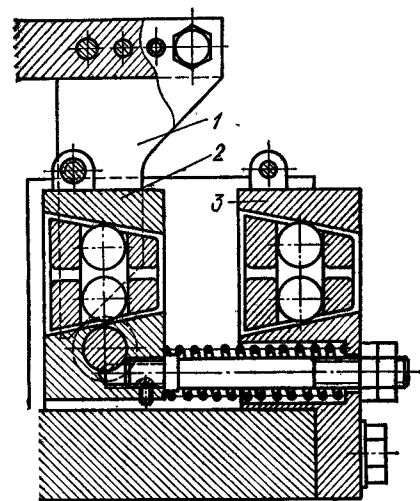


Рис. 377. Клиноролковый механизм подачи ленты, встраиваемый в штамп

пов должно быть ограничено редкими случаями (зачистная штамповка, сборка, некоторые случаи вытяжки).

Револьверные диски обычно имеют восемь или десять гнезд по окружности при диаметре гнезд от 60 до 160 мм.

Периодический поворот револьверного диска осуществляется следующими способами: 1) механическим (храпового, получервячного, мальтийского, реечного типов); 2) пневматическим; 3) гидравлическим.

Грейферные механизмы являются принадлежностью многопозиционных прессов-автоматов. В некоторых случаях целесообразно применение специальных многопозиционных блок-штампов, снабженных грейферными механизмами для перемещения штучных заготовок, приводимыми в действие пневматическими устройствами. В этом случае вместо крупного и дорогого многопозиционного пресса может быть применен более дешевый пресс простого действия.

Конструкции магазинных (шиберных) и бункерных устройств для подачи штучных заготовок и их характеристики регламентированы ГОСТ 15824—70 и др.

Бункерные загрузочные устройства снабжены бункером, в который навалом загружаются заготовки. Бункер снабжен тем или иным механизмом для захвата и ориентации заготовок. Эти механизмы не имеют жесткой кинематической связи с обслуживаемым прессом,

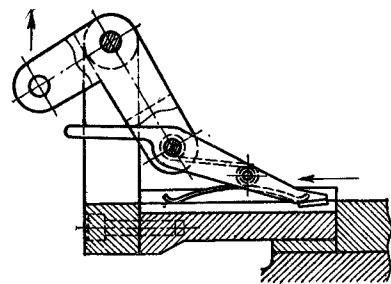


Рис. 378. Схема крючкового механизма для подачи ленты

Бункерные загрузочные устройства состоят из следующих механизмов: бункера, механизма захвата и ориентации, магазина (накопителя), механизма поштучной выдачи (отсекателя), питателя.

Конструкции бункерных загрузочных устройств зависят от формы и размеров заготовок и весьма разнообразны.

Бункерные загрузочные устройства применяют в массовом производстве для автоматизации подачи небольших заготовок простой геометрической формы.

Средняя производительность механизма захвата и ориентации должна превышать производительность обслуживаемого пресса.

Излишние заготовки или поглощаются магазином-накопителем, или сбрасываются особым механизмом.

Более подробные данные по магазинным и бункерным устройствам приведены в специальной литературе [73].

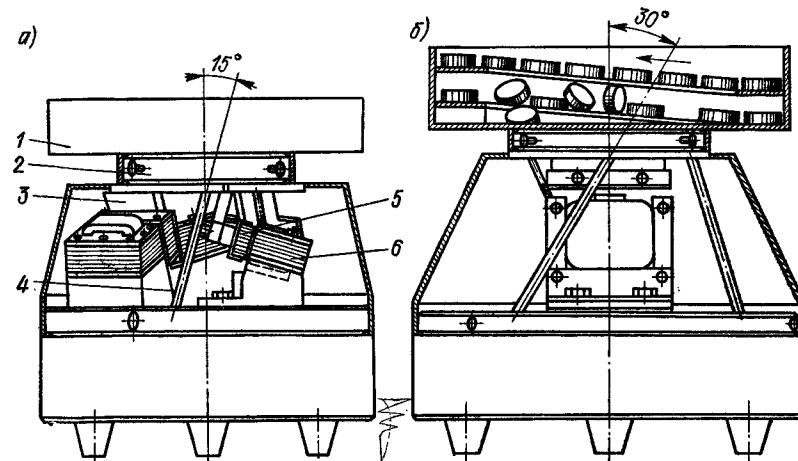


Рис. 379. Схемы вибрационных буферов: а — с тремя вибраторами; б — с одним вибратором

В последнее время получили широкое применение вибрационные бункеры взамен более сложных механических бункеров.

Вибрационный бункер состоит из вибрационного привода и собственно бункера со спирально расположенным лотком для движущихся деталей (рис. 379).

Привод состоит из электромагнитных вибраторов 6, питаемых от сети переменного тока через селеновый выпрямитель. Последний пропускает ток только в одном направлении и как бы срезает нижнюю часть синусоиды переменного тока. Таким образом, электромагнитные вибраторы питаются пульсирующим током.

Якоря электромагнитов совершают 3000 кол/мин (при частоте 50 Гц) с амплитудой, регулируемой в пределах от 0,05 до 1 мм. Якоря 5 электромагнитов прикреплены к угольникам 3, установленным на рессорах 4 из полосовой или круглой пружинной стали. На верхних угольниках установлен диск 2, являющийся основанием бункера 1.

Сущность действия вибрационного бункера состоит в том, что во время прохождения в электромагните тока максимальной силы происходит притягивание якорей 5 и резкий поворот бункера в сторону, обратную движению деталей, с небольшим опусканием основания диска 2 и лотков вниз. Детали под действием сил инерции продолжают двигаться в прежнюю сторону (направление движения указано стрелкой) и, отрываясь от лотков, попадают на новое место вверх по лотку. В результате таких колебаний и толчков с частотой 3000 в минуту детали непрерывно перемещаются вверх по спиральному лотку бункера.

Ориентация заготовок в нужном положении происходит автоматически вследствие применения в спиральных лотках вырезов, уступов и т. п.

Все детали, не имеющие нужного положения, под действием собственной тяжести падают с лотков вниз.

4. МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ УДАЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ И ОТХОДОВ

Автоматизация удаления отштампованных деталей имеет весьма важное значение для увеличения производительности, а особенно в отношении техники безопасности, так как большинство несчастных случаев в штамповочных цехах происходит при

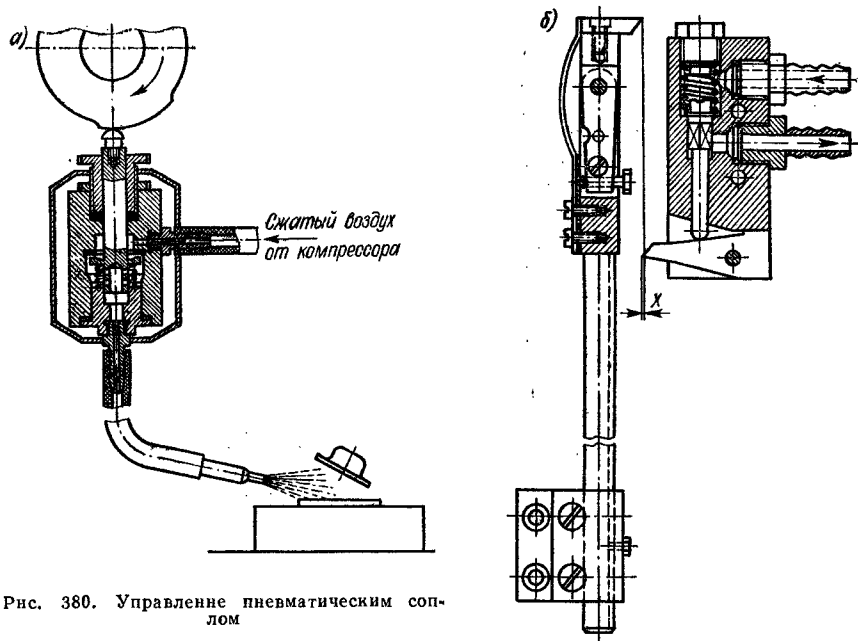


Рис. 380. Управление пневматическим соплом

ручном удалении деталей из штампа. Поэтому механизация съема и удаления деталей должна применяться и в случае обычной штамповки без автоматической подачи заготовок.

Наиболее простым способом автоматического удаления деталей является штамповка на провал, при которой отштампованные детали или падают в соответствующий ящик, или набираются в пакет (стапелируются).

Весьма простым и надежным способом удаления небольших деталей с поверхности штампа является применение сжатого воздуха.

На рис. 380 показан узел управления пневматическим сдувающим соплом приводимый в действие кулачком, сидящим на конце кривошипного вала (рис. 380, а), и шарнирным рычагом, установленным на ползуне прессы (рис. 380, б).

Весьма важно механизировать удаление крупных и тяжелых деталей на прессах большой мощности, так как для ручного обслуживания их обычно требуется от двух до четырех человек.

На рис. 381 изображено рычажное устройство для автоматического удаления крупных деталей, падающих из верхней половины штампа на приемную полку, вводимую при холостом ходе в рабочее пространство штампа и выводимую оттуда

при рабочем ходе ползуна прессы. Для уменьшения трения покрытие приемной полки делается рифленым. Для тех же целей применяются пневматические устройства, действующие от сети сжатого воздуха. Удаляющие устройства приведены в ГОСТ 17384—72.

Для удаления из штампа крупных вытяжек типа кузовных деталей автомобилей широко применяются автоматические устройства, получившие название механическая рука. Механические руки бывают двух видов — подвесные качающиеся и напольные — горизонтальные. Корпус подвесной механической руки (рис. 382) шарнирно прикреплен к станине прессы. При подъеме наружного ползуна прессы вверх поднимающаяся вместе с ним планка скользит по ролику и поворачивает корпус руки вокруг шарнира. Поршень малого цилиндра закрывает клещевые зажимы, захватывающие край детали, а поршень большого цилиндра поднимает зажимное устройство, что в сочетании с поворотом корпуса механической руки позволяет удалять детали из полости штампа. В крайнем верхнем положении ползуна деталь освобождается и падает на рольганг.

Управление пневматикой — электрическое, при помощи соленоида или электропневматического клапана. Для безотказного действия механической руки удаляемая деталь должна быть приподнята выталкивателями до требуемого уровня.

Аналогичные устройства широко применяются в автоматических линиях штамповки деталей автомобильных кузовов. Кроме подвесных применяются напольные передвижные механические руки.

На рис. 383 изображены различные типы захватов передвижной механической руки, применяемые для деталей различной формы.

Последней новинкой в области автоматизации штамповки крупных штучных заготовок и деталей является применение промышленных роботов (автоматических манипуляторов).

Промышленный робот — это автоматический манипулятор с программным управлением, предназначенный для выполнения вспомогательных и некоторых основных производственных процессов.

В настоящее время применяются главным образом промышленные роботы первого поколения с цикловыми или числовыми системами программного управления (ЧПУ), работающие по жесткой программе.

На рис. 384 приведены схемы промышленных роботов в двух исполнениях: одноруком (рис. 384, а) и двуруком (рис. 384, б). Применение промышленных роботов позволяет заменить ручной труд на тяжелых, вредных и однообразных работах.

Робот снабжен устройством для числового программного управления, блоком памяти на твердых элементах или на магнитных лентах, или дисках, а также устройствами для ввода команд, контроля и общения человека с роботом,

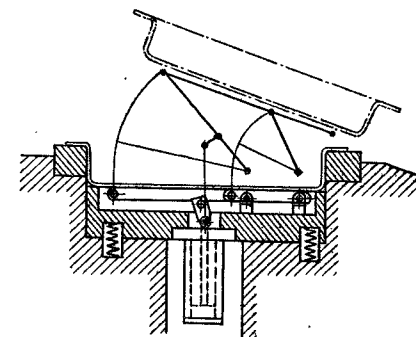


Рис. 381. Рычажное устройство для автоматического удаления крупных деталей

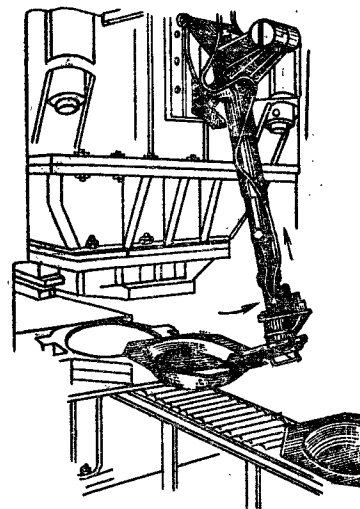


Рис. 382. Механическая рука для удаления крупных деталей из штампа

Рабочими органами робота являются руки, оснащенные пневматическими или гидравлическими приводами с электрическими или гидравлическими системами управления. Робот снабжен клещевым, электромагнитным или вакуумным захватами. Грузоподъемность роботов от 2 до 50 кг, число степеней свободы (движений) 5—6. В СССР в последние годы создан ряд образцов промышленных роботов, применяемых для выполнения вспомогательных операций на разных процессах, в том числе и на холодной листовой штамповке (роботы УМ-1, „Универсал“, ПРЦ-1 и др.).

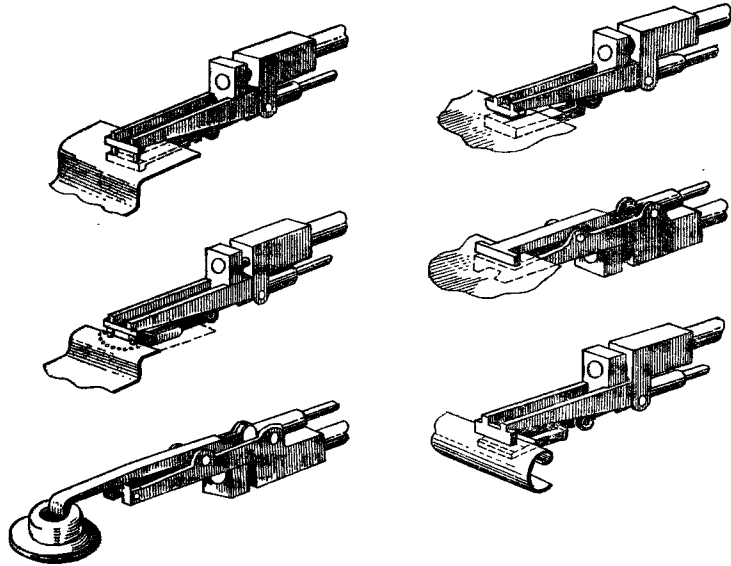


Рис. 383. Различные типы захватов передвижной механической руки

Преимущественная область применения обычных промышленных роботов — это штамповка крупных тяжелых заготовок и деталей. Применять их на штамповке мелких деталей нецелесообразно, так как роботы малопродуктивны (цикл — 3 с). В часовой промышленности применяют мини-роботы на сборке деталей массой в несколько грамм. Наибольшее применение промышленные роботы получили в США и Японии, которые выпускают роботы различного назначения (от питателя или передающего механизма до свободно программируемого робота).

5. АВТОМАТИЗАЦИЯ СЧЕТА, УКЛАДКИ И (СТАПЕЛИРОВАНИЯ) И ВЗВЕШИВАНИЯ ОТШТАМПОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ

При обычной штамповке на провал, а также и с обратным выталкиванием деталей на поверхность штампа с последующим сбрасыванием их в ящик детали находятся в хаотическом беспорядке, мнут и царапают друг друга, перепутываются с отходами и требуют рассортировки, что иногда обходится дороже, чем штамповка. В ряде случаев (штамповка трансформаторных, статорных, роторных пластин и других деталей) это совершенно недопустимо.

Для устранения указанных недостатков применяется автоматическая укладка в пакеты или съемные магазины, помещаемые под штампы. Типы устройств для укладки зависят от формы, размеров и особенностей штампуемых деталей. Они регламентированы ГОСТ 16927—71 на ступенирующие устройства.

Некоторые детали типа трансформаторных пластин требуют удаления заусенцев. Подвергать их обкатке в барабане невозможно. В этом случае применяют автома-

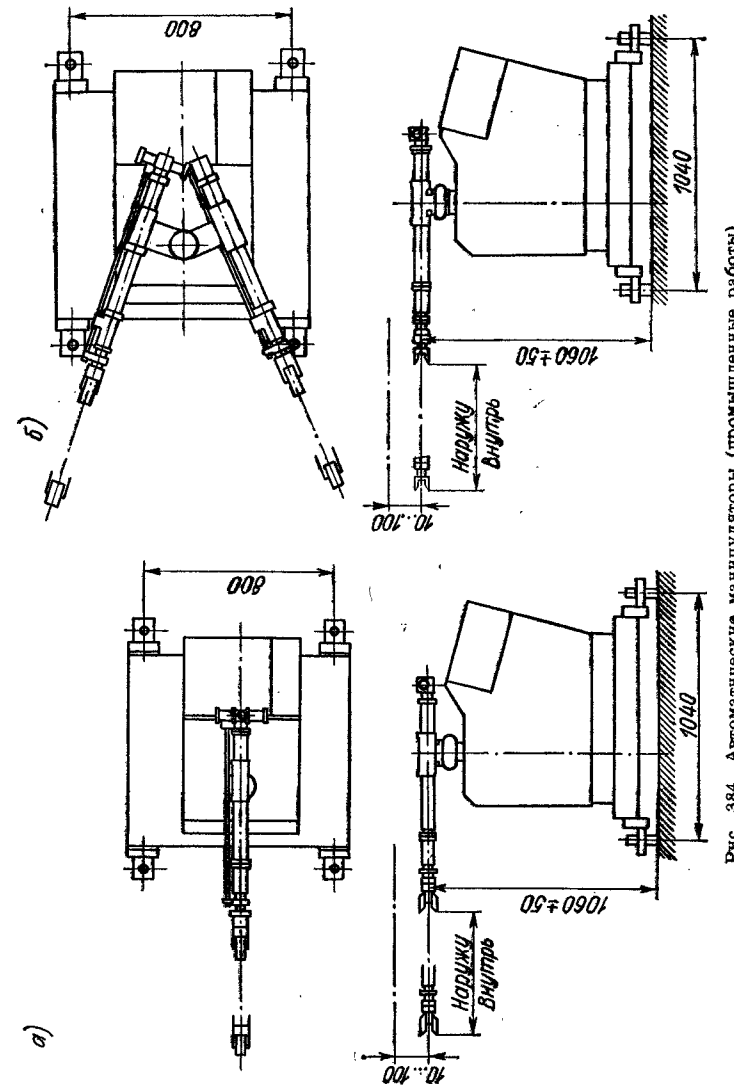


Рис. 384. Автоматические манипуляторы (промышленные роботы)

тическое устройство для обжатия заусенцев при обкатке между двумя валками с последующим штапелированием.

Более крупные детали из электротехнической стали подвергаются зачистке заусенцев в автоматах с абразивными ($n = 4000$ об/мин) и резковыми кругами ($n = 80$ об/мин).

В некоторых случаях требуется штапелировать детали определенными пачками заданной массы. Для этой цели применяют автоматическое взвешивание штапелируемых деталей на специальных автоматических несах, устанавливаемых рядом с прессом.

Счет отштампованных деталей обычно производится по числу ходов пресса, фиксируемому обычным счетчиком, установленным на станине пресса. Более точно число отштампованных деталей может быть подсчитано приборами с радиоактивными изотопами.

Наиболее простым способом, применяемым в массовом производстве небольших деталей, является взвешивание всей партии отштампованных деталей. Исключив массу тары и разделив общую массу на массу одной детали, находят количество отштампованных деталей. Разумеется, что взвешиванию подвергаются только годные принятые детали, без брака и отходов.

6. АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ, БЛОКИРОВКИ И КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ

Всперебойная работа прессов с автоматической подачей заготовок и специальных прессов-автоматов требует предохранения прессов и штампов от поломки в результате различных причин путем автоматической остановки при появлении брака детали, нарушении регулярной подачи заготовок или попадании слишком заготовок

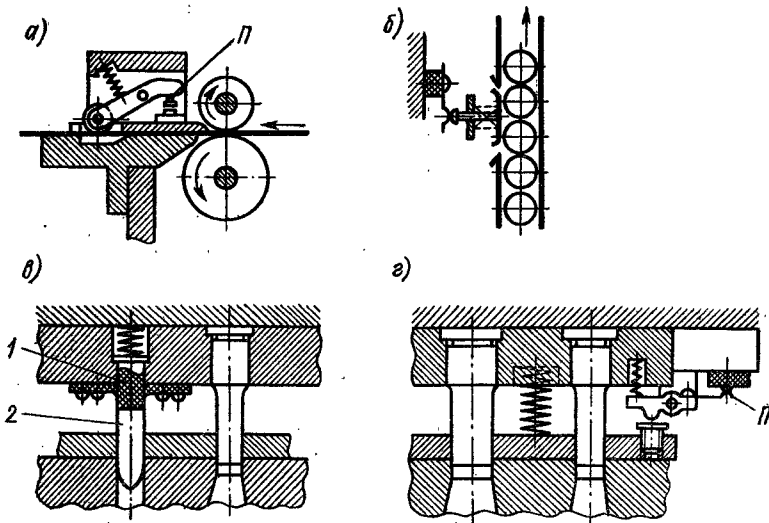


Рис. 385. Типы прерывателей для автоматического останова пресса

и т. п. Это достигается применением специальных прерывателей, размыкающих или замыкающих электрические цепи, вследствие чего приводится в действие различная пусковая аппаратура, управляющая пуском и остановкой электродвигателя пресса.

На рис. 385 приведены различные типы прерывателей, применяемые для автоматического останова пресса при прекращении или нарушении автоматической подачи заготовок.

На рис. 385, а показан тип прерывателя, размыкающего электрическую цепь пускового механизма в случае окончания подачи ленты, так как ролик под действием пружины опустится; на рис. 385, б — схема автоматического выключателя прерывателя в случае прекращения подачи заготовок, на рис. 385, в — тип прерывателя, замыкающего электрическую цепь (в обычном состоянии разобранную диэлектрической втулкой 1) в случае нарушения шага подачи и непопадания ловителя 2 в пробитое пуансоном отверстие, на рис. 385, г — тип прерывателя П, размыкающего электрическую цепь пускового механизма в случае попадания в штамп двух слипшихся или сцепившихся заусенцами заготовок.

На рис. 386 приведены типовые электрические схемы автоматического останова прессов в случае нарушения их нормальной работы.

Наиболее простая схема автоматического управления прессом, соответствующая типу прерывателя по рис. 385, а, показана на рис. 386, а. При нарушении нормальной работы пресса прерыватель размыкает цепь и выключает соленоид, удерживающий приводную муфту в рабочем положении, вследствие чего пресс автоматически останавливается.

Схема автоматического управления, соответствующая типу прерывателя по

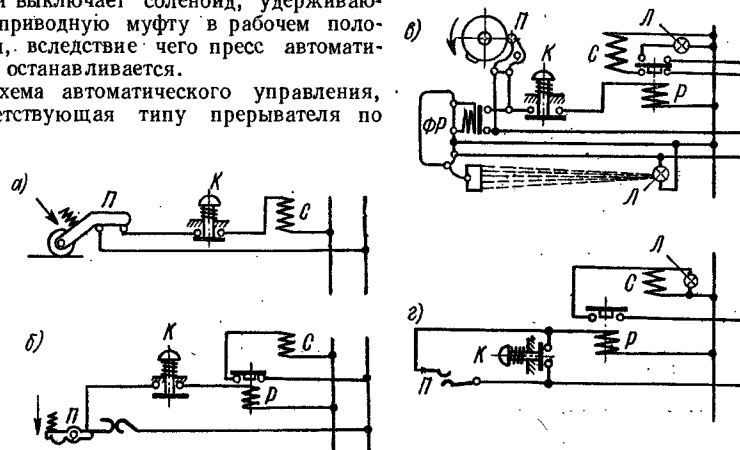


Рис. 386. Типовые электрические схемы автоматического останова прессов (блокировка): П — прерыватель; Р — реле; С — соленоид; Л — лампа; К — пусковая кнопка; ФР — фотоэлектрическое реле

рис. 385, г, показана на рис. 386, б. При нормальной работе пресса прерыватель замыкает первичную электрическую цепь, реле держит вторичную цепь замкнутой, а соленоид удерживает приводную муфту пресса в рабочем положении; при разрыве прерывателем первичной цепи реле выключается, вторичная цепь размыкается, а пресс останавливается.

Схема, в которую входит фотоэлектрическое реле с экраном, воспринимающим пучок света от лампы, и обычное реле, управляющее соленоидом, связанным с приводным механизмом пресса, приведена на рис. 386, в; в случае пересечения пучка света каким-либо предметом или руками рабочего фотореле замыкает первичную цепь, реле перестает действовать, вторичная цепь размыкается, пресс останавливается и зажигается сигнальная лампа.

На рис. 386, г показана схема разомкнутого типа, отличающаяся тем, что при нормальной автоматической работе пресса первичная и вторичная цепи разомкнуты; при замыкании первичной цепи прерывателем (аналогично рис. 385, в) или ручной кнопкой реле замыкает вторичную цепь, приводит в действие соленоид, выключающий пресс, и зажигает сигнальную лампу.

В настоящее время созданы основы более высокой формы автоматизации управления процессом штамповки — программное управление работой пресса, вспомогательных механизмов и транспортных устройств при помощи ЭВМ,

В СССР освоено производство прессового оборудования с программным управлением. К нему относятся координато-револьверные пробивные прессы с числовым программным управлением усилием 16; 40 и 63 тс. Они предназначены для пробивки большого количества отверстий в панелях по заданной программе. Револьверные головки оснащены 28 комплектами пуансонов и матриц. Числовым программным управлением снабжены также высечные копируемые станки типа фирмы „Трумф“. Такой копируемый пресс-автомат представляет собой листообработывающий центр нового типа. Программным управлением снабжены некоторые модели листогибочных гидравлических прессов и листогибочных машин с поворотной балкой.

Перспективны комплексные установки с программным управлением КОН-1 и КОН-2 для автоматической резки листов по заданной программе, включая сортировку и укладку в тару.

Ранее были показаны двоянные прессы-автоматы с программным управлением для синхронизированной штамповки пазов статора и ротора с раздельным ступенчатым управлением (см. рис. 304).

Большое будущее принадлежит промышленным роботам, представляющим собой автоматический манипулятор с программным управлением. На смену роботам

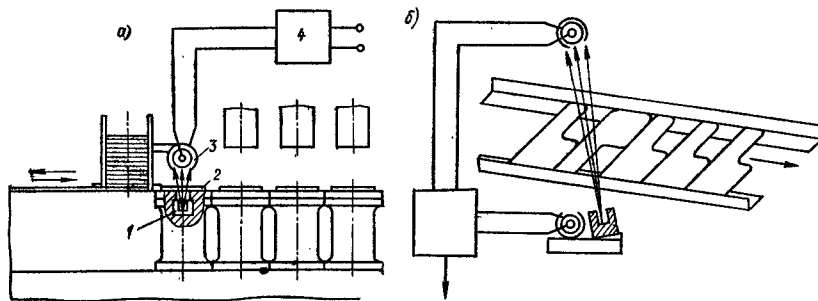


Рис. 387. Схемы контрольных устройств с применением радиоактивных изотопов

первого поколения с ЦПУ выходят более совершенные автоматические манипуляторы второго поколения.

Иногда для контроля и управления процессом штамповки применяют радиоактивные изотопы. Обычно в качестве радиоактивного изотопа применяются стронций-90, дающий безвредное β -излучение. Последнее представляет собой поток электронов, движущихся со скоростью, близкой к скорости света.

При прохождении β -излучения через толщину листовой заготовки происходит значительное изменение интенсивности потока β -лучей, регистрируемое газоразрядным счетчиком, ток которого усиливается релейным блоком и преобразуется в сигнал, подаваемый в электрическую сеть управления прессом или штамповочной линией.

Разработаны и внедрены различные устройства для контроля и управления процессом штамповки с применением радиоактивных изотопов.

На рис. 387 приведены некоторые схемы контрольных устройств с применением радиоактивных изотопов.

Контроль толщины штучных заготовок на многопозиционном прессе показан на рис. 387, а. Заготовки 2 проходят между источником излучения 1 и приемником 3, преобразующим β -излучение в электрические импульсы, поступающие на электронно-релейный блок 4.

По тому же принципу выполнен контроль толщины заготовки на листо- и полосукладчиках.

На рис. 387, б приведена схема контроля правильности ориентации заготовок. В указанных устройствах применяется типовой излучатель БИ-1, выпускаемый серийно отечественной промышленностью.

В качестве приемника β -излучения используются стандартные низковольтные газоразрядные счетчики (Гейгера—Мюллера) с галогенным наполнением типа СТС-5.

Электронно-релейный блок типа УРАП-30, выпускаемый серийно, служит для приема электрических импульсов, поступающих от газоразрядных приемников при их облучении β -частицами, и представляет собой однокаскадный усилитель напряжения.

7. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ШТАМПОВОЧНЫЕ ЛИНИИ

Наиболее совершенной формой автоматизации является комплексная автоматизация и создание автоматических линий.

В настоящее время успешно работают тысячи штамповочных автоматических линий в различных отраслях промышленности при производстве как мелких, так и крупных изделий, электроустановочных изделий, радиодеталей, шарнирных пластинчатых цепей, шарнирных петель, парфюмерных тюбиков, консервных банок, крепежных деталей, автомобильных рессор, деталей автомобильных кузовов и др.

При создании автоматических штамповочных линий должен быть решен следующий комплекс вопросов по механизации:

- 1) подача заготовок и полуфабрикатов в штамп;
- 2) фиксация заготовки в правильном положении;
- 3) удаление детали из штампа;
- 4) транспортировка полуфабриката на следующую операцию;
- 5) автоматический контроль деталей;
- 6) автоблокировка, обеспечивающая безаварийную работу всей линии.

В зависимости от степени механизации и автоматизации передачи заготовок с операции на операцию возможно создание поточных, полуавтоматических или полностью автоматических штамповочных линий.

В табл. 212 приведены различные типы линий штамповочных прессов в зависимости от способа передачи заготовок с операции на операцию.

В зависимости от масштаба производства автоматические линии могут быть или индивидуальные (для одной детали), или чаще — групповые для нескольких деталей, с переналадкой линии.

В массовом производстве однотипных деталей разработаны системы комплексной автоматизации с программным управлением прессам, вспомогательными механизмами и транспортными устройствами.

Автоматизация холодной листовой штамповки требует тщательной отработки технологических процессов и предъявляет повышенные требования к однородности листового металла как по качеству, так и по размерам.

Особо важной проблемой является правильная и надежная фиксация в штампе автоматически поданной заготовки.

В ряде случаев в конструкцию штампа встраиваются особые утопающие приемники, предназначенные для правильной установки заготовки и снабженные специальными штифтами и электрическими кнопками, блокирующими включение пресса при неправильном положении заготовки.

Автоматические линии, применяемые для штамповки крупных и средних деталей, делятся на три типа.

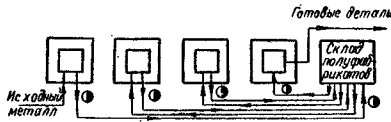
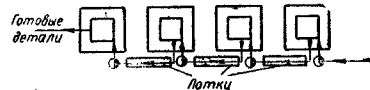
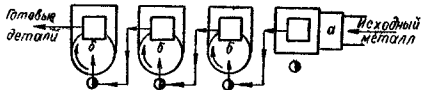
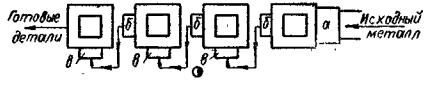
К первому типу относятся линии с жесткой связью, в которых транспортирующие устройства жестко соединены между собой, аналогично грейферным механизмам в многопозиционных прессах. Оси прессов, устанавливаемых на таких автоматических линиях, должны быть расположены строго на одной линии, а центры прессов — на одинаковом расстоянии или кратном размерам детали.

Ко второму типу относятся линии с гибкой связью, в которых транспортирующие механизмы, передающие детали с пресса на пресс, включаются в работу самими деталями, в случае если деталь правильно ориентирована по отношению к штампу.

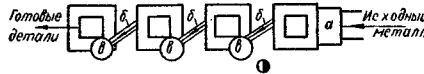
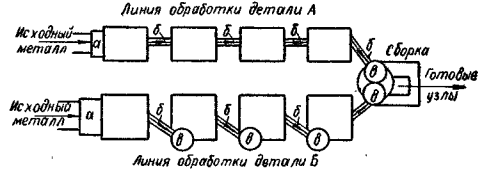
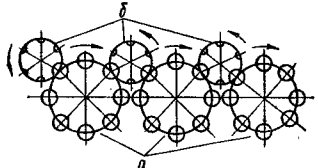
К третьему типу относятся комбинированные или смешанные линии, в которых между одними прессами имеется жесткая, а между другими — гибкая связь.

В зарубежной автомобильной промышленности в последнее время наиболее зарекомендовал себя два типа автоматических линий для производства крупных

212. Различные типы линий штамповочных прессов

Типы линий	Схемы и пояснения
Немеханизованная линия	 <p>Ручное обслуживание каждого пресса. Работа на складе полуфабрикатов. Непроизводительный метод работы</p>
Потоочная полумеханизованная линия	 <p>Передача от пресса к прессу по лоткам или рольгангам. Сокращается длительность производственного цикла</p>
Потоочная механизированная линия	 <p>Прессы с полуавтоматической револьверной или дисковой подачей (б) позволяют использовать каждый ход пресса. Первый пресс снабжен автоматической подачей ленточного материала (а). Остальные прессы загружаются вручную</p>
Полуавтоматическая потоочная линия	 <p>Прессы оборудованы автоматическими магазинными питателями (в) и стапелирующими устройствами (б). Возможно многостаночное обслуживание прессов.</p>

Продолжение табл. 212

Типы линий	Схемы и пояснения
Автоматическая потоочная линия	 <p>Прессы оборудованы автоматическими бункерными питателями (в) и транспортерами (б). Рабочий обслуживает несколько линий</p>
Комплексная автоматическая потоочная линия	 <p>Полная автоматизация пролета штамповочного цеха, состоящего из двух или нескольких автоматических линий, оборудованных транспортерами (б) и бункерными питателями (в)</p>
Роторная комплексная автоматическая линия	 <p>Комплексная автоматизация штамповочных, контрольных, термических, отделочных и других операций. Линия состоит из рабочих (а) и транспортных (б) роторов</p>

листовых деталей [54]. Это автоматическая прессовая линия типа „Синхроматик“ фирмы „Дэнли“ (США) и автоматическая линия прессов типа „Автоматик“ фирмы „Коматцу“ (Япония).

Автоматическая линия „Синхроматик“ предназначена для штамповки крупных деталей кузова. Линия состоит из пресса двойного действия усилием 1000 тс, пяти прессов простого действия по 500—800 тс, листоукладчика, полного комплекта загрузчиков, разгрузчиков и межоперационных конвейеров (рис. 388). Прессы укомплектованы электродвигателями постоянного тока с регулируемым числом оборотов. Число ходов пресса регулируется от 9 до 18 в минуту. Автоматические устройства приводятся в действие от главного привода пресса, благодаря чему обеспечивается синхронность работы прессов и автоматических устройств.

В конструкции штампов большое внимание уделяется автоматическому удалению отходов. В остальном штампы мало чем отличаются от обычно применяемых в автомобильной промышленности,

электромагнитов, управляющих путевыми стрелками, направляющими тележку по тому или иному пути.

Типовые конструкции подвесных толкающих конвейеров созданы Всесоюзным научно-исследовательским институтом подъемно-транспортного машиностроения [85].

Одним из новых путей развития комплексной автоматизации производственных процессов является создание автоматических роторных линий. Роторные машины, входящие в состав линий, характеризуются независимостью транспортного и технологического движений, совершаемых одновременно. Длительность рабочего цикла не зависит от длительности операции, благодаря чему можно обеспечить одинаковую производительность на всех операциях независимо от их длительности. Это достигается изменением числа рабочих позиций в каждом роторе.

На рис. 389 приведена схема автоматической роторной линии, состоящей из устройств автоматической загрузки, ротора питания, операционных рабочих роторов, контрольных и транспортных роторов.

Каждый ротор представляет собой самостоятельную роторную машину, состоящую из привода и блоков с инструментами, приводимых в возвратно-поступательное вертикальное движение копирами, установленными в верхнем барабане.

В зависимости от сложности технологического процесса автоматические роторные линии обычно состоят из 8—10 операционных роторов (включая отжиг, травление и промывку) и такого же количества транспортных роторов.

Раздел пятый

ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ХОЛОДНОЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКЕ

ГЛАВА I

МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

1. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, ВЫЯВЛЯЕМЫЕ ПРИ ИСПЫТАНИИ ЛИСТОВЫХ МЕТАЛЛОВ НА РАСТЯЖЕНИЕ

Из всех методов определения механических свойств металлов наилучшие результаты дает испытание на растяжение, которое позволяет определить прочностные характеристики (предел текучести, предел прочности и др.), показатели пластичности (относительное удлинение и относительное сужение, коэффициент анизотропии), а также другие показатели, приведенные в табл. 213.

Зависимость между напряжением и деформацией выражается диаграммой условных, а более правильно — диаграммой истинных напряжений (рис. 390).

На рис. 391, а и б приведены кривые деформационного упрочнения различных металлов и сплавов, дающие зависимость между величиной истинных напряжений и относительной деформацией при растяжении и сжатии.

Испытание на растяжение тонких листовых металлов значительно труднее испытания круглых образцов. При испытании тонких плоских образцов наблюдается иной характер разрушения образца с искажением размеров и формы шейки по сравнению с круглыми образцами. Из-за искажения формы шейки затруднен ее обмер и точный подсчет поперечного сечения. В итоге получается расхождение между результатами испытания круглых и плоских образцов.

Вследствие указанных особенностей, испытание на растяжение тонколистовых металлов производится по ГОСТ 11701—66.

Отличительной особенностью этого ГОСТа является метод определения новой механической характеристики — *равномерного относительного удлинения*, являющегося весьма важным показателем штампуемости металла.

Чем больше величина равномерного относительного удлинения δ_0 , осуществимого до образования шейки при растяжении, тем выше (лучше) штампуемость данного металла.

Помимо равномерного относительного удлинения указанный ГОСТ предусматривает определение полного относительного удлинения после разрыва.

Автором установлено, что показатель наибольшей пластичности металла при растяжении может быть выражен не только через относительное сужение ψ , но также

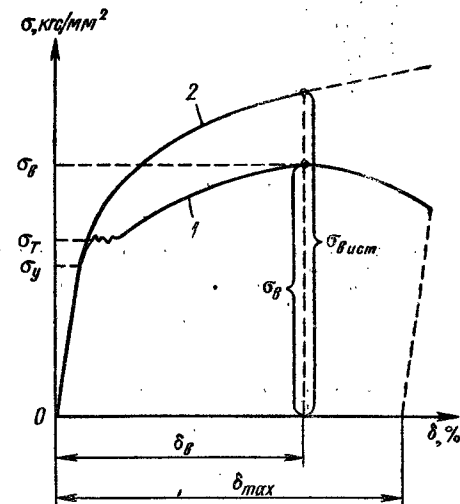


Рис. 390. Диаграмма условных (1) и истинных (2) напряжений

213. Характеристики механических свойств, определяемые при испытании на растяжение

Характеристики	Обозначения
Предел упругости	$\sigma_y = \frac{P_y}{F_0}$
Предел текучести (физический)	$\sigma_T = \frac{P_s}{F_0}$
Предел текучести (условный)	$\sigma_{02} \approx \sigma_T$
Предел прочности (временное сопротивление разрыву)	$\sigma_B = \frac{P_{\max}}{F_0}$
Истинный предел прочности (критическое напряжение)	$\sigma_{B, \text{ист}} = \frac{P_{\max}}{F_{\text{ист}}}$ $\sigma_{B, \text{ист}} = \sigma_B (1 + \delta_B)$
Абсолютное удлинение	$\Delta l = l_k - l_0$
Относительное удлинение	$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} 100\%$
Равномерное относительное удлинение (см. ГОСТ 11701-66): для стали 12X18H9T для малоуглеродистой стали	$\delta_p = \delta_B = \frac{l_{kp} - l_{0p}}{l_{0p}}$ $\delta_B \approx 0,4$ $\delta_B \approx 0,2$
Относительное сужение поперечного сечения	$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} 100\%$ $\psi = \frac{d_0^2 - d_{\text{ш}}^2}{d_0^2} 100\%$
Истинное удлинение	$\epsilon = \ln \frac{l}{l_0}$ $\epsilon = \ln (1 + \delta)$
Зависимость между δ и ψ	$\delta = \frac{\psi}{1 - \psi}$; $\psi = \frac{\delta}{1 + \delta}$
Сопротивление срезу	$\sigma_{cp} = \left(m \frac{S}{d} + 0,6\right) \sigma_B$
Коэффициент анизотропии (по Лаикфорду)	$R = \frac{\ln \frac{b}{b_0}}{\ln \frac{l_0 b_0}{l b}}$

и через число, равное ему *наибольшее относительное удлинение шейки, отнесенное к окончательной длине*

$$\psi = \epsilon' = \epsilon \frac{dl_0}{dl} \text{ при } dl_0 \rightarrow 0.$$

Предложен также метод определения этой характеристики для тонколистовых металлов путем экстраполирования результатов испытания на растяжение [113]. Местная пластическая деформация тонколистовых металлов может быть также выражена величиной истинного удлинения или сдвига, подсчитанного по методу накатанных сеток.

Несмотря на большое количество работ, выполненных в СССР и за границей, понятие штампуемости металла до сих пор не получило четкого определения и не

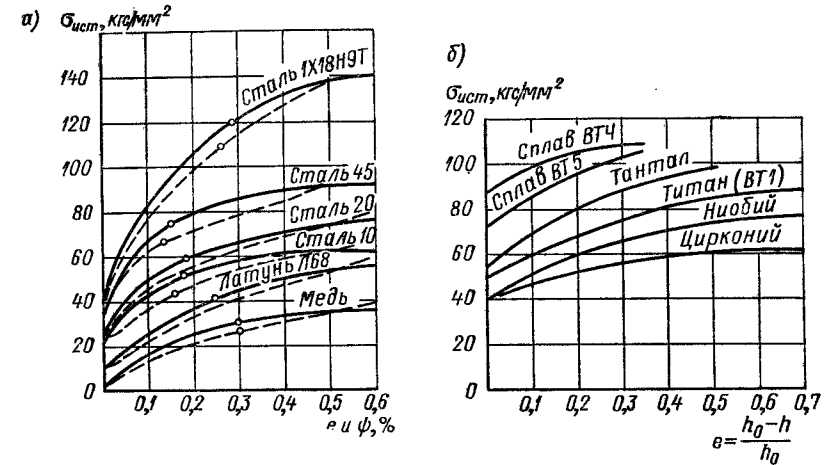


Рис. 391. Кривые деформационного упрочнения различных металлов и сплавов

имеет установленных оценок и показателей штампуемости. В отдельных нормативах оценку штампуемости допускается устанавливать соглашениями сторон, что дает возможность произвольных толкований и требований.

Под штампуемостью следует понимать способность металла к пластической деформации без разрывов, трещин или другого вида дефектов.

Штампуемость металла является интегральным понятием, так как зависит от физико-механических свойств металла, включая химический состав и структуру, от схемы и интенсивности напряженно-деформированного состояния и технологических условий вытяжки.

Наиболее полный теоретический анализ и оценка показателя штампуемости даны в работах проф. З. Марчиньяка [202], установившего для различных видов деформации количественную зависимость функции

$$p = p(\varphi, n, R, \varphi_0, f),$$

где p — коэффициент технологической надежности (показатель штампуемости); φ — степень деформации; f — степень однородности металла. Естественно, что штампуемость металла при чистой вырубке представляет собой совершенно иное понятие и оценивается другими показателями.

Штампуемость стали при чистой вырубке характеризуется высоким качеством среза и отсутствием надрывов. Фирма „Файнтул“ (Швейцария) дает следующую зависимость между прочностью стали и предельной толщиной заготовки, штампуемой без надрывов:

Сталь с $\sigma_B = 40$ кгс/мм ²	15 мм
» $\sigma_B = 45$ »	10 »
» $\sigma_B = 50$ »	7 »
» $\sigma_B = 60$ »	5 »

Для получения высокого качества среза рекомендуется подвергать углеродистые стали отжигу на зернистый (сферический) цементит 20—30, $\delta_{10} = 35\%$). Одновременно такой отжиг увеличивает стойкость штампов.

Исследованиями [55] установлено, что хорошей оценкой способности листового металла к пластическому формоизменению является сочетание трех показателей:

- 1) равномерного относительного удлинения δ_p ;
- 2) истинного предела прочности (критического напряжения), численно равного модулю упрочнения ($\sigma_{в.ист}$);
- 3) коэффициентов анизотропии R , отражающих различие пластических свойств в плоскости листа и по его толщине. Чем больше коэффициенты анизотропии превышают единицу, тем больше способность металла к деформации в плоскости листа.

Таким образом, все эти показатели определяются при испытании на растяжение тонколистового металла по ГОСТ 11701—66.

Оценку штампуемости следует производить по наименьшим значениям δ_p и R , полученным при испытании образцов, вырезанных из листа в различных направлениях по отношению к направлению прокатки.

2. АНИЗОТРОПИЯ ЛИСТОВЫХ МЕТАЛЛОВ

В зависимости от режимов прокатки и термической обработки листовых металлов большинство из них обладают анизотропией механических свойств вследствие той или иной текстуры, полученной при прокатке и отжиге.

Анизотропию, или различие свойств в разных направлениях, принято характеризовать коэффициентом анизотропии, представляющий собой (по Ланкфорду) отношение логарифмических деформаций по ширине и толщине плоского образца при растяжении

$$R = \frac{\ln \frac{b}{b_0}}{\ln \frac{S}{S_0}} = \ln \frac{b}{b_0} : \ln \frac{l_0 b_0}{lb}$$

Для определения показателя анизотропии листового материала из него вырезают три образца: вдоль направлений прокатки, поперек и под углом 45° (рис. 392), испытывают их на растяжение и определяют значения R_0 , R_{45} и R_{90} , по которым строят фигуру (диаграмму) анизотропии данного металла. На рис. 392 приведена типовая диаграмма плоской анизотропии для углеродистой стали [198]. Для алюминия, большинства его сплавов и молибдена диаграмма анизотропии имеет максимумы под углом 45° к направлению проката.

При вытяжке (свертке) стальных колпачков без прижима в направлении R_0 и R_{90} возникают фестоны по краям детали. При вытяжке алюминиевых колпачков фестоны возникают в направлении R_{45} .

Фестоны являются результатом неравномерности деформации по окружности колпачка вследствие анизотропии исходной заготовки. При вытяжке более крупных деталей с прижимом и фланцем величина фестонов незначительна.

Для оценки плоской анизотропии обычно применяют среднее значение коэффициента анизотропии

$$R_{cp} = 0,25 (R_0 + R_{90} + 2R_{45}).$$

Встречающиеся в литературе корреляции между коэффициентом анизотропии и предельным коэффициентом вытяжки нельзя признать приемлемыми, так как они не учитывают важнейшего обстоятельства — устойчивости фланца при вытяжке и зависимости K от (S/D) 100.

В первом разделе на рис. 100 и 101 приведены диаграммы более точной корреляции между R_{cp} и m с учетом относительной толщины заготовки S/D .

На рис. 107 был приведен способ Я. Галиновского по вытяжке цилиндрических деталей из квадратной заготовки, устраняющий потери металла от фестонообразования, а на рис. 108 — метод того же автора по выравниванию плоской анизотропии в процессе вытяжки [212].

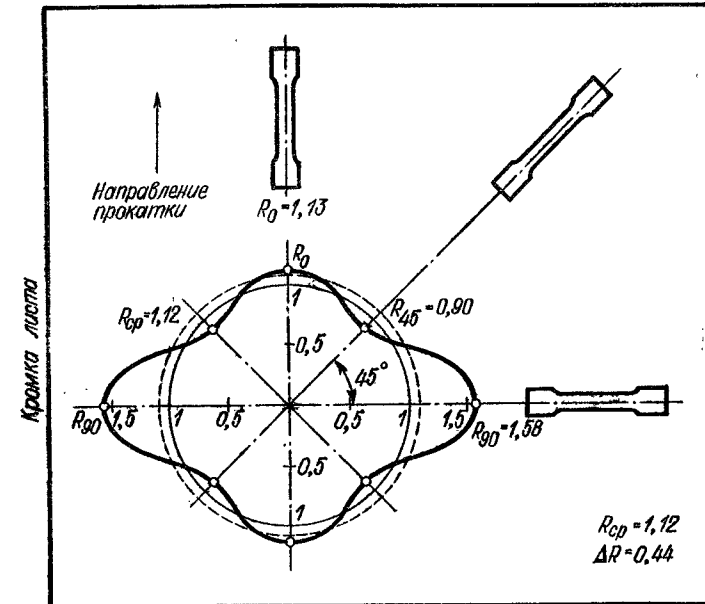


Рис. 392. Схема построения фигуры плоской анизотропии

Аппроксимируя представленные на рис. 101 функции $m = f(R_{cp}, S/D)$ как линейные, получаем семейство прямых, соответствующих разным значениям S/D . Их можно выразить общим уравнением

$$m_1 = a - bR_{cp}.$$

Ниже приведены экспериментальные значения a и b в зависимости от отношения S/D :

S/D	0,024	0,020	0,016	0,012	0,008	0,004
a	0,56	0,57	0,574	0,58	0,60	0,62
b	0,06	0,058	0,056	0,05	0,05	0,04

Установлено, что наиболее пригодны для вытяжки стали с показателем анизотропии $R_{cp} = 1,2 \div 1,7$.

3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ИСПЫТАНИЯ ЛИСТОВЫХ МЕТАЛЛОВ

Технологические испытания предназначены для выявления способности металла подвергаться деформациям, аналогичным тем, которые металл претерпевает при его обработке (штамповке).

В табл. 214 приведены основные способы технологических испытаний листового металла с целью выявления пригодности его для гибочных работ, схемы которых показаны на рис. 393—395.

Некоторые из этих технологических испытаний включены в государственные стандарты.

Признаком годности образца, выдержавшего испытание, является отсутствие излома, трещин, надрывов и расколов. Выполненные автором работы показывают, что можно не только дать качественную оценку пригодности металла, но и вычислить величину деформации при любом отношении r/S .

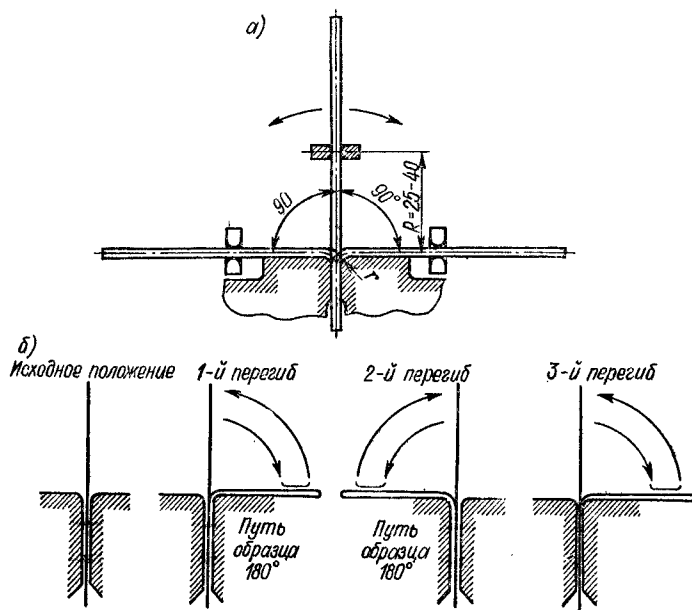


Рис. 393. Испытание на перегиб: а — схема испытания; б — последовательность перегибов

Для сравнительной оценки пластичности и вытяжных свойств листовых металлов применяются различные способы технологических испытаний, приведенные в табл. 215 и на рис. 396 и 397.

Наиболее распространенным в СССР и за рубежом методом технологического испытания тонких листовых металлов является испытание на глубину выдавливания сферической лунки на приборе (по Эриксену), узаконенное как основной вид испытаний для ряда тонколистовых металлов: стальной холоднокатаной ленты, тонколистовой качественной стали, цветных металлов и сплавов и др.

Характеристикой пластичности металла и способности его к вытяжке служит глубина выдавленной лунки к моменту образования трещины и уменьшение усилия выдавливания. Одновременно рассматриваются форма разрыва и поверхность материала в вершине сферической лунки.

Хороший доброкачественный металл должен давать:

1) глубину вытяжки не ниже норм, указанных в соответствующих стандартах (табл. 216);

2) разрыв колпачка по окружности, разрыв в другом направлении указывает на наличие полосчатой структуры или дефектов прокатки;

214. Способы технологических испытаний листового металла с целью определения пригодности для гибочных работ

Способ испытания	Сущность испытания и область применения
На загиб по ОСТ 1683	Испытание состоит в загибе образцов вокруг пуансона определенной толщины или до соприкосновения сторон. Диаметр оправки пуансона указан в ГОСТе на листовые металлы. Выявляется пригодность металла к пластическим деформациям. Для тонколистовой стали является приемочным испытанием
На перегиб по ОСТ 1688 и ГОСТ 1579—63 (рис. 393)	Испытание состоит в повторяющихся изгибах полосы листового металла, зажатой в губки тисков. Изгиб проводится на 90° попеременно в правую и левую стороны до излома или до числа перегибов, указанного в технических условиях. Число перегибов отсчитывается счетчиком. Применяется для тонколистовых металлов при $S \leq 2$ мм
На чистый изгиб по Вольтеру	Испытание основано на изгибе посредством изгибающих моментов. Прибор Вольтера позволяет установить минимально возможный радиус гибки для листовых материалов разной толщины. Записывающее устройство чертит кривые изгибающего момента в зависимости от отношения r/S
На изгиб по Гютю	Испытание производится пуансоном с переменным по длине ребра радиусом закругления (до нуля). Применяется для определения допустимого радиуса изгиба. Для испытания материалов различной толщины пуансон смещается в продольном направлении на $20S$
На изгиб трапециевидного образца	Изгибается поставленный на ребро в штампе трапециевидный образец. С узкой стороны образец изгибается значительно сильнее и может дать трещину
На загиб угла прибором «Flex» (рис. 394)	Прибор устанавливается полкой 1 на лист так, чтобы угловой конец листа вошел в прорезь планки 2 (рис. 394, а). Поворотом скобы 3 угол листа загибается на 60° до положения, указанного на рис. 394, б. Упругое смещение пластины 1 отмечается индикатором 4. Прибор снабжается таблицами упругих отклонений для различных материалов и толщин
На пружинение при гибке по Элеру (рис. 395)	Производится изгиб полосы 1, установленной в паз поворотно-сменного пуансона 2, с заданным отношением r/S . По шкале 3 отсчитывается угол пружинения при данном отношении r/S . Применяется для материалов толщиной до 1 мм. Результаты испытания стали 08 приведены на рис. 396

215. Способы технологических испытаний листового металла для выявления пригодности к глубокой вытяжке

Способ испытания	Сущность испытания и область применения
<p>1. Напряженное состояние—двухосное растяжение (при вытяжке нецилиндрических и несимметричных деталей в штампах с вытяжными ребрами)</p> <p>Испытание на глубину выдавливания сферической лунки на ручном приборе типа ПТЛ (Эриксона) (рис. 397, а)</p> <p>Испытание на глубину выдавливания сферической лунки на гидравлическом приборе Олсена (рис. 397, б)</p> <p>Испытание на глубину выдавливания лунки жидкостью по методу Джовиньо</p> <p>Испытание на глубину выдавливания сферической лунки и другие испытания на машине МТЛ-10Г (рис. 399)</p> <p>Испытание на вытяжку конического колпачка по методу Фукуи</p> <p>Гидравлическое испытание на динамическое выдавливание сферической лунки по методу Института машиноведения АН СССР</p>	<p>Испытание зажатого образца на выдавливание лунки пуансоном со сферическим наконечником. Применяется для листовой стали и цветных металлов толщиной до 2 мм</p> <p>Испытание аналогично предыдущему. Жесткий пуансон приводится в действие поршнем. Может быть использован для испытания непосредственно жидкостью</p> <p>Испытание аналогично предыдущему. Преимущества: равномерное гидростатическое давление жидкости и отсутствие трения</p> <p>Испытание на выдавливание сферической лунки по ГОСТ 10510—74 аналогично предыдущему. Кроме того, возможны другие испытания: на вытяжку цилиндрического колпачка и отбортовку отверстия (см. ниже). Наиболее совершенная машина</p> <p>Испытание на вытяжку в конической матрице колпачка без прижима заготовки. Метод имеет ограниченное применение</p> <p>Испытание листовых металлов в условиях динамического нагружения при большой скорости приложения нагрузки, производимое на вертикальном копре</p>
<p>2. Напряженное состояние—растяжение и сжатие (во фланце плоской заготовки при вытяжке цилиндрических или коробчатых деталей с вертикальными стенками)</p> <p>Испытание на вытяжку цилиндрического колпачка по АЕГ (рис. 397, в)</p> <p>Испытание на вытяжку цилиндрического колпачка ударом с последующей раздачей кромки</p> <p>Испытание на вытяжку цилиндрического колпачка по методу Института пластической обработки металлов ГДР (метод Энгельгардта—Гросса)</p>	<p>Испытание моделирует процесс цилиндрической вытяжки и определяет допустимый коэффициент вытяжки</p> <p>Этот способ моделирует вытяжку на падающих молотах или фрикционных прессах. Раздача кромки производится на особом приспособлении</p> <p>Испытания производятся на специальном приборе ТЦП, представляющем собой пресс тройного действия. За один рабочий ход прибора производятся следующие операции: 1) вырубка круглого образца и прижим к матрице; 2) вытяжка стаканчика диаметром 30 мм; 3) зажим кромки специальным радиусным прижимом; 4) вытяжка до отрыва дна стаканчика. Определяется запас прочности металла, а не штампуемость</p>

Продолжение табл. 215

Способ испытания	Сущность испытания и область применения
<p>Испытание на разбортовку отверстия по Зибелю и Помпу</p> <p>Испытание на продавливание полосы по Зибелю (растяжение с изгибом, см. рис. 398)</p>	<p>Производится отбортовка отверстия в зажатой заготовке цилиндрическим пуансоном. Оценка качества металла производится по глубине выпуклости и расширению отверстия</p> <p>Надрезанный образец зажимается прижимом 2 с прямоугольным отверстием и продавливается в прорезь матрицы 1 полукруглым пуансоном 3 до разрыва. Определяется глубина выдавливания и измеряется продольное удлинение разорванной полосы. Этот метод моделирует деформацию в опасном сечении</p>

216. Глубина выдавливания, мм

Наименование материала	Глубина выдавливания в зависимости от толщины материала, мм									
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Латунь для глубокой вытяжки	12,8	13,4	13,8	14,2	14,3	14,4	14,5	14,6	14,7	14,7
Латунь обычного качества	11,3	12,2	12,7	13,0	13,3	13,5	13,7	13,8	14,1	14,3
Медь листовая	9,6	10,5	11,1	11,4	11,8	12,1	12,3	12,6	12,8	13,0
Стальная лента для глубокой вытяжки	8,6	9,5	10,1	10,6	11,0	11,4	11,8	12,1	12,3	12,6
Алюминий листовой	7,6	8,7	9,2	9,5	9,9	10,2	10,7	11,1	11,2	11,7
Сталь листовая для глубокой вытяжки	7,3	8,3	8,9	9,5	10,1	10,6	10,9	11,3	11,7	12,2
Сталь декапированная	6,6	7,8	8,6	9,2	9,7	10,2	10,6	11,1	11,4	11,8
Жесть белая	6,2	7,5	8,3	8,9	9,5	9,9	10,3	10,8	11,2	11,6
Цинк	5,2	6,5	7,3	7,8	8,1	8,3	8,4	8,5	8,6	8,6

3) чистую гладкую поверхность колпачка, что характеризует мелкозернистую структуру металла.

Шероховатая поверхность колпачка свидетельствует о крупнозернистой структуре.

Испытания на выдавливание (вытяжку) сферической лунки стандартизованы ГОСТ 10510—74 и предназначены для листового проката и ленты из черных и цветных металлов толщиной от 0,1 до 2,0 мм.

Критерием окончания испытания считается не визуальное установление момента образования трещины на образце, а момент уменьшения усилия выдавливания. Допускается использование квадратных, круглых или полосовых образцов.

Для испытания применяют один из четырех сменных комплектов матриц, прижимных колец и пуансонов (табл. 217). При применении различных комплектов матриц и пуансонов получается различная глубина выдавленных лунок. Обычно

испытания проводятся на образцах шириной 90 мм. Другие образцы применяются в случае узкой ленты.

217. Основные размеры сменных комплектов, мм

Ширина образца (ленты)	Диаметр матрицы	Диаметр пуансона
90	27	20
60	17	14
30	11	8
15	5	3

Ручной прибор для испытания на глубину выдавливания заменен новым более совершенным устройством — машиной для испытания листового металла МТЛ-10Г, выпускаемый отечественной промышленностью (рис. 399). Эта машина предназначена для технологических испытаний листового металла на выдавливание сферической лунки, а также для вытяжки цилиндрического стаканчика и отбортовки отверстия. Машина имеет электрогидравлический привод.

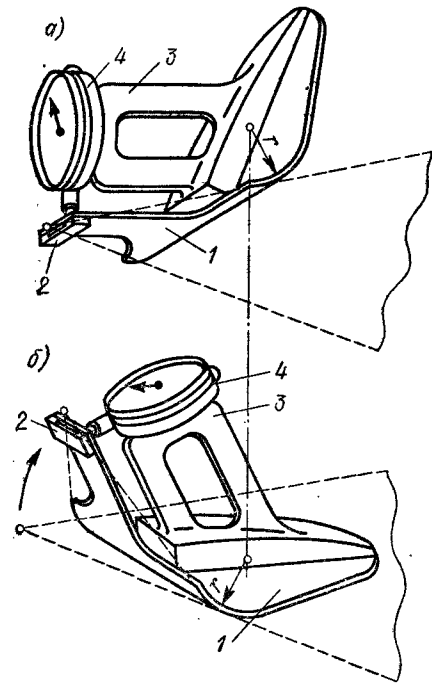


Рис. 394. Прибор „Flex“ для испытания на загиб угла

растяжении и сопровождается сильным утонением материала в центральной части заготовки. Аналогичный характер деформации имеют при вытяжке сферических, параболических, конических и других деталей, при гидравлической вытяжке, а также при вытяжке деталей сложной формы в штампах с вытяжными ребрами. В том и другом случае схемы напряженно-деформированного состояния в опасном сечении (месте возможного разрыва) аналогичны. Следовательно, для данных случаев

Измерение усилий прижима и выдавливания производится по манометрам. Глубина выдавливания (вытяжки) отсчитывается по индикатору с точностью до 0,1 мм. Момент разрыва образца фиксируется автоматически по падению усилия. Кроме того, на машине предусмотрена возможность наблюдения за образцом при помощи микроскопа.

Наибольшая испытательная нагрузка — 10 тс. Наибольшее усилие прижима — 2 тс. Иногда встречаются указания на недостаточную пригодность испытания по Эриксену для оценки вытяжных свойств листового металла вследствие разницы в характере деформаций при обычной вытяжке в штампах и при выдавливании лунки на приборе Эриксена и аналогичных установках.

Необходимо внести ясность в этот вопрос.

Иногда встречаются указания на недостаточную пригодность испытания по Эриксену для оценки вытяжных свойств листового металла вследствие разницы в характере деформаций при обычной вытяжке в штампах и при выдавливании лунки на приборе Эриксена и аналогичных установках.

Испытание на выдавливание сферической лунки происходит при двухосном

растяжении и сопровождается сильным утонением материала в центральной части заготовки. Аналогичный характер деформации имеют при вытяжке сферических, параболических, конических и других деталей, при гидравлической вытяжке, а также при вытяжке деталей сложной формы в штампах с вытяжными ребрами. В том и другом случае схемы напряженно-деформированного состояния в опасном сечении (месте возможного разрыва) аналогичны. Следовательно, для данных случаев

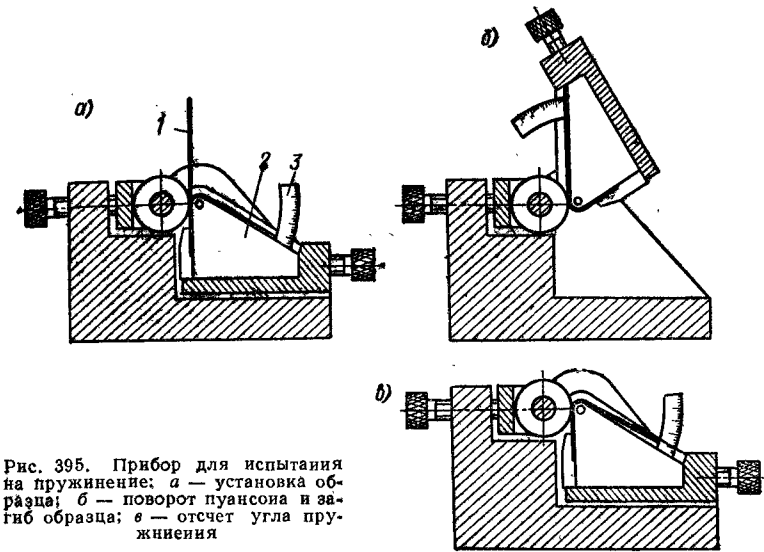


Рис. 395. Прибор для испытания на пружинение: а — установка образца; б — поворот пуансона и загиб образца; в — отсчет угла пружинения

вытяжки испытание на выдавливание лунки сравнительно хорошо моделирует процесс вытяжки и дает достаточно правильную оценку вытяжных свойств металла.

При обычной вытяжке цилиндрических деталей напряженно-деформированное состояние металла во фланце характеризуется наличием тангенциального сжатия и радиального растяжения, причем первое достигает наибольшего значения у края заготовки, а второе — на вытяжных кромках матрицы.

В данном случае более правильные результаты дает испытание на вытяжку в штампах. Испытание заключается в пробных вытяжках цилиндрических колпачков из круглых заготовок, измерении давления и определении предельной степени вытяжки $K = D/d$ или $m = d/D$, при которой происходит разрыв колпачка. Определение предельного диаметра заготовки и предельной степени вытяжки может быть произведено путем интерполяции по результатам испытания трех образцов, если известен предел прочности металла из испытаний на растяжение.

На рис. 400 показано сопоставление величины деформаций при испытании на глубокую вытяжку ($\epsilon_r, \epsilon_t, \epsilon_s$) и на выдавливание ($\epsilon'_r, \epsilon'_t, \epsilon'_s$).

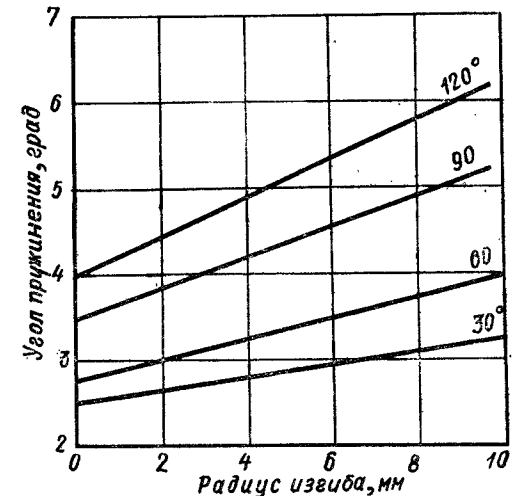


Рис. 396. Результаты испытания на пружинение стали 08 толщиной 0,75 мм в зависимости от радиуса и угла изгиба

Из этого сопоставления видно, что в случае вытяжки цилиндрических изделий испытание на выдавливание лунки по Эриксену не соответствует характеру деформаций при вытяжке и не может дать правильной оценки вытяжных свойств металла.

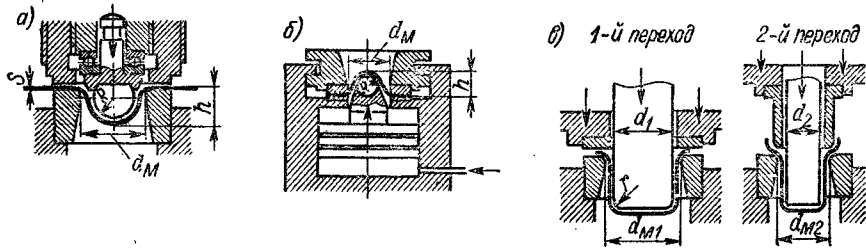


Рис. 397. Схемы испытания на глубину выдавливания и вытяжку колпачка

Испытание на вытяжку колпачка может быть выполнено на той же машине МТЛ-10Г.

В Польше проф. З. Марчиньяком разработан совершенно новый способ определения предельной величины пластической деформации листового металла методом скручивания [203]. Этот способ позволяет определить величину деформации путем скручивания наружной части центрально зажатого плоского образца до появления разрушения (скольжения) на внутреннем периметре кольцевой части образца, а также позволяет найти показатель упрочнения металла.

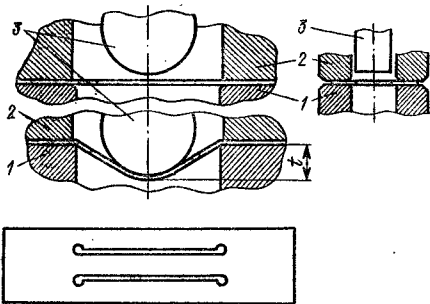


Рис. 398. Схема испытания на продавливание полоски (растяжение с изгибом)

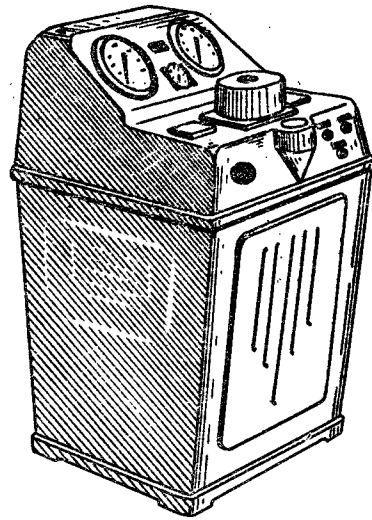


Рис. 399. Установка МТЛ-10Г для испытания на вытяжку сферической лунки и цилиндрического стаканчика

На рис. 401 показана схема деформируемого образца. Центральная часть радиусом r_A жестко зажата между центральными стержнями. Наружная часть образца радиусом R зажата в поворотном устройстве.

Испытание заключается в повороте наружной части образца и замере углов β_B, β_D и β_A , соответствующих точкам B, D и A . Угол $\beta_A = \beta_{пр}$ предельной величине угла при разрушении образца. Кривая $ADBC$ представляет собой предельную кривую деформации кольцевой части образца между радиусами r_A и R .

По замерам углов легко вычисляется показатель n — кривой упрочнения

$$n = \frac{2 \lg \frac{r_B}{r_A}}{\lg \frac{\beta_D}{\beta_B}}$$

а также предельная величина пластической деформации

$$\varphi_{пр} = \frac{\pi \beta_B}{90 \pi \sqrt{3}} \left(\frac{r_B}{r_A} \right)^{2/\pi}$$

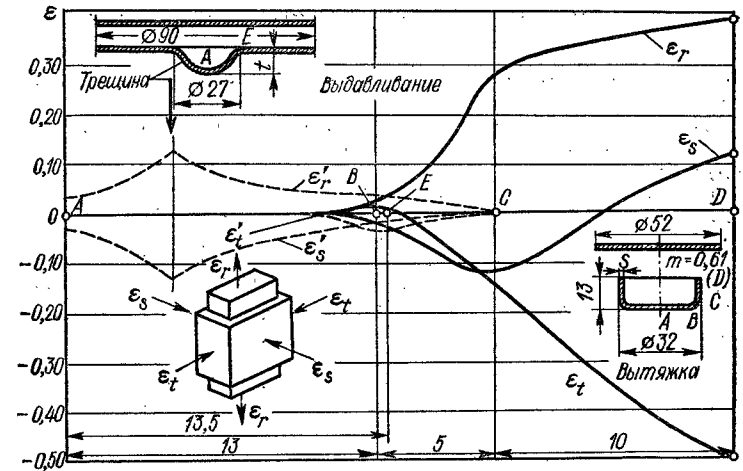


Рис. 400. Сопоставление величины деформаций при испытании на вытяжку колпачка (сплошные линии) и на выдавливание лунки (штриховые линии); $ABCD$ — точки на поверхности колпачка

На рис. 402 показан аппарат для испытания на скручивание, изготовленный Институтом пластической обработки Варшавского политехнического института.

218. Результаты испытания на скручивание и растяжение

Материал	Показатель кривой упрочнения		Деформация разрушения $\varphi_{пр}$	
	при скручивании	при растяжении	при скручивании	при растяжении
Сталь	0,254	0,238	1,619	1,380
Алюминий	0,244	0,235	2,120	2,800
Латунь (Cu 80%)	0,442	0,465	0,926	0,950
Коэффициент корреляции	0,988		0,969	

Заготовка размерами 50×75 мм устанавливается между зажимами, видимыми на переднем плане. Вращением маховичка производится гидравлический зажим центральной части и кольцевой поворотной части заготовки, контролируемый по манометру. Вращением рукояток осуществляется медленный поворот наружной части заготовки, вплоть до разрушения на внутреннем периметре кольцевой части образца. Углы поворота фиксируются зажимными дисками.

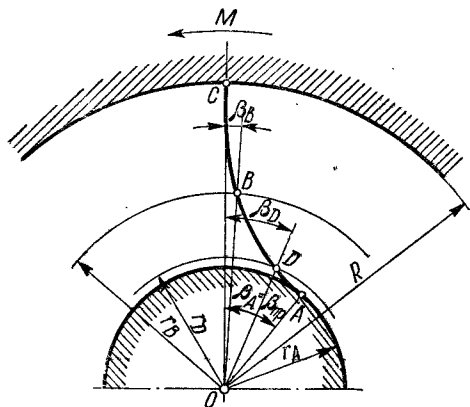


Рис. 401. Схема испытания на скручивание плоской заготовки (по Марчиньяку)

происходит за счет растяжения металла, причем предельные деформации возникают локально в отдельных очагах, а не по всей поверхности детали. Поэтому основным направлением при вытяжке деталей сложной формы стали экспериментальные методы определения предельных деформаций и напряжений методом изменения деформационных сеток и т. п.

На рис. 403 приведены граничные кривые штампуемости (предельной пластичности) для алюминия (а) и стали (б) по Келлеру — Гудвину (опыты Геккера). На этой диаграмме предельной пластичности (штампуемости) в точках ϵ_1 выше кривой возникают разрывы и трещины. В непосредственной близости к кривой находится область с критическим уровнем деформаций. Ниже кривой расположены случаи штамповки без брака.

Ось, в которой $\epsilon_2 = 0$, соответствует линейному растяжению, справа от нее область двухосного растяжения, слева — область растяжение — сжатие. Аналогичные методы предложены рядом других авторов.

А. Д. Томленов и Л. А. Рубенкова построили диаграмму предельной пластичности в виде зависимости интенсивности деформаций от показателя напряженно-деформированного состояния

$$m = \frac{2\epsilon_2 + \epsilon_1}{2\epsilon_1 + \epsilon_2} = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$$

Для характеристики локального деформированного состояния вводится коэффициент локального использования пластичности металла [135].

Аппарат предназначен для испытания листов толщиной от 0,5 до 1,25 мм.

В табл. 218 приведено сопоставление результатов испытания скручиванием с испытанием на растяжение, показавшее высокую корреляцию.

Испытание на растяжение производилось на машине „INSTROM“.

При вытяжке деталей сложной формы оценка штампуемости листовых металлов значительно усложняется. Понятие коэффициента вытяжки в данном случае не применимо. В большинстве случаев формообразование сложных деталей

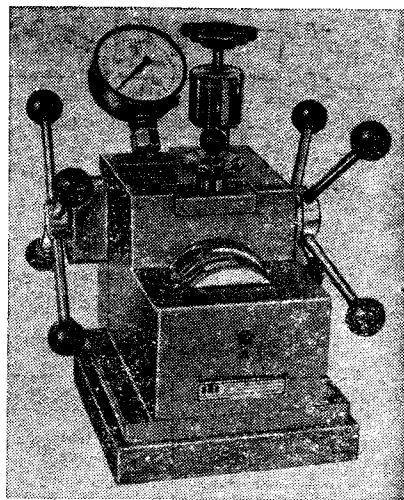


Рис. 402. Прибор для испытания на скручивание плоской заготовки

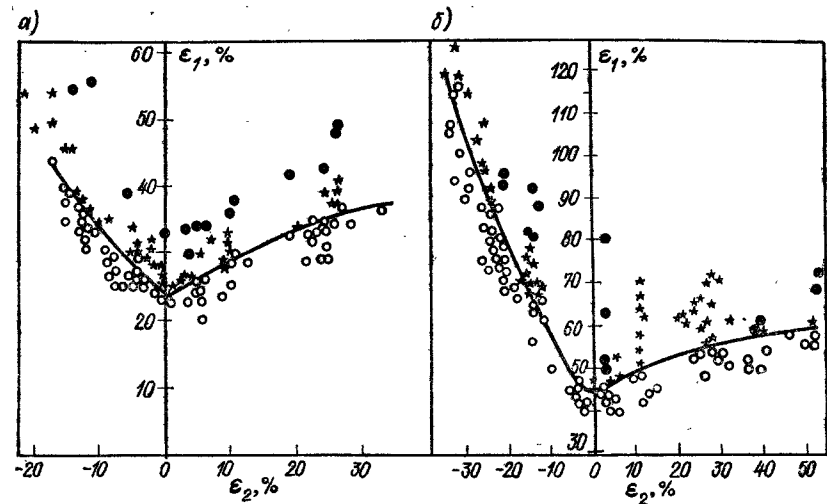


Рис. 403. Результаты испытания на штампуемость листового металла (по Геккеру)

4. УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ ПРИМЕНЕНИЮ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Материал, применяемый для изготовления холодноштампованных деталей должен соответствовать не только назначению и условиям работы, но и технологическим требованиям, вытекающим из характера и степени производимой деформации.

Технологические свойства металла определяются в основном его механическими свойствами, зависящими, в свою очередь, от химического состава, структуры и величины зерна, термообработки, степени наклепа.

Для механических и технологических свойств холоднокатаных материалов, применяемых в холодной листовой штамповке, большое значение имеют степень наклепа при холодной прокатке и характер термообработки. Для характеристики технологических свойств материала наибольший интерес представляют показатели пластичности, выраженные величиной относительного сужения поперечного сечения при растяжении ψ , или, еще лучше, равномерным относительным удлинением δ_p (или равномерным относительным сужением ψ_B , а также соотношением между пределом текучести σ_T и пределом прочности σ_B . Для большинства металлов чем меньше отношение σ_T/σ_B , тем больше ψ_B .

Приведем примерное разделение материалов на различные группы по пластичности и упрочняемости:

- 1) малопластичные — весьма слабо упрочняющиеся, $\psi_B = 0,10 \div 0,15$ (среднеуглеродистые стали 35—50, сталь 12ХНМ и др.);
- 2) среднеластичные — слабоупрочняющиеся, $\psi_B = 0,15 \div 0,20$ (стали 20—30, хромоникелевые стали, наклепанный алюминий);
- 3) пластичные — среднеупрочняющиеся, $\psi_B = 0,20 \div 0,25$ (малоуглеродистые стали 08, 10, 15, латунь, отожженный алюминий);
- 4) высокопластичные — сильноупрочняющиеся, $\psi_B = 0,25 \div 0,30$ (сталь 12Х18Н9Т после закалки, отожженная медь, сплавы пермаллой и ковар, титановые сплавы).

Большое влияние на технологические свойства и штампуемость стали оказывают структурная форма углерода (вредное влияние структурно-свободного цементита), величина и форма зерен феррита, состояние поверхности (отсутствие полос сдвига при деформации). Последнее требование весьма существенно для металлов, подвер-

гаемых глубокой вытяжке, так как вследствие склонности к образованию полос сдвига поверхность изделий получается дефектной, а при крупнозернистой стали имеет вид так называемой „апельсиновой корки“. Установлено, что полосы сдвига возникают у отожженной стали, имеющей при растяжении площадку текучести. Полосы сдвига являются следствием того, что при деформировании в пределах площадки текучести металл не упрочняется, что приводит к местным поверхностным деформациям. Иногда поверхностные полосы сдвига являются результатом процесса старения при длительном хранении металла после холодной прокатки.

Для автомобильных кузовов получила применение нестареющая (стабилизированная) сталь, раскисленная алюминием или титаном.

Для предупреждения поверхностного растрескивания и образования полос сдвига или апельсиновой корки тонколистовая сталь подвергается дрессировке (поверхностному наклепу с обжатием около 2%) путем холодной прокатки листов на специальных многовалковых станах.

Как показывает опыт, предварительная холодная прокатка листов не только предотвращает появление полос сдвига, но и повышает вытяжные свойства металла. От полос сдвига следует отличать линии скольжения.

В отношении структуры и величины зерна к тонколистовой стали для глубокой вытяжки предъявляются требования небольшой величины и равномерности зерен (для стали толщиной до 2 мм — 26—37 мкм, для стали толщиной свыше 3 мм — 37—52 мкм при соотношении осей зерна до 1,4—1,5), отсутствия полосчатой структуры, структурно свободного цементита, неметаллических включений и т. п.

В табл. 219 приведены примеры технологического применения листовой стали и соответствующие механические характеристики.

219. Примеры технологического применения листовой стали и механические характеристики

Примеры применения	Предел прочности σ_B , кгс/мм ² (не более)	Относительное удлинение δ_{10} , % (не менее)	Твердость H_{RB} (не более)	Глубина выдавливания, мм (не менее)
Вырубка плоских деталей	65	1—5	84—96	6—7
Вырубка, простая гибка под углом 90° поперек волокон с большим радиусом закругления $r > 2S$	50	4—14	75—85	7—8
Неглубокая вытяжка и формовка. Гибка на 180° поперек волокон или на 90° вдоль волокон с радиусом закругления $r \geq 0,5S$	42	13—27	64—74	8—9
Глубокая вытяжка (допустимы линии сдвига). Гибка на 180° во всех направлениях с радиусом закругления $r < 0,5S$	37	24—36	52—64	9—10
Глубокая вытяжка (с незначительными линиями сдвига). Гибка на 180° во всех направлениях с радиусом закругления $r < 0,5S$	33	33—45	38—52	10—12

Экспериментально установлено, что при вытяжке в штампах с вытяжными ребрами хорошо штампуемая сталь должна иметь следующие характеристики: истинный предел прочности $\sigma_{B-ист} = 42 \div 50$ кгс/мм²; равномерное относительное сужение $\psi_B = 20 \div 25\%$.

При рассмотрении процесса вытяжки (раздел первый) была показана необходимость различия технологических способов вытяжки по виду напряженного состоя-

ния деформируемой части заготовки, в связи с чем в разных случаях следует применять металл с разными механическими свойствами или в различном состоянии.

При вытяжке цилиндрических или коробчатых деталей необходимо максимально уменьшить сопротивление плоского фланца деформированию, для чего следует применить отожженный или нормализованный металл пониженной прочности, а также уменьшить трение между заготовкой, матрицей и складкодержателем.

При вытяжке сферических или сложной формы деталей в штампах с вытяжными ребрами для сохранения прочности опасного сечения при значительном увеличении растягивающих напряжений следует применять металл повышенной прочности и упрочняемости при достаточно высокой пластичности.

Для малоуглеродистых сталей 08—10 это может быть достигнуто путем соответствующей термической обработки заготовок (закалка при 860—900° С, отпуск при 650°) [109].

ГЛАВА II

ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

5. ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ХОЛОДНОЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКЕ

В холодной листовой штамповке применяются разнообразные как металлические, так и неметаллические материалы.

Наиболее распространенными металлами и их сплавами, обрабатываемыми холодной штамповкой, являются:

- 1) сталь различных сортов и марок;
- 2) медь и ее сплавы (латунь, бронза, мельхиор и др.);
- 3) алюминий, магний и их сплавы (дуралюмин, алюминий-магниево-медные сплавы и др.);
- 4) цинк и оцинкованная сталь;
- 5) никель и никелевые сплавы;
- 6) титан и его сплавы.

Кроме того, холодной штамповкой обрабатываются следующие менее распространенные металлы и их сплавы:

- 1) молибден и его сплавы;
- 2) тантал и его сплавы;
- 3) специальные никелевые и кобальтовые сплавы (инвар, платинит, ковар и др.);
- 4) бериллий, цирконий и их сплавы;
- 5) благородные металлы (золото, серебро).

Неметаллические материалы, применяемые в холодной штамповке, приведены в гл. VI (см. первый раздел).

Новым листовым материалом, созданным за последние годы, является алюминий или стальной лист с покрытием из цветной пластмассы (полихлорвинил). Покрытие толщиной 0,36 мм обладает высокой стойкостью против износа, коррозии, действия кислот и масел, а также диэлектрическими свойствами. Сталь с полимерным покрытием подвергается штамповке в обычных штампах без повреждения покрытия.

Номенклатура марок металлов и сплавов, выпускаемый сортамент и технические условия установлены соответствующими государственными и отраслевыми стандартами.

Все справочные данные по материалам приведены в обширных специализированных справочниках и стандартах. Здесь приводятся лишь основные сведения по главнейшим материалам, применяемым в холодной листовой штамповке.

Наиболее распространенными материалами в холодной листовой штамповке являются различные сорта листовой и полосовой углеродистой и легированной сталей,

По качеству материала листовая и полосовая сталь разделяется на сорта, изготавливаемые из сталей различных марок:

- 1) листовая углеродистая сталь — из марок стали обыкновенного качества по ГОСТ 380—71 (группы А и Б);
- 2) листовая углеродистая качественная сталь — из марок качественной стали по ГОСТ 1050—74;
- 3) листовая низколегированная сталь — из марок стали по ГОСТ 19282—73;
- 4) листовая легированная конструкционная сталь — из марок легированной стали по ГОСТ 1542—71;
- 5) листовые высоколегированные стали и сплавы (нержавеющие, жаростойкие и жаропрочные) по ГОСТ 5632—72.

Основными сортами листовой и полосовой стали, применяемыми в холодной листовой штамповке, являются:

- 1) сталь тонколистовая углеродистая обыкновенного и повышенного качества различных марок по ГОСТ 380—71;
- 2) сталь тонколистовая качественная углеродистая конструкционная различных марок по ГОСТ 1050—74;
- 3) сталь тонколистовая низколегированная различных марок по ГОСТ 19282—73;
- 4) сталь тонколистовая легированная по ГОСТ 1542—71;
- 5) сталь листовая конструкционная легированная по ГОСТ 11268—76;
- 6) стальная низкоуглеродистая лента холодной прокатки по ГОСТ 380—71 и ГОСТ 1050—74 (ТУ по ГОСТ 503—71);
- 7) сталь декарпированная по ГОСТ 8075—56;
- 8) лента стальная нержавеющая (хромистая и хромоникелевая) по ГОСТ 4986—70;
- 9) жель (белая и черная) по ГОСТ 17718—72 и ГОСТ 1127—67;
- 10) электротехническая сталь по ГОСТ 21427.0—75;
- 11) сталь тонколистовая для автомобильных кузовов по ГОСТ 9045—70;
- 12) сталь рулонная холоднокатаная по ГОСТ 19904—74;
- 13) лента стальная холоднокатаная из конструкционной стали по ГОСТ 2284—69;
- 14) лента холоднокатаная из электротехнической стали по ГОСТ 21427.0—75.

6. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОСНОВНЫХ ЛИСТОВЫХ МЕТАЛЛОВ

Ниже приводятся механические свойства основных сортов листовой стали и цветных сплавов.

Тонколистовая углеродистая сталь обыкновенного качества (ГОСТ 380—71) поставляется или по механическим свойствам (группа А), или по химическому составу (группа Б).

Тонколистовая сталь обыкновенного и повышенного качества, в соответствии с техническими требованиями, подвергается лишь испытанию на загиб в холодном состоянии, что явно недостаточно.

В настоящее время все тонколистовые металлы — листы и ленты толщиной менее 4 мм (как черные, так и цветные) — должны подвергаться испытанию на растяжение по ГОСТ 11701—66.

Сталь тонколистовая качественная конструкционная поставляется по техническим условиям, установленным ГОСТ 16523—70. Помимо марок стали (в соответствии с ГОСТ 1050—74) эта сталь по способности к вытяжке разделяется на три сорта: ВГ — для весьма глубокой вытяжки; Г — для глубокой вытяжки; Н — для нормальной вытяжки.

Способность стали к вытяжке оценивается величиной относительного удлинения и глубиной вытяжки сферической лунки (по Эриксену).

Кроме того, в зависимости от состояния поверхности качественная сталь подразделяется на четыре группы: I — особо высокой отделки поверхности; II — высокой отделки поверхности; III — повышенной отделки поверхности; IV — нормальной отделки поверхности.

В табл. 220—222 приведены механические свойства листовой и ленточной стали различных марок, а также основных марок цветных металлов и сплавов;

220. Механические свойства листовой стали, применяемой в холодной листовой штамповке

Наименование стали	Марка стали	Сопротивление срезу $\sigma_{ср}$, кгс/мм ² (при вырубке)	Предел прочности σ_B , кгс/мм ²	Относительное удлинение δ , % (не менее)	
				δ_5	δ_{10}
Тонколистовая углеродистая обыкновенного качества (ГОСТ 380—71, группа А); $S = 0,5 \div 4$ мм	Ст1	28—34	32—40	33	28
	Ст2	29—36	34—42	31	26
	Ст3	33—40	38—47	25	21
	Ст4	36—45	42—52	23	19
	Ст5	43—53	50—62	19	15
	Ст6	52—62	60—72	14	11
	Ст7	≥ 60	≥ 70	10	8
Тонколистовая углеродистая качественная конструкционная (ГОСТ 1050—74, группа I; ТУ по ГОСТ 16523—70); $S = 0,2 \div 4$ мм	08кп	25	≥ 30	35	—
	08	28	33	33	—
	10кп	27	32	33	—
	10	29	34	31	—
	15кп	31	36	29	—
	15	32	38	27	—
	20кп	33	39	27	—
	20	36	42	25	—
	25	39	46	23	—
	30	43	50	21	—
	35	46	54	20	—
	40	49	58	19	—
	45	52	61	16	—
50	54	64	14	—	
Тонколистовая качественная малоуглеродистая для автомобильных кузовов (ГОСТ 9045—70); $S = 0,8 \div 1,5$ мм	08кп, 08фкп, 08ю	22—28	26—33	—	44
	ОСВ, СВ	22—29	26—34	—	42
Листовая низколегированная конструкционная (ГОСТ 19282—73); $S = 4 \div 10$ мм	16ГС 14ХГС	43	50	—	18
	12ХГН 15ХСНД				
	10ХСНД 14ХГ2Ф 10ГНД и др.	47	54	—	16

Продолжение табл. 220

Наименование стали	Марка стали	Сопротивление срезу $\sigma_{ср}$, кгс/мм ² (при вырубке)	Предел прочности σ_B , кгс/мм ²	Относительное удлинение δ , % (не менее)		
				δ_5	δ_{10}	
Тонколистовая легированная конструкционная общего назначения (ГОСТ 1542—71); $S=0,5 \div 4$ мм	60Г	47—68	55—80	—	14	
	65Г	51—72	60—85	—	12	
	70Г	55—76	65—90	—	10	
	10Г2А	34—49	40—58	—	22	
	25ХГСА	42—60	50—70	—	18	
	3ХГСА	45—64	55—75	—	16	
	12Г2А	42—55	50—65	—	18	
Тонколистовая высоколегированная, коррозионностойкая и жаростойкая (марки по ГОСТ 5632—72; ТУ по ГОСТ 5582—75); $S=0,8 \div 4$ мм	Отоженная	12Х13	34	40	21	—
		20Х13	43	50	20	—
		30Х13	43	50	15	—
		40Х13	48	56	15	—
		12Х17	43	50	18	—
		15Х25Т, 15Х28	46	54	17	—
Тонколистовая высоколегированная коррозионностойкая и жаростойкая (марки по ГОСТ 5632—72; ТУ по ГОСТ 5582—75); $S=0,8 \div 4$ мм	Закаленная	08Х18Н9	46	54	45	—
		12Х18Н9	47	55	35	—
		12Х18Н10Т	46	54	40	—
		17Х18Н9	51	60	35	—
		08Х18Н12Б	46	54	40	—
		20Х23Н18	47	55	40	—
		20Х25Н20С2	47	55	35	—
		14Х17Н2	94	110	10	—
		20Х13Н4Г9	56	65	40	—
Тонколистовая электротехническая кремнистая (ГОСТ 214270—75); $S=0,2 \div 0,5$ мм	Э1100, Э1200	35	40	—	—	
	Э3100 Э3200, Э2100, Э2200,	43	50	—	—	
Тонколистовая электротехническая низкоуглеродистая типа Армко (ГОСТ 3836—73); $S=0,2 \div 4$ мм	Э, ЭА, ЭАА	25	30	—	40	

Примечания:
1. Сопротивление срезу является технологической величиной, а не механической характеристикой (см. первый раздел, стр. 15).
2. При вырубке сталей, не указанных в таблице, принимать $\sigma_{ср} = 0,8 \sigma_B$.
3. При пробивке отверстий $\sigma_{ср}$ принимать по расчету или по табл. 3.

221. Механические свойства стальной ленты, применяемой в холодной штамповке

Наименование стали	Марка или обозначение стали	Сопротивление срезу $\sigma_{ср}$, кгс/мм ²	Предел прочности σ_B , кгс/мм ²	Относительное удлинение δ_{10} , %	
				δ_5	δ_{10}
Лента стальная низкоуглеродистая холодной прокатки (ГОСТ 503—71); $S=0,05 \div 3,6$ мм	ОМ	24—34	28—40	—	30
	М	28—40	33—45	—	20
	ПМ	32—44	38—50	—	10
	ПТ	36—48	42—55	—	4
	Т	50—70	58—80	—	Не определяется
Лента стальная колднокатаная из конструкционной стали (ГОСТ 2284—69); $S=0,1 \div 3$ мм	Отоженная	15	28—43	32—50	22
		20	28—47	32—56	20
		25	30—52	35—60	18
		30—35	35—56	40—65	16
		40—45	38—60	45—70	15
		50—60	38—65	45—75	12
65—70	38—65	45—75	10		
Лента стальная колднокатаная из конструкционной стали (ГОСТ 2284—69); $S=0,1 \div 3$ мм	Нагартованная	15	38—65	45—80	3
		20	43—73	50—85	2
		25	47—77	55—90	2
		30—35	56—82	65—95	2
		40	56—86	65—100	2
		45	60—90	70—105	1,5
		50—55	64—95	75—110	1,5
60—70	64—100	75—115	1		
Лента стальная пружинная термообработанная (ГОСТ 21996—75); $S=0,08 \div 1,5$ мм	Группа прочностн	1П	104—128	130—160	3
		2П	128—150	160—190	2,5
		3П	Св. 150	Св. 190	2
Лента стальная колднокатаная из инструментальной и пружинной стали (ГОСТ 2283—69); $S=0,1 \div 0,3$ мм	После низкого отжига*	У7, У7А, У8, У8А	56	65	20
		60Г, 65Г, У9, У9А, У10, У10А, У11, У11А, У12, У12А	65	75	10
		У13, У13А, 60С2, 60С2А, 65С2ВА, 50ХФА	77	90	10
		Х05, 35ХФ	82	95	—

Продолжение табл. 221

Наименование стали	Марка или обозначение стали	Сопротивление срезу $\sigma_{ср}$, кгс/мм ²	Предел прочности $\sigma_{в}$, кгс/мм ²	Относительное удлинение δ_{10} , %
Лента холоднокатаная рулонная из электротехнической стали (ГОСТ 21427.0—75): $S=0,05 \div 0,2$ мм и $S=0,2 \div 0,5$ мм	Э3100—Э3300	52	60	—
Лента холоднокатаная из высоколегированной коррозионностойкой и жаростойкой стали (ГОСТ 4986—70): $S=0,1 \div 2,0$ мм	12X13 (М)	35	40	21
	20X13, 30X13 (М)	43	50	20
	12X18N9 (М)	46—50	54—58	35
	17X18N9 (ПН) 17X18N9 (Н) 17X18N9 (ОН)	69 86 100	80 100 115	20 13 8
12X18N9T 12X18N10T 08X18N12B 20X23N18 } (М)	46	54	20	
	50	58	45	

Примечание. См. примечания к табл. 220.

222. Механические свойства листовых и ленточных цветных металлов и сплавов, применяемых в холодной штамповке

Наименование металла или сплава	Марка	Состояние	Сопротивление срезу $\sigma_{ср}$, кгс/мм ² (при вырубке)	Предел прочности $\sigma_{в}$, кгс/мм ²	Относительное удлинение δ_5 , %
Латунь	Л68 Л62 ЛС59-1	Мягкая холоднокатаная	26	30	40
			26	30	35
			30	35	25
	Л68 Л62 ЛС59-1	Полутвердая холоднокатаная	30	35	25
			33	38	20
			34	40	15
Л62 ЛС59-1	Твердая холоднокатаная	36	42	10	
		40	45	5	
		34	39	30	
Латунь марганцовистая	ЛМц58-2	Мягкая Полутвердая Твердая	40	45	25
			52	60	3
			34	39	30

Продолжение табл. 222

Наименование металла или сплава	Марка	Состояние	Сопротивление срезу $\sigma_{ср}$, кгс/мм ² (при вырубке)	Предел прочности $\sigma_{в}$, кгс/мм ²	Относительное удлинение δ_5 , %
Бронза оловянофосфористая и оловянноцинковая	БрОФ6,5-0,25 БрОЦ4-3	Мягкая Твердая Особо твердая	26	80	88
			48	56	5
			50	65	2
Бронза алюминиевая	БрА7	Отожженная Неотожженная	52 56	60 65	10 5
Бронза оловяноспинцовоцинковая	БрОЦС4-4-2,5	Мягкая Полутвердая	24 34—43	30 40—50	35 10
Бронза бериллиевая	БрБ2	Мягкая Твердая	34—50	40—60	30
			55	65	2
Медь	М1, М2, М3	Мягкая Твердая	18 26	21 30	30 3
Алюминий	А2, А3 АД, АД1	Мягкий Твердый	7 11	7,5—11 12—15	30—20 9—6
Дуралюмин	Д16А-М Д16А-Т	Отожженный Закаленный	15—20 27—30	18—25 34—88	12 15
Магниевый сплав	МА1 МА8	Холодный «	12—14 15—18	17—19 27—24	8—5 14—15
			3—5 5—7	5,5—6 6,5—8	50—52 58—60
Никель	Н1, Н2, Н3	Мягкий Твердый	35 47	40 55	35 2
Нейзильбер	МНЦ-15-20	Мягкий Твердый Особо твердый	30 48 56	35 55 65	85 1 1
Мельхиор	МН19	Мягкий Твердый	26 34	30 40	30 3
Цинк	Ц1, Ц2, Ц3, Ц4	—	12—20	14—23	40—86
Свинец	С1, С2, С3, С4	—	2—3	2,5—4	50—40
Титановые сплавы	BT1-1 BT1-2 BT5	Отожженные	36—48	45—60	≥ 25—30
			44—60	55—75	≥ 20—25
			64—68	80—85	≥ 15
Ковар	Н30К18	Мягкий	38—52	45—60	35—50
Пермаллой	Н78	Мягкий	55—60	65—70	30—35
Нихром	Х20Н80	Мягкий	64—70	75—80	35—45
Ферроникель	Н-52	Мягкий	52—64	60—75	30—35

1. Аверкиев А. Ю. Методы оценки штампуемости тонколистового металла. Ростов-на-Дону, 1975.
2. Аверкиев Ю. А. Лекции по курсу «Листовая штамповка». Ростов-на-Дону, 1975—1976.
3. Автоматизация и механизация штамповочного производства. Сб. докл. М., 1978.
4. Антонович О. Д. и др. Коэффициент вытяжки при взрывной штамповке. — Кузнечно-штамповочное производство, 1966, № 5.
5. Антонов В. М. Особый способ вытяжки коробчатых деталей. — Кузнечно-штамповочное производство, 1968, № 1.
6. Вакулин С. Б. Технологические расчеты процессов листовой штамповки. М., 1964.
7. Вакулин С. Б. Некоторые вопросы разработки и применения стандартов в листовой штамповке. — Кузнечно-штамповочное производство, 1976, № 5.
8. Валии А. И., Веретенова Т. Н. и др. Процесс чистой вырубке и технологические смазки. — Кузнечно-штамповочное производство, 1977, № 2.
9. Бебрис А. А., Гольдберг Д. Н. Технология совмещенной реверсивной глубокой вытяжки с утонением стенки алюминиевых изделий. Рига, 1968.
10. Бебрис А. А. Определение усилия прижима при вытяжке. — Изв. вузов. Сер. Машиностроение, 1963, № 3.
11. Белянин П. Н. Промышленные роботы. М., 1975.
12. Бер В. И., Суяров Д. И. Выбор мощности кривошипного пресса для вырубке пробки в горячем состоянии (методом муаровых полос). — Информационный листок. Красноярск, ЦНТИ, 1977, № 170—77.
13. Бобринский Б. Н. Технология штамповки неметаллических материалов. М., 1962.
14. Богданов В. М. Холодная штамповка деталей по элементам в мелкосерийном производстве. М., 1963.
15. Богданов В. М. Новые универсальные штампы для мелкосерийного опытного производства. — Кузнечно-штамповочное производство, 1974, № 10.
16. Богоявленский К. Н., Григорьев А. К. Напряжения при пластическом изгибе с упрочнением. — Труды ЛПИ. М.: Л., 1963, № 222.
17. Борис Б. П. Новый способ холодной штамповки полых деталей. — Вестник машиностроения, 1956, № 3.
18. Болховитнов Н. Ф. Свойства и применение листовой стали для холодной штамповки. М., 1962.
19. Бриджмен П. Исследования больших пластических деформаций и разрыва. М., 1955.
20. Буш В. П. Многооперационные штамповочные автоматы для изготовления сложных деталей. М., 1956.
21. Вайнтрауб Д. А., Клепиков Ю. М. Холодная штамповка в мелкосерийном производстве. Л., 1975.
22. Валиев С. А. Комбинированная глубокая вытяжка листовых материалов. М., 1973.
23. Валиев С. А., Чудинов В. Н. Новая схема вытяжки коробчатых деталей. — Кузнечно-штамповочное производство, 1976, № 1.
24. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. М., 1975.
25. Головнев В. Д. Расчеты процессов листовой штамповки. М., 1974.
26. Горбунов М. Н., Попов О. В. Идентификация процессов холодной штамповки. М., 1958.
27. Горбунов М. Н., Пашкевич А. Т. Обжим труб с осевым подпором. — Кузнечно-штамповочное производство, 1965, № 8.
28. Горбунов М. Н., Глазков В. И. Раздача трубчатых заготовок на коническом пуансоне. — Кузнечно-штамповочное производство, 1968, № 8.
29. Горюхович А. И., Сгонников В. С. и др. Электрогидроимпульсная штамповка крупногабаритных листовых деталей. — Кузнечно-штамповочное производство, 1976, № 8.
30. Горюхович А. И. Особенности конструкции электрогидроимпульсных прессов. — Кузнечно-штамповочное производство, 1976, № 8.
31. Горбунов М. Н. Штамповка из трубчатых заготовок. М., 1969.
32. Гофман О., Закс Г. Введение в теорию пластичности для инженеров. М., 1957.
33. Граков В. И. Штампы с электромагнитным креплением на прессах. Куйбышев, 1963.
34. Гривачевский А. Г. Использование вычислительной техники для проектирования штампов холодной листовой штамповки. М., 1974.
35. Гусев А. Н., Лиц В. П. Холодноштамповочное оборудование и его наладка. М., 1967.
36. Гуляев Б. А., Максак В. И. Ротационное выдавливание вращающимися наклонными матрицами. — Кузнечно-штамповочное производство, 1977, № 2.
37. Давыдов В. И. Изделия из тонкостенных профилей. М., 1957.
38. Давыдов В. И., Максак В. И. Производство гнутых профилей. М., 1954.
39. Давыдов Ю. П., Покровский Г. В. Листовая штамповка легированных сталей и сплавов. М., 1962.
40. Давыдов Ю. П., Покровский Г. В. Технология листовой штамповки титановых сплавов. М., 1963.
41. Джонсон и Кудо. Механика процесса выдавливания металла. М., 1965.
42. Долгов В. А., Романовский В. П., Мовшович И. А. Расчет усилий штамповки при двухугольной гибке. — Вестник машиностроения, 1972, № 3.
43. Долгов В. А., Романовский В. П., Мовшович А. Я. Исследование прочности и жесткости плит УСШ методами моделирования. — Кузнечно-штамповочное производство, 1971, № 4.
44. Елистратов В. И. Исследование нормальных напряжений по торцу твердосплавных пуансонов при вырубке-пробивке. — Кузнечно-штамповочное производство, 1973, № 8.
45. Ефремов С. И. Справочник молодого слесаря по ремонту и наладке штампов. М., 1975.
46. Зворонко Б. П. Расчет и конструирование штампов для холодной штамповки. М., 1949.
47. Зворонко Б. П. Методы расчета заготовок для вытяжки прямоугольных изделий. — Вестник машиностроения, 1947, № 6.
48. Зубнов М. Е. Листовая штамповка. М.; Л., 1967.
49. Инструкция по планированию, учету и калькулированию себестоимости продукции на предприятиях машиностроения и металлообработки. Госплан СССР. М., 1964.
50. Исаченков Е. И. Штамповка резиной и жидкостью. М., 1967.
51. Исаченков Е. И., Исаченкова В. Е. Штамповка эластичной и жидкостной средой. М., 1976.
52. Казарцев В. Н., Стеблюк В. И. и др. Чистовая вырубка ступенчатым пуансоном. — Кузнечно-штамповочное производство, 1975, № 7.
53. Касиков П. И. Технологические расчеты вытяжки квадратных и прямоугольных коробок. — В кн.: Глубокая вытяжка листовых материалов. Л., 1963.
54. Ковалев В. А. Автоматизация производства крупных листоштамповочных деталей. — Кузнечно-штамповочное производство, 1976, № 7.
55. Колесников Н. П. Метод определения способности листового металла к пластическому формозменению. — Кузнечно-штамповочное производство, 1966, № 5.
56. Комаров А. Д. Штамповка листовых и трубчатых деталей полиуретаном. Л., 1975.
57. Комаров А. Д. Упругая отдача листовых металлов при гибке в штампах. — Кузнечно-штамповочное производство, 1965, № 11.
58. Комаров А. Д. и др. Вырезка деталей полиуретаном. — Кузнечно-штамповочное производство, 1972, № 6; 1976, № 10; 1978, № 6.
59. Кондратенко В. Г., Назарян Э. А. Оптимальная форма заготовки для вытяжки цилиндрических деталей. — Изв. вузов. Сер. Машиностроение, 1975, № 8.
60. Королев В. Н., Шофман Л. А. Глубокая вытяжка молибдена и его сплавов. — Кузнечно-штамповочное производство, 1967, № 10.
61. Королев В. Н., Галахов А. И. О влиянии геометрических параметров инструмента на способность к глубокой вытяжке тонколистового молибдена и его сплавов. — Кузнечно-штамповочное производство, 1972, № 4.
62. Королев В. Н., Галахов А. И. О технологических свойствах и штампуемости тонколистового молибдена и его сплавов. — Кузнечно-штамповочное производство, 1972, № 3.
63. Кошкин Л. Н., Преис В. Ф. Автоматические роторные линии в штамповочном производстве. М.; Л., 1962.
64. Красичкова Б. Г., Ленков С. С. Изготовление штамповочной оснастки из пластмасс. М., 1961.
65. Красников В. Ф. Технология миниатюрных изделий. М., 1976.
66. Кухтаров В. И. Холодная штамповка. М., 1962.
67. Кухтаров В. И., Кухтаров О. В. Штампы для холодной листовой штамповки. М., 1960.
68. Кухтаров В. И., Кухтаров О. В. Проектирование технологических процессов холодной штамповки. М., 1966.
69. Лисицын В. Д. Некоторые особенности процесса штамповки-вырубке при повышенных скоростях деформирования. — Труды ЛМИ, 1966, № 54.
70. Кузнецов В. П. О глубокой вытяжке через две матрицы изделий из толстостенового металла. — Кузнечно-штамповочное производство, 1968, № 3.
71. Мазуровский Б. Я., Родин Е. М. и др. Унификация серийного электрогидроимпульсного оборудования. — Кузнечно-штамповочное производство, 1976, № 8.
72. Максак В. И., Черноморченко В. И. Способ утонения стенки трубчатых заготовок. — Кузнечно-штамповочное производство, 1975, № 5.
73. Малов А. Н., Преис В. Ф. Механизация и автоматизация штамповочных работ. М., 1955.
74. Методические указания по проектированию технологической оснастки для штамповки листовых деталей эластичной средой (РДМУ 95—77). Госкомитет стандартов СССР. М., 1978.
75. Методика расчета экономической эффективности новой техники в машиностроении. Л., 1967.
76. Мещерин В. Т. Листовая штамповка (атлас схем). 3-е изд. М., 1975.
77. Митрофанов С. П. Научная организация серийного производства. М.; Л., 1970.
78. Мовшович И. Я. Система универсально-сборных штампов для листовой штамповки. М., 1977.
79. Мовшович И. Я., Жолткевич Н. О., Денисов В. И. Универсально-переналаживаемые штампы для ползementeйной штамповки. — Кузнечно-штамповочное производство, 1977, № 2.
80. Мовшович М. Я., Долгов В. А., Маркуль В. И. и др. Универсально-сборные штампы для вырубке-пробивки. М., 1969.
81. Могилянский Н. И. Выдавливание полых деталей на токарных гидропироваляных автоматах. — Кузнечно-штамповочное производство, 1967, № 11.
82. Мосин Ф. В. Механизация холодной штамповки на универсальных переналаживаемых штампах. М.; Л., 1965.
83. Надаи А. Пластичность и разрушение твердых тел. М., 1954.
84. Нефедов А. П. Конструирование и изготовление штампов. М., 1973.
85. Норидын И. А., Шехтер В. Я., Ровинский Г. Н. Основы проектирования цехов листовой штамповки. М., 1964.
86. Нормативы и показатели определения трудоемкости изготовления и плановой стоимости штампов для холодной листовой штамповки (РТМ). М., 1966.
87. Овчинников А. Г., Жарков В. А. Исследование процесса вытяжки цилиндрических изделий из алюминиевой фольги. — Кузнечно-штамповочное производство, 1975, № 3.

88. Овчинников А. Г., Жарков В. А., Жаркова К. Т. Исследование процесса вытяжки прямоугольных изделий из алюминиевой фольги. — Кузнечно-штамповочное производство, 1976, № 6.
89. Олянь Э., Вацентис А. Новые конструкции пробивных штампов. Рига, 1959.
90. Пихтовников Р. В., Волков А. И. Штамповка листового металла взрывом. — Машиностроение, 1964, № 11.
91. Пихтовников Р. В., Завьялова В. И. Штамповка листового металла взрывом. М., 1964.
92. Пихтовников Р. В., Хохлов Б. А. Безбассейновая листовая штамповка взрывом. Харьков, 1972.
93. Платонов М. А. Вытяжка с конусным складдержателем. — Кузнечно-штамповочное производство, 1962, № 3.
94. Покровский Г. И. Гидродинамика высоких скоростей. М., 1966.
95. Попов Е. А. Основы теории листовой штамповки. М., 1968.
96. Попов О. В. Изготовление цельноштампованных тонкостенных деталей переменного сечения. М., 1974.
97. Попов Е. А. Допустимый коэффициент отбортовки. — Вестник машиностроения, 1951, № 3.
98. Попов Е. А., Бочаров Ю. А. и др. Деформирование металла импульсным магнитным полем. — Кузнечно-штамповочное производство, 1966, № 5 и 6.
99. Попов О. В., Гвоздев А. В. Получение местных утолщений на листовых материалах. — Кузнечно-штамповочное производство, 1968, № 12.
100. Применение полдуретана в штампах. — Машиностроение США, 1964, № 10.
101. Ременик В. С. Отбортовка коробчатых деталей с широким фланцем. — Кузнечно-штамповочное производство, 1963, № 10.
102. Ренне И. П. Исследования в области обработки металлов давлением. — Труды ТПИ, Тула, 1968—1976.
103. Ренне И. П., Малевичев А. С. и др. Ротационное выдавливание роликовыми раскатными головками. — Кузнечно-штамповочное производство, 1975, № 8.
104. Ровинский Г. Н., Злотников С. Л. Кривошипные листоштамповочные прессы. М., 1969.
105. Ровинский Г. Н. и др. Холодная штамповка в машиностроении. М., 1954.
106. Ровинский Г. Н. Прессовое оборудование листоштамповочных цехов. М., 1960.
107. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. 5-е изд. М.; Л., 1971.
108. Романовский В. П. Пути повышения производительности в штамповочном производстве. М.; Л., 1955.
109. Романовский В. П. Повышение штампуемости тонколистовой малоуглеродистой стали для вытяжки. Л., 1964.
110. Романовский В. П., Дагелайская Н. А. Последовательная штамповка в ленте. М.; Л., 1962.
111. Романовский В. П. Экономическая эффективность автоматизации и механизации процессов холодной штамповки. — Вестник машиностроения, 1962, № 7.
112. Романовский В. П. Расчет заготовок переменной толщины для ротационного выдавливания. — Сб. докладов Тульского политехнического института, Тула, 1968.
113. Романовский В. П. О некоторых характеристиках механических свойств металла. — Заводская лаборатория, 1952, № 3.
114. Романовский В. П. Деформации и минимальные радиусы при пластическом изгибе. — Вестник машиностроения, 1949, № 12.
115. Романовский В. П. Технологические расчеты при вытяжке деталей с широким фланцем. — Вестник машиностроения, 1954, № 9.
116. Романовский В. П. Исследование начальной стадии процесса глубокой вытяжки. Труды ЛПИ, 1968, № 299.
117. Романовский В. П. Анализ напряженно-деформированного состояния в начальной стадии процесса глубокой вытяжки. — Кузнечно-штамповочное производство, 1967, № 2.
118. Романовский В. П. Вытяжка прямоугольных коробчатых деталей с фланцем. — Кузнечно-штамповочное производство, 1968, № 8.
119. Романовский В. П. Процесс образования и расчет прочности опасного сечения при глубокой вытяжке. — Кузнечно-штамповочное производство, 1968, № 9.
120. Романовский В. П. Определение высоты деталей при многооперационной вытяжке. — Вестник машиностроения, 1957, № 5.
121. Романовский В. П. Технологические расчеты процесса многооперационной вытяжки высоких квадратных и прямоугольных коробок. — Вестник машиностроения, 1958, № 12.
122. Романовский В. П. Сопротивление срезу при вырубке-пробивке толстолистовых материалов. — Вестник машиностроения, 1973, № 7.
123. Романовский В. П. Пробивка и вырубка толстолистовой стали в холодном и горячем состоянии. — Кузнечно-штамповочное производство, 1975, № 7.
124. Романовский В. П. Показатели износа и стойкость вырубных и пробивных штампов. — Вестник машиностроения, 1974, № 9.
125. Романовский В. П. Расчетный метод прогнозирования величины заусенцев при разделительных операциях холодной штамповки. — Кузнечно-штамповочное производство, 1973, № 5.
126. Романовский В. П. Качество поверхности среза при вырубке-пробивке листовых металлов. — Труды ТПИ, Тула, 1977.
127. Романовский В. П. Выбор стали для рабочих частей вырубных и пробивных штампов. — Вестник машиностроения, 1977, № 4.
128. Романовский В. П. Расчет усилий и нагрузки режущих кромок штампов при чистовой вырубке и пробивке. — Кузнечно-штамповочное производство, 1978, № 5.

129. Романовский В. П., Бер В. И., Исупов В. С. Вырубка и пробивка толстолистовых деталей в тяжелом машиностроении. Харьков, 1973.
130. Романовский В. П., Бер В. И., Исупов В. С., Жолткевич Н. Д. Чистовая вырубка и пробивка толстолистовой стали в горячем состоянии. — Технология и организация производства, Киев, 1976, № 7.
131. Романовский В. П., Мовшович И. Я., Долгов В. А. Исследование стойкости режущих элементов универсально-сборных штампов. — Кузнечно-штамповочное производство, 1970, № 6.
132. Романовский В. П., Мовшович И. Я., Долгов В. А. Применение универсально-сборных штампов. — Кузнечно-штамповочное производство, 1969, № 7.
133. Рубенкова Л. А., Казаков Ю. П. Анализ процесса вытяжки деталей сложной формы в условиях производства. М., 1964.
134. Рубенкова Л. А., Щеглов Б. А. Механические испытания листового металла. М., 1963.
135. Рубенкова Л. А., Казаков Ю. П., Дряшин И. Б. Выбор листовой стали для штамповки сложных деталей. — Вестник машиностроения, 1963, № 1.
136. Руднев Ю. М., Румянцев А. М. Опыт полуавтоматической штамповки деталей по элементам. М., 1961.
137. Руднев Ю. М. Штамповка с применением электромагнитных блоков. М., 1960.
138. Руднев Ю. М. Разработка групповых технологических процессов холодной штамповки по элементам с применением счетно-перфорационных машин. М., 1969.
139. Руднев Ю. М. Листовые штампы. М., 1968.
140. Руднев Ю. М. Механизация и автоматизация листовой штамповки. М., 1975.
141. РТМ70—63 — РТМ81—63. Автоматизирующие устройства для холодной листовой штамповки стучущих заготовок. М., 1964.
142. РТМ 1516—75. Вырезка и пробивка листовых деталей полуэлектромеханическим способом. М., 1975.
143. Северденко В. П., Пащенко В. С., Кособуцкий Б. С. Листовая штамповка с ультразвуком. Минск, 1975.
144. Сегая В. М., Макушок Е. М., Резников В. И. Исследование пластического формоизменения металлов методом Муара. М., 1974.
145. Серельнев В. В. Построение вытяжных переходов для деталей сложной формы. М., 1964.
146. Сгибнев Н. Ф., Дряшин И. Б. О способах расчета усилий при двухугловой гибке. — Кузнечно-штамповочное производство, 1969, № 4.
147. Скворцов Г. Д. Основы конструирования штампов для холодной листовой штамповки. М., 1967.
148. Скобяков В. И., Комаров А. Д. Вырезка-пробивка деталей из листа эластичной среды. — Кузнечно-штамповочное производство, 1976, № 10.
149. Смирнов-Аляев Г. А., Вайнтрауб Д. А. Холодная штамповка в приборостроении. М.; Л., 1963.
150. Соболев Ю. М. Конструктивно-технологическая обработка деталей. Пермь, 1952.
151. Сорокин Б. Л. Штампы для облицовочных деталей автомобиля. М., 1961.
152. Сорокин С. Я. Технология листовой штамповки магниевых сплавов. М., 1951.
153. Степанов В. Г., Навагин Ю. С., Сипилин П. М. и др. Гидровзрывная штамповка элементов судовых конструкций. Л., 1966.
154. Степанов В. Г., Шавров И. А. Импульсная металлообработка в судовом машиностроении. Л., 1968.
155. Стожов М. В., Попов Е. А. Теория обработки металлов давлением. М., 1971.
156. Суслик Н. И. и др. Неметаллические материалы. Справочник. М.; Свердловск, 1962.
157. Твердосплавная штамповая оснастка в электротехнической промышленности (сборник тезисов). Таллин, 1975.
158. Типовые вибрационные бункеры и ориентирующие устройства. М., 1958.
159. Томаров М. М. Техника безопасности при холодной штамповке листового металла. М., 1962.
160. Томленов А. Д. Элементы механики процессов холодной листовой штамповки. М., 1963.
161. Томленов А. Д. Механика процессов обработки металлов давлением. М., 1963.
162. Томленов А. Д. Теория пластических деформаций металлов. М., 1972.
163. Томленов А. Д. О скорости вытяжки изделий сложной формы. — Кузнечно-штамповочное производство, 1964, № 9.
164. Томленов А. Д. Теория испытания листового металла при высоких скоростях деформации. — Кузнечно-штамповочное производство, 1960, № 7.
165. Томленов А. Д. Вопросы теории вытяжки деталей сложной формы. — Вестник машиностроения, 1958, № 1.
166. Томленов А. Д. Пластическое течение в процессах сложной вытяжки листовых металлов. — Кузнечно-штамповочное производство, 1968, № 7.
167. Томсен Э., Янг Ч., Кобаяси Ш. Механика пластических деформаций при обработке металлов. М., 1969.
168. Уикк К. Х. Промышленное применение метода электромагнитной штамповки сильными магнитными полями. — Машиностроение США, 1963, № 8.
169. Филиппов В. В., Шехтер В. Я., Оленев В. И. Механизация и автоматизация листовой штамповки. М., 1960.
170. Фотев Н. К. Высококачественные штампы. М., 1965.
171. Фридман Я. Б., Зилова Т. К., Демина И. И. Изучение пластической деформации и разрушения методом накатанных сеток. М., 1962.
- Фридман Я. Б. Механические свойства металлов. М., 1952.
- Хиль Р. Математическая теория пластичности. М., 1956.

174. Хмара С. М., Марков А. Г., Герасименко К. С. Твердосплавные штампы. Харьков, 1964.
175. Хмара С. М., Герасименко К. С. и др. Твердосплавные штампы. Харьков, 1971.
176. Ходырев В. А. Проектирование, изготовление и эксплуатация штампов с полиуретаном. Пермь, 1975.
177. Чаузов А. С. Интенсификация гидромеханической штамповки-вытяжки. — Кузнечно-штамповочное производство, 1976, № 7.
178. Чаузов А. С., Казаченко В. И. Особенности вытяжки тупоголавок металлов тантала и ниобия. — Кузнечно-штамповочное производство, 1970, № 1.
179. Шагунов Б. Н. Производство алюминиевой посуды. М., 1958.
180. Шенкар В. С., Шустидкий Ф. М. Исследование точности линейных размеров пластин при листовой штамповке. — Кузнечно-штамповочное производство, 1975, № 9.
181. Шехтер В. Я. Максимальная скорость деформации при глубокой вытяжке листовых металлов. — Кузнечно-штамповочное производство, 1962, № 12.
182. Шишков Б. И. Точная штамповка в приборостроении. М.: Свердловск, 1960.
183. Шофман Л. А. Теория и расчеты процессов холодной штамповки. М., 1964.
184. Шофман Л. А. Основы расчета процессов штамповки и пресования. М., 1961.
185. Шраер Э. А. Экспериментальное исследование прочности твердосплавных вырубных машин. — Кузнечно-штамповочное производство, 1969, № 10.
186. Шухов Ю. В., Еленев С. А. Холодная штамповка. М., 1963.
187. Щеглов Б. А. Испытание толстолистовых металлов на штампуемость. — Кузнечно-штамповочное производство, 1965, № 4.
188. Щеглов Б. А. Пластическое формоизменение листовых металлов с высокими скоростями деформаций. — Кузнечно-штамповочное производство, 1969, № 2.
189. Экономика холодноштамповочного производства. Под ред. В. П. Романовского. Л., 1967.
190. Элер Г., Кайзер В. Вырубные гибочные и вытяжные штампы. М.: Л., 1961.
191. Юткин Л. А. Электрогидравлический эффект. М.: Л., 1955.
192. Яницкий Ю. В. Определение допустимого коэффициента вытяжки для деталей, штампуемых в штампах с конусным формующим складкодержателем. — Труды КАИ. Куйбышев, 1960.
193. Aida Handbuch. (Aida Engineering, Ltd.). Sagamihara (Japan), 1967.
194. Feintool. Feinschnneiden (Feinstanzeten). Handbuch. Lyss — Schwelz, 1970.
195. Gallnowski J. Nowa konstrukcja matryc ciagowych. — Biuletin Inform. Obróbki Plastycznej, 1973, t. IX, № 2.
196. Czarnecki R., Czudek J., Gadziński S. Tloczenie wyrobów, cylindrycznych z kwadratowym wykończeniem. — Obróbka Plastyczna, 1976, t. XV, № 3.
197. Guidi A. Über das Feinschnneiden von dünnen Teilen mit hoher Hubzahl. — Feinwerktechnik-micron, 1974, H. 3.
198. Gallnowski J. Anizotropia blach do tloczenia i możliwości jej wykorzystania. — Biuletin Inform. Obróbki Plastycznej, 1973, t. IX, № 3.
199. Guidi A. Nachschneiden und Feinschnneiden. Carl Hanser Veri. München, 1965.
200. Jenkut M. Odształcenia blach grubich przy gięczeniu na zimno. — Obróbka Plastyczna, 1972, t. IX, № 1.
201. Kwaśniewski B. Dokładność części kształtowanych plastycznie z blach na prasach. — Biuletin Inform. Obróbki Plastycznej, 1973, t. IX, № 3.
202. Marciniak Zdz. Odształcenia graniczne przy tloczeniu blach. — Wydawnictwa Naukowo-techniczne, Warszawa, 1971.
203. Marciniak Zdz. Wyznaczanie tlocznosci blachyz próby skrecania. — Obróbka Plastyczna, 1969, t. V, № 3.
204. Marciniak Zdz., Kuczynski K., Kolodziejewski J. Wyznaczanie Niektorich plastycznych własności blachy metoda, skrecania. — Obróbka Plastyczna, 1973, t. 3, № 2.
205. Marciniak Zdz. Konstrukcja wykończeniów. Wydawnictwa Naukowo-techniczne, Warszawa, 1971.
206. Marciniak Zdz. Mechanika procesów tloczenia blach. Wydawnictwa Naukowo-techniczne, Warszawa, 1971.
207. Morawiecki M., Baran R. Wyznaczanie odształcen plastycznych za pomoca mikrostatek koordynacyjnych. — Obróbka Plastyczna, 1978, № 2.
208. Oehler — Kaiser. Schnitt, Stanz und Ziehwerkzeuge, Springer Veri., 1961.
209. Panknin W. Grundlagen des hydraulischen Tiefziehen (Hydroform). — Werkstattstechnik und Maschinenbau, 1957, H. 6.
210. Pełczyński T. O krytycznych umocnienia. — Obróbka Plastyczna, 1975, t. XIV, № 1.
211. Sanz G. Forming Limit Diagrams of Sheet Metals. — Obróbka Plastyczna, 1975, № 1.
212. Schuler. Handbuch für die Spanlose Formgebung. Göppingen, 1964.
213. Swift H. W. The Mechanism of a simple deepdrawing operation. — Sheet Metall Industries, 1954, oct.
214. Timmerbell F. W. Untersuchung des Schneidvorganges bei Blech. — Werkstattstechnik und Maschinenbau, 1957, № 5, 7.
215. Turno A. Normaína anizotropia plastyczna blach, jej pomiar i wykorzystanie do przewidywania tlocznosci. — Obróbka Plastyczna, 1969, t. VII, № 3, 4.
216. VDI-ARBEITSBLATT. Ziehen über Wulste. — VDI Veri., 1954.
217. VDI-Richtlinien. VDI 3137. Begriffe, Benennungen, Kengrossen des Uniformes. — VDI Veri., 1973.
218. VDI-Richtlinien. VDI 3200. Fließkurven metallischer Werkstoffe, Grundlagen und Anwendungen: Unlegierte und legierte Stähle. — VDI Veri., 1964.
219. Wilken R. Das Biegen von Innenborden mit Stempeln. — Werkstattstechnik und Maschinenbau, 1958, H. 8.
220. Wisniewski, Zb. Technologia wozpeconia wytoczek powlokowych. — Biuletin Inform. Obróbki Plastycznej, 1973, t. IX, № 3.
- A** Автоматизация процессов листовой штамповки 465
Автоматические манипуляторы (роботы) 479
Автоматические штамповочные линии 483
Анизотропия листовых металлов 492
Анизотропия, показатели при вытяжке 119
- B** Блоки штампов, типы 360
— универсальные 309
Буфера пневматические, пружинные и резиновые 334
- B** Вибрационная галтовка 233
Выдавливание холодное 234
— из сварных заготовок 238
Выдавливание на давяльных станках 268
— ротационное 267
Вырубка (вырезка) 11
— величина перемячек 293
— зазоры между пуансоном и матрицей 23
— номинальная ширина полосы 296
— чистовая 25
— раскрой материала 285
— резиной и полиуретаном 44
— усилие 15
Вырубка, усилие 15
— при скошенных режущих кромках 19
— проталкивания 21
— снятия с пуансона 21
Вытяжка 80
— без прижима 123
— опасное сечение 82
— гидравлическая 201
— гидромеханическая 204
— крупногабаритных деталей 165
— резиной и полиуретаном 197
Вытяжка деталей с широким фланцем 113, 130
— технологические расчеты для цилиндрических деталей 116
— последовательной в ленте 134
— прямоугольных коробчатых деталей 143
— из квадратных заготовок 127
— определение высоты деталей 124
— зазоры между пуансоном и матрицей 182
— определение количества операций 120
— коэффициенты вытяжки 116
— в ленте 136
— припуски на обеску 99
— работа и скорость вытяжки 176
— радиусы закруглений 178
— смазка при вытяжке 184
— выворачиванием (реверсивная) 128
— с утонением материала 115
— неметаллических материалов 249
Вытяжка, размеры заготовок для круглых изделий 90
— — для сложных форм 100
— — для прямоугольных коробок 104
— — при вытяжке в ленте 134
— — при вытяжке с утонением 115
— — для коробчатых деталей с фланцем 113
— требуемое усилие 171
— давление и усилие прижима 174
— с местным подогревом и охлаждением заготовки 194
— алюминиевых сплавов 195
— магниевых сплавов 195
— молибденовых сплавов 212
— титановых сплавов 208
— тантала и ниобия 213
Вытяжные (тормозные) ребра 180
- Г** Гибка 51
— деформация крайних волокон 59
— длина заготовки 60
— зазоры 74
— изгибающие моменты 70
— коэффициенты утонения 55
— минимальные радиусы 58
— нейтральный слой 54
— проволочных деталей 79
— профилей и труб 77
— пружинение при гбке 65
— углы пружинения 65
— радиусы закруглений 74
— усилия 70
Гидравлическая штамповка 201
Гидромеханическая штамповка 204
Гидравлическая штамповка 252
- Д** Давяльные работы 267
Детали и узлы штампов 358
Деформационное упрочнение металлов 491
Диаграмма условных и истинных напряжений 489
Допуски на изготовление вырубных пуансонов и матриц 408
— вытяжных пуансонов и матриц 410
Допуски на размеры штампованных деталей 314
- З** Зазоры при вырубке 23
— при вытяжке 182
— при гбке 74
Закрытая высота штампа 464
— — пресса 332
Зачистная штамповка 40
- И** Импульсная штамповка 252
Испытание технологических свойств металла 493
- К** Комбинированные штампы последовательные, типы 356
— — совмещенные, типы 354
Колодки направляющие 368
Коэффициенты вытяжки 118
— обжима 228
— отбортовки 219
— утонения при вытяжке 160
— при растяжке 227
— утонения при отбортовке 223
Крепежные детали 373
- Л** Листовая формовка 214
Листовые штампы 311
Ловители, типы 396
- М** Магнито-импульсная штамповка 260
Материалы холодной листовой штамповки 505
— технологическое применение 504
Матрицы пробивные, типы 394
— типы рабочих отверстий 393
Механизация и автоматизация листовой штамповки 465
Механические руки 477
Механические свойства, способы испытаний 489
- Н** Нагрузка режущих кромок 456
Накатные работы 276
Накатка резьбы 277
Наклеп и отжиг при вытяжке 189
Направляющие втулки 370
Направляющие колодки 368
Неметаллические материалы 241
Нейтральный слой при гбке 54

О Обжимка 228	— — — неметаллических материалов 243
— коэффициент обжима 228	— — — цветных металлов 510
Обрезка, способы 49	— — — черных металлов 507
Обтяжка 206	Сталь для деталей штампов 411
Организация рабочего места 345	Стиракрил 378
Особые виды обработки давлением 252	Стойкость штампов 421
Отбортовка 217	— разделительных штампов 422
— наружного контура 225	Съемники и сбрасыватели, типы 400
— отверстий 218	
— коэффициенты отбортовки 221	Т Твердость деталей штампов 414
— некруглых отверстий 222	Твердые сплавы для штампов 424
— отверстий под резьбу 224	Технологические испытания, методы 493
Отжиг при вытяжке 189	Технологичность штампованных деталей 280
	Типовые конструкции штампов 428
П Пакеты штампов, типы 363	Точность штампованных деталей 314
Перемычки при вырезке 293	Тугоплавкие металлы 208
Пластмассы для штампов 415	
Подушки пневматические 335	У Универсально-сборные штампы 308
Полиуретан 419	Упоры типовые 394
Правка 229	Упругое пружинение при гибке 65
Прессы, выбор типа 321	Усилие вырубки плоскими кромками 15
— закрытая высота 332	— — скошенными кромками 19
— современные типы 338	— вытяжки 171
Приспуски на обрезку при вытяжке 99	— гибки 70
— на зачистку 42	— отбортовки 219
Пробивка отверстия малого диаметра 37	— правки 229
Промышленные роботы 478	— прижима 174
Профилирование 263	— проталкивания 21
Пружинение упругое 65	— резания ножницами 10
Пружины гидравлические 379	— снятия с пуансона 21
— тарельчатые 383	— холодного выдавливания 238
— кольцевые 385	— штамповки ребер жесткости 210
Пуансоны быстросменные, типы 390	
— пробивные сменные 389	Ф Фиксаторы (трафареты) 397
— расчет на прочность режущих кромок 456	Формовка листовая 214
Р Радиусы гибки минимальные 61	Х Хвостовики штампов, типы 372
— закруглений при вытяжке 178	Холодное выдавливание листовых деталей 234
Разработка технологических процессов 279	
— выбор прессы 321	Ц Цветные металлы и сплавы 510
— раскрой материала 284	Центр давления штампа 451
Раскрой листового материала 285	— — — графический способ определения 452
— полосового материала 287	— — — аналитический способ определения 452
— безотходный и малоотходный 289	
— величина перемычек 292	Ч Чекайка листовых деталей 234
— использование отходов 297	Чистовая вырубка и пробивка 25
— определение ширины полосы 296	
Растяжка (раздача) 226	Ш Штамповка в мелкосерийном производстве 302
Расчет на прочность деталей штампов 446	— по элементам контура 303
— байдажированных матриц 459	Штампуемость металлов 491
— локальной нагрузки режущих кромок пуансонов 456	Штампы, типы 353
Регулировка хода прессы 332	— комбинированные, выбор типа 354
— закрытой высоты 333	— последовательные, типы 356
Резка ножницами 8	— совмещенные, типы 354
— усилие резания ножницами 10	— неметаллические 415
— штампами 11	— твердосплавные 424
— скошенными кромками 19	Штампы, шероховатость поверхности деталей 406
Рельефная формовка 215	
— ребер жесткости 216	
Роторные машины и линии 487	
	Э Экономическая эффективность 301
С Скорость вытяжки 176	Электродравлическая штамповка 258
Смазка при вытяжке 184	Эпоксипласты 415
Сопротивление срезу 15	
— расчет величины 17	

Предисловие к шестому изданию	3
Принятые обозначения	4
Введение	5

Раздел первый

ТЕХНОЛОГИЯ ХОЛОДНОЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Г л а в а I. Разделительные операции	8
1. Резка листового металла ножницами	10
2. Усилие резания листового металла ножницами	11
3. Резка листового металла штампами	15
4. Усилие резания при вырубке и пробивке	23
5. Зазоры между матрицей и пуансоном	25
6. Чистовая вырубка, пробивка и отрезка	40
7. Зачистная штамповка	44
8. Вырезка резиной и полиуретаном	48
9. Обрезка полых деталей	51
Г л а в а II. Гибка	—
10. Процесс гибки листового металла	54
11. Нейтральный слой	58
12. Величина деформаций и минимально допустимые радиусы гибки	60
13. Определение размеров заготовок при гибке	65
14. Упругое пружинение при гибке	69
15. Изгиб с растяжением	70
16. Изгибающие моменты и усилия гибки	74
17. Конструктивно-технологические элементы при гибке	76
18. Изгиб труб и тонкостенных профилей	80
Г л а в а III. Вытяжка	—
19. Процесс вытяжки листовых металлов	90
20. Определение размеров и формы заготовок при вытяжке	116
21. Технологические расчеты при вытяжке и построение технологического процесса	171
22. Определение усилий вытяжки и прижима	176
23. Работа и скорость вытяжки	178
24. Радиусы закруглений и зазоры при вытяжке	184
25. Смазка при вытяжке	189
26. Наклеп металла и отжиг при вытяжке	194
27. Особые способы вытяжки	208
28. Вытяжка тугоплавких металлов и сплавов	214
Г л а в а IV. Листовая формовка	215
29. Рельефная формовка	217
30. Отбортовка	226
31. Растяжка (раздача)	228
32. Обжимка	229
33. Правка и чекайка	234
34. Холодное выдавливание листового металла	241
Г л а в а V. Штамповка неметаллических материалов	—
35. Основные виды неметаллических материалов, применяемых в холодной штамповке	—
36. Резка и вырубка деталей из неметаллических материалов	—
37. Гибка неметаллических материалов	248
38. Вытяжка и формовка неметаллических материалов	249
Г л а в а VI. Особые виды обработки листовых металлов давлением	252
39. Импульсные высокоскоростные методы штамповки	—
40. Профилирование полосового и листового металла	263
41. Ротационное выдавливание (давильные и раскатные процессы)	267
42. Накатные и кромогибочные операции	276

Раздел второй

ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
ХОЛОДНОЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Г л а в а I. Технологичность листовых штампованных деталей	279
1. Технологические требования к конструкции штампованных деталей	—
2. Методы повышения технологичности листовых штампуемых деталей и пути экономии металла	282
Г л а в а II. Разработка технологических процессов холодной листовой штамповки	283
3. Содержание и порядок разработки технологических процессов	—
4. Раскрой материала и величина перемычек	284
5. Основы построения технологических процессов холодной листовой штамповки	297
6. Технологические процессы и штампы, применяемые в мелкосерийном производстве	302
7. Точность штампованных листовых деталей	314

Глава III. Выбор прессового оборудования	321
8. Основные принципы и параметры для выбора прессы	—
9. Регулировка прессов и закрытая высота прессы	332
10. Оснащение прессов пневматическими подушками и буферами	334
11. Современные типы прессов для листовой штамповки	338
12. Планировка и обслуживание рабочего места	345

Раздел третий

ТИПОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ШТАМПОВ, ИХ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ

Глава I. Типовые схемы штампов	353
1. Технологические типы штампов	—
2. Конструктивно-эксплуатационные типы штампов	—
Глава II. Типовые узлы и детали штампов	358
3. Типовые детали штампов	—
4. Типовые конструктивные узлы и детали штампов	—
5. Типовые технологические узлы и детали штампов	387
6. Точность изготовления и чистота обработки деталей штампов	406
7. Материалы для деталей штампов	411
8. Пластмассовые штампы	415
9. Стойкость штампов	421
Глава III. Типовые конструкции штампов холодной листовой штамповки	428
10. Типовые конструкции разделительных штампов (простого, последовательного и совмещенного действия)	—
11. Типовые конструкции формоизменяющих штампов (гибочные, вытяжные, комбинированные)	438
Глава IV. Проектирование и расчеты штампов на прочность и жесткость	446
12. Порядок и этапы проектирования	—
13. Технологичность конструкции узлов и деталей штампов	—
14. Определение центра давления штампа	451
15. Расчеты деталей штампов на прочность и жесткость	453
16. Закрытая высота штампа и прессы	462

Раздел четвертый

МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ
ХОЛОДНОЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Глава I. Способы автоматизации и механизации листоштамповочного производства	465
1. Основные способы автоматизации	—
2. Комплексная механизация и автоматизация	467
Глава II. Устройства для механизации и автоматизации штамповки	468
3. Механизация и автоматизация подачи материала и заготовок	—
4. Механизация и автоматизация удаления деталей и отходов	476
5. Автоматизация счета, укладки (стапелирования) и взвешивания отштампованных деталей	478
6. Автоматизация управления, блокировки и контроля процесса штамповки	480
7. Автоматические штамповочные линии	483

Раздел пятый

ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ХОЛОДНОЙ
ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКЕ

Глава I. Механические и технологические свойства листовых материалов	489
1. Механические свойства, выявляемые при испытании листовых металлов на растяжение	—
2. Анизотропия листовых металлов	492
3. Технологические свойства и испытания листовых металлов	493
4. Указания по технологическому применению листовых материалов	503
Глава II. Характеристика листовых материалов	505
5. Основные материалы, применяемые в холодной листовой штамповке	—
6. Механические свойства основных листовых металлов	506
Список литературы	512
Предметный указатель	517