



*Редактор канд. техн. наук М. И. ЮЛИКОВ*  
*Рецензент инж. В. Р. МАЛИНОВСКИЙ*

**Аршинов В. А., Алексеев Г. А.**

**А89** Резание металлов и режущий инструмент. Изд. 3-е, перераб. и доп. Учебник для машиностроительных техникумов. М., «Машиностроение», 1976

410 с. с ил.

В книге изложены основы учения о резании металлов и металлорежущем инструменте. Рассмотрены геометрические элементы режущей части инструмента и срезаемого слоя, стружкообразование, силы, действующие в процессе резания, износ и стойкость режущего инструмента; приведены методика назначения элементов режима резания, а также материалы по расчету и конструированию наиболее распространенных видов режущего инструмента.

Книга предназначена в качестве учебника для учащихся машиностроительных техникумов.

А  $\frac{31207-619}{038(01)-76}$  БЗ-18-7-75

6П4.6

## ОТ АВТОРОВ

По наиболее массовым специальностям машиностроительных техникумов, таким, как обработка металлов резанием, металлорежущие станки и автоматические линии, монтаж и ремонт металлообрабатывающих станков и др., учебным планом предусматривается изучение предмета «Резание металлов и режущий инструмент».

В предмете «Резание металлов и режущий инструмент» рассматриваются:

- 1) геометрические элементы режущей части металлорежущих инструментов;
- 2) свойства материалов, из которых изготавливается режущий инструмент;
- 3) геометрические элементы срезаемого слоя;
- 4) физические основы процесса резания;
- 5) силы, возникающие при резании металлов и действующие на систему станок — приспособление — инструмент — деталь;
- 6) износ инструмента, стойкость и скорость резания, допускаемая его режущими свойствами;
- 7) элементы конструкции режущего инструмента и основные данные для его проектирования.

Материал этого предмета является базой для дальнейшего успешного изучения таких предметов, как «Металлорежущие станки» и «Технология машиностроения».

Расположение материала в книге принято согласно установившейся практике преподавания данного предмета и программе, утвержденной учебно-методическим управлением по средним специальным учебным заведе-

ниям Министерства высшего и среднего специального образования.

Авторы, учтя замечания, высказанные по ранее написанным ими учебным пособиям, переработали отдельные главы и дополнили их новыми материалами с учетом последних достижений науки и техники.

Материал, напечатанный мелким шрифтом, может быть использован учащимися для более глубокого изучения соответствующих разделов предмета.

Гл. I — VII, IX, XI, XII, XIV, XVI, XXV написаны В. А. Аршиновым, гл. VIII, X, XIII, XV, XVII — XXIV написаны Г. А. Алексеевым.

## ВВЕДЕНИЕ

Металлические детали машин, приборов и других изделий получают литьем жидкого металла в формы, обработкой давлением (прокаткой, ковкой, штамповкой), а также обработкой резанием. Процесс резания металлов заключается в снятии с заготовки определенного слоя металла для получения из нее детали необходимой формы и размеров с соответствующим качеством обработанных поверхностей. Резание металлов на заре развития техники осуществлялось простейшими ручными режущими инструментами. Некоторые из них, например слесарный напильник, граверный штихель, абразивный брусок, сохранились до наших дней и мало изменились. Постепенно, с развитием науки и техники, мускульная работа человека заменялась работой специальных машин — металлорежущих станков. Металлорежущий инструмент (орудие труда) — это часть металлорежущего станка, воздействующая в процессе резания непосредственно на заготовку, из которой должна быть получена готовая деталь. Доля обработки металлов резанием в машиностроении составляет около 30% и, следовательно, оказывает решающее влияние на темпы развития машиностроения. Процесс резания металлов, сопровождающийся деформациями сжатия, растяжения, сдвига, большим трением и тепловыделением, имеет свои закономерности, изучение которых необходимо для того, чтобы сделать этот процесс более производительным и экономичным.

Ряд основных вопросов резания металлов впервые глубоко изучили теоретически и экспериментально русские исследователи: И. А. Тиме (1868—1869 гг.), К. А. Зворыкин (1892 г.), А. А. Брике (1896 г.), Я. Г. Усачев (1912—1914 гг.). Их по праву можно назвать основоположниками науки о резании металлов.

Благоприятные условия для развития науки, созданные в нашей стране после победы Великой Октябрьской социалистической революции, позволили наиболее широко и обоснованно изучить все вопросы, относящиеся к сложному процессу резания металлов. Поэтому, если основоположниками передовой науки о резании металлов были русские дореволюционные исследователи, то создателями ее являются советские ученые: В. А. Кривоухов, Г. И. Грановский, А. И. Исаев, В. Д. Кузнецов, А. М. Розенберг, А. Я. Малкин и др. Лауреаты Государственных премий СССР М. С. Васильчук, И. И. Семенченко, Н. Л. Александров, Г. Н. Сахаров, Г. Г. Иль-

вер, М. А. Варзанов, В. С. Лысанов, С. П. Карцев, Н. С. Дегтяренко, Г. М. Ишполитов и другие внесли большой вклад в развитие отечественной науки о резании металлов и режущем инструменте. Советская наука развивается в тесном содружестве с производством. Значительный вклад в решение основных вопросов процессов резания, конструирования и технологии изготовления режущего инструмента внесли инженеры, техники и новаторы производства. Лауреаты Государственных премий СССР токари Г. С. Борткевич, П. Б. Быков, А. П. Марков, И. В. Угольников и др. показали примеры повышения производительности труда.

Для повышения производительности, экономичности и точности обработки материалов резанием необходимо дальнейшее исследование физических основ процесса резания; изыскание новых дешевых, износостойких и прочных материалов для изготовления режущей части инструмента; совершенствование существующих конструкций и создание новых видов высокопроизводительного режущего инструмента; внедрение поточных методов производства инструмента и улучшение его качества; широкое внедрение комплексной механизации и автоматизации в технологические процессы, связанные с обработкой резанием; изучение, обобщение, дальнейшее развитие и широкое внедрение в промышленность высокопроизводительных методов труда новаторов производства и т. д.

Партия и правительство уделяют огромное внимание развитию инструментальной промышленности. Перед машиностроителями, и в первую очередь перед станкостроителями, поставлена задача полнее обеспечить техникой все отрасли народного хозяйства. В выполнении этой задачи достойную роль играют советские инструментальщики.

## МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

### § 1. Инструментальные углеродистые стали

Для того чтобы с заготовки срезать некоторый слой, необходимо режущий инструмент внедрить в металл, что можно осуществить приложением соответствующей силы и при условии, что твердость инструмента при достаточной его прочности будет выше твердости обрабатываемого металла. В процессе резания режущая часть инструмента (непосредственно соприкасающаяся с обрабатываемым металлом) подвергается большим давлениям, трению и нагреву, что приводит к износу режущего инструмента, а иногда и к полному его разрушению. Поэтому основными требованиями, предъявляемыми к материалам, применяемым для изготовления режущего инструмента, являются: 1) достаточная твердость и прочность; 2) износостойкость при высокой температуре нагрева и в течение продолжительного времени.

Первое требование во многом определяется твердостью *HRC* (*HRA*) материалов, пределом прочности при изгибе  $\sigma_{и}$ , пределом прочности при сжатии  $\sigma_{с}$  и ударной вязкостью  $a_{и}$ ; второе — достаточной твердостью в нагретом состоянии до высоких температур — теплостойкостью (красностойкостью).

Для изготовления режущего инструмента применяют: 1) стали: а) углеродистые; б) легированные; в) быстрорежущие; г) конструкционные; 2) твердые сплавы; 3) минералокерамические материалы; 4) алмазы; 5) эльбор; 6) абразивные материалы\*.

Углеродистые стали служили основным материалом для изготовления режущего инструмента еще до 70-х годов прошлого века. Содержание углерода в сталях, от величины которого во многом зависят свойства стали, составляет 0,6—1,4%. Марки инструментальных углеродистых сталей и их химический состав приведены в ГОСТ 1435—74. После соответствующей термической обработки эти стали могут иметь твердость *HRC* 58—64. Однако инструмент из углеродистых сталей при резании выдерживает нагрев до температуры 200—250°С. При большей температуре нагрева твердость инструмента резко снижается (рис. 1, кривая 8), и он быстро выходит из строя. Для изготовления некоторых металлорежущих и деревообрабатывающих инструментов наибольшее применение находят инструментальные углеродистые стали марок У10А и У12А.

\* Абразивные материалы см. в гл. XXV.

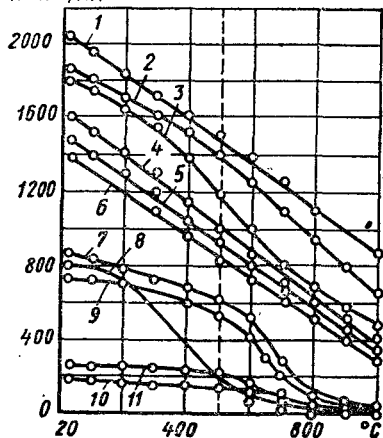
$\Delta V_{\text{КЭС}}/\text{мм}^2$ 

Рис. 1. Изменение твердости инструментальных и обрабатываемых материалов в зависимости от температуры:

1 — ЦМ-332; 2 — ВК2; 3 — Т30К4; 4 — Т15К6;  
5 — ВК8; 6 — Т5К10; 7 — Р18; 8 — У10; 9 — Р9;  
10 — 40ХНМА; 11 — 18ХГТ

## § 2. Инструментальные легированные стали

Режущую способность инструментальной углеродистой стали можно повысить введением в нее легирующих элементов (присадок) — хрома, вольфрама, молибдена, ванадия и др. Стали с такими присадками называются легированными. После соответствующей тер-

мической обработки эти стали выдерживают в процессе резания нагрев до температуры 250—300° С, что позволяет инструменту, изготовленному из этих сталей, работать при скоростях, примерно в 1,2—1,4 раза больших по сравнению со скоростями резания, допускаемыми инструментом из инструментальных углеродистых сталей. Химический состав инструментальных легированных сталей, их группы и марки устанавливаются ГОСТ 5950—73. Для изготовления режущего инструмента наибольшее применение находят стали: хромокремнистая 9ХС, хромовольфрамовая ХВ5 и хромовольфрамомарганцовистая ХВГ.

## § 3. Инструментальные быстрорежущие и конструкционные стали

Если в стали будет 6—19% вольфрама и 3—4,6% хрома, то инструмент, изготовленный из такой стали, выдерживает в процессе резания нагрев до температуры 600° С (см. рис. 1, кривые 7 и 9), не теряя при этом своих режущих свойств; такая сталь называется *быстрорежущей*. После термической обработки инструмент из быстрорежущих сталей имеет твердость HRC 62—63 и может работать при скоростях резания, в 2—3 раза превышающих скорости, допускаемые инструментом, изготовленным из инструментальной углеродистой стали.

Наиболее эффективными способами повышения твердости, теплостойкости и, следовательно, износостойкости быстрорежущих сталей являются: 1) увеличение в стали содержания ванадия; 2) дополнительное легирование быстрорежущей стали кобальтом.

Химический состав быстрорежущих сталей по ГОСТ 19265—73 приведен в табл. 1. Марганца, кремния и никеля в быстрорежущих сталях не более 0,5% каждого, серы не более 0,03%, фосфора не более 0,035%. В сталях всех марок допускается содержание мо-



## Марки стали и химический состав в % по ГОСТ 19265—73

Марка стали	Углерод	Хром	Вольфрам	Ванадий	Кобальт	Молибден
P18	0,7—0,8	3,8—4,4	17,0—18,5	1,0—1,4	—	Не более 1,0
P12	0,8—0,9	3,1—3,6	12—13	1,5—1,9	—	Не более 1,0
P9	0,85—0,95	3,0—4,4	8,5—10,0	2,0—2,6	—	Не более 1,0
P6M3	0,85—0,95	3,0—3,6	5,5—6,5	2,0—2,5	—	3,0—3,6
P6M5	0,8—0,88	3,8—4,4	5,5—6,5	1,7—2,1	—	5,0—5,5
P18Ф2	0,85—0,95	3,8—4,4	17,0—18,0	1,8—2,4	—	Не более 1,0
P14Ф4	1,2—1,3	4,0—4,6	13,0—14,5	3,4—4,2	—	Не более 1,0
P18K5Ф2	0,85—0,95	3,8—4,4	17,0—18,5	1,8—2,4	5,0—6,0	Не более 1,0
P10K5Ф5	1,45—1,55	4,0—4,6	10,0—11,5	4,3—5,1	5,0—6,0	Не более 1,0
P9K5	0,9—1,0	3,8—4,4	9,0—10,5	2,0—2,6	5,0—6,0	Не более 1,0
P9K10	0,9—1,0	3,8—4,4	9,0—10,5	2,0—2,6	9,0—10,5	Не более 1,0
P6M5K5	0,8—0,88	3,8—4,4	6,0—7,0	1,7—2,2	4,8—5,3	4,8—5,3
P9M6K8	1,0—1,1	3,0—3,6	8,5—9,6	2,1—2,5	7,5—8,5	3,8—4,3

Примечание. Буква Р обозначает, что сталь относится к группе быстрорежущих; цифра, стоящая после буквы Р, показывает среднее содержание вольфрама в процентах; цифра после буквы К — среднее содержание кобальта; цифра после буквы Ф — среднее содержание ванадия; цифра после буквы М — среднее содержание молибдена.

либдена до 1%; при этом содержание вольфрама в стали должно быть в пределах, указанных в табл. 1. Сталь, содержащая молибдена более 1%, дополнительно клеймится буквой М. Сталь P18 является наиболее старой быстрорежущей сталью, с которой обычно сравниваются все другие. Сталь P9 относится к разряду низковольфрамовых быстрорежущих сталей. Количество вольфрама в ней понижено в 2 раза по сравнению со сталью P18, а количество ванадия повышено, что делает эту сталь по режущим свойствам, при обработке конструкционных углеродистых сталей, равноценной стали P18. Но заготовки из этой стали плохо поддаются шлифованию и отделке, а потому сталь P9 не рекомендуется для изготовления инструментов, для которых операция шлифования является трудоемкой (у шеверов, протяжек и др.).

Стали P12 (вольфрамовая) и P6M5 (молибденовая) близки по режущим свойствам к стали P18, но экономичнее стали P18 и технологичнее стали P9. Эти стали обладают также повышенной пластичностью в нагретом состоянии, а поэтому они особенно эффективны при изготовлении инструмента (например, сверл) методом пластической деформации.

Ванадиевая сталь P18Ф2 имеет несколько повышенную износостойкость по сравнению со сталью P18 за счет большего содержания ванадия. Стали P18, P12, P9, P6M3, P6M5 и P18Ф2 относятся к сталям нормальной производительности; другие стали, приведенные в табл. 1, — к сталям повышенной производительности\*.

\* Выдерживают нагрев при резании до 640°С.

Кобальтовые стали Р9К5, Р9К10, Р10К5Ф5 и Р18К5Ф2 имеют более высокую твердость, красностойкость и износостойкость (в 2—3 раза) по сравнению со сталью Р18 и применяются в основном для инструментов, работающих с повышенными скоростями резания (резцов, сверл, фрез). Наиболее эффективно применять кобальтовые и ванадиевые быстрорежущие стали при обработке заготовок из легированных сталей твердостью *HV* 300—350, а также при обработке заготовок из жаропрочных сплавов и сталей. Помимо приведенных в табл. 1 стандартных марок быстрорежущей стали, для изготовления режущего инструмента ВНИИ рекомендует новые марки, например Р6М4К8Ф.

В последнее время быстрорежущую сталь получают методом порошковой металлургии (пудлерсталь или металлокерамическая сталь), что позволяет резко сократить карбидную неоднородность (до 1-го балла по ГОСТ 19265—73) и повысить режущие свойства инструмента (особенно для крупногабаритного) по сравнению с инструментом, изготовленным из проката, полученного обычным металлургическим способом.

Так как резание осуществляется режущей частью инструмента, то нет необходимости делать инструмент целиком из дорогостоящего материала. Поэтому при изготовлении резцов на державку из конструкционной стали наваривают пластинки из быстрорежущей стали. Форма и размер пластинок регламентируются ГОСТ 2379—67.

Сложные инструменты типа сверл, разверток, метчиков и др. делают сварными; рабочую часть — из быстрорежущей стали, а нерабочую (хвостовик) — из конструкционной стали (см., например, рис. 173).

*Конструкционные стали* (углеродистые и легированные) применяют для изготовления державок, хвостовиков, корпусов и деталей крепления составного и сборного режущего инструмента.

#### § 4. Твердые сплавы

Твердые сплавы сохраняют относительно высокую твердость при нагреве до температуры 800—900° С (см. рис. 1, кривые 2—6). Поэтому инструмент, оснащенный твердыми сплавами, более износостоек по сравнению с инструментом, изготовленным из инструментальных сталей, и позволяет вести обработку на высоких скоростях резания, т. е. с большей производительностью. При соответствующих геометрических параметрах инструмента, оснащенного твердым сплавом, скорость резания достигает 500 м/мин при обработке заготовок из стали 45 и 2700 м/мин при обработке заготовок из алюминия. Кроме того, инструментом из твердого сплава можно обрабатывать заготовки из закаленных (*HRC* до 67) и труднообрабатываемых сталей. Для такого широко распространенного инструмента, как резцы и торцовые фрезы, твердые сплавы являются основным материалом, вытеснившим быстрорежущую сталь. Все большее применение находят твердые сплавы и при изготовлении

других видов режущего инструмента (зенкеров, разверток, сверл и др.).

Твердые сплавы имеют высокие плотность (9,5—15,1 г/см<sup>3</sup>), твердость (*HRB* 87—92) и износостойкость при высоких температурах. Теплоемкость твердых сплавов в 2—2,5 раза меньше теплоемкости быстрорежущей стали Р18, а теплопроводность сплава Т15К6 примерно та же (выше в 1,13 раза) и значительно выше у сплава ВК8 (в 3 раза).

Для изготовления инструментов применяют следующие металлоребрамические твердые сплавы: 1) вольфрамовые (однокарбидные), состоящие из зерен карбида вольфрама, сцементированных кобальтом (сплавы ВК2, ВК3М, ВК4, ВК6, ВК6М, ВК8, ВК8В); 2) титановольфрамовые (двухкарбидные), состоящие из зерен твердого раствора карбида вольфрама в карбиде титана и избыточных зерен карбида вольфрама, сцементированных кобальтом, или только из зерен твердого раствора карбида вольфрама в карбиде титана, сцементированных кобальтом (сплавы Т5К10, Т14К8, Т15К6, Т30К4, Т5К12В); 3) титанотанталовольфрамовые, состоящие из зерен твердого раствора (карбида титана, карбида тантала и карбида вольфрама) и избыточных зерен карбида вольфрама, сцементированных кобальтом (ТТ7К12).

В обозначении сплавов вольфрамовой группы цифра показывает содержание кобальта в процентах; например, в сплаве ВК8 8% кобальта и 92% карбида вольфрама. В обозначении сплавов титановольфрамовой группы число после буквы К показывает содержание кобальта, а число после буквы Т — содержание карбида титана в процентах; например, в сплаве Т15К6 содержится 6% кобальта, 15% карбида титана и 79% карбида вольфрама.

Твердость сплавов определяется твердостью карбидов; чем больше в сплаве карбидов, тем выше его твердость. Но с увеличением твердости уменьшается вязкость твердого сплава; он делается более хрупким и плохо выносит нагрузку на изгиб и срез, особенно если эта нагрузка носит ударный характер.

Вольфрамовые сплавы более вязки и менее хрупки, чем титановольфрамовые сплавы. Это объясняется тем, что в последних находится большое количество свободных карбидов титана, которые очень хрупки. Поэтому при обработке заготовок из чугунов, когда получается «сыпучая» стружка надлома и имеется ударная, пульсирующая нагрузка вблизи режущей кромки, необходимо применять более вязкие сплавы, т. е. сплавы вольфрамовой группы; твердые сплавы этой группы применяют также при обработке заготовок из цветных и легких металлов и сплавов, а также неметаллических материалов (резины, пластмассы, фибры, стекла и др.).

При обработке заготовок из незакаленных углеродистых и легированных сталей, когда центр давления стружки отстоит дальше от режущей кромки и сходящая стружка истирает переднюю поверхность инструмента, необходимо применять сплавы титановольфрамовой группы, которые по сравнению со сплавами вольфрамовой группы тверже и более износостойки, но менее вязки.

Применение инструмента из вольфрамовых сплавов при обработке заготовок из чугуна и инструмента из титановольфрамовых сплавов при обработке заготовок из незакаленных сталей во многом определяется и тем, что титановольфрамовые сплавы обладают большей красностойкостью, имеют меньший коэффициент трения и меньшую слипаемость (свариваемость) со стальной стружкой, что способствует менее интенсивному износу режущего инструмента.

Инструменты из титановольфрамовых сплавов применяют также при точении (без ударов и при отсутствии корки) заготовок из жаропрочных сталей и сплавов, обладающих повышенной вязкостью и пониженной теплопроводностью.

При обработке заготовок из закаленных углеродистых и легированных ( $HRC > 55$ ) сталей, а также высоколегированных нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов с ударной нагрузкой (торцовое фрезерование, точение прерывистых поверхностей) или при точении заготовок из этих материалов с коркой целесообразно (вследствие большей прочности и теплопроводности) применять инструмент из вольфрамового сплава ВК8.

Вязкость твердых сплавов зависит от зернистости и количества кобальта; при одинаковой зернистости чем больше в сплаве кобальта, тем он вязче. Поэтому по механическим свойствам твердые сплавы могут быть разделены также на дополнительные группы: а) более прочные и вязкие, но менее износостойкие (ВК8 и ВК6); б) менее прочные и вязкие, но более износостойкие (ВК2 и ВК3М). Исходя из этого, инструменты из сплавов ВК8 и ВК6 применяют в основном при предварительной (черновой) обработке заготовок из чугуна, когда припуск может быть неравномерным и работа производится с относительно большими подачами, вызывающими увеличенную нагрузку на единицу длины режущей кромки инструмента. Инструмент из сплавов ВК2 и ВК3М применяют при чистовой обработке заготовок из чугуна, т. е. при снятии тонкой непрерывной стружки, так как толстая стружка (при больших подачах) вызывает быстрое разрушение этих малопрочных сплавов.

В сплавах ВК3М, ВК4, ВК6М, ВК8В (ГОСТ 3882—74) буква М обозначает особенности изготовления сплава, приводящие к мелкозернистой структуре, а В — к более крупнозернистой структуре. Инструменты из сплава ВК4 применяют при чистовой и черновой обработке заготовок из чугуна: стойкость сплава ВК4 при точении в 2—4 раза выше стойкости сплава ВК8.

Сплав ВК6М, имея высокую плотность, мелкую зернистость и повышенную твердость при нагреве до температуры 400—900° С, показал хорошие результаты при обработке нержавеющей сталей и при чистовой обработке чугуна (особенно — закаленного). Его применяют для изготовления сложного и прецизионного инструмента (фасонных резцов, цельных дисковых мелко модульных фрез).

Сплав ВК8В по сравнению со сплавом ВК8 имеет меньшую износостойкость, но большую прочность, а потому рекомендуется для чернового точения заготовок из жаропрочных сталей и сплавов и строгания заготовок из сталей.

Из сплавов титановольфрамовой группы выделяют: а) наиболее прочные, но обладающие низкой износостойкостью (Т5К10); б) менее прочные, но более износостойкие (Т14К8, Т15К6); в) самые хрупкие, но наиболее износостойкие (Т30К4); такое разделение предопределяет область их применения. Сплав Т5К10 применяют для предварительной обработки заготовок из сталей, при прерывистом резании, больших подачах (толстых стружках) и неравномерном сечении стружки; сплавы Т14К8 и Т15К6 — при полустойковой обработке заготовок из сталей со средними значениями подач, с относительно равномерным сечением стружки при непрерывном резании; сплав Т30К4 — при чистой обработке заготовок из сталей с малыми значениями подач и непрерывном резании при высоких скоростях.

Твердые сплавы, имея высокую твердость, теплостойкость и износостойкость, обладают малой прочностью (предел прочности при изгибе 90—155 кгс/мм<sup>2</sup>, т. е. в 1,5—2 раза меньше, чем у закаленных быстрорежущих сталей) и низкой ударной вязкостью. Поэтому необходимо создавать такие конструкции режущего инструмента, при которых твердый сплав работал бы на сжатие\*, так как предел прочности при сжатии у твердых сплавов относительно высок (в 1,3—1,5 раза выше, чем у закаленной быстрорежущей стали).

Однако применение твердосплавного инструмента специальных конструкций вызывает другие недостатки [сложность изготовления, увеличенный расход мощности при резании, увеличение сил, действующих на систему станок — приспособление — инструмент — деталь (СПИД), снижение точности обработки и др.] и не всегда позволяет полностью использовать высокие износостойкие качества твердых сплавов. К твердым сплавам повышенной прочности относятся титанотанталовольфрамовые сплавы ТТ7К12 и титановольфрамовый сплав Т5К12В. Плотность этих сплавов 12,8—13,3 г/см<sup>3</sup>, твердость *HRB* 87—88, предел прочности при изгибе 150—165 кгс/мм<sup>2</sup> (у наиболее прочного титановольфрамового сплава Т5К10 предел прочности при изгибе 130 кгс/мм<sup>2</sup>). Химический состав этих сплавов приведен в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав твердых сплавов в %

Марка сплава	Карбид тантала	Карбид титана	Карбид вольфрама	Кобальт
ТТ7К12 . . . . .	3	4	81	12
	3	4	78	15
Т5К12В . . . . .	—	5	83	12

По прочности и стойкости эти сплавы являются промежуточными между быстрорежущей сталью и сплавом Т5К10 и хорошо зарекомендовали себя при предварительном (черновом) резании сталей

\* Подробнее см. стр. 70.

с большой толщиной стружки, при работе с ударом (например, при строгании, фрезеровании), а также при сверлении.

В последнее время во ВНИИТС разработана гамма сплавов с весьма мелкозернистой структурой (основная масса зерна карбида вольфрама размером менее микрометра): ВК6-ОМ ( $\sigma_{\text{н}} = 120 \div 130$  кгс/мм<sup>2</sup>), ВК10-ОМ ( $\sigma_{\text{н}} = 140 \div 160$  кгс/мм<sup>2</sup>) и ВК15-ОМ ( $\sigma_{\text{н}} = 150 \div 170$  кгс/мм<sup>2</sup>). Сплав ВК6-ОМ используется при тонком точении и растачивании заготовок из некоторых жаропрочных и нержавеющих сталей и сплавов, чугунов высокой твердости и особенно эффективен при обработке вольфрама и молибдена. Сплав ВК10-ОМ предназначен для черновой и полужерновой обработки, а сплав ВК15-ОМ — для особо тяжелых случаев обработки нержавеющих сталей, титановых и никелевых сплавов и особенно сплавов вольфрама и молибдена.

Применяются также относительно новые производительные марки твердых сплавов ТТ10К8Б и ТТ20К9. Сплав ТТ10К8Б целесообразно применять при черновой и полужерновой обработке нержавеющих, маломагнитных сталей и некоторых марок жаропрочных сталей и сплавов. Сплав ТТ20К9 предназначен для фрезерования стали при тяжелых условиях обработки (например, глубоких пазов). Он отличается повышенным сопротивлением тепловым и механическим циклическим нагрузкам.

В последние годы большое внимание уделяется разработке новых твердых сплавов, не содержащих карбида вольфрама (безвольфрамового твердого сплава), который заменен карбидами титана. В качестве связки используется никель (в небольших количествах молибден). Предварительные испытания сплавов ТНМ-20, ТНМ-25, ТНМ-30 и др. показали хорошие результаты при обработке ферритных сплавов, никеля, меди, мельхиора.

Твердые сплавы для оснащения металлорежущего инструмента чаще выпускают в виде пластинок, форма и размер которых определяются соответствующими ГОСТами, а также в виде призматических сплошных и пустотелых столбиков. Все более широкое применение находят многогранные твердосплавные пластинки, используемые для резцов и торцовых фрез новых конструкций, в которых эти пластинки не перетачиваются (после использования всех режущих кромок пластинку заменяют новой, а изношенную перерабатывают). В промышленности используются трехгранные, четырехгранные, пятигранные и шестигранные пластинки.

Для повышения износостойкости (в 3—5 раз) неперетачиваемых твердосплавных пластинок их покрывают тонким слоем (0,005 мм) карбида титана методом осаждения из газовой среды. Из твердых сплавов изготавливают монолитный твердосплавный инструмент. В промышленности с успехом используют монолитные твердосплавные прорезные и отрезные фрезы, спиральные сверла диаметром 0,35—6 мм, канавочные фрезы, дисковые модульные зубофрезерные фрезы  $m = 0,2 \div 0,8$  мм, червячные зуборезные фрезы  $m = 0,05 \div 0,9$  мм, шлицевые, угловые и пальцевые фрезы, дисковые и фасонные резцы и др.

## § 5. Минералокерамические материалы

Твердые сплавы, хотя и обеспечивают высокую производительность процесса резания, но являются дорогими, так как в их состав входят относительно редкие элементы — вольфрам, титан, тантал и кобальт. В нашей стране найдены дешевые и в то же время высокопроизводительные материалы, которые в отдельных случаях успешно заменяют твердые сплавы; к ним относятся минералокерамические материалы (термокорунд, микролит), выпускаемые в виде пластинок. Такие керамические пластинки изготовляют из глинозема ( $Al_2O_3$ ) прессованием и термической обработкой. Недорога и технология обработки глинозема, а потому керамические пластинки значительно дешевле пластинок из твердого сплава.

Керамические материалы, полученные в СССР, имеют достаточный предел прочности при сжатии (до  $500 \text{ кгс/мм}^2$ ), высокую твердость ( $HRB 89-95$ ), теплостойкость (около  $1200^\circ \text{C}$ ) и износостойкость, что позволяет обрабатывать металл на высоких скоростях резания (до  $3700 \text{ мм/мин}$  при чистовом обтачивании чугуна). К недостаткам керамических материалов относится большая хрупкость (предел прочности при изгибе до  $45 \text{ кгс/мм}^2$ ), а потому керамические материалы применяют в основном при полужестком и чистовом точении, причем жесткость системы СПИД должна быть высокой, а торец заготовки рекомендуется предварительно подрезать (во избежание резкого удара при врезании). Наиболее высокие режущие свойства имеют пластинки из керамики ЦМ-332. Пластинки из керамических материалов делают овальными, круглыми, призматическими; тем или иным способом (см. стр. 141) пластинки прикрепляют к державке инструмента. При правильном использовании минералокерамических инструментов вместо твердосплавных можно сократить машинное время на обработку (за счет увеличения скорости резания): в 1,5—2 раза при обработке стали и в 3—4 раза при обработке чугуна. Керметы кроме окиси алюминия, имеют присадки металла (вольфрам, молибден, бор, титан и др.) в количестве до 10%; эти присадки несколько уменьшают хрупкость, но понижают и износостойкость.

## § 6. Алмазы

Алмаз — самый твердый ( $HV$  около  $10\,000 \text{ кгс/мм}^2$ ) из всех материалов, химически малоактивный, не поддается действию кислот и щелочей (за исключением смеси серной кислоты с двухромовокислым калием), имеет небольшой коэффициент трения и слабую способность к адгезии (слипанию, свариванию) с металлами (кроме железа и его сплавов с углеродом), высокую теплостойкость (до  $850^\circ \text{C}$ ), высокую износостойкость и обеспечивает получение у инструмента острой режущей кромки; недостаток алмаза — его хрупкость (предел прочности при изгибе до  $40 \text{ кгс/мм}^2$ ) и дороговизна. Алмазы классифицируют по форме, качеству и размерам (в зависимости от назначения). Синтетические (искусственные) алмазы

получают из графита при высоких давлениях и температурах; полученные кристаллы алмаза дробят в порошок. Алмазный порошок используют для изготовления алмазно-абразивного инструмента (кругов, дисков, брусков, надфилей, хонов, паст), а также для шлифования и доводки драгоценных камней, в том числе и самого алмаза.

Алмазные резы применяют в основном в качестве чистового (отделочного) инструмента при резании цветных металлов, сплавов и неметаллических материалов. Размер алмазов, закрепленных тем или иным методом в державке (см. стр. 161), рекомендуется около 1 кар (1 кар = 0,2 г). Алмазы используют и для правки шлифовальных (см. стр. 422) и алмазных кругов.

## § 7. Эльбор

Эльбор — новый сверхтвердый синтетический материал, созданный в нашей стране на основе кубического нитрида бора (вещества, состоящего из атомов азота и бора). Он обладает большой твердостью (до 9000 кгс/мм<sup>2</sup>), высокой теплостойкостью (1400° С), химически инертен по отношению к углеродсодержащим материалам и более прочен по сравнению с алмазом (предел прочности при изгибе до 100 кгс/мм<sup>2</sup>), а потому инструмент, изготовленный из эльбора, имеет высокую износостойкость.

Эльбор в виде порошка используют для изготовления шлифовальных кругов и другого абразивного инструмента, а эльбор в виде столбиков (поликристаллов) — для изготовления резцов (см. стр. 161).



## ЭЛЕМЕНТЫ РЕЗЦОВ

## § 1. Основные положения

Среди многих способов обработки металлов резанием важное место занимает обработка резцом. Резцы делят на три основные группы: токарные, строгальные и долбежные.

Токарные резцы используют на токарных (или подобных им) станках для получения из заготовок деталей с цилиндрическими, коническими, фасонными и торцовыми поверхностями, образующимися в результате вращения заготовки и перемещения резца (см., например, рис. 16); подобный процесс принято называть точением. В общем парке металлорежущих станков токарные станки (включая токарные полуавтоматы и револьверные станки) составляют около 35%, поэтому токарные резцы являются наиболее распространенными и к тому же наиболее простым видом режущего инструмента.

Резец состоит из головки, т. е. рабочей части, и тела, или стержня (рис. 2), служащего для закрепления резца в резцедержателе. Головка резца образуется при специальной заточке (на заточных станках) и имеет следующие элементы: переднюю поверхность, задние поверхности, режущие кромки и вершину.

*Передней поверхностью* называются поверхность резца, по которой сходит стружка. *Задними поверхностями* называются поверхности резца, обращенные к обрабатываемой заготовке (главная и вспомогательная).

*Режущие кромки* образуются при пересечении передней и задних поверхностей.

*Главная режущая кромка* (лезвие) выполняет основную работу резания. Она образуется от пересечения передней и главной задней поверхностей.

*Вспомогательная режущая кромка* (лезвие) образуется от пересечения передней и вспомогательной задней поверхностей. Вспомогательных режущих кромок может быть две (например, у отрезного резца).

*Вершина резца* — это место сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок; при криволинейном сопряжении режущих кромок вершина имеет округленную форму с радиусом  $r$  (рис. 3).

По направлению подачи резцы разделяются на правые и левые. *Правыми* резцами называются такие, у которых при наложении на

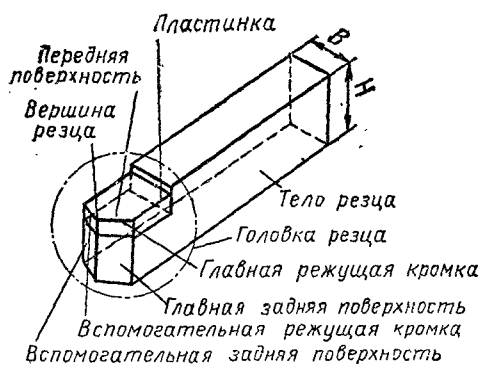


Рис. 2. Элементы резца

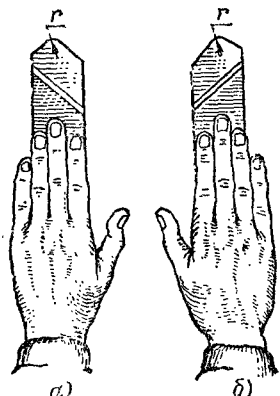


Рис. 3. Левый (а) и правый (б) резцы

них сверху ладони правой руки (так, чтобы четыре пальца были направлены к вершине) главная режущая кромка оказывается расположенной на стороне большого пальца. При работе такими резцами на токарном станке они перемещаются справа налево (от задней бабки к передней). *Левыми* резцами называются такие резцы, у которых при наложении ладони левой руки (как указано выше) главная режущая кромка оказывается расположенной на стороне большого пальца.

По форме и расположению головки относительно стержня резцы разделяются на прямые (рис. 4, а), отогнутые (рис. 4, б), изогнутые (рис. 4, в) и с оттянутой головкой (рис. 4, г).

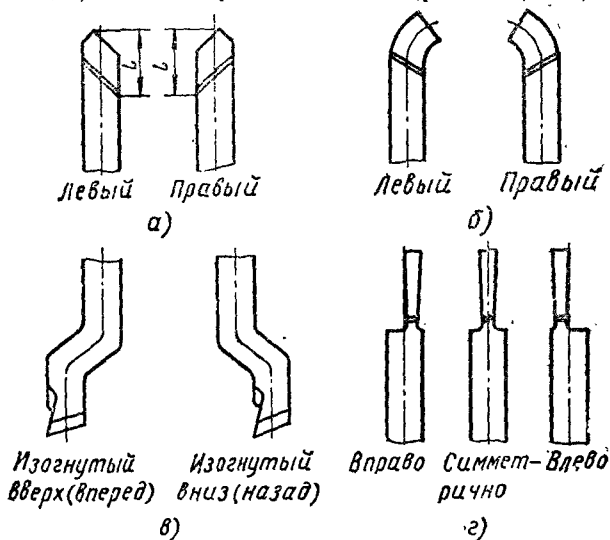


Рис. 4. Резцы различной формы:

а — прямые; б — отогнутые; в — изогнутые; г — с оттянутой головкой

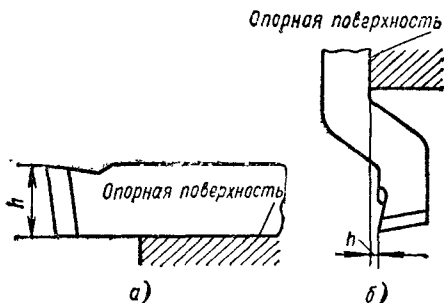


Рис. 5. Высота головки реза:  
 а — положительная; б — отрицательная

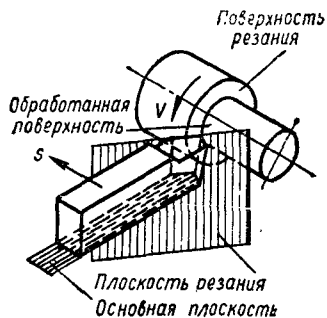


Рис. 6. Плоскость резания, основная плоскость и поверхности при точении

У *прямых* резцов ось прямая; у *отогнутых* резцов головка реза в плане отогнута в сторону; у *изогнутых* резцов ось реза изогнута уже в боковой проекции; у резцов с *оттянутой* головкой головка уже тела реза; она может быть расположена как симметрично относительно оси тела реза, так и смещена относительно ее; головка может быть прямой, отогнутой, и изогнутой.

*Высотой головки реза*  $h$  называется расстояние между вершиной реза и опорной поверхностью, измеренное перпендикулярно к ней. Высота головки считается положительной (рис. 5, а), когда вершина реза выше опорной поверхности, и отрицательной (рис. 5, б), когда вершина реза ниже опорной поверхности.

*Длиной головки реза*  $l$  (см. рис. 4, а) называется наибольшее расстояние от вершины реза до линии выхода поверхности заточки, измеренное параллельно боковой стороне тела реза.

На обрабатываемой заготовке (рис. 6) различают обработанную поверхность и поверхность резания. *Обработанной поверхностью* называется поверхность, полученная после снятия стружки. *Поверхностью резания* называется поверхность, образуемая на обрабатываемой заготовке непосредственно главной режущей кромкой.

## 2. Геометрические параметры режущей части резцов

Режущая часть реза имеет форму клина, заточенного под определенным углом. Для определения углов реза устанавливаются исходные плоскости: плоскость резания и основная плоскость.

*Плоскостью резания* называется плоскость, касательная к поверхности резания и проходящая через главную режущую кромку (рис. 6); на рис. 7 показан след этой плоскости.

*Основной плоскостью* называется плоскость, параллельная продольному (параллельно оси заготовки) и поперечному (перпендикулярно к оси заготовки) перемещению. У токарных резцов с приз-

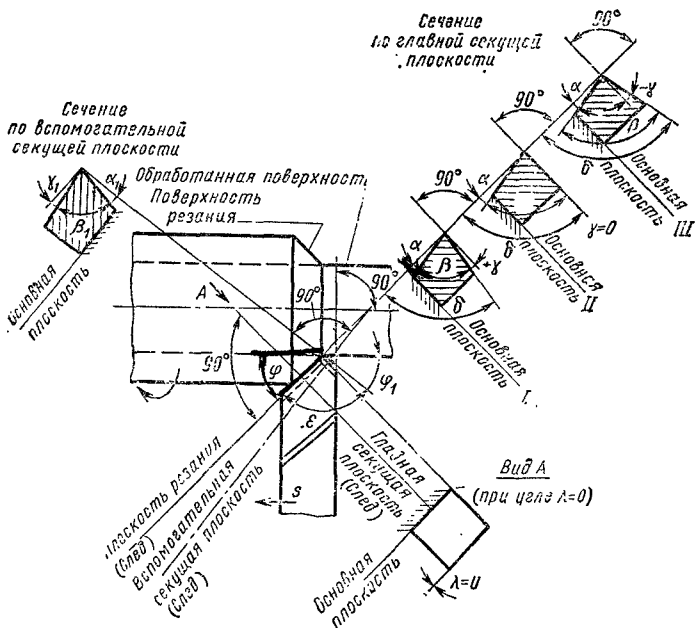


Рис. 7. Поверхности заготовки и углы реза

матическим телом за эту плоскость может быть принята нижняя (опорная) поверхность резца (см. рис. 5 и 6).

Главные углы реза измеряются в *главной секущей плоскости*, т. е. в плоскости, перпендикулярной проекции главной режущей кромки на основную плоскость. К главным углам реза относятся задний угол, угол заострения, передний угол и угол резания (см. рис. 7).

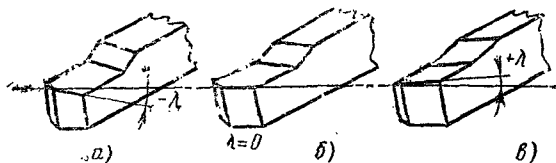
*Главным задним углом*  $\alpha$  называется угол между касательной к главной задней поверхности резца в рассматриваемой точке режущей кромки и плоскостью резания\*. При плоской задней поверхности резца можно сказать, что  $\alpha$  — угол между главной задней поверхностью резца и плоскостью резания. Задние углы уменьшают трение задних поверхностей инструмента о поверхность резания и обработанную поверхность.

*Углом заострения*  $\beta$  называется угол между передней и главной задней поверхностями резца.

*Главным передним углом*  $\gamma$  называется угол между передней по-

\* При определении и измерении углов реза в статическом (нерабочем) состоянии принято считать, что плоскость резания расположена вертикально. В процессе резания на ее положение, а следовательно, и на величину некоторых углов реза влияют положение режущей кромки (или отдельных ее точек) относительно оси заготовки (выше или ниже), подача и диаметр заготовки (см. стр. 119).

Рис. 8. Углы наклона главной режущей кромки резца



верхностью резца \* и плоскостью, перпендикулярной плоскости резания и проходящей через главную режущую кромку. Он может быть *положительным* ( $+\gamma$ ), когда передняя поверхность направлена вниз от плоскости, перпендикулярной плоскости резания (см. рис. 7, I); *равным нулю*, когда передняя поверхность перпендикулярна к плоскости резания (см. рис. 7, II), и *отрицательным* ( $-\gamma$ ), когда передняя поверхность направлена вверх от плоскости, перпендикулярной плоскости резания (см. рис. 7, III). Положительный передний угол делается для облегчения процесса резания (стружкообразования) и более свободного схода стружки по передней поверхности. Однако на практике угол  $+\gamma$  не всегда оказывается лучшим, и его приходится уменьшать (до 0, а иногда делать и отрицательным).

*Углом резания*  $\delta$  называется угол между передней поверхностью резца и плоскостью резания.

При положительном значении угла  $\gamma$  между углами существуют следующие зависимости:

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ; \quad \alpha + \beta = \delta;$$

$$\delta + \gamma = 90^\circ; \quad \delta = 90^\circ - \gamma.$$

При отрицательном значении угла  $\gamma$  угол  $\delta > 90^\circ$ .

Кроме рассмотренных главных углов, резец характеризуется углами: вспомогательными задним и передним в плане и наклона главной режущей кромки (рис. 7 и 8).

*Вспомогательным задним углом*  $\alpha_1$  называется угол между вспомогательной задней поверхностью и плоскостью, проходящей через вспомогательную режущую кромку перпендикулярно к основной плоскости. Вспомогательный задний угол измеряется *во вспомогательной секущей плоскости*, перпендикулярной проекции вспомогательной режущей кромки на основную плоскость. В этой же плоскости рассматривается и *вспомогательный передний угол*  $\gamma_1$ .

Главным углом в плане  $\phi$  называется угол между проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи. Угол  $\phi$  делается для того, чтобы главная режущая кромка могла воздействовать на глубину срезаемого слоя; он влияет на износостойкость резца.

*Вспомогательным углом в плане*  $\phi_1$  называется угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи; он делается для исключения трения на

\* При неплоской передней поверхности передний угол заключен между касательной к передней поверхности, проходящей через рассматриваемую точку режущей кромки, и плоскостью, перпендикулярной плоскости резания и проходящей через главную режущую кромку.

большей части вспомогательной режущей кромки (участок  $dc$ , см. рис. 20, в).

Углом при вершине в плане  $\epsilon$  называется угол между проекциями режущих кромок на основную плоскость; в сумме  $\varphi + \epsilon + \varphi_1 = 180^\circ$ .

Углом наклона главной режущей кромки  $\lambda$  называется угол, заключенный между режущей кромкой и линией, проведенной через вершину резца параллельно основной плоскости. Этот угол измеряется в плоскости, проходящей через главную режущую кромку перпендикулярно к основной плоскости (см. рис. 7 и 8). Угол наклона главной режущей кромки считается отрицательным, когда вершина резца является наивысшей точкой режущей кромки (рис. 8, а); равным нулю — при главной режущей кромке, параллельной основной плоскости (рис. 8, б), и положительным, когда вершина резца является для наименьшей точкой режущей кромки (рис. 8, в). Угол  $\lambda$  делается для изменения направления стружки; он влияет на прочность головки резца и режущей кромки.

Кроме углов  $\gamma$  и  $\alpha$ , рассматриваемых в главной секущей плоскости, иногда (например, при заточке) необходимо знать углы, рассматриваемые в продольной (параллельной оси резца) и поперечной (перпендикулярной к оси резца) плоскостях (рис. 9). В продольной плоскости  $A-A$  — главная режущая кромка будет иметь углы  $\gamma_{\text{прод}}$  и  $\alpha_{\text{прод}}$ , а в поперечной плоскости  $B-B$  — углы  $\gamma_{\text{попер}}$  и  $\alpha_{\text{попер}}$ .

Зависимость между углами  $\alpha$  и  $\alpha_{\text{попер}}$  определится из схемы, приведенной на рис. 10. Из прямоугольного треугольника  $DOE$ , расположенного в главной секущей плоскости  $N-N$  (см. рис. 9),

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{OE}{OD}.$$

Из прямоугольного треугольника  $DOC$ , расположенного в сечении  $B-B$ ,

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{попер}} = \frac{OC}{OD}.$$

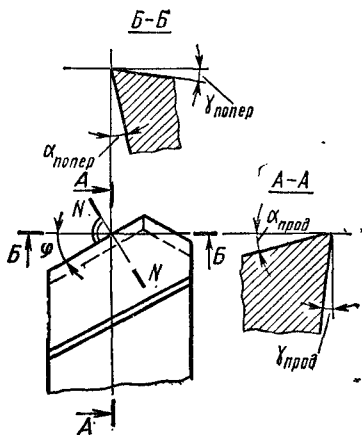


Рис. 9. Углы резца в продольной и поперечной плоскостях

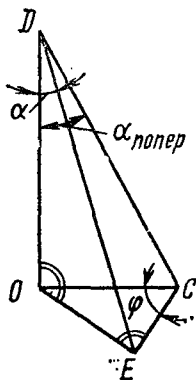


Рис. 10. Схема для определения угла  $\alpha_{\text{попер}}$

Поделив одно уравнение на другое, получим

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha_{\text{попер}}} = \frac{OE \cdot OD}{OD \cdot OC} = \frac{OE}{OC}.$$

Из прямоугольного треугольника  $OEC$

$$\frac{OE}{OC} = \sin \varphi;$$

тогда

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha_{\text{попер}}} = \sin \varphi,$$

или

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{попер}} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sin \varphi} \quad (\text{при } \lambda = 0).$$

Между другими углами существуют следующие зависимости:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{прод}} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \varphi} \quad (\text{при } \lambda = 0);$$

$$\operatorname{tg} \gamma_{\text{прод}} = \operatorname{tg} \gamma \cos \varphi - \operatorname{tg} \lambda \sin \varphi;$$

$$\operatorname{tg} \gamma_{\text{попер}} = \operatorname{tg} \gamma \sin \varphi + \operatorname{tg} \lambda \cos \varphi$$

или

$$\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \gamma_{\text{попер}} \sin \varphi + \operatorname{tg} \gamma_{\text{прод}} \cos \varphi.$$

Значения углов  $\gamma$  и  $\lambda$  берутся со своими знаками.

Указанные углы реза, а также форма передней поверхности и форма режущих кромок относятся к геометрическим элементам \* режущей части инструмента, которые влияют на процесс резания металлов и его производительность.

### § 3. Типы токарных резцов

По виду обработки токарные резцы делятся на проходные, подрезные, расточные, отрезные, прорезные, галтельные, резьбовые и фасонные.

Правый токарный проходной прямой резец с  $\varphi = 45^\circ$  показан на рис. 11, а, а правый токарный проходной отогнутый резец с  $\varphi = 45^\circ$  — на рис. 11, б. *Проходные резцы* применяют для обработки заготовки вдоль оси (рис. 11, а и б, поз. I) и для подрезки торца (рис. 11, б, поз. II). К проходным резцам относится и резец, показанный на рис. 12, а, называемый проходным упорным. Его используют при продольном точении с одновременной обработкой торцовой поверхности, составляющей с цилиндрической поверхностью прямой угол.

*Подрезные резцы* (рис. 12, б) применяют для обработки поверхностей заготовки в направлении, перпендикулярном или наклонном к оси вращения. Для подрезания торца (с поперечной подачей) мо-

\* Подробнее об оптимальных геометрических элементах режущей части резцов см. стр. 114.

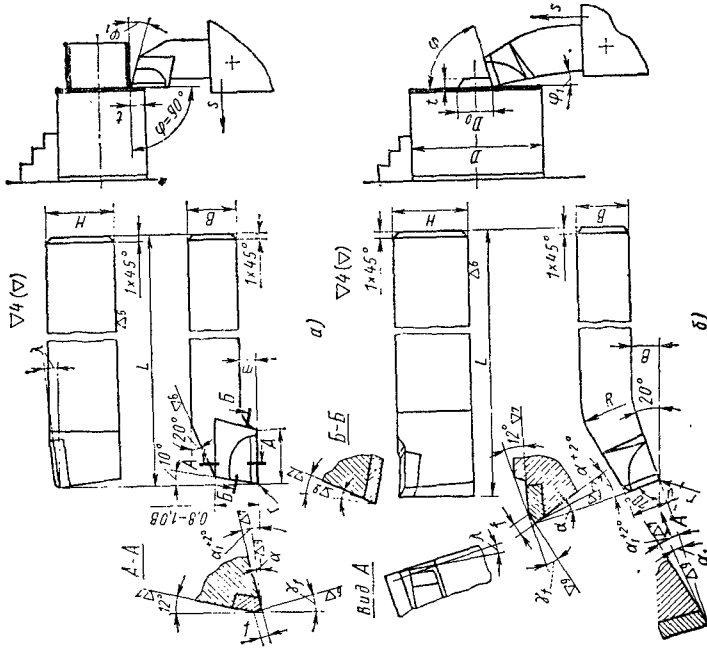


Рис. 12. Токарные резцы, оснащенные пластинками твердого сплава:  
 а — проходной упорный; б — подрезной (торцовый)

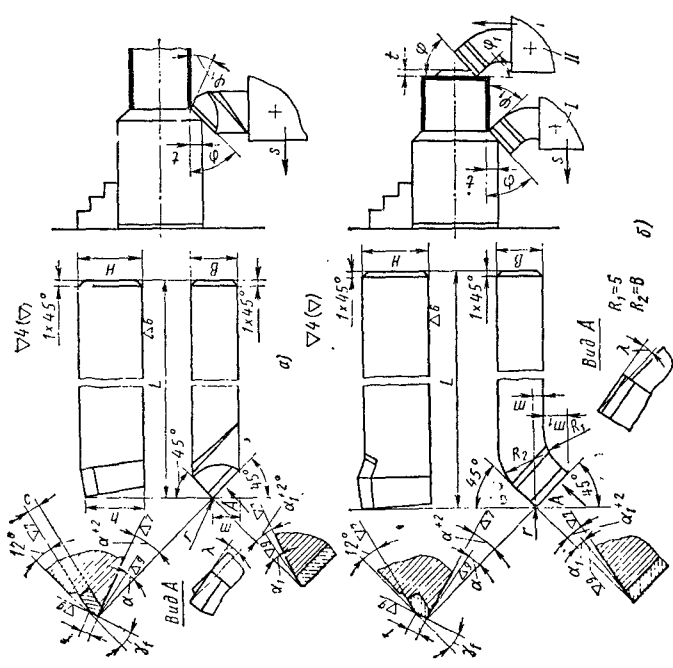


Рис. 11. Токарные проходные резцы, оснащенные пластинками твердого сплава:  
 а — прямой; б — отогнутый



▽4(▽)

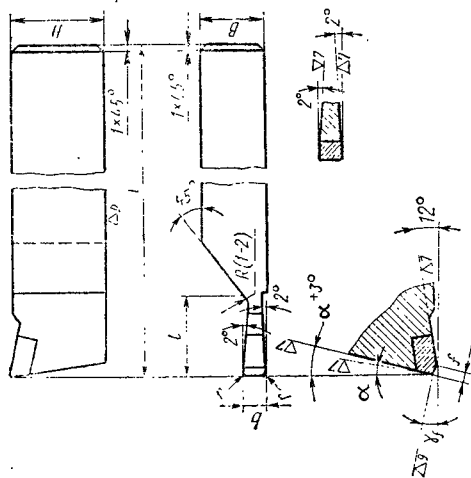
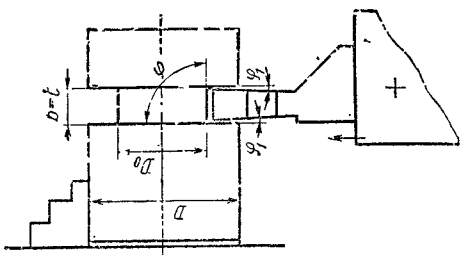


Рис. 14. Токарный отрезной резец, оснащенный пластинкой твердого сплава

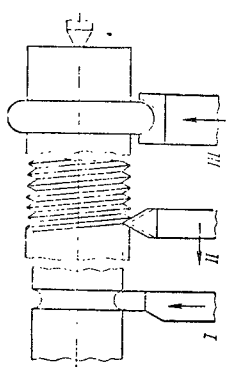


Рис. 15. Токарные резцы:  
I — галтельный; II — резь-  
бовой; III — фланцевый

▽4(▽)

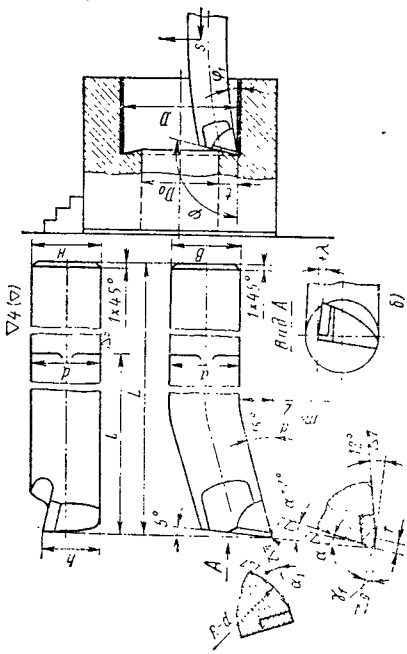
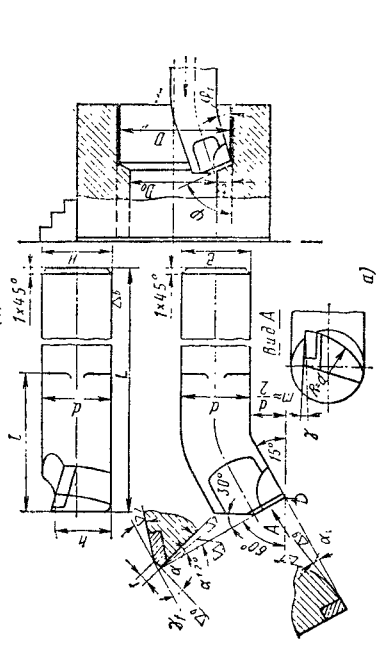


Рис. 13. Токарные расточные резцы, оснащенные пластинками твердого сплава:  
а — для обработки сквозных отверстий; б — для обработки глухих отверстий

жет быть использован и проходной упорный резец (рис. 12, а), для чего его необходимо повернуть на некоторый угол с целью образования вспомогательного угла в плане  $\varphi_1$ .

Токарный *расточной резец* для обработки сквозных отверстий (угол  $\varphi = 60^\circ$ , угол  $\varphi_1 = 30^\circ$ ) приведен на рис. 13, а, а для обработки глухих отверстий (в упор) — на рис. 13, б. *Отрезной резец*, применяемый для отрезки (разрезки) заготовки, изображен на рис. 14. *Прорезные резцы* аналогичны отрезным, но имеют длину режущей кромки  $b$ , соответствующую ширине прорезаемого паза (канавки). *Галтельные резцы* применяют для протачивания закругленных канавок (рис. 15, I) и переходных поверхностей.

*Резьбовыми резцами* нарезают наружную (рис. 15, II) и внутреннюю резьбу\*. *Фасонные резцы* используют для обработки фасонных поверхностей (рис. 15, III)\*\*.

---

\* Подробнее см. в гл. XXI.

\*\* Подробнее см. в гл. X.

## ЭЛЕМЕНТЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ

§ 1. Глубина резания,  
скорость резания и подача

Для того чтобы обрабатывать заготовку резанием и получать в результате этого обработанные поверхности той или иной детали, заготовка и применяемый режущий инструмент должны совершать определенные движения. Эти движения разделяются на основные (служащие для осуществления процесса резания) и вспомогательные (служащие для подготовки к процессу резания и для завершения операции). Основных движений два: движение резания (или главное движение) и движение подачи.

При обработке на токарном станке движение резания — вращательное — совершает заготовка, тем или иным способом скрепленная со шпинделем станка, а движение подачи — поступательное — получает режущий инструмент (резец), жестко закрепленный в резцедержателе. Движение резания позволяет осуществлять процесс резания (образования стружки), движение же подачи дает возможность вести этот процесс (обработку) по всей длине заготовки (рис. 16).

*Глубина резания* ( $t$ ) — величина срезаемого слоя за один проход, измеренная в направлении, перпендикулярном обработанной поверхности. Глубина резания всегда перпендикулярна направлению движения подачи (см. также рис. 11—14). При наружном продольном точении (рис. 16) она представляет собой полуразность между диаметром заготовки и диаметром обработанной поверхности, полученной после одного прохода:

$$t = \frac{D - D_0}{2}.$$

*Скорость резания*  $v$  — величина перемещения точки режущей кромки относительно поверхности резания в единицу времени в процессе осуществления движения резания\*.

При токарной обработке, когда обрабатываемая заготовка вращается с частотой  $n$  об/мин, скорость резания в точках МК режущей кромки будет величиной переменной. Максимальная скорость

$$v = \frac{\pi D n}{1000},$$

где  $D$  — наибольший диаметр поверхности резания в мм.

\* Скорость резания является функцией частоты вращения заготовки и скорости перемещения резца (подачи).

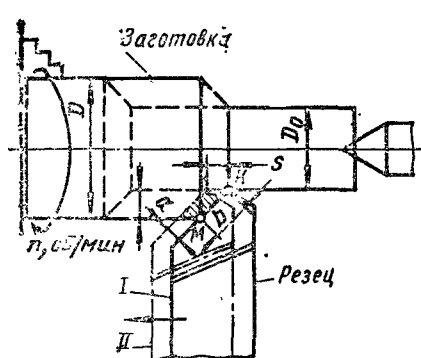


Рис. 16. Элементы резания при токарной обработке

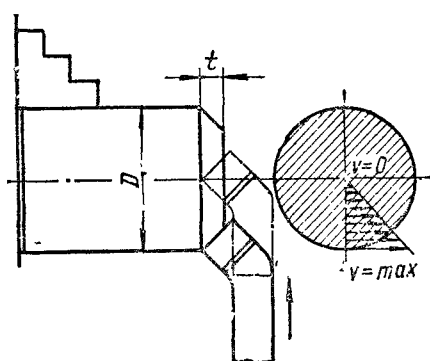


Рис. 17. Эпюра изменения скорости резания при поперечном точении (подрезке)

Если скорость резания будет известна, то легко определить частоту вращения:

$$n = \frac{1000v}{\pi D}$$

При продольном точении скорость резания имеет постоянную величину на протяжении всего времени резания (если диаметр заготовки вдоль всей ее длины одинаков, а частота вращения неизменна). При подрезке торца, когда резец перемещается от периферии заготовки к центру, скорость резания при постоянной частоте вращения переменна. Она имеет наибольшее значение у периферии и равна нулю в центре (рис. 17). Переменной вдоль обработанной поверхности скорость резания будет и при отрезке (см. рис. 14). Однако в этих случаях учитывают максимальную скорость резания.

Подача  $s$  (точнее, скорость подачи) — величина перемещения режущей кромки относительно обработанной поверхности в единицу времени в направлении движения подачи. При токарной обработке может быть *продольная* подача, когда резец перемещается в направлении, параллельном оси заготовки (см. рис. 16); *поперечная* подача, когда резец перемещается в направлении, перпендикулярном оси заготовки (см. рис. 17), и *наклонная* подача — под углом к оси заготовки (например, при точении конической поверхности).

Различают подачу *за один оборот* заготовки, т. е. величину относительного перемещения резца за время одного оборота заготовки (из положения I резец переместился в положение II, рис. 16), и *минутную* подачу, т. е. величину относительного перемещения резца за 1 мин. Минутная подача обозначается  $s_M$  (мм/мин), а подача за один оборот —  $s$  (мм/об). Между ними существует следующая зависимость:

$$s = \frac{s_M}{n}$$

## § 2. Ширина, толщина и площадь поперечного сечения среза

*Ширина среза  $b$*  — длина контакта режущей кромки с поверхностью резания (рис. 18).

*Толщина среза  $a$*  — расстояние между двумя последовательными положениями поверхности резания, измеренное в направлении, перпендикулярном к режущей кромке в плоскости передней поверхности реза.

Рассмотрим зависимость между толщиной среза  $a$  и подачей  $s$ , между шириной среза  $b$  и глубиной резания  $t$  при  $s < t$  (см. рис. 18).

При  $\gamma = 0$  из прямоугольного треугольника  $KNL$

$$KN = KL \sin \varphi,$$

или

$$a = s \sin \varphi^*.$$

При  $\lambda = 0$  из прямоугольного треугольника  $KOM$  ширина среза \*\*

$$b = \frac{t}{\sin \varphi}.$$

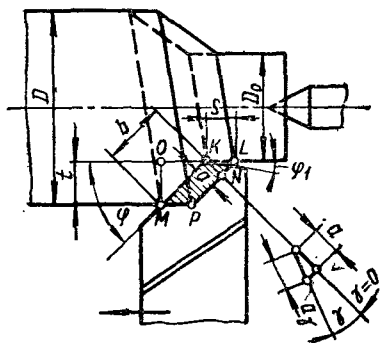


Рис. 18. Сечение среза (при  $s < t$ )

При постоянных подаче  $s$  и глубине резания  $t$  с увеличением главного угла в плане  $\varphi$  толщина среза увеличивается, а ширина уменьшается. Изменение толщины и ширины среза при увеличении главного угла в плане от  $30^\circ$  до  $90^\circ$  показано на рис. 19. При  $\varphi = 90^\circ$  толщина среза  $a$  равна подаче  $s$ , а ширина среза  $b$  равна глубине резания  $t$ . Это же следует и из формул

$$a = s \sin \varphi$$

и

$$b = \frac{t}{\sin \varphi}.$$

Глубина резания и подача характеризуют процесс в основном с технологической (производственной) его стороны. Толщина и ши-

\* При  $\gamma \neq 0$  толщина среза

$$a_\gamma = \frac{a}{\cos \gamma} = \frac{s \sin \varphi}{\cos \gamma}.$$

\*\* При  $\lambda \neq 0$  ширина среза

$$b_\gamma \approx \frac{b}{\cos \lambda} \approx \frac{t}{\sin \varphi \cos \lambda}.$$

При обычных подсчетах толщины и ширины среза влияние углов  $\gamma$  и  $\lambda$  можно не учитывать, поэтому в дальнейшем на рисунках толщина среза будет указываться в направлении, перпендикулярном к поверхности резания; при точных исследованиях поправку на углы  $\gamma$  и  $\lambda$  необходимо принимать во внимание.

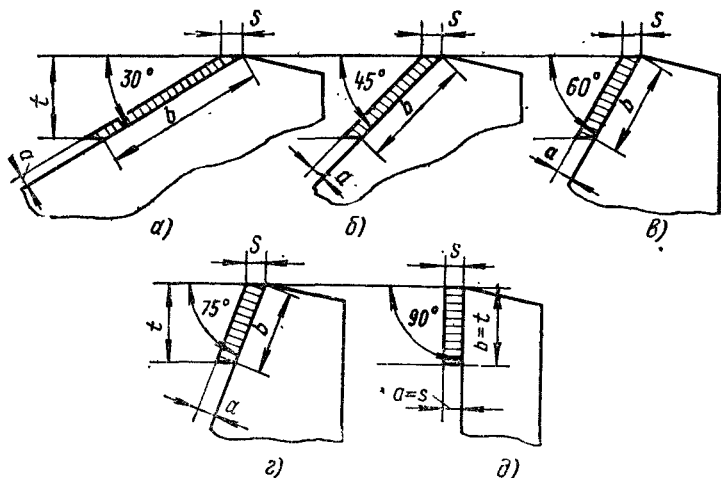


Рис. 19. Толщина и ширина среза в зависимости от главного угла в плане (при  $s < t$ ):

а)  $\varphi = 30^\circ$ ; б)  $\varphi = 45^\circ$ ; в)  $\varphi = 60^\circ$ ; г)  $\varphi = 75^\circ$ ; д)  $\varphi = 90^\circ$

рина среза более полно, чем глубина резания и подача, характеризуют и объясняют физическую сторону процесса резания.

В зависимости от соотношения между подачей и глубиной резания принято называть срез *прямым*, когда  $s < t$ , *квадратным*, когда  $s = t$ , и *обратным*, когда  $s > t$ .

Площадь поперечного сечения среза *PLKM* (см. рис. 18)

$$f = ab = ts \text{ мм}^2.$$

Вследствие увеличенной толщины (и немного ширины) стружки площадь поперечного сечения стружки (срезанного слоя) будет больше площади поперечного сечения среза (см. стр. 37—39). Площадь поперечного сечения среза  $f = ab$  представляет собой площадь номинального, или *расчетного сечения*. Однако номинальное сечение получается только при свободном резании\*, когда в работе принимает участие лишь главная режущая кромка (рис. 20, а и б), или в случае, когда резец имеет дополнительную кромку со вспомогательным углом в плане  $\varphi_1 = 0$  и длина этой кромки больше подачи. В этих случаях резец будет снимать весь предназначенный для срезания слой, не оставляя на обработанной поверхности гребешков.

При несвободном резании (рис. 20, в) на обработанной поверхности остаются гребешки, размеры которых зависят от подачи, радиуса закругления при вершине резца и главного и вспомогательного углов в плане (рис. 21); за один оборот заготовки резец

\* При несвободном резании наряду с главной режущей кромкой  $ab$  в работе на некоторой длине  $bd$  принимает участие и вспомогательная режущая кромка  $bc$  (рис. 20, в),

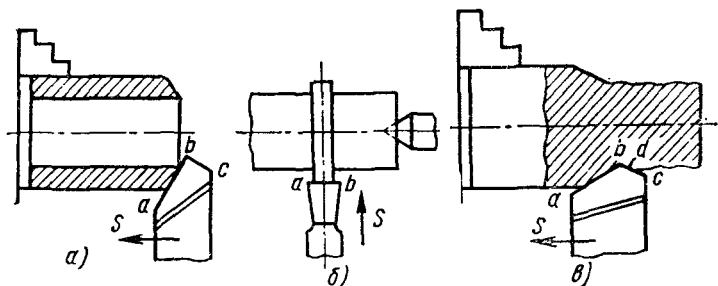


Рис. 20. Свободное (а и б) и несвободное (в) резание

перемещается на величину подачи  $s$  из положения  $I$  в положение  $II$ , оставив на обработанной поверхности гребешок высотой  $H$ .

Если обозначить действительное сечение среза  $f_0$ , а площадь остаточных гребешков  $f_1$ , то

$$f_0 = f - f_1.$$

Высота остаточных гребешков определяет величину шероховатостей (макрогеометрию) обработанной поверхности: чем меньше высота  $H$ , тем выше класс шероховатости (см. стр. 58) обработанной поверхности.

Объем стружки, снятой за 1 мин работы,

$$Q = vts \text{ см}^3/\text{мин.}$$

### § 3. Машинное время

*Машинное время* — время, в течение которого происходит процесс снятия стружки без непосредственного участия рабочего (например, время на точение валика на токарном станке при включенной механической подаче); в дальнейшем это время будем обозначать через  $T_m$ .

Машинное время за один проход

$$T_m = \frac{L}{ns} \text{ мин.}$$

где  $L$  — путь инструмента в направлении подачи в мм;  $n$  — частота вращения заготовки (шпинделя) в об/мин;  $s$  — подача в мм/об.

В свою очередь (рис. 22),

$$L = l + y + \Delta \text{ мм,}$$

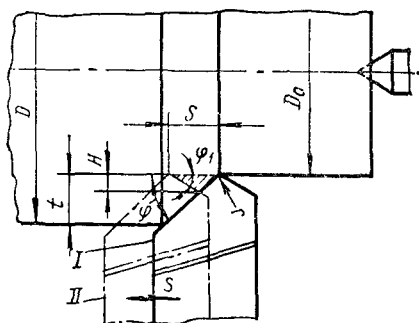


Рис. 21. Остаточный гребешок при точении

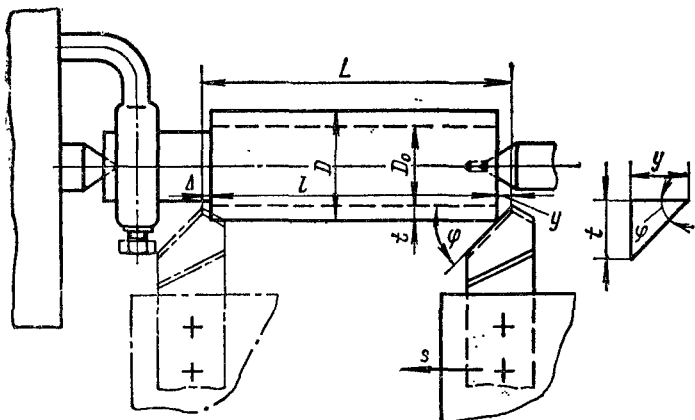


Рис. 22. Элементы пути, проходимого резцом в направлении подачи при продольном точении

где  $l$  — размер обработанной поверхности в направлении подачи мм;  $y$  — величина врезания в мм;  $\Delta$  — выход режущего инструмента (перебег) в мм;  $\Delta = 1 \div 2$  мм.

Величина врезания  $y$  определяется из прямоугольного треугольника (рис. 22):

$$y = t \operatorname{ctg} \varphi \text{ мм.}$$

При поперечном точении валика (рис. 23, а)

$$L = \frac{D}{2} + y + \Delta \text{ мм,}$$

При поперечном точении трубы (рис. 23, б)

$$L = l + y + \Delta = \frac{D-d}{2} + y + \Delta.$$

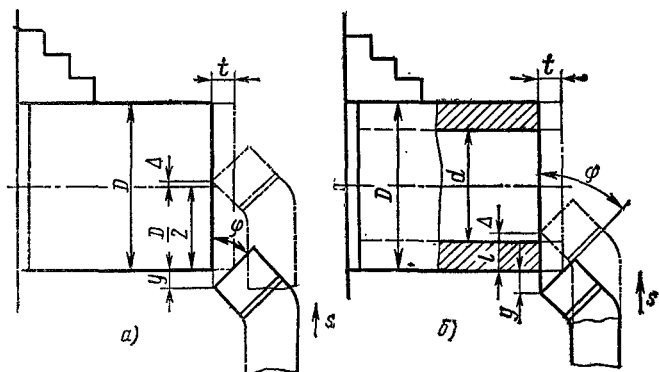


Рис. 23. Элементы пути, проходимого резцом в направлении подачи при поперечном точении (подрезке торца).



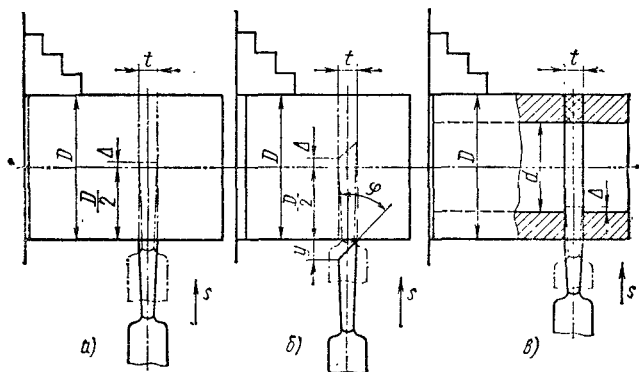


Рис. 24. Элементы пути, проходимого отрезным резцом

При разрезке валика отрезным резцом с режущей кромкой, параллельной оси (рис. 24, а),

$$L = \frac{D}{2} + (1 \div 2) \text{ мм.}$$

При работе резцом с наклонной режущей кромкой (рис. 24, б)

$$L = \frac{D}{2} + y + (2 \div 3) \text{ мм.}$$

При разрезке трубы резцом с режущей кромкой, параллельной оси (рис. 24, в),

$$L = \frac{D-d}{2} + (1 \div 2) \text{ мм,}$$

а резцом с наклонной режущей кромкой

$$L = \frac{D-d}{2} + y + (2 \div 3) \text{ мм.}$$

Если при обработке заготовки приходится делать несколько проходов, с условием, что все они совершаются при одинаковой частоте вращения и подаче, то машинное время

$$T_m = \frac{L}{ns} i \text{ мин,}$$

где  $i$  — число проходов.

Количество проходов зависит от припуска \* на обработку, и если предположить, что каждый проход совершается с одинаковой

\* Под общим припуском подразумевается избыточный слой металла (по сравнению с размерами готовой детали), который необходимо срезать с заданной заготовки.

глубиной резания (последний проход, точнее переход, производится с меньшей глубиной, чем предыдущие), то

$$i = \frac{h}{t}.$$

где  $h$  — припуск на обработку на сторону в мм;  $t$  — глубина резания в мм.

Подставив в формулу машинного времени выражение для числа проходов, получим

$$T_m = \frac{Lh}{nst} \text{ мин.}$$

Уменьшение машинного времени — важный фактор в повышении производительности труда. Машинное время  $T_m$  можно сократить путем уменьшения  $L$  и  $h$  или увеличения  $t$ ,  $s$ ,  $n(v)$ . Величина  $L$  зависит от размера обработанной поверхности (размера готовой детали) и при одноинструментной обработке путь  $L$  сокращается при уменьшении величины врезания и выхода режущего инструмента. При многоинструментной обработке с использованием, например, одновременно двух резцов путь инструмента  $L/2$ .

Чем меньше припуск на обработку  $h$ , т. е. чем ближе форма и размеры заготовки к форме и размерам детали, тем меньше металла будет переведено в стружку, более благоприятны условия для срезания припуска за один проход, меньше будет затрачено времени на обработку, выше производительность и ниже себестоимость готовой детали.

На увеличение основных элементов режима резания — глубины, подачи и скорости влияет ряд факторов, которые изучаются в курсе «Резание металлов и режущий инструмент» и будут рассмотрены ниже.

ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ

§ 1. Стружкообразование и типы стружек

Металл, срезанный с заготовки режущим инструментом, называется стружкой. Процесс резания (стружкообразования) является одним из сложных физических процессов, при котором возникают и упругие и пластические деформации; этот процесс сопровождается большим трением, тепловыделением, наростообразованием, завиванием и усадкой стружки, повышением твердости деформируемых слоев металла и износом режущего инструмента. Вскрыть физическую сущность процесса резания и установить причины и закономерности явлений, которыми он сопровождается, — основная задача науки о резании металлов. Правильное решение этой задачи позволит рационально управлять процессом резания, сделать его более производительным и экономичным, даст возможность получать более качественные обработанные поверхности и детали.

Под действием режущего инструмента срезаемый слой подвергается сжатию. Процессы сжатия и растяжения сопровождаются упругими и пластическими деформациями. В растягиваемом образце до точки *a* возникают упругие (обратимые) деформации (рис. 25), затем наступает текучесть металла (участок *ac*), после чего происходят пластические (необратимые) деформации, заканчивающиеся разрушением (разрывом).

Пластическое деформирование заключается в сдвиге одних слоев относительно других по плоскостям скольжения, которые совпадают в основном с направлением наибольших сдвигающих напряжений. Сдвиги происходят между отдельными частицами кристаллического зерна (монокристалла, рис. 26) и между самими зернами в поликристалле\*; в результате сдвигов изменяется форма зерен, их размер и взаимное расположение. Процесс пластического деформирования сопровождается большим тепловыделением и изменением свойств металла; одним из таких изменений является повышение твердости (а следовательно, и хрупкости).

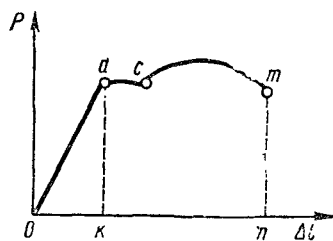


Рис. 25. Диаграмма растяжения стали

\* Линии сдвига (линии Чернова) легко наблюдаются на отполированном цилиндрическом образце, подвергнутом растяжению или сжатию.

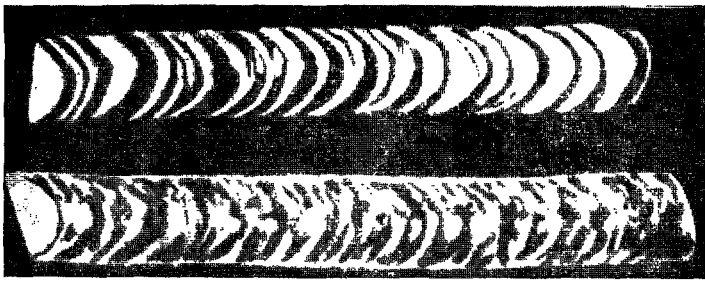


Рис. 26. Сдвиги в монокристалле олова при растяжении (по П. А. Ребиндеру и В. И. Лихтману)

При сжатии картина будет аналогична описанной, только вместо удлинения образца произойдет его укорочение. Процесс сжатия при резании отличается от обычного сжатия образца, заключенного между двумя сближающимися поверхностями, тем, что срезаемый слой связан с остальной массой заготовки; поэтому, если обычное сжатие образца может быть названо свободным сжатием, то сжатие срезаемого слоя при резании можно назвать несвободным; основные закономерности свободного сжатия справедливы и для несвободного сжатия.

Процесс стружкообразования представляет собой процесс упругопластического деформирования (сжатия) срезаемого слоя.

В зависимости от условий обработки срезаемый слой (стружка) может быть различных видов. При обработке пластичных металлов (сталей) образуются стружки трех типов: элементная, ступенчатая и сливная (рис. 27, а—в), а при обработке малопластичных металлов — стружка надлома (рис. 27, г).

*Элементная стружка* получается при обработке твердых и маловязких металлов с малой скоростью резания. Эта стружка состоит из отдельных пластически деформированных элементов, слабо связанных или совсем не связанных между собой. Образование таких элементов стружки было наглядно показано еще И. А. Тиме, положившим начало научному исследованию процесса стружкообразования.

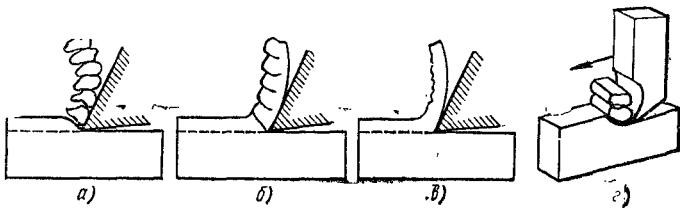


Рис. 27. Типы стружек:  
а — элементная; б — ступенчатая; в — сливная; г — стружка надлома

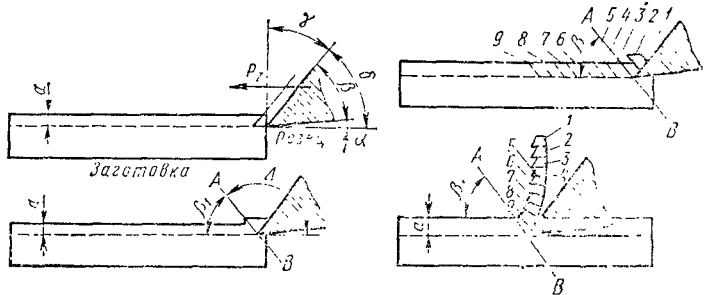


Рис. 28. Схема образования стружки (по Н. А. Тиме)

Схема образования элементной стружки при свободном резании дана на рис. 28. Под влиянием силы  $P_2$ , приложенной к резцу, последний постепенно вдавливаются в массу металла, сжимает его своей передней поверхностью и вызывает сначала упругие, а затем пластические деформации. По мере углубления резца растут напряжения в срезаемом слое, и когда они достигнут величины прочности данного металла, произойдет сдвиг (скалывание) первого элемента по плоскости сдвига  $AB$ , составляющей с направлением перемещения резца (с обработанной поверхностью) угол  $\beta_1$ . Угол  $\beta_1$  называется *углом сдвига* (скалывания).

После скалывания первого элемента стружки резец своей передней поверхностью сжимает (деформирует) следующий близлежащий слой металла, в результате чего образуется второй элемент, отделяющийся от основной массы металла по плоскости максимальных касательных напряжений под тем же углом  $\beta_1$ , и т. д. В своих опытах Н. А. Тиме установил, что в зависимости от угла резания  $\delta$  угол  $\Delta = (180^\circ - \beta_1) = 145^\circ \div 155^\circ$  (чем больше  $\delta$ , тем больше  $\Delta$ ).

Наблюдая за потускненным тщательно отполированных боковых поверхностей свинцовых пластинок, И. А. Тиме первый установил, что срезаемый слой подвергается пластическому деформированию. Позднее (1892—1893 гг.) проф. К. А. Зворыкин определил положение плоскости скалывания теоретическим путем, подтвердив данные Н. А. Тиме (по данным К. А. Зворыкина угол  $\Delta = 135^\circ \div 157^\circ$ ).

Работы советских исследователей показали, что в широком диапазоне положительных и отрицательных значений переднего угла резца угол  $\Delta$  имеет несколько большую величину ( $135^\circ - 170^\circ$ ) и что по всей ширине среза угол сдвига  $\beta_1$  не является величиной постоянной. Поэтому плоскость сдвига правильнее называть *поверхностью сдвига*.

Используя киносъемку, проф. В. А. Кривоухов получил отчетливую картину образования элементной стружки при малой скорости резания (0,625 мм/мин) заготовки из стали 45 (рис. 29); на рис. 29, а один из элементов хотя и образован, но еще окончательно от основной массы металла не отделен; на рис. 29, б этот элемент отделился, и при движении резца продолжается деформация и образование следующего элемента (рис. 29, в, г и д), причем поверхно-

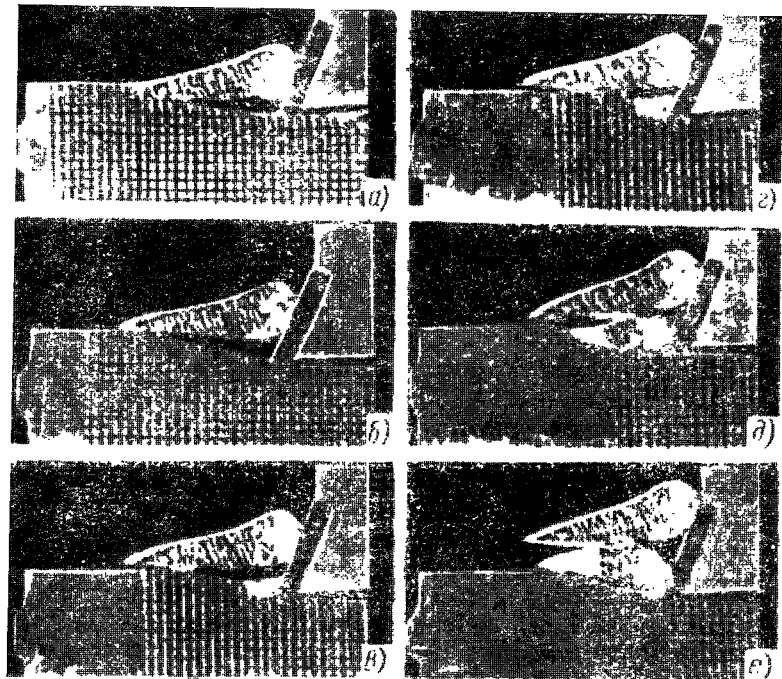


Рис. 29. Образование элементной стружки (по В. А. Кривоухову)

стная часть слоя, превращаемого во второй элемент, уже подверглась пластическому деформированию на некоторую глубину при образовании предыдущего элемента, о чем говорит искривление предварительно нанесенной сетки. Перед отделением элемента по поверхности сдвига сначала, вследствие концентрации напряжения, иногда появляется опережающая трещина, которая, распространяясь кверху, переходит в поверхность сдвига (рис. 29, д). Отделенный второй элемент (рис. 29, е) располагается под первым. Искажение сетки, нанесенной предварительно на боковую поверхность пластинки, показывает, что оба элемента по всему их объему подверглись пластической деформации; искажение сетки вблизи поверхности сдвига показывает, что пластической деформации подверглись и эти слои металла.

Применив впервые для исследования процесса резания металлографический метод (1912—1914 гг.), Я. Г. Усачев показал, что микроструктура стружки отличается от микроструктуры основной массы обрабатываемого металла и что в самой стружке имеются плоскости скольжения  $AC$  (рис. 30), не совпадающие по направлению с поверхностью сдвига  $AB$ . Обнаруженные Я. Г. Усачевым плоскости скольжения представляют собой плоскости, в которых происходят относительные сдвиги частиц металла при его пластическом деформировании (сжатии), перед тем как элемент стружки отделится от основной массы металла по поверхности сдвига. Эти плоскости

скольжения являются вынужденным направлением относительных сдвигов частиц металла при образовании стружки, что вызывает сильную деформацию зерна металла.

Микрофотография стальной стружки приведена на рис. 31. По сравнению с зернами основной массы металла зерна стружки сильно деформированы (вытянуты) в направлении плоскостей скольжения под углом  $\beta_2$ .

*Ступенчатая стружка* (см. рис.

27, б) получается при обработке заготовок из сталей со средней скоростью резания. Прирезцовая сторона такой стружки гладкая, а на противоположной стороне имеются зазубрины с выраженным направлением отдельных связанных между собой элементов.

*Сливная стружка* (см. рис. 27, в) получается при обработке заготовок из сталей с высокой скоростью резания. Она сходит с резца в виде ленты, без зазубрин, присущих ступенчатой стружке. Процесс образования сливной стружки может быть представлен следующим образом. Под действием силы  $P_2$ , приложенной к резцу, в обрабатываемой заготовке в зоне *ocbdo* (рис. 32) создается напряженное состояние, а следовательно, происходит пластическое деформирование. Каждая частица металла, попадая в граничную зону *ocsb*, начинает пластически деформироваться (вытянутые зерна на рис. 32). По мере перехода от границы *occd* к границе *od* пластическое деформирование (сдвиг) частиц металла возрастает. На границе *od*, т. е. на поверхности наибольших сдвигов, происходит последний сдвиг элементов малой толщины относительно друг друга под углом  $\beta_2$  и переход срезаемого слоя толщиной  $a$  в сливную стружку толщиной  $a_1$ . Поверхность сдвига, направленная под углом  $\beta_1$ , является в этом случае верхней границей зоны, непрерывно подвергающейся пластическому деформированию от действия рез

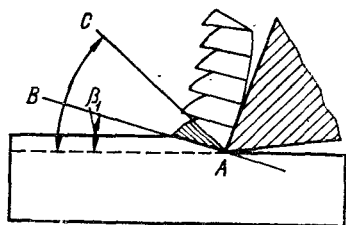


Рис. 30. Схема образования стружки (по Я. Г. Усачеву)



Рис. 31. Микрофотография стальной стружки

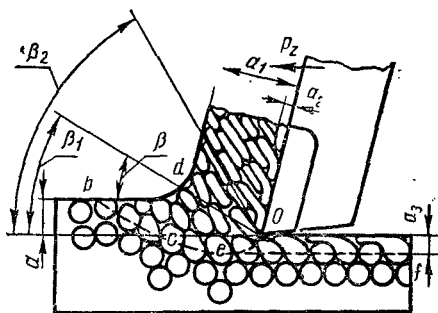


Рис. 32. Схема пластически деформированной зоны при резании

*осебдо*. Стружка, особенно ее прирезцовые слои толщиной  $a_2$ , подвергается дополнительной пластической деформации от действия сил трения во время скольжения стружки по передней поверхности резца. В результате этой деформации зерна металла у прирезцовой стороны стружки располагаются в направлении, параллельном передней поверхности резца. Толщина  $a_2$  составляет 2—20% толщины стружки.

Дополнительной деформации, вследствие упругого последствия обработанной поверхности и большого ее трения о заднюю поверхность резца, подвергаются и слои (толщиной  $a_3$ ), расположенные близко к обработанной поверхности.

Учитывая, что срезанная стружка пластически деформирована по всей толщине и что пластическая деформация распространяется также в глубину от обработанной поверхности и от поверхности резания, общую зону распространения пластической деформации при стружкообразовании можно очертить границей *bcef* (см. рис. 32)\*.

Кроме стружек указанных типов при обработке заготовок из сталей могут образовываться и промежуточные стружки. Чем больше скорость резания и вязкость обрабатываемого металла, меньше угол резания и толщина среза и выше качество смазочно-охлаждающей жидкости, тем стружка ближе к сливной.

Еще И. А. Тиме в своих работах указывал на переменность силы, действующей на резец со стороны срезаемого слоя. Наименьшее значение силы резания при элементной стружке будет при образовании первого элемента. По мере продвижения резца и увеличения деформации элемента сила резания будет возрастать, достигая наибольшего значения в момент скалывания элемента, а затем уменьшаться до некоторого значения, но не до нуля, так как второй элемент стружки начинает деформироваться несколько раньше, чем заканчивается скалывание первого элемента. Такое изменение силы резания вызывает неравномерную нагрузку на резец, заготовку и

\* На рис. 32 дан пример свободного резания (строгания), когда поверхность резания и обработанная поверхность совпадают,



все части станка, что при недостаточной жесткости может привести к вибрациям и ухудшению качества обработанной поверхности. При ступенчатой стружке сила резания будет изменяться меньше, чем при элементной, и работа будет протекать более спокойно. Еще меньше сила резания будет изменяться при сливной стружке, что наряду с более равномерной нагрузкой на систему СПИД будет способствовать получению обработанной поверхности более высокого класса шероховатости.

Таким образом, по типу стружки можно судить о качественной стороне протекания процесса резания. Получение сливной стружки вместо стружки скальвания и ступенчатой во многом подтверждает правильность назначенных геометрических элементов режущей части резца и элементов режимов резания.

*Стружка надлома* (см. рис. 27, г) получается при обработке малопластичных металлов (твердых чугуна и бронзы). Стружка состоит из отдельных как бы выломанных элементов разнообразной формы не связанных или очень слабо связанных между собой. Оперезающая трещина при образовании стружки надлома распространяется сразу вдоль всей поверхности сдвига, по которой стружка отделяется от основной массы металла. «Сыпучая» стружка надлома пластически мало деформирована, но она создает резко неравномерную нагрузку на всю систему СПИД. Обработанная поверхность при образовании такой стружки получается шероховатой, с большими впадинами и выступами. Будучи слабо связанными между собой, элементы стружки надлома имеют малое относительное перемещение по передней поверхности резца. В определенных условиях, при обработке заготовок из чугунов средней твердости, стружка надлома может получиться в виде колец, но сходство со сливной стружкой здесь только внешнее. Достаточно слегка сжать такую стружку в руке, как она легко разрушится на отдельные элементы.

При соприкосновении резца с деформируемой частью металла вследствие большого давления резца и вызванного этим давлением пластического деформирования близлежащих к передней поверхности слоев, а также наличия микронеровностей на передней поверхности резца между ними (т. е. между резцом и деформированным слоем), происходит зацепление. Это зацепление создает на передней поверхности резца тонкий заторможенный слой А (рис. 33). Чем грубее обработана передняя поверхность резца, тем больше толщина заторможенного слоя, относительно которого начнет течь пластически деформированный по всей толщине среза и уходящий в стружку металл. Торможению тонкого слоя металла в зоне деформации способствует и молекулярное сцепление (прилипание) поверхностей контакта стружки и резца.

При перемещении стружки силы внутреннего трения, действующие в слоях пере-

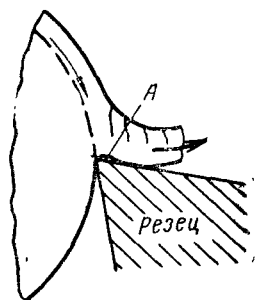


Рис. 33. Заторможенный слой на передней поверхности резца

хода от тонкого заторможенного слоя к основной массе стружки, производят дополнительные деформации в этих слоях, направление сдвигов которых совпадает с направлением передней поверхности резца\*.

В заторможенном слое, который деформирован больше слоев стружки, соприкасающихся с ним, сдвиги происходят со значительно меньшими скоростями, а потому наличие заторможенного слоя, расположенного у самой режущей кромки, создает такие условия, при которых наибольшее относительное скольжение стружки по передней поверхности резца, а следовательно, и трение, вызванное этим скольжением, будет протекать на некотором расстоянии от режущей кромки. Этим и объясняется то, что, несмотря на наибольшее давление у самой режущей кромки, износ резца по передней поверхности (в виде лунки) начинается на некотором расстоянии от режущей кромки (см. рис. 74). Центр лунки износа принято называть *центром давления* стружки на резец.

## § 2. Силы, действующие на инструмент, и работа, затрачиваемая на резание

Из изложенного выше следует, что наряду с нормальным давлением, которое испытывает передняя поверхность резца при деформации (сжатии) срезаемого слоя, она подвергается также действию и сил трения, возникающих на поверхностях контакта сходящей стружки с передней поверхностью резца.

Деформациям подвергается не только срезаемый слой, но и слои основной массы металла, от которых производится отделение стружки, т. е. поверхность резания и обработанная поверхность (глубина пластической деформации поверхностного слоя  $a_3$  показана на рис. 32). Эти деформации, особенно упругие, создают вышучивание металла величиной  $H_{уп}$  (рис. 34), которое вызывает давление металла на задние поверхности инструмента. А так как последние перемещаются относительно поверхности резания и обработанной поверхности, то наряду с нормальным давлением на задние поверхности инструмента будут действовать еще и силы трения.

Нормальные давления на переднюю и заднюю поверхности распределяются неравномерно (рис. 34); наибольшие давления — у вершины резца. Нормальные давления как выражение сопротивления металла разрушению (стружкообразованию) могут быть представлены в виде сосредоточенных сил. Тогда общая схема сил сопротивления, действующих на инструмент со стороны обрабатываемой заготовки, будет выглядеть следующим образом (рис. 35). Сила сопротивления стружкообразованию  $R_{II}$ , действующая со стороны срезаемого слоя на переднюю поверхность инструмента, может быть представлена как равнодействующая сил упругой деформации  $P_{уп}$ , сил пластической деформации  $P_{пл}$  (направленной нор-

\* При рассмотрении дополнительной деформации стружки на стр. 39 понятие «заторможенный слой» было опущено и для простоты рассуждений рассматривалось трение только о переднюю поверхность резца (внешнее трение).

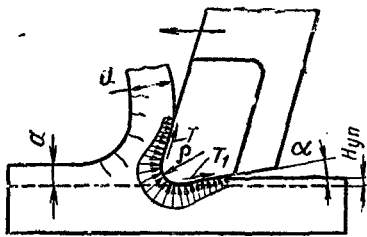


Рис. 34. Схема распределения нормальных давлений на резец в зоне деформации

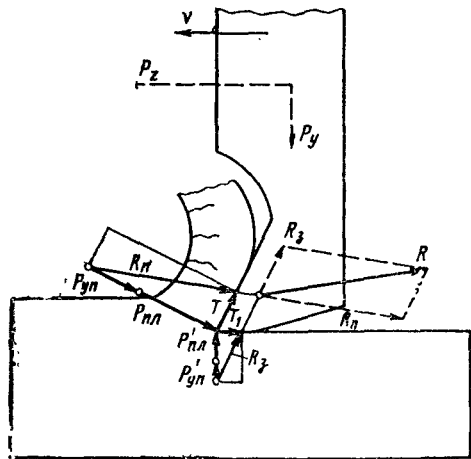


Рис. 35. Схема сил, действующих на резец при свободном резании (строгании), когда  $\lambda = 0^\circ$

мально к передней поверхности) и силы трения  $T$ . Сила сопротивления стружкообразованию  $R_z$ , действующая на заднюю поверхность инструмента, может быть представлена соответственно силами  $P'_{yn}$ ,  $P'_{nl}$  (направленными нормально к площадке износа инструмента по задней поверхности\* или нормально к обработанной поверхности) и силой трения  $T_1$ , действующей по задней поверхности. Силы трения

$$T = \mu(P_{nl} + P_{yn}); \quad T_1 = \mu_1(P'_{nl} + P'_{yn}),$$

где  $\mu$  и  $\mu_1$  — коэффициенты трения соответственно по передней и задней поверхностям.

Суммарная равнодействующая  $R$  всех сил, действующих на резец, определяется как равнодействующая сил  $R_n$  и  $R_z$  (см. рис. 35).

Сумма проекций сил сопротивления  $P_{nl}$ ,  $P'_{nl}$ ,  $P_{yn}$ ,  $P'_{yn}$ ,  $T$  и  $T_1$  на горизонтальную плоскость преодолевается приложенной к резцу силой резания  $P_z$ ; сумма проекций этих сил на вертикальную плоскость дает некоторую силу, стремящуюся сдвинуть резец от заготовки в вертикальной плоскости (во избежание чего резец закрепляется в резцедержателе), и в процессе резания возникает, как реакция, сила  $P_y$ .

Представляя процесс резания как процесс упругопластического сжатия и принимая во внимание силы трения, действующие на поверхностях режущего инструмента, общую работу, затрачиваемую на резание, можно выразить

$$A = A_y + A_{nl} + A_{тр.п-п} + A_{тр.з-п}$$

где  $A_y$  — работа, затрачиваемая на упругие деформации;  $A_{nl}$  — работа, затрачиваемая на пластические деформации;  $A_{тр.п-п}$  — работа, затрачиваемая на преодоление трения по передней поверхности;  $A_{тр.з-п}$  — работа, затрачиваемая на преодоление трения по задней поверхности.

\* Небольшая площадка износа по задней поверхности (с углом  $\alpha = 0$ ) образуется почти сразу при начале резания острым инструментом и увеличивается по мере дальнейшей работы до величины  $h_3$  (см. рис. 74).

При обработке заготовок из пластичных металлов работа  $A_y$  незначительна, а потому наибольшими составляющими работы в этом случае будут  $A_{пл}$ ,  $A_{тр.п-п}$  и  $A_{тр.з.п}$ .

При обработке заготовок из малопластичных металлов (например, чугунов) работа  $A_{пл}$  будет мала, и основными составляющими работы будут  $A_y$ ,  $A_{тр.п-п}$  и  $A_{тр.з.п}$ , причем вследствие относительно малого скольжения стружки надломом по передней поверхности инструмента работа  $A_{тр.п-п}$  будет значительно меньше, чем работа  $A_{тр.з.п}$ .

Если было бы можно точно подсчитать все силы, действующие на резец, со стороны срезаемого слоя и обработанной поверхности, то, проектируя их на горизонтальную и вертикальную ось, легко определить силу  $P_z$  (минимальную силу, которая должна быть приложена к резцу в направлении скорости резания) и силу  $P_y$ .

Однако в связи с трудностью подсчета и измерения этих сил приведенная схема, отображающая действие сил сопротивления материала резанию и объясняющая ряд явлений, сопутствующих процессу резания металлов, для практических расчетов пока не применяется.

### § 3. Наростообразование при резании металлов

При некоторых условиях резания на передней поверхности у режущей кромки резца образуется нарост (рис. 36). Он имеет клиновидную форму и представляет собой часть обрабатываемого металла, сильно деформированного, заторможенного и часто прилипшего (приваренного) к резцу. Твердость нароста может быть в 2—3 раза больше твердости обрабатываемого металла, и нарост сам может срезать слой металла. Являясь как бы продолжением резца, нарост изменяет его геометрические параметры (угол резания  $\delta_1$  при наросте меньше угла резания резца  $\delta$ , полученного при заточке), а потому, перемещаясь вместе с резцом, нарост влияет на деформацию срезаемого слоя, износ резца, силы, действующие на резец, и качество обработанной поверхности.

Впервые правильное объяснение нароста как «застойной зоны» сильно деформированного металла перед передней поверхностью инструмента дал Я. Г. Усачев. Все исследования этого вопроса, ведущая роль в которых принадлежит советским ученым, полностью подтверждают это положение.

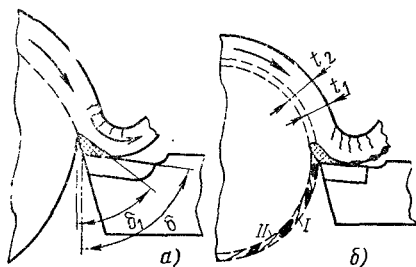


Рис. 36. Схема нароста на резце:

- а — устойчивый нарост;
- б — разрушение нароста

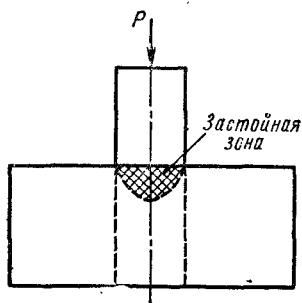


Рис. 37. Застойная зона перед пуансоном



Рис. 38. Микроструктура нароста (по А. И. Исаеву)

Застойная зона всегда обнаруживается под пуансоном при его вдавливании в твердое тело (рис. 37). Резец представляет собой тот же пуансон, но условия работы его иные: деформируемый слой имеет свободный сход по передней поверхности резца и по этой поверхности несимметрично распределено давление. Другой поэтому будет и форма застойной зоны, образующейся в результате деформации металла при резании.

На рис. 38, *а* дана микроструктура всего нароста (застойной зоны), а на рис. 38, *б* — микроструктура его вершины (с увеличением в 250 раз). Тело нароста имеет несимметричную, клинообразную форму, вершина нароста округлена, но не имеет ярко выраженной границы отделения от основной массы металла, так как именно здесь происходит последовательный переход исходной структуры обрабатываемого металла в структуру нароста; по своей структуре нарост неоднороден и отличается от структуры обрабатываемого металла и стружки.

Размеры нароста не являются стабильными и одинаковыми вдоль всей режущей кромки даже при условиях, особенно благоприятных для его образования. Вследствие сильного трения между

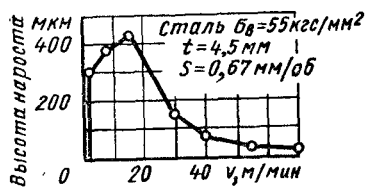


Рис. 39. Высота нароста в зависимости от скорости резания (по Л. И. Исаеву)

нии движения стружки и обработанной поверхности, эти частицы сначала растягиваются, а затем, по мере их углубления в массу нароста, сильно сжимаются, что и приводит к большому упрочнению нароста. Так как нарост уменьшает угол резания реза (что способствует более легкому отделению стружки), защищает режущую кромку от истирающего действия со стороны сходящей стружки и обработанной поверхности, удаляет от режущей кромки центр давления стружки на резец и несколько защищает режущую кромку от действия теплоты, возникающей при резании, то при грубой (черновой) обработке нарост не считается особенно вредным.

При чистовой обработке, когда необходимо получить высокое качество обработанной поверхности, нарост нежелателен. Если нарост отсутствует, то образуется относительно мало шероховатая обработанная поверхность I (штриховая линия на рис. 36, соответствующая глубине резания  $t_1$ ). Обработанная поверхность более шероховатая, если нарост абсолютно устойчив (поверхность II, соответствующая глубине резания  $t_2$ ), так как вследствие округления и неровностей вершины нароста, а также больших сил трения по его затылочной поверхности, обработанная поверхность имеет большие разрывы в момент отделения обработанной поверхности от нароста. Но так как нарост разрушается и вновь образуется, то действительная толщина среза и глубина резания \* все время изменяются ( $t_2 > t_1$ ), что и приводит к значительно большей действительной высоте неровностей на обработанной поверхности, чем неровности на поверхностях I или II. Наряду с увеличением шероховатости обработанной поверхности изменение размеров нароста приводит и к изменению диаметра обработанной поверхности.

При малых скоростях резания (2—5 м/мин) вследствие элементной стружки и низкой температуры, возникающей при резании, нарост на резце отсутствует (рис. 39). По мере увеличения скорости резания стружка из элементной переходит в ступенчатую и сливную; наблюдается течение пластически деформируемых слоев, и температура резания такова, что металл в зоне застоя не только упрочняется и затормаживается на передней поверхности резца, но и приваривается к ней. Скорость резания, соответствующая наи-

\* Периодическое изменение толщины среза и глубины резания может привести к вибрациям, что также ухудшает качество обработанной поверхности.

большой высоте нароста, находится в пределах 10—20 м/мин. При дальнейшем увеличении скорости резания температура становится выше, металл в застойной зоне, размягчаясь, становится тонким, заторможенным, но не приваренным слоем.

Скорость резания, при которой нарост имеет наибольшую высоту, и скорость, начиная с которой нарост на резце будет отсутствовать, зависят от условий обработки. Чем выше твердость обрабатываемой стали, больше угол резания резца и больше толщина среза (т. е. чем выше температура резания при одинаковых скоростях резания), тем при меньших скоростях исчезает нарост.

Наивысшей скоростью резания (в зависимости от условий обработки), при которой может образоваться нарост, является скорость 90—100 м/мин. При обработке заготовок из твердых сталей нарост может исчезнуть при скорости 20 м/мин. При изменении высоты нароста угол резания  $\delta_1$ , создаваемый наростом (рис. 40, верхняя кривая), также изменяется. Так как основным нароста являются тонкие заторможенные слои деформируемого металла, то все факторы, уменьшающие трение на передней поверхности резца, будут затруднять и условия для наростообразования. Чем меньше шероховатость передней поверхности резца, тем хуже условия для наростообразования. Снижает наростообразование также применение смазочно-охлаждающих жидкостей и уменьшение угла резания (при  $\delta = 45^\circ$  нарост отсутствует). Меньшую склонность к наростообразованию имеет инструмент, оснащенный пластинками твердого сплава (по сравнению с инструментом из сталей).

Мы рассмотрели нарост как застойную зону металла, приваренного к резцу. Однако в зависимости от давления и температуры в месте контакта застойной зоны с резцом и от способности к свариванию контактирующих металлов металл в застойной зоне может привариваться к стружке. Встречаются случаи, когда металл в застойной зоне не приваривается ни к резцу, ни к стружке, но может быть обнаружен при отводе из-под стружки.

#### § 4. Завивание стружки, усадка стружки и повышение твердости в зоне деформации

Доказательством пластических деформаций при резании металлов является завивание стружки, ее усадка и повышение твердости.

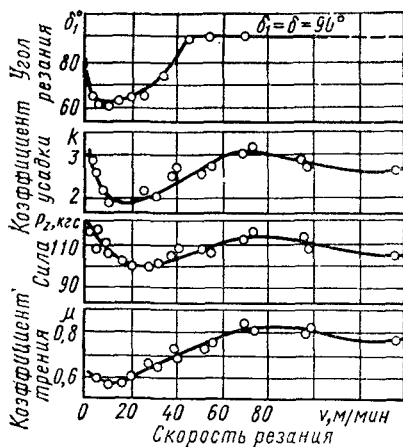


Рис. 40. Влияние скорости резания на угол резания, создаваемый наростом, усадку стружки, силу резания и коэффициент трения (по А. М. Розенбергу и А. Н. Еремину)

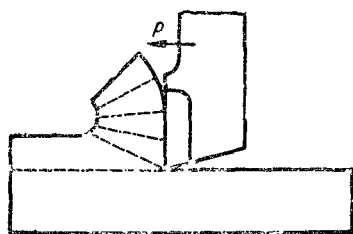


Рис. 41. Схема завивания стружки

Завивание вызывается и тем, что, встречаясь с резцом, особенно при наличии нароста, стружка в некоторой точке (см. рис. 36, а) вынуждена резко изменить направление движения и изогнуться. Завиванию содействует также и неравномерное охлаждение стружки по толщине; сильнее охлаждаются (а следовательно, и сжимаются) наружные слои стружки, так как в прирезцовых слоях действует теплота от трения о переднюю поверхность резца.

В зависимости от условий обработки стружка может завиться в плоскую (логарифмическую) или в винтовую спираль. Стружка в виде плоской спирали образуется при отрезании (см. рис. 24, а) и свободном поперечном точении буртика резцом, у которого главный угол в плане  $\varphi = 90^\circ$ , а угол наклона главной режущей кромки  $\lambda = 0$  (см. рис. 20, б). При точении буртика резцом с  $\varphi \neq 90^\circ$ , или  $\lambda \neq 0$ , стружка будет завиваться в винтовую спираль. Стружка завивается в винтовую спираль и при несвободном точении, что вы-

Твердость повышается как в стружке, так и на поверхности резания и обработанной поверхности.

**Завивание стружки.** Завивание стружки в спираль вызывается тем, что слои стружки, прилегающие к резцу, деформируются больше. Со стороны действия силы  $P$  слой стружки утолщается, приобретая клиновидную форму, в результате чего и создается завивание (рис. 41).

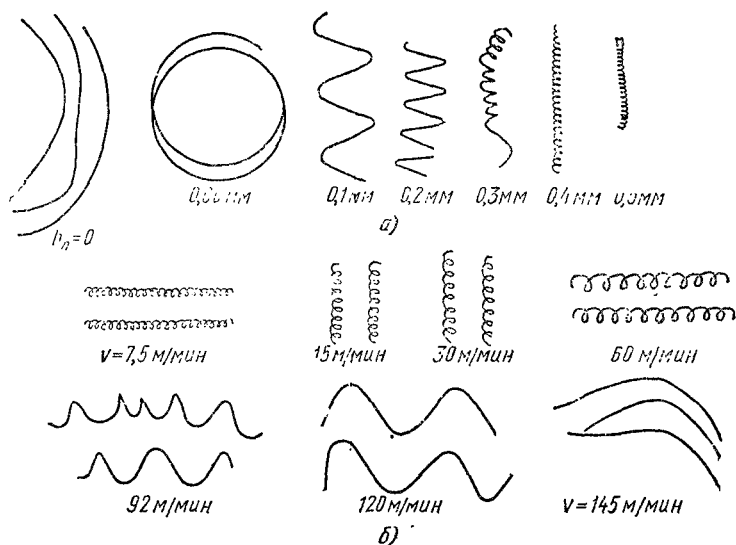


Рис. 42. Завивание стружки в зависимости от износа по передней поверхности (от глубины лунки) и скорости резания:

а — в зависимости от глубины лунки; б — в зависимости от скорости резания



зывается в основном различной скоростью схода отдельных точек стружки, уменьшающейся вдоль ширины среза при переходе от обрабатываемой поверхности к обработанной ( $v_D > v_{D0}$ , см. рис. 117, а).

На завивание стружки влияют угол резания, толщина среза (подача), глубина лунки на передней поверхности резца, скорость резания и смазочно-охлаждающая жидкость. Чем больше угол резания и меньше толщина среза, тем больше завивается стружка (т. е. тем меньше ее радиус кривизны). С увеличением глубины лунки износа на передней поверхности резца радиус завивания стружки уменьшается (рис. 42, а), а с увеличением скорости резания — возрастает (рис. 42, б). Применение смазочно-охлаждающих жидкостей способствует уменьшению радиуса завивания стружки. Так как малоизвитая лентообразная стальная стружка опасна для рабочего (особенно при больших скоростях резания), наматывается на заготовку, обвивает резец, сушпорт, мешает следить за процессом резания и неудобна для транспортировки, то приходится подвергать ее дополнительной деформации, завивая и ломая на мелкие куски с помощью специальных стружколомателей или стружкозавивателей (см. стр. 155). В некоторых случаях (при  $s \geq 0,3$  мм/об) стружкозавивание и стружколоманье может быть достигнуто в результате искусственного затачивания лунки на передней поверхности резца (см. рис. 111, в).

Степень завивания стружки учитывается при конструировании канавок многолезвийного инструмента (протяжки, фрезы, и др.), в которых должна разместиться стружка.

**Усадка стружки.** В результате пластического сжатия срезаемого слоя стружка оказывается короче того участка, с которого она срезана, т. е.  $L < L_0$  (рис. 43). Укорочение стружки по длине принято называть *продольной усадкой стружки*; величина ее характеризуется коэффициентом усадки. Коэффициент усадки  $k$  представляет собой отношение длины участка, с которого срезана стружка, к длине самой стружки, т. е.

$$k = \frac{L_0}{L}.$$

Так как  $L < L_0$ , то коэффициент усадки  $k > 1$  и в зависимости от условий обработки он может быть равен 6—8.

Если пренебречь изменением плотности металла в процессе резания, то объем срезаемого слоя (среза) можно приравнять к объему уже срезанного слоя (стружки), а потому укорочение стружки по длине должно сопровождаться увеличением ее площади поперечного сечения, что принято называть *поперечной усадкой стружки*.

Поперечная усадка стружки происходит в большей степени вслед-

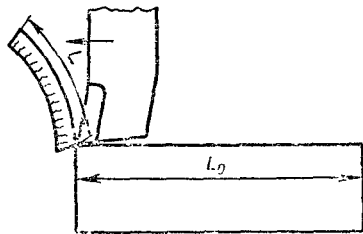


Рис. 43. Схема усадки стружки

ствии увеличения толщины стружки и в меньшей из-за возрастания ее ширины.

Приравнивая объем срезаемого слоя к объему стружки и пренебрегая величиной площади остаточных гребешков, можно записать

$$fL_0 = f_c L,$$

где  $f$  — номинальная площадь поперечного сечения среза в мм<sup>2</sup>;  $L_0$  — длина участка, с которого снята стружка, в мм;  $f_c$  — площадь поперечного сечения стружки в мм<sup>2</sup>;  $L$  — длина стружки, срезанной с участка  $L_0$ , в мм.

Из приведенной формулы следует, что

$$\frac{L_0}{L} = \frac{f_c}{f} = k,$$

т. е. продольная усадка стружки равна ее поперечной усадке.

Так как усадка стружки — результат пластической деформации при резании металлов, то она является внешним выражением этой деформации и до некоторой степени характеризует условия протекания процесса резания. Коэффициент усадки позволяет выяснить влияние некоторых факторов на протекание процесса и объяснить ряд явлений, сопутствующих стружкообразованию.

Коэффициент усадки стружки является некоторой количественной оценкой \* степени пластической деформации при резании металлов, а потому чем меньше усадка стружки, тем с меньшими пластическими деформациями протекает процесс резания и более благоприятны условия для стружкообразования и меньше удельный расход мощности (работы) на обработку данной заготовки.

На усадку стружки влияют: 1) геометрические элементы режущей части резца (главным образом угол резания и радиус закругления при вершине резца в плане); 2) элементы режима резания (скорость резания и подача); 3) смазочно-охлаждающая жидкость; 4) обрабатываемый металл и его механические свойства.

Чем больше угол резания (или чем меньше положительное значение переднего угла), тем больше усадка стружки (рис. 44). Это объясняется тем, что резец с большим углом резания (рис. 45, а) в большей степени деформирует (сжимает) срезаемый слой при его превращении в стружку. Резец с меньшим углом резания (рис. 45, б), наоборот, легче врезается в обрабатываемый металл, меньше сжимает срезаемый слой, и получающаяся стружка будет сходиться по передней поверхности менее деформированной; на ее образование в этом случае затрачивается меньшее количество работы; меньше будет также и тепловыделение, которым всегда сопровождается пластическое деформирование и процесс резания.

При увеличении радиуса закругления при вершине резца в плане усадка стружки возрастает (рис. 46). Это объясняется тем, что

---

\* Для более полной оценки пластической деформации предполагается подсчет суммы произведений отдельных площадок скольжения на длину пути их относительного перемещения,

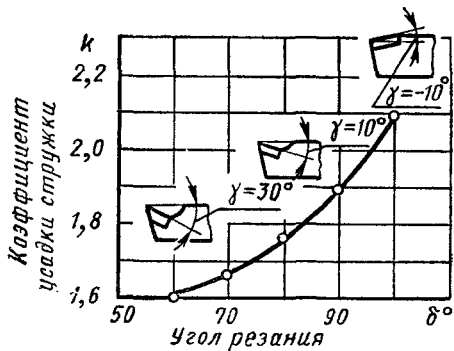


Рис. 44. Влияние угла резания на усадку стружки

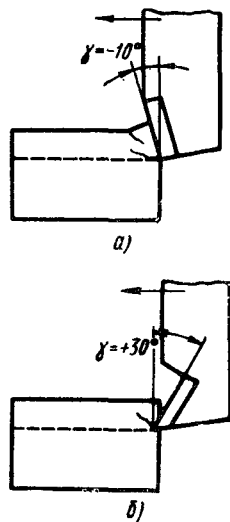


Рис. 45. Врезание реза:

а — с углом  $\gamma = -10^\circ$  ( $\delta = 100^\circ$ ); б — с углом  $\gamma = +30^\circ$  ( $\delta = 60^\circ$ )

при увеличении радиуса закругления возрастает длина криволинейного участка режущей кромки резца (рис. 47). Толщина среза в разных точках криволинейного участка переменна и меньше толщины среза  $a$  у прямолинейного участка режущей кромки; поэтому стружка на криволинейном участке будет деформирована больше, чем на прямолинейном. Увеличение деформации криволинейного участка будет вызвано также и тем, что при плоской передней поверхности передний угол на криволинейном участке режущей кромки будет переменным, уменьшающимся по мере приближения к вершине резца (т. е. с уменьшением угла  $\phi$ ). Кроме того, плоскости деформаций на криволинейном участке, нормальные к режущей кромке (рис. 48, а), будут пересекаться, что вызовет «стесненное» резание и дополнительную деформацию срезаемого слоя на этом участке (рис. 48, б). Все это [уменьшение средней толщины среза (см. рис. 50), уменьшение переднего угла и пересечение плоскостей деформаций] вызывает повышенную деформацию срезаемого слоя,

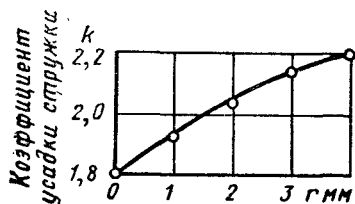


Рис. 46. Влияние радиуса закругления при вершине резца в плане на усадку стружки

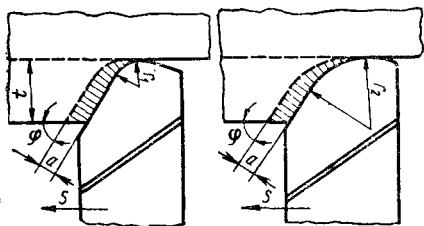


Рис. 47. Изменение длины криволинейного участка режущей кромки с изменением  $r$  ( $r_2 > r_1$ )

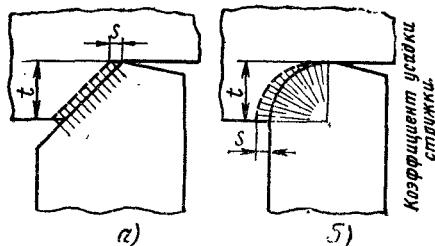


Рис. 48. Направление плоскостей деформации у реза с прямолинейной и криволинейной кромкой

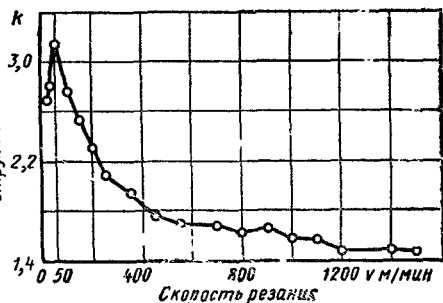


Рис. 49. Влияние скорости резания на усадку стружки

прилегающего к криволинейному участку режущей кромки, и повышенную деформацию стружки в целом. Таким образом, чем больше радиус, т. е. чем больше длина криволинейного участка режущей кромки, тем больше и усадка стружки. При одинаковых значениях  $r$  влияние криволинейного участка на повышение усадки будет тем большим, чем большим будет  $\frac{r}{t}$ .

Влияние скорости резания на усадку стружки показано на рис. 40; усадка стружки с повышением скорости резания сначала уменьшается, достигая минимума, затем повышается, достигая максимума, и вновь уменьшается; начиная со скорости примерно 500 м/мин, усадка стружки изменяется незначительно (рис. 49).

Указанное изменение усадки (см. рис. 40) объясняется изменением значений действительного угла резания и коэффициента трения.

В зоне скоростей резания, где образуется нарост, действительный угол резания  $\delta_1$  меньше исходного значения угла  $\delta$ , что вызывает уменьшение коэффициента усадки стружки. При больших скоростях резания (на рис. 40 для скорости свыше 45 м/мин), несмотря на постоянство действительного угла резания ( $\delta_1 = \delta = \text{const}$ ), усадка стружки зависит от коэффициента трения: увеличивается с возрастанием коэффициента трения и сокращается с его уменьшением.

Для реза с большим углом резания скорость резания влияет более интенсивно на усадку стружки, чем для реза с меньшим углом резания. При  $\delta = 45^\circ$  усадка стружки с изменением скорости резания изменяется незначительно.

При увеличении подачи (толщины среза), при отсутствии нароста и прочих одинаковых условиях коэффициент усадки уменьшается (рис. 50). Это объясняется тем, что: 1) неравномерное рас-

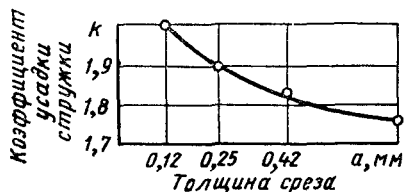


Рис. 50. Влияние толщины среза на коэффициент усадки стружки

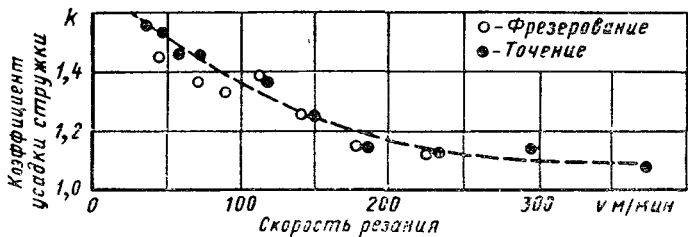


Рис. 51. Зависимость усадки стружки от скорости при обработке заготовок из чугуна (по Н. Ф. Киселеву)

пределенные напряжения по толщине срезаемого слоя вызывает и неравномерную (затухающую) деформацию: чем ближе срезаемый слой к плоскости резания, т. е. чем он тоньше, тем полнее его деформация и больше коэффициент усадки; особенно сильной деформации подвергается срезаемый слой толщиной  $a_p \leq \rho$  (где  $\rho$  — радиус округления режущей кромки, см. рис. 90), так как угол резания на округленном участке  $\delta_p > \delta > 90^\circ$ ; 2) коэффициент трения увеличивается с уменьшением толщины среза, а силы трения, дополнительно сжимающие стружку, больше влияют на слои, близлежащие к поверхности контакта; поэтому тонкая стружка в большей степени подвергается дополнительному сжатию по сравнению с толстой.

На зависимость  $k = f(a)$  влияет угол  $\gamma$ ; чем больше передний угол реза (меньше угол резания), тем менее интенсивно уменьшается усадка стружки с увеличением толщины среза; при  $\gamma \geq 40^\circ$  коэффициент усадки может не зависеть от толщины среза. В зоне наростообразования зависимость усадки стружки от толщины среза выражается более сложной кривой, подобной зависимости усадки стружки от скорости резания.

Смазочно-охлаждающие жидкости значительно снижают усадку стружки и делают ее (усадку) менее зависящей от толщины среза (см. рис. 61).

На величину усадки стружки влияет и обрабатываемый материал. При обработке заготовок из малопластичных материалов усадка значительно меньше (рис. 51), хотя и подчиняется тем же закономерностям, что и при резании сталей; при  $v \geq 250$  м/мин коэффициент усадки близок к единице. Из двух сталей большую усадку при резании будет получать та, которая имеет меньшую твердость (большую вязкость).

На процесс стружкообразования, а следовательно, и на коэффициент усадки стружки влияют и свойства материала, из которого сделана режущая часть инструмента. При обработке углеродистых конструкционных сталей резцами, оснащенными твердым сплавом, коэффициент усадки уменьшается с увеличением содержания в твердом сплаве карбида титана и с уменьшением содержания кобальта (т. е. по мере перехода от сплава Т5К10 к сплаву Т30К4).

Изменение усадки стружки в зависимости от марки и партии твердого сплава объясняется различными величинами коэффициента трения между стружкой и передней поверхностью резца, что вызывается различной склонностью сплавов к слипанию со стружкой.

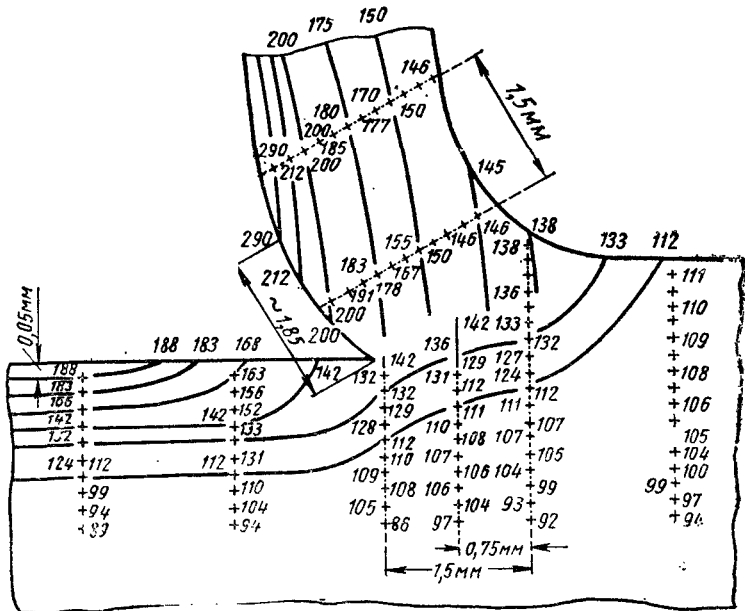


Рис. 52. Схема распределения микротвердости в зоне деформации при свободном резании заготовок из отожженной стали У10А:  $v = 10$  м/мин;  $a = 1,2$  мм (по Б. И. Костецкому)

**Повышение твердости в зоне деформации (упрочнение).** Пластической деформации подвергаются срезаемый слой и слои основной массы металла. Глубина распространения пластической деформации от поверхности резания и обработанной поверхности зависит от ряда факторов и может достигать сотых долей миллиметра и даже нескольких миллиметров.

Величина упрочнения стружки, поверхности резания и обработанной поверхности, наряду с усадкой стружки, является характеристикой степени пластической деформации металла при резании.

Схема распределения микротвердости в зоне деформации при свободном резании отожженной стали У10А (скорость резания  $v = 10$  м/мин, толщина среза  $a = 1,2$  мм) дана на рис. 52. Наибольшее упрочнение (микротвердость  $H 290$ ) имеет стружка в месте ее выхода из контакта с резцом (длина контакта составляла примерно 1,85 мм).

Схема распределения микротвердости в зоне деформации, в которую включен сильно развитый и деформированный нарост, имеющий твердость  $H 402-586$ , приведена на рис. 53. Высокую твердость ( $H 370$ ) имеет и обработанная поверхность.

Упрочненный слой, имея повышенные твердость, предел текучести и предел прочности, более износостоек и вынослив\*, но

\* Предел выносливости упрочненной обработанной поверхности повышается, если она не имеет задиров и других дефектов.

вместе с тем он и более хрупок, а потому обладает меньшим сопротивлением ударным нагрузкам. Таким образом, упрочнение, которое получают поверхности детали в результате обработки, может влиять на ее работоспособность, а упрочнение, полученное заготовкой на данной (промежуточной) операции, может влиять на процесс резания при последующих операциях.

Величина и глубина упрочнения обработанной поверхности зависят от ряда факторов, главнейшими из которых являются физико-механические свойства обрабатываемого металла, угол резания, радиус округления режущей кромки инструмента, толщина среза (подача), износ инструмента, скорость резания и смазочно-охлаждающая жидкость.

Чем мягче и пластичнее обрабатываемый металл, тем большему упрочнению он подвергается. Чугуны обладают значительно меньшей способностью к упрочнению, чем стали, как по величине упрочнения, так и по глубине его распространения. Изменение микротвердости чугуна на различном расстоянии от обработанной поверхности (при торцовом фрезеровании) показано на рис. 54. При принятых условиях обработки глубина наклепа составляла около 36 мкм, а твердость обработанной поверхности по отношению к исходной твердости чугуна повысилась в 1,7 раза. Чем больше угол резания, радиус скругления режущей кромки инструмента и толщина среза, тем выше упрочнение. При увеличении скорости резания, начиная с некоторого значения ее, упрочнение

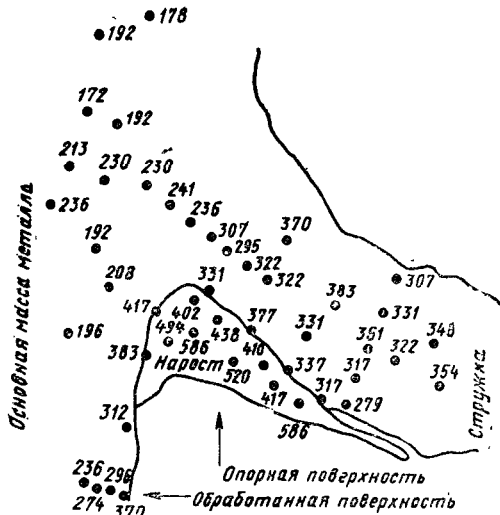


Рис. 53. Схема распределения микротвердости в зоне образования нароста при обработке заготовок из стали 45 со скоростью 6 м/мин (по А. И. Неаеву)



Рис. 54. Изменение микротвердости на различном расстоянии от обработанной поверхности при торцовом фрезеровании заготовок из чугуна (по П. Ф. Киселеву)

обработанной поверхности уменьшается. При возрастании износа инструмента по задней поверхности упрочнение сначала увеличивается, а затем уменьшается.

Смазочно-охлаждающие жидкости уменьшают глубину и степень упрочнения, причем при увеличении скорости резания интенсивность уменьшения упрочнения падает. Отжиг и нормализация обработанной поверхности снимают упрочнение.

## § 5. Качество обработанной поверхности

Долговечность современных быстроходных и мощных машин зависит не только от рода, качества и термической обработки металла, из которого изготовлены их детали, но и от качества обработки поверхности этих деталей.

Качество обработанной поверхности характеризуется точностью ее изготовления в соответствии с размерами, заданными конструктором, ее физико-механическими свойствами и шероховатостью, полученными в результате обработки.

Физико-механические свойства обработанных поверхностей определяются в основном химическим составом данного металла, микроструктурой, прочностью, твердостью, остаточными напряжениями, износостойкостью и коррозионной стойкостью.

Шероховатость обработанной поверхности характеризуется совокупностью неровностей (выступов и впадин с относительно малыми шагами), образующих рельеф поверхности\*.

**Влияние качества обработанной поверхности на эксплуатационные характеристики деталей.** Шероховатость обработанной поверхности — одна из важных характеристик ее качества — влияет на износостойкость поверхности детали, прочность, коррозионную стойкость и надежность неподвижного соединения деталей.

Износостойкость двух трущихся поверхностей во многом зависит от давления между поверхностями. При наличии на этих поверхностях микронеровностей (рис. 55) площадь контакта между поверхностями уменьшается, а давление и температура в местах касания повышаются, что приводит к повышенной интенсивности смятия, среза и выкрашивания выступающих точек обеих поверхностей, т. е. повышению их износа\*\*.

Микронеровности на поверхности вызывают концентрацию местных напряжений у дна впадин гребешков, что может привести к появлению трещин, значительно снижающих прочность детали (особенно при ее работе со знакопеременными нагрузками).

\* Классификация и обозначения шероховатости обработанных поверхностей устанавливаются ГОСТ 2789—73 и ГОСТ 2309—73.

\*\* При чрезмерно малой высоте микронеровностей износ двух трущихся деталей также может быть интенсивным, так как коэффициент трения при уменьшении высоты микронеровностей сначала уменьшается, достигая минимума, а затем повышается.



Впадины гребешков являются также местом сбора корродирующих веществ (способствующих разрушению металла вследствие его окисления и разъедания), а потому чем более шероховата поверхность (т. е. чем больше высота гребешков), тем благоприятнее условия для начала коррозии и ее проникновения в глубину детали.

При наличии на обработанной поверхности детали шероховатостей снижается и надежность неподвижного соединения двух таких деталей, так как при запрессовке одной детали в другую происходит смятие (сглаживание) гребешков и соответствующее уменьшение расчетного натяга.

Но качество обработанной поверхности характеризуется не только ее шероховатостью, а также другими факторами, влияющими на работоспособность той или иной детали. Так, износостойкость обработанной поверхности деталей (например, при трении стального вала в твердом подшипнике) зависит от шероховатости, степени и глубины распространения упрочнения (наклепа) и остаточных напряжений в поверхностном слое. При этом изменение какого-либо элемента режима резания (например, увеличение подачи, с одной стороны, может снизить износостойкость (вследствие увеличения шероховатости), а с другой стороны — повысить износостойкость (вследствие повышения упрочнения). В зависимости от того, какой из этих факторов будет преобладать, износостойкость с увеличением подачи может или возрастать, или уменьшаться, причем упрочнение поверхностного слоя, полученное в процессе резания, способствует повышению износостойкости только тогда, когда она не сопровождается уменьшением величины остаточных напряжений, которые оказывают на износостойкость наибольшее влияние. Остаточные напряжения снижают подвижность атомов и повышают сопротивление износу (отрыву отдельных частиц металла), причем для повышения износостойкости остаточные напряжения растяжения так же полезны, как и напряжения сжатия.

Упрочнение и остаточные напряжения в поверхностных слоях обработанной детали наряду с шероховатостью влияют и на предел выносливости детали. Чем меньше шероховатость обработанной поверхности, больше глубина и степень упрочнения, а также остаточные напряжения сжатия в поверхностных слоях обработанной поверхности, тем выше предел выносливости детали; остаточные напряжения растяжения в поверхностных слоях снижают предел выносливости. Остаточные напряжения сжатия уменьшают влияние коррозии на деталь.

**Образование микронеровностей и влияние различных факторов на шероховатость обработанной поверхности.** Начало научного исследования микрогеометрии обработанной поверхности было положено проф. В. Л. Чебышевым, который еще в 1873 г. впервые вывел формулу для определения высоты микронеровностей при цилиндрическом фрезеровании. При содействии В. Л. Чебышева в 1893 г. на Тульском оружейном заводе были применены лекала, с помощью которых контролировали не только размеры детали, но и шероховатость ее обработанных поверхностей. Эти лекала были первыми в мире образцами (эталонами) шероховатости поверхности — прообразом эталонов, применяемых в настоящее время.

Профили обработанной поверхности, представляющие собой след режущих кромок инструмента, показаны на рис. 56, а—в. При резании резцом с радиусом закругления  $r = 0$  (рис. 56, а) теоретическая высота неровностей  $H$  определится из следующих соотношений:

$$KO = ON \operatorname{ctg} \varphi_1 = H \operatorname{ctg} \varphi_1;$$

$$OL = ON \operatorname{ctg} \varphi = H \operatorname{ctg} \varphi;$$

$$KO + OL = s = H(\operatorname{ctg} \varphi_1 + \operatorname{ctg} \varphi) = H \frac{\sin(\varphi_1 + \varphi)}{\sin \varphi_1 \sin \varphi},$$

откуда

$$H = \frac{s \sin \varphi_1 \sin \varphi}{\sin(\varphi_1 + \varphi)}.$$

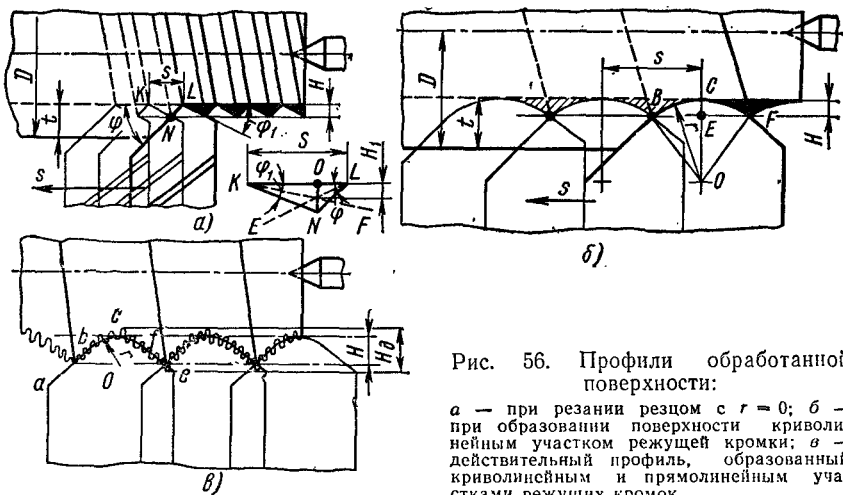


Рис. 56. Профили обработанной поверхности:

*a* — при резании резцом с  $r = 0$ ; *b* — при образовании поверхности криволинейным участком режущей кромки; *в* — действительный профиль, образованный криволинейным и прямолинейным участками режущих кромок

Когда теоретический профиль обработанной поверхности рассматривается как след криволинейного участка режущей кромки  $BCF$  с радиусом  $r$  (рис. 56, б), высота оставшихся неровностей  $H$  определится следующим образом:

$$CE = H = OC - OE = r - OE;$$

из треугольника  $OBE$

$$OE = \sqrt{OB^2 - BE^2} = \frac{\sqrt{4r^2 - s^2}}{2};$$

тогда

$$H = r - \frac{\sqrt{4r^2 - s^2}}{2}.$$

Аналогично можно вывести формулы для более общего случая, когда наряду с прямолинейными участками режущих кромок  $ab$  и  $fc$  (рис. 56, в) в формировании профиля принимает участие и криволинейный участок  $bcf$  радиусом  $r$  (радиусом закругления при вершине резца в плане).

Высота неровностей сокращается с уменьшением подачи  $s$ , главного  $\phi$  и вспомогательного  $\phi_1$  углов в плане и с увеличением радиуса  $r$  закругления при вершине резца в плане. Это же положение для углов  $\phi$  и  $\phi_1$  показано на рис. 56, а; при уменьшении угла  $\phi$  (направление  $LE$ ) и угла  $\phi_1$  (направление  $KF$ ) высота гребешка  $H_1$  уменьшается по сравнению с первоначальной высотой  $H$ .

Шероховатость действительного профиля обработанной поверхности будет более значительной, а высота его неровностей  $H_d$  (рис. 56, в) намного больше теоретической высоты  $H$ . Основной причиной, вызывающей резкое отличие действительного профиля

от теоретического, является упругое и пластическое деформирование слоев обработанной поверхности; на неровности  $H_d$  влияют также периодичность наростообразования (см. рис. 36, б) и силы трения, всегда действующие между задними поверхностями инструмента и поверхностями заготовки, приводящие к разрывам металла в поверхностных слоях. Поэтому наряду с рассмотренным влиянием  $s$ ,  $\varphi$ ,  $\varphi_1$  и  $r$  (которые в основном действуют как чисто геометрические факторы) на шероховатость (микрогеометрию) обработанной поверхности в процессе стружкообразования влияет и ряд других факторов. К ним в основном относятся скорость резания, свойства обрабатываемого металла, передний угол, смазочно-охлаждающая жидкость, упругие деформации поверхности, шероховатость режущей кромки инструмента, износ инструмента.

Влияние скорости резания на шероховатость обработанной поверхности показано на рис. 57. В диапазоне скоростей  $v_1 - v_2$  ( $v_1$  близка к нулю) шероховатость обработанной поверхности увеличивается, что вызывается началом наростообразования, достигающего максимального значения при скорости  $v_2$ . Начиная со скорости  $v_2$  под действием возросшей температуры условия для наростообразования ухудшаются, высота наростообразования уменьшается, и при некоторой скорости резания  $v_3$  нарост исчезает, что приводит к соответствующему уменьшению высоты микронеровностей. При дальнейшем увеличении скорости резания с  $v_3$  до  $v_4$  шероховатость поверхности продолжает снижаться, что объясняется уменьшением трения (за счет повышения температуры) между задней поверхностью резака и обработанной поверхностью, а также общим сокращением пластической деформации (что подтверждается соответствующим уменьшением коэффициента усадки стружки, см. рис. 49).

Начиная со скорости резания  $v_4$ , величина которой зависит в основном от обрабатываемого материала, процесс резания стабилизируется, и высота микронеровностей практически остается постоянной (близкой к  $H$  теоретической).

При обработке заготовок из высоколегированных сталей, легированных металлов и хрупкого чугуна характерна зависимость (штриховая на рис. 57), показывающая, что с увеличением скорости резания шероховатость обработанной поверхности сначала резко уменьшается, а затем практически остается постоянной, что объясняется почти полным отсутствием наростообразования. Чем выше твердость обрабатываемой стали, тем меньше высота микронеровностей; на мере увеличения скорости резания влияние твердости на шероховатость обработанной поверхности снижается.

Передний угол также влияет на шероховатость обработанной поверхности. При увеличении переднего угла (уменьшении угла резания) высота микронеровностей убывает, что вызывается уменьшением деформации при резании (см. рис. 44). Высота микронеровностей уменьшается значительно при увеличении подачи и менее значительно при увеличении скорости резания (рис. 58).

При скорости резания 80 м/мин (обработка заготовок из углеродистых сталей) передний угол практически не влияет на шероховатость обработанной поверхности. Смазочно-охлаждающие жид-

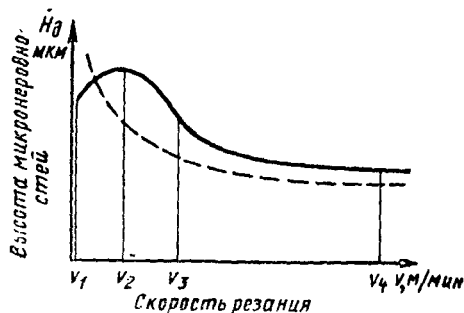


Рис. 57. Влияние скорости резания на высоту микронеровностей обработанной поверхности

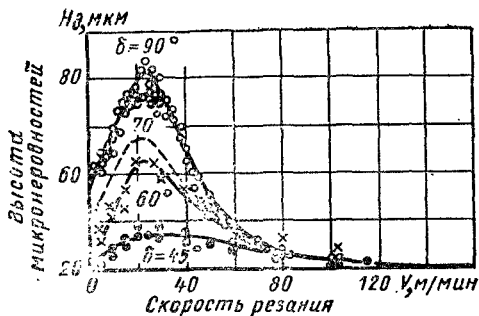
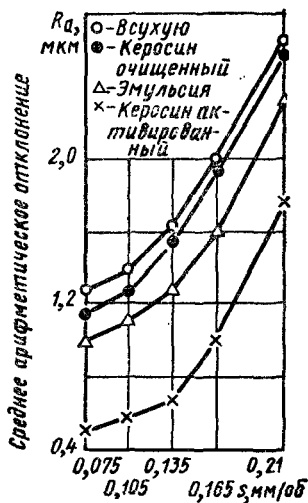


Рис. 58. Влияние угла резания (переднего угла) на высоту микронеровностей обработанной поверхности (по А. Н. Еремину)

Рис. 59. Влияние смазочно-охлаждающих жидкостей на высоту микронеровностей обработанной поверхности (по данным автора)



кости, облегчая процесс стружкообразования, уменьшая трение и пластическое деформирование, способствуют получению менее шероховатой обработанной поверхности (рис. 59). По мере увеличения скорости резания эффект от применения жидкостей уменьшается (по сравнению с обработкой всухую) и, начиная с некоторой скорости, становится практически незаметным.

Чем больше упругое восстановление обработанной поверхности ( $H_{уп}$ ; см. рис. 34), тем в большей степени будет отличаться действительная высота неровностей от расчетной. Так как упругое восстановление зависит от радиуса  $\rho$  округления режущей кромки, то чем больше  $\rho$ , тем больше действительная высота микронеровностей (хуже обработанная поверхность). Влияние упругих деформаций и величины  $\rho$  на высоту  $H_d$  особенно интенсивно сказывается при малых толщинах среза, когда  $\frac{a}{\rho}$  близко к единице.

Высота микронеровностей режущей кромки влияет на микрогеометрию обработанной поверхности: зубрины режущей кромки копируются непосредственно на неровностях обработанной поверхности, увеличивая их высоту. Шероховатости от режущей кромки могут быть значительными при продольном точении с малыми подачами, а также при поперечном (фасонном, см., например, рис. 15, III) точении резцом с высокой скоростью резания. Поэтому поверхности реза для чистового точения должны быть тщательно заточены (доведены), что уменьшает шероховатость и на самой режущей кромке\*.

При износе реза по задней поверхности до 0,5—1 мм влияние износа на шероховатость незначительно; однако большая величина износа, приводящая к значительному возрастанию шероховатости режущей кромки, величины  $\rho$  и сил, действующих в процессе резания, может вызвать увеличение высоты микронеровностей обработанной поверхности, а при недостаточной жесткости системы СИИД привести к вибрациям, значительно ухудшающим микрогеометрию обработанной поверхности (см. рис. 83).

Подача  $s = 0,12 \div 0,15$  мм/об на действительную высоту микронеровностей влияет незначительно, тогда как при дальнейшем увеличении подачи действительная высота микронеровностей резко возрастает (см. рис. 59); глубина резания на изменение микрогеометрии обработанной поверхности почти не влияет.

\* Шероховатость режущей кромки обычно больше средней шероховатости на передней и задней поверхностях.

Так как завивание стружки, ее усадка и упрочнение являются результатом пластической деформации при резании металлов, а последняя влияет также и на степень шероховатости обработанной поверхности, то можно сказать, что пластическая деформация, завивание и усадка стружки, а также шероховатость обработанной поверхности физически связаны.

## § 6. Влияние смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) на процесс резания

При резании металлов в результате затрачиваемой работы возникает теплота.

Действуя на режущий инструмент, теплота размягчает его, делает менее износостойким и изменяет его размеры; от действия

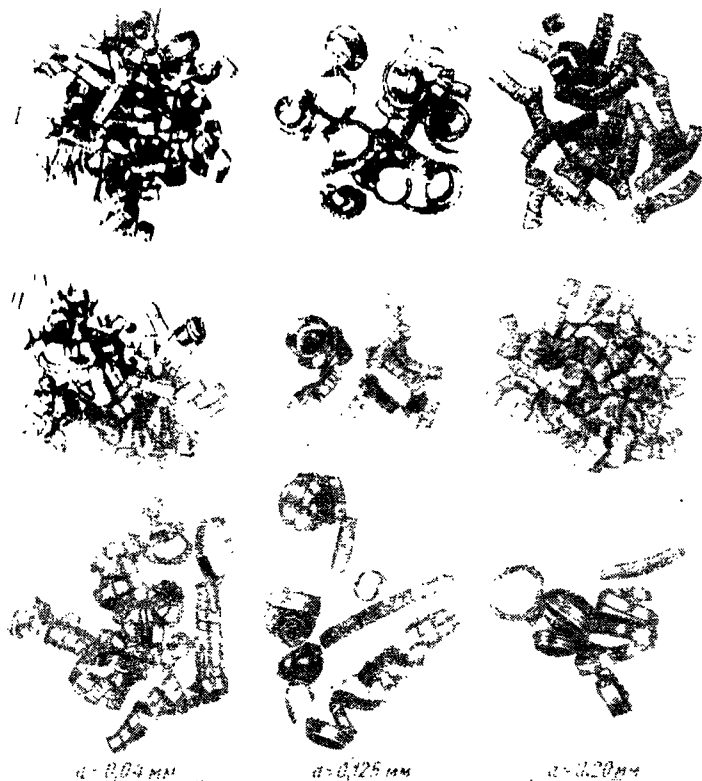


Рис. 60. Стружки, полученные при резании:

I — всухую; II — с применением неактивного (очищенного) керосина;  
III — с применением поверхностно-активного керосина

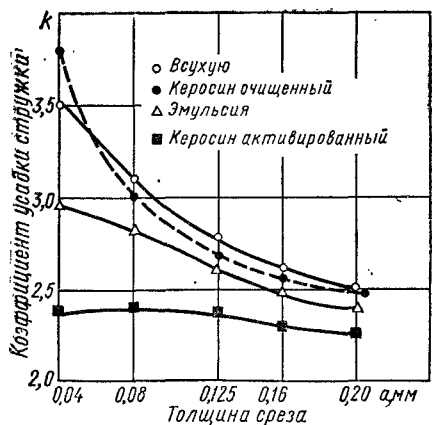


Рис. 61. Влияние смазочно-охлаждающих жидкостей на усадку стружки (из опытов автора)

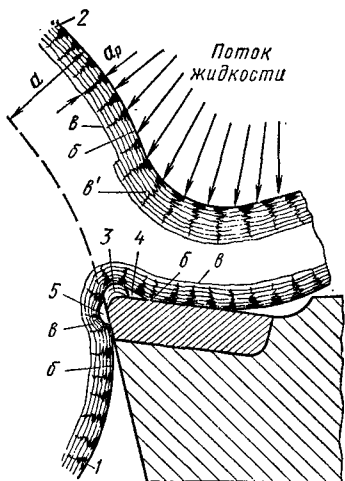


Рис. 62. Схема действия смазочно-охлаждающих жидкостей при резании

теплоты изменяются и размеры обработанной поверхности, что снижает точность обработки.

Для отвода теплоты от режущего инструмента и заготовки применяют смазочно-охлаждающие жидкости (см. рис. 73), которые также уменьшают трение (между резцом — стружкой и резцом — заготовкой) и облегчают процесс стружкообразования.

Академик П. А. Ребиндер доказал, что свойства смазочно-охлаждающих жидкостей можно изменять путем введения в них небольших количеств (0,1—1%) поверхностно-активных веществ.

Поверхностно-активными называются такие вещества, которые при введении в жидкость уменьшают ее поверхностное натяжение или поверхностную энергию и повышают смачиваемость (маслянистость); к таким веществам относятся органические кислоты (стеариновая, олеиновая, пальмитиновая и др.), их соли, а также органические вещества с галогено- или серосодержащими полярными группами.

Фотографии стружек, полученных при обработке всухую, с применением неактивного (очищенного) и активированного керосина (свободное резание;  $v = 6,5$  м/мин;  $b = 2,8$  мм;  $a = s$  и равно 0,04; 0,125 и 0,20 мм), показаны на рис. 60. Стружки, полученные при обработке всухую и с неактивным керосином, имеют ярко выраженные элементы и зазубрины (как при всех подачах); при обработке с применением поверхностно-активного керосина стружки сливные.

Это доказывает, что поверхностно-активные смазочно-охлаждающие жидкости, изменяя напряженное состояние в зоне деформации

ции и облегчая разрушение, значительно влияют на процесс стружкообразования.

Облегчение процесса стружкообразования с применением поверхностно-активных смазочно-охлаждающих жидкостей проявляется и в уменьшении усадки стружки (рис. 61), силы резания (см. рис. 98), шероховатости обработанной поверхности<sup>1</sup> (см. рис. 59) и интенсивности износа режущего инструмента<sup>2</sup> (см. рис. 77).

Сечения заготовки и реза в направлении, перпендикулярном к главной режущей кромке, показаны на рис. 62. Так как жидкость омывает заготовку и резец, то на абсолютно чистой поверхности резания 1, только что вышедшей из-под реза, образуется адсорбционный слой<sup>3</sup>; проникая в микрощели<sup>4</sup>, всегда имеющиеся в твердом теле и создающиеся дополнительно при разрушении, молекулы поверхностно-активных веществ адсорбируются на стенках щели и, препятствуя их смыканию, образуют «разрыхленную зону» предразрушения *b*. Образованная поверхность резания 1 через один оборот заготовки при подходе к резцу будет представлять собой уже обрабатываемую поверхность 2, омываемую жидкостью сверху. Таким образом, при входе в зону деформации (в зону начала стружкообразования) срезаемый слой *a* имеет «разрыхленную зону» (зону предразрушения) *a*<sub>p</sub>. В зоне деформации вследствие скольжения одних слоев относительно других наряду с дальнейшим развитием микрощелей происходит образование новых микрощелей.

Под действием поверхностно-активных веществ здесь начинают развиваться те плоскости скольжения, которые в обычных условиях, т. е. на воздухе или в неактивной среде, не получили бы развития. В результате этого процесс стружкообразования (разрушения) облегчается, и стружка из ступенчатой может перейти в сливную.

Жидкость влияет не только на внешние слои стружки, но и на слои металла, соприкасающиеся с режущей кромкой реза, и на слои стружки с прирезцовою (надрезцовою) стороны. На поверхности реза и в зону разрушения металла перед режущей кромкой реза жидкость попадает по пустотам 4 и 5, образуемым при срывах пароста 3, а также по микротрещинам, получающимся в результате ослабления и нарушения контактов между заготовкой и резцом (что вызывается их вибрациями).

Исследования показывают, что для любого обрабатываемого металла и даже вида обработки есть своя наиболее оптимальная смазочно-охлаждающая жидкость и что наибольшую эффективность смазочно-охлаждающие жидкости обеспечивают при резании вязких, высокопластичных и сильно упрочняющихся при деформации металлов; с увеличением толщины среза и скорости резания эффект облегчения стружкообразования от применения смазочно-охлаждающих жидкостей уменьшается.

<sup>1</sup> По сравнению с обработкой всухую шероховатость обработанной поверхности понижается на один-два класса (по ГОСТ 2789—73).

<sup>2</sup> Снижение интенсивности износа режущего инструмента вызывается и охлаждающим свойством жидкости.

<sup>3</sup> Адсорбция — процесс, при котором на поверхностном слое данного вещества концентрируются молекулы, атомы или ионы другого вещества, поглощаемые из окружающей среды.

<sup>4</sup> Микрощели (трещины) всегда образуются при разрушении твердых тел. Жидкость проникает в такие микрощели (на глубину до 0,1 мм) под влиянием капиллярного давления; молекулы поверхностно-активных веществ покрывают поверхность щели (адсорбируются на них) с большей скоростью, чем скорость всасывания всей жидкости.

К смазочно-охлаждающим жидкостям, применяемым при резании, предъявляются следующие основные требования: высокая охлаждающая и смазочно-режущая способность, стойкость, антикоррозионность и безвредность для работающего. Все применяемые смазочно-охлаждающие жидкости можно разбить на две основные группы: охлаждающие и смазочные.

К первой группе относятся жидкости с малой вязкостью, большой теплоемкостью и теплопроводностью: водные растворы минеральных электролитов\* и водные эмульсии. Ввиду большой теплоемкости их применяют в тех случаях, когда основной целью является охлаждающее действие — для повышения стойкости режущего инструмента (например, при обдирочных работах, когда происходит большое тепловыделение и шероховатость обработанной поверхности не имеет особого значения).

Широко распространенные водные эмульсии готовят из эмульсолов, представляющих собой коллоидные растворы мыл и органических кислот в минеральных маслах, стабилизированных водой или водой и спиртом. При смещении с водой получается эмульсия цвета от молочно-белого до коричневого (2—20% масла и 0,3—2% мыла).

Лучшей жидкостью будет та, которая наряду с высокими охлаждающими свойствами обладает и хорошей маслянистостью, что достигается введением в жидкость поверхностно-активных веществ.

В связи с этим в промышленности широкое распространение находят активированные эмульсолы, к которым относится, например, осерненный эмульсол следующего состава: 25% сульфированного касторового масла; 13,5% осерненного соевого масла; 17% минерального масла; 32% воды и 20%-ный раствор каустической соды — остальное (до получения прозрачного масла). Часто используют и активированные эмульсолы на окисленном петролатуме (на синтетических жирных кислотах) следующего состава: 20% окисленного петролатума, 70% минерального масла — индустриального 3 и 10% воды.

К жидкостям второй группы, обладающим высокой маслянистостью, относятся минеральные, растительные, животные и компаундированные масла (смесь минеральных масел с растительным или животным), а также керосин и растворы в масле или керосине поверхностно-активных веществ. Жидкости этой группы применяют при чистовых и отделочных работах, когда требуются шероховатость высокого класса чистоты и высокая точность обработанной поверхности. В промышленности широкое распространение нашли так называемые осерненные масла (сульфофрезолы), содержащие в качестве активированной добавки серу.

---

\* Минеральные электролиты (кальцинированная сода, нитрит натрия, жидкое стекло и др.) вводятся в воду как антикоррозионные добавки, предохраняющие металл от коррозии; для лучшего смачивания металлических поверхностей в воду добавляют мыло или специальные смачиватели ОП-7 и ОП-10 (резко снижающие поверхностное натяжение воды).



## § 7. Тепловыделение и распределение теплоты при резании металлов

Источником теплоты при резании металлов является работа, затрачиваемая: 1) на пластические и упругие деформации в срезаемом слое и в слоях, прилегающих к обработанной поверхности и поверхности резания; 2) на преодоление трения по передней и задней поверхностям реза.

В связи с меньшими пластическими деформациями и меньшим трением от сыпучей стружки надлома общее количество теплоты, образующейся при обработке чугунов, меньше, чем при обработке сталей (при прочих равных условиях), что подтверждается формулой количества теплоты, выраженной через работу и механический эквивалент теплоты:

$$Q = \frac{P_2 v}{E} \text{ кал/мин,}$$

где  $Q$  — количество теплоты, образующейся при резании, в кал/мин;  $P_2 v$  — работа резания в Дж/мин;  $P_2$  — сила резания, совпадающая с направлением движения резания, в кгс;  $v$  — скорость резания в м/мин;  $E$  — механический эквивалент теплоты, равный 427 Дж/кал.

При одинаковых условиях резания сила  $P_2$  при обработке чугунов меньше \*, чем при обработке сталей, а следовательно, меньшим будет и количество теплоты.

Теплота, выделяющаяся в процессе резания, согласно законам физики, распространяется от участка с высшей температурой к участкам с низшей температурой.

Тепловой баланс при резании может быть выражен следующим уравнением:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4,$$

где  $Q$  — общее количество теплоты, образующейся при резании;  $Q_1$  — количество теплоты, уносимой со стружкой;  $Q_2$  — количество теплоты, остающейся в резце;  $Q_3$  — количество теплоты, остающейся в заготовке;  $Q_4$  — количество теплоты, уходящей в окружающую среду при излучении.

Еще Я. Г. Усачев показал, что в стружку уходит от 60 до 86% общего количества теплоты, причем чем больше скорость резания, тем выше этот процент. В среднем при токарной обработке в стружку уходит 50—86% общего количества теплоты, в резец 40—10%, в заготовку 9—3% и в окружающую среду около 1%. На распределение теплоты между объектами влияет ряд факторов, наиболее важными из которых являются скорость резания и тол-

\* Формулу для подсчета величины силы резания  $P_2$  см. на стр. 89.

щина среза; при чистовой обработке в заготовку уходит теплоты больше, чем при черновой обработке.

Теплота, переходящая в резец, размягчает его (снижает твердость) и делает менее износостойким. На стойкость инструмента в основном влияет высокая температура, создаваемая в тонких поверхностных слоях \*, подвергающихся износу. Под действием высокой температуры (температуры резания) в этих слоях могут происходить отпуск и соответствующие структурные изменения, сильно влияющие на твердость (см. рис. 1), а следовательно, и на интенсивность износа режущего инструмента.

Так, твердая структура мартенсит (*HRC* 62—65), получаемая в результате соответствующей термической обработки быстрорежущей стали, начиная с температуры 550—600°С, интенсивно распадается на менее твердые и износостойкие структуры (троостит, троосто-мартенсит), что делает инструмент из быстрорежущих сталей неработоспособным (быстроизнашивающимся), если его поверхности трения будут нагреваться в процессе резания до 600°С и выше.

Выделяясь в зоне стружкообразования и в местах контакта стружки с инструментом и инструмента с заготовкой, теплота влияет на состояние трущихся поверхностей (изменяя коэффициент трения), на точность обработки, на весь процесс резания и связанные с ним явления (деформации, наростообразование, упрочнение, износ инструмента и др.).

В связи с этим необходимо знать влияние различных факторов на тепловыделение, распределение температурных полей и методы определения температуры в процессе резания (см. стр. 67—68).

## § 8. Температурное поле стружки и реза

Как в стружке, так и в резце теплота распределяется неравномерно, что вызывает и неравномерную температуру их нагрева. В слоях, расположенных ближе к передней поверхности реза, температура стружки (рис. 63) будет выше, чем в слоях, удаленных от передней поверхности. Это вызывается неравномерной деформацией по толщине среза во время сжатия слоя, лежащего перед резцом, и дополнительной деформацией слоя стружки от действия сил трения при перемещении уже срезанного слоя (стружки) по заторможенному слою и передней поверхности реза \*\*.

Температура заготовки понижается по мере удаления рассматриваемой точки от поверхности резания (или от обработанной поверхности), причем наивысшая температура (например, 370°С) сосредоточена в месте контакта реза с за-

\* Температура в тонких поверхностных слоях зависит от общего количества теплоты, переходящей в резец, и от интенсивности его отвода; чем больше теплоты, меньше объем головки реза и менее интенсивен отвод теплоты (в тело реза — вследствие теплопроводности или применения охлаждающей жидкости), тем выше температура в поверхностных слоях.

\*\* Пластической деформацией реза от сил трения можно пренебречь (вследствие значительной его твердости).

готовкой \*. У реза наивысшая температура будет в граничных слоях площадок контакта со стружкой и с заготовкой. Температура нижележащих слоев и мест, отдаленных от точек контакта, определится явлениями теплопроводности.

Из всей зоны контакта стружки с передней поверхностью реза самая высокая температура реза (см., например, рис. 64) и стружки (475°С; рис. 63) будет в центре давления стружки на резец. Точки на передней и задней поверхности реза, равноотстоящие от режущей кромки, имеют различную температуру нагрева (рис. 65). Например, наивысшая температура точек на передней поверхности 228°С (центр давления), а на задней 211°С. Меньший нагрев задних поверхностей реза объясняется тем, что они соприкасаются с поверхностью резания и с обработанной поверхностью заготовки, которые претерпевают меньшие пластические деформации, чем стружка. Приток теплоты к задней поверхности происходит в основном вследствие работы сил трения, причем для пластических металлов эта работа сил трения по задней поверхности меньше, чем по передней. Приток теплоты к передней поверхности происходит как от сильно разогретой стружки, так и от большой работы сил трения стружки о переднюю поверхность что и вызывает более высокую температуру ее нагрева

Температура на передней поверхности реза выше средней температуры стружки, причем чем толще стружка, тем больше разница этих температур. Так, при обработке стали температура на резце выше средней температуры стружки в 1,1—1,5 раза, а при обработке чугуна — в 2—3,5 раза.

Однако при тонких стружках ( $a < 0,12$  мм), по данным проф. А. Я. Малкина, без особых погрешностей за температуру резания можно принять среднюю температуру стальной стружки.

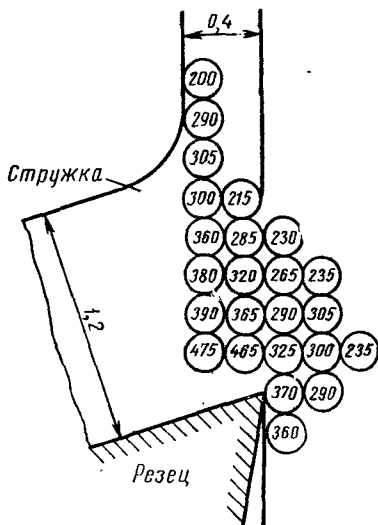


Рис. 63. Температура в различных точках стружки и заготовки

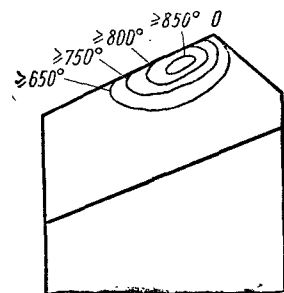


Рис. 64. Схема распределения температуры по передней поверхности реза (по Б. И. Костецкому)

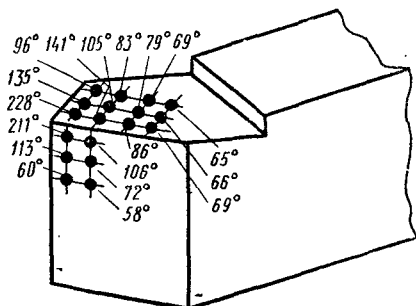


Рис. 65. Температура в различных точках передней и задней поверхностей реза (по А. М. Даниеляну)

## § 9. Влияние различных факторов на температуру резания

**Обрабатываемый металл.** На температуру резания при точении влияют обрабатываемый металл, элементы режима резания (скорость, подача, глубина резания), геометрические элементы режущей части резца и его размеры, смазочно-охлаждающая жидкость. При резании стали теплоты выделяется больше, чем при резании чугуна, что было экспериментально подтверждено Я. Г. Усачевым.

Большое влияние на температуру резания оказывают механические свойства обрабатываемого металла. Чем выше предел прочности  $\sigma_b$  и твердость  $HВ$  металла заготовки, тем бóльшие силы сопротивления необходимо преодолеть при стружкообразовании, бóльшую работу надо затратить на процесс резания, следовательно, больше выделится теплоты и выше будет температура резания. Кроме того, при резании твердых сталей стружка соприкасается с передней поверхностью резца на меньшей площади, чем при резании мягких (более пластичных) сталей; это повышает давление на единицу поверхности контакта, а отвод теплоты в тело резца и в толщу стружки происходит через меньшую площадь поверхностей, что также способствует повышению температуры в поверхностных слоях резца. Чем выше теплопроводность и теплоемкость обрабатываемого металла, тем интенсивнее отвод теплоты от места ее выделения в толщу стружки и в заготовку, тем меньше, следовательно, температура поверхностных слоев резца.

**Элементы режима резания.** С увеличением скорости резания силы резания уменьшаются, но в значительно меньшей степени, чем увеличивается скорость. Например (см. рис. 99), при увеличении скорости резания в 5 раз (от 50 до 250 м/мин) сила резания  $P_z$  уменьшается только в  $\frac{142}{112} = 1,27$  раза.

Поэтому из формулы

$$Q = \frac{P_z v}{427} \text{ кал/мин}$$

следует, что с увеличением скорости резания теплоты будет выделяться больше.

С увеличением теплоты возрастает и температура нагрева резца, стружки и заготовки (рис. 66). Таким образом, температура резания (наивысшая температура поверхности резца) возрастает с увеличением скорости резания, что может быть выражено следующим уравнением:

$$T = C_1 v^z,$$

где  $C_1$  — коэффициент, зависящий от условий обработки (обрабатываемого металла, глубины резания, подачи, геометрических элементов режущей части резца, смазочно-охлаждающей жидкости);  $z$  — показатель степени, характеризующий интенсивность прироста температуры с увеличением скорости резания; эксперимен-

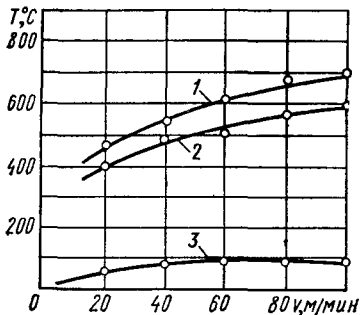


Рис. 66. Влияние скорости резания на температуру нагрева: 1 — резца; 2 — стружки; 3 — заготовки

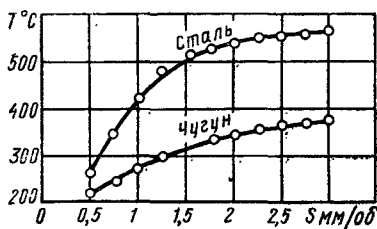


Рис. 67. Влияние подачи на температуру резания (по Я. Г. Усачеву)

тальные данные показывают, что показатель степени  $z < 1$  ( $z = 0,26 \div 0,72$ ).

С увеличением подачи возрастает сила резания, а следовательно, и количество теплоты. Но сила  $P_z$  возрастает в меньшей степени, чем увеличивается подача (см. стр. 91), а потому медленнее подачи будет увеличиваться количество теплоты и повышаться температура резания (рис. 67).

На снижение интенсивности увеличения температуры резания с возрастанием подачи влияет и усиление теплоотвода от поверхностей трения в толщу стружки и в тело резца (в связи с увеличением толщины стружки и поверхности соприкосновения стружки с резцом).

Зависимость между температурой резания и подачей может быть выражена уравнением

$$T = C_2 S^x,$$

где  $C_2$  — коэффициент, зависящий от условий обработки;  $x$  — показатель степени, характеризующий интенсивность прироста температуры с увеличением подачи.

По данным ряда исследований,  $x = 0,13 \div 0,45$ , т. е. на температуру резания подача по сравнению со скоростью резания оказывает меньшее влияние ( $x < z$ ).

Еще меньше влияет на температуру резания глубина резания. С увеличением глубины резания общее количество теплоты увеличивается, так как возрастает и работа резания. Однако вместе с увеличением теплоты пропорционально глубине резания возрастает и длина активной части режущей кромки (см. рис. 89, а), т. е. каждому вновь прибавленному по ширине участку стружки соответствует такой же участок контакта на резце. Наряду с увеличением контакта улучшается и теплоотвод в тело резца, так как при этом увеличивается объем активной части головки резца. Поэтому, несмотря на увеличение общего тепловыделения при воз-

растании глубины резания, температура в каждой точке контакта реза со стружкой и заготовкой повысится незначительно.

Зависимость между температурой и глубиной резания может быть выражена формулой

$$T = C_3 t^y,$$

где показатель  $y < x$  (среднее значение  $y = 0,1$ ).

Полное уравнение температуры резания в зависимости от элементов режима резания может быть записано так:

$$T = C v^z s^x t^y,$$

где  $C$  — общий коэффициент, характеризующий условия обработки (обрабатываемый металл, геометрические элементы режущей части реза, смазочно-охлаждающая жидкость).

**Геометрические элементы реза.** Наибольшее влияние на температуру резания оказывают передний угол (угол резания), главный угол в плане и радиус закругления при вершине реза.

На рис. 68 показана зависимость температуры резания от угла резания. В диапазоне  $\delta = 65 \div 75^\circ$  температура резания изменяется незначительно; в диапазоне  $\delta = 75 \div 85^\circ$  происходит повышение температуры резания с увеличением угла резания, что объясняется превышением тепловыделения над теплоотводом.

Передний угол (угол резания) оказывает сложное влияние на температуру резания. Это объясняется тем, что, с одной стороны, при уменьшении переднего угла (увеличении угла резания) возрастает деформация и работа резания, приводящие к увеличению тепловыделения; с другой стороны, увеличение угла резания отодвигает центр давления стружки от режущей кромки реза, делает головку реза более массивной, что усиливает теплоотвод в тело реза, снижая температуру на поверхностях контакта.

Отрицательный передний угол по сравнению с положительным вызывает большие деформации и приводит к большему тепловыделению в процессе резания. При работе резом с передним углом  $\gamma = -10^\circ$  температура резания повышается примерно на 15% по сравнению с работой резом, имеющим  $\gamma = +10^\circ$ .

На рис. 69, а приведена зависимость температуры резания от главного угла в плане; чем больше главный угол в плане, тем больше температура резания. Это объясняется следующим. С одной стороны, при увеличении главного угла в плане при одинаковых  $t$  и  $s$  стружка становится толще, что удаляет центр давления ее от режущей кромки и одновременно увеличивает площадь соприкосновения стружки с резцом, а это способствует лучшему теплоотводу как в толщу стружки, так и в тело реза. Но, с другой стороны (и это оказывается преобладающим), с увеличением главного угла в плане уменьшается ширина стружки, длина активной части режущей

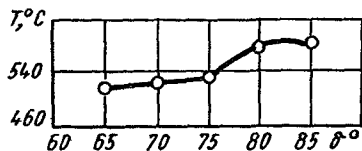


Рис. 68. Зависимость температуры резания от угла резания при различных скоростях (по А. М. Даниеляну)

длины активной части режущей

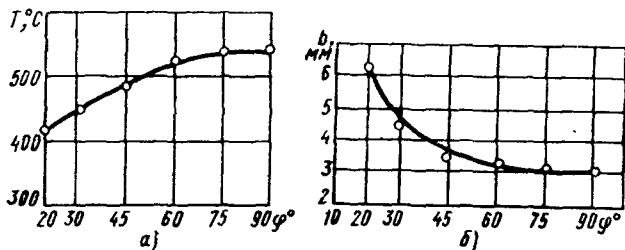


Рис. 69. Влияние главного угла в плане:  
 а — на температуру резания; б — на длину активной части режущей кромки резца (при  $t=2$  мм;  $r=2$  мм)

кромки и активный (в основном воспринимающий тепло) объем головки резца (см. рис. 19 и 69, б). Последнее приводит к менее интенсивному теплоотводу в заготовку и в тело резца, теплота концентрируется на меньшей ширине среза вблизи вершины резца, и температура резания повышается.

Наиболее резкое увеличение температуры резания наблюдается в диапазоне  $\varphi = 20 \div 60^\circ$  (рис. 69, а). В этих пределах наиболее резко уменьшается длина активной части режущей кромки (или ширины стружки). В пределах  $\varphi = 60 \div 90^\circ$  это уменьшение незначительно (рис. 69, б), что и приводит к менее резкому повышению температуры резания, вызванному увеличением общего тепловыделения за счет некоторого повышения силы резания  $P_z$  (см. рис. 97, верхняя кривая).

Чем больше радиус закругления при вершине резца в плане, тем меньше температура резания (рис. 70). Чем больше радиус, тем больше деформация, а следовательно, и сила  $P_z$  (стр. 94), тем больше и тепловыделение в процессе стружкообразования; это должно бы приводить к повышению температуры резания. Но при увеличении радиуса возрастает длина активной части режущей кромки и объем активной части головки резца (см. рис. 47), что способствует лучшему теплоотводу как в тело резца, так и в заготовку. Повышение интенсивности теплоотвода оказывается преобладающим, что и приводит к снижению температуры резания с увеличением радиуса закругления. Чем больше площадь поперечного сечения тела резца, тем интенсивнее отвод теплоты от места образования в тело резца, тем меньше, следовательно, температура резания (рис. 71).

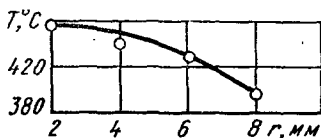


Рис. 70. Влияние радиуса закругления резца на температуру резания (по А. М. Даниеляну)

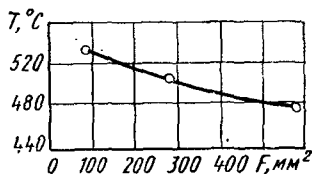


Рис. 71. Влияние площади поперечного сечения тела резца на температуру резания (по А. М. Даниеляну)

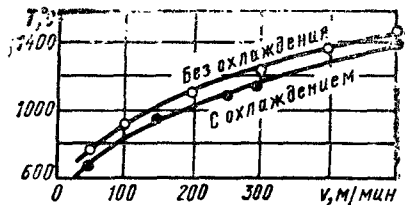


Рис. 72. Влияние охлаждения на температуру резания [сталь 40, резец из сплава Т1ЕК6, охлаждение водой 36 л/мин, температура воды  $+10^{\circ}\text{C}$  (по данным Т. Г. Сороматиной)]

**Смазочно-охлаждающие жидкости** не только способствуют уменьшению тепловыделения (за счет облегчения процесса стружкообразования и уменьшения трения), но поглощают и отводят часть выделенной теплоты, снижая тем самым температуру резания (рис. 72). При этом чем выше теплоемкость и теплопроводность смазочно-охлаждающей жидкости, тем выше эффект охлаждения.

Смазочно-охлаждающая жидкость должна подводиться к месту отделения стружки (рис. 73, а) в достаточном количестве (8—12 л/мин, а при высоких скоростях — до 20 л/мин).

При достаточно обильном охлаждении сверху водные смазочно-охлаждающие жидкости, имеющие комнатную температуру (около  $20^{\circ}\text{C}$ ), снижают температуру резания по сравнению с обработкой всухую на  $100\text{—}150^{\circ}\text{C}$ . Искусственное же уменьшение температуры смазочно-охлаждающей жидкости на  $2^{\circ}\text{C}$  понижает температуру резания в среднем на  $220^{\circ}\text{C}$  (по сравнению с обработкой всухую). Охлаждающее действие жидкости сильнее сказывается при обработке вязких металлов и при резании с крупным сечением среза, т. е. когда имеет место большее тепловыделение.

Хорошее смазочно-охлаждающее действие оказывает жидкость, подводимая в смеси с воздухом под давлением 1,5—2 кгс/см<sup>2</sup> через узкую щель (сопло \*) насадка со стороны задней поверхности резца (рис. 73, б). Жидкость, подводимая в этом случае в распыленном состоянии (в виде тумана), не только снижает трение и облегчает процесс стружкообразования, но и интенсивнее отводит теплоту по сравнению с обычным охлаждением обильным потоком сверху (рис. 73, а), что объясняется повышением скорости воздушно-жидкостной смеси, увеличением ее удельной поверхности (за счет уменьшения дисперсности капель до 3—25 мкм) и снижением ее температуры при выходе из сопла (до  $2\text{—}10^{\circ}\text{C}$ ).

Теплота, отбираемая испарением, больше теплоты, отводимой путем теплопроводности.

\* Во избежание засорения сопла необходима тщательная фильтрация жидкости.

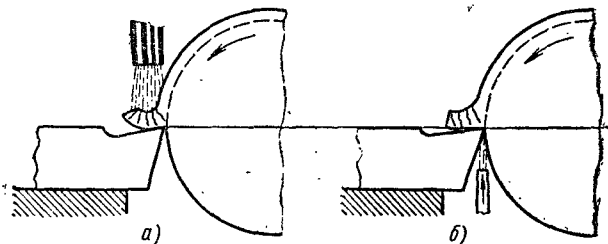


Рис. 73. Подвод смазочно-охлаждающей жидкости:  
а — обильным потоком; б — под давлением



Большая эффективность этого метода подвода жидкости (см. стр. 110) объясняется и тем, что струя со стороны задней поверхности удаляет паровую рубашку, возникающую у сильно нагретой вершины резца; это облегчает теплоотвод, а следовательно, снижает и температуру нагрева резца. При распыливании применяют эмульсии с концентрацией до 1,5% и масло «Индустриальное 20»; расход эмульсии — 400—500 г/ч, масла — 2—3 г/ч.

## § 10. Износ инструмента

При резании металлов в результате трения стружки о переднюю поверхность резца и задних поверхностей резца о поверхности заготовки происходит износ резца (рис. 74, а), протекающий в виде истирания и удаления микрочастиц с поверхностей, а также в виде микросколов (выкрашивания) режущей кромки.

Трение и связанный с ним износ при резании металлов несколько отличаются от общего трения поверхностей деталей машин. Это отличие заключается в том, что здесь происходит трение между постоянно вновь образующимися «обновленными» поверхностями, которое протекает при больших давлениях, высоких температурах, и на относительно малых поверхностях контакта. Механизм износа инструмента при резании металлов очень сложен. Здесь имеют место абразивный, адгезионный (молекулярный) и диффузионный износы.

*Абразивный* износ происходит в результате царапания — срезания микроскопических объемов материала инструмента твердыми структурными составляющими обрабатываемого металла; большое абразивное действие проявляют также литейная корка и окалина на заготовках.

*Адгезионный* износ происходит в результате действия значительных сил молекулярного сцепления (прилипания, сваривания) между материалами заготовки и инструмента, вызывающих при скольжении отрыв мельчайших частиц материала инструмента. Адгезионный износ имеет локальный характер и возникает на малых участках контакта поверхностей инструмента с поверхностями заготовки и стружки, в местах повышенных пластических деформаций и температур.

*Диффузионный* износ происходит в результате взаимного растворения обрабатываемого металла и материала инструмента

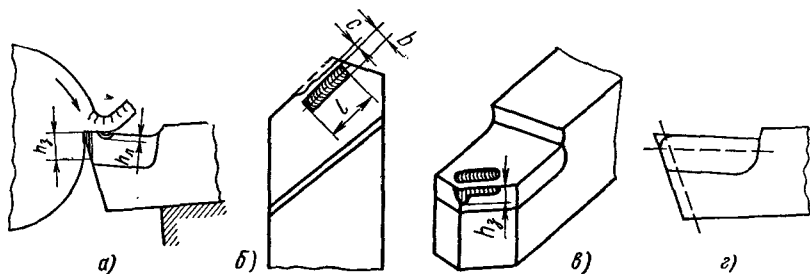


Рис. 74. Схемы износа резцов

(главным образом при обработке на высоких скоростях резания твердосплавным инструментом).

На износ инструмента влияет ряд факторов: физико-механические свойства обрабатываемого металла и материала инструмента, состояние поверхностей и режущих кромок инструмента, род и физико-химические свойства смазочно-охлаждающей жидкости, режим резания, геометрические элементы режущей части инструмента, состояние станка, жесткость системы СПИД и другие условия обработки.

В общем случае резец изнашивается по передней и задней поверхностям (рис. 74, а); однако в зависимости от условий обработки может преобладать тот или иной из указанных износов. Износ по задней поверхности характеризуется высотой площадки  $h$ . Износ по передней поверхности характеризуется в основном глубиной  $h_d$  и шириной лунки  $b$  (рис. 74, б); длина лунки  $l$  изменяется незначительно.

В процессе работы инструмента износ как по передней, так и по задней поверхностям увеличивается, уменьшая площадку  $c$ . Когда ширина лунки  $b$  достигнет режущей кромки, последняя разрушится и резец выйдет из строя (рис. 74, в). Чтобы резец снова мог резать, его необходимо заточить, т. е. вновь придать ему соответствующую геометрическую форму, удалив при этом определенный слой металла по передней и по задней поверхностям (см. рис. 80, а, штриховые линии).

У резцов, имеющих радиус закругления при вершине в плане, задняя поверхность вдоль активной части режущей кромки изнашивается неравномерно. Наибольшая величина износа при работе резца не по корке находится у вершины (рис. 74, в). Это объясняется тем, что вершина резца находится в наиболее тяжелых температурных условиях, так как приток теплоты к ней происходит и со стороны вспомогательной режущей кромки (от побочного резания). Кроме того, задний угол на закругленном участке переменный и обычно меньше угла у прямойлинейной кромки, что и вызывает на этом участке большее тепловыделение от трения. При наличии же у заготовки корки наибольший износ по задней поверхности у резца может быть в том месте, где корка соприкасается с резцом, т. е. на некотором расстоянии от вершины.

У отрезных и прорезных резцов наиболее напряженным будет место перехода от главной режущей кромки к вспомогательным, где износ по задней поверхности будет несколько большим по сравнению с другими участками режущей кромки. Износ по задней поверхности  $h_z$  можно измерить с помощью обычной лупы с 20-кратным увеличением, а глубину лунки — с помощью индикатора.

Процесс износа режущего инструмента изучается также с помощью радиоактивных изотопов (меченых атомов). Сущность этого метода заключается в образовании в инструменте радиоактивных изотопов (при облучении его ядерными частицами), которые в виде продуктов износа будут уноситься стружкой. По измерению радиоактивности стружки (с помощью специального блока счетчиков) и определяется величина износа инструмента. Метод радиоактивных изотопов позволяет быстрее устанавливать влияние различных факторов на износ инструмента.

В зависимости от материала заготовки и резца, элементов режима резания, геометрических элементов режущей части резца и других условий обработки резцы изнашиваются по-разному.

При резании хрупких металлов (чугуна, бронзы) резцы изнашиваются в основном по задней поверхности независимо от материала резца. Это объясняется тем, что сыпучая стружка надлома мало истирает переднюю поверхность резца,

\* Геометрическая поверхность износа по задней поверхности резца соответствует поверхности заготовки, от которую происходит трение.

тогда как его задние поверхности находятся с заготовкой в постоянном контакте. И лишь при высоких скоростях резания наблюдается износ и по передней поверхности. Вследствие высокого истирающего действия чугуна (усиливающегося за счет посторонних примесей) резец выйдет из строя (т. е. затупится) при более низкой температуре резания по сравнению с температурой резания при обработке стали.

При резании вязких металлов на малой скорости резания, когда нарост отсутствует, изнашивается в основном задняя поверхность. Это объясняется тем, что скорость трения на задней поверхности выше, чем скорость трения (скольжения) стружки по передней поверхности (из-за усадки стружки). Однако при толстых стружках, когда давление на переднюю поверхность выше, образуется лунка.

На скоростях резания, при которых нарост устойчив, он приобретает «активную» форму и может несколько защищать заднюю поверхность от износа (см. рис. 36, а), а потому при толстых стружках и отсутствии смазочно-охлаждающей жидкости износ в основном будет протекать по передней поверхности реза (за наростом). По мере увеличения ширины лунки и уменьшения опорной площадки под наростом нарост уменьшится настолько, что не сможет защитить заднюю поверхность, и она начнет изнашиваться. При тонких стружках смазочно-охлаждающие жидкости ухудшают условия наростообразования, а потому в этой зоне скорости резания будут изнашиваться и задние поверхности.

На высоких скоростях резания (при которых нарост отсутствует) при тонких стружках ( $a < 0,1$  мм) больше изнашиваются задние поверхности. При толстых стружках больше изнашиваются передние поверхности. Это объясняется тем, что при толстых стружках наряду с большим давлением на переднюю поверхность температура на ней выше, чем на задней.

Рассмотренный характер износа при обработке стали для резцов с пластинками из быстрорежущих сталей сохраняется в основном и для резцов с пластинками из твердых сплавов. Однако вследствие хрупкости твердых сплавов износ по задней поверхности больше, чем по передней; особенно это относится к работе на малых скоростях резания, когда износ по лунке почти отсутствует. Нарост для реза из твердого сплава может являться причиной разрушения режущей кромки, так как разрушение нароста сопровождается усиленным выкрашиванием твердого сплава (вследствие его повышенной хрупкости).

На износ резцов с пластинками из твердых сплавов влияет и род обрабатываемого металла; титановольфрамовые сплавы, например, меньше изнашиваются при обработке стали и больше при обработке чугуна. Резцы, оснащенные минералокерамическими пластинками и эльбором Р, изнашиваются в основном по задней поверхности.

На износ реза большое влияние оказывает шероховатость (микрогеометрия) поверхностей заточки реза. Чем менее шероховаты передняя и задняя поверхности реза, тем меньше трение между поверхностями контакта. На рис. 75 даны зависимости износа реза с пластинкой из твердого сплава (Т15К6) при обработ-

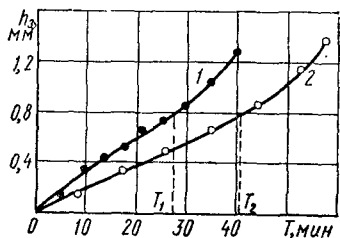


Рис. 75. Износ твердосплавного реза (Т15К6) при обработке стали:

1 — резец заточен; 2 — резец заточен и доведен

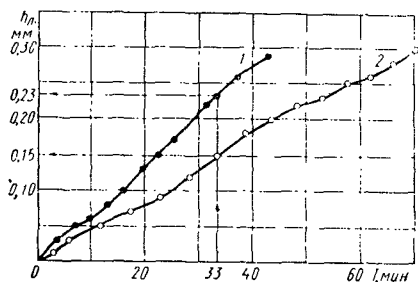


Рис. 76. Зависимость износа реза по передней поверхности от времени работы:

1 — всухую; 2 — с охлаждением эмульсией

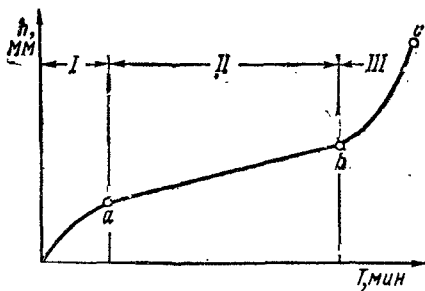


Рис. 77. Зависимость износа от времени работы

ке стали от времени работы. При одинаковой величине износа ( $h_2 = 0,8$  мм) заточенный, но не доведенный резец (с более шероховатыми поверхностями) имеет меньшую стойкость (меньшее время работы), чем тот же резец, но заточенный и затем доведенный ( $T_1 < T_2$ ).

Чем больше радиус округления  $\rho$  режущей кромки, тем больше износ по задней поверхности, особенно при малых толщинах среза, когда влияние  $\rho$  на деформацию среза и силы резания более интенсивно.

Применение смазочно-охлаждающих жидкостей в процессе резания уменьшает износ резцов (особенно по передней поверхности), что объясняется облегчением

процесса стружкообразования, снижением сил трения на поверхностях скольжения и уменьшением температуры нагрева инструмента.

Если при работе всухую глубина лунки износа резца за 33 мин машинного времени была 0,23 мм, то при работе с охлаждением износ за то же время работы равнялся 0,15 мм (рис. 76).

Зависимость величины износа от времени работы приведена на рис. 77. На рисунке можно выделить три участка. Участок I — период приработки (начальный износ), в который происходит сильное истирание наиболее выступающих частиц поверхности; чем чище будут поверхности трения, тем менее резко возрастает износ за одно и то же время. Участок II — период нормального износа; он характеризуется тем, что износ постепенно возрастает с увеличением времени работы (времени истирания). При достижении некоторого износа условия трения изменяются (главным образом сильно повышается температура резания) и наступает период III — период повышенного (катастрофического) износа. Приведенная на рис. 77 зависимость величины износа от времени работы больше соответствует износу по передней поверхности. При износе по задней поверхности участок I (рис. 77) выражен менее резко (рис. 78, а и 75).

Для инструмента, оснащенного твердым сплавом, вследствие высокой твердости и незначительного ее уменьшения с повышени-

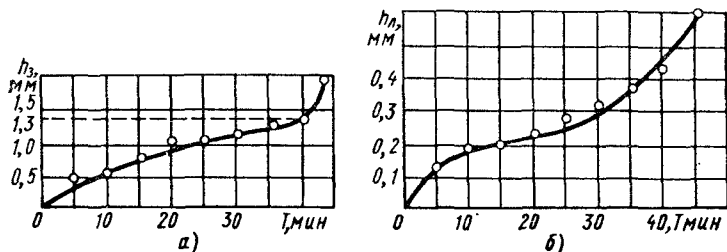


Рис. 78. Зависимость износа резца из быстрорежущей стали от времени работы:

а — по задней поверхности; б — по передней поверхности

ем температуры почти не наблюдается периода повышенного износа\*.

Какой следует установить критерий износа резца? Износ резца до точки *a* (см. рис. 77) не будет экономичным, так как резец придется перетачивать слишком часто. При катастрофическом износе, соответствующем точке *c*, во время переточки резца придется удалить большой слой металла. При большом износе резца по задней поверхности увеличиваются силы резания, повышается температура резания, возрастает шероховатость обработанной поверхности, снижается точность обработки, появляются вибрации, что особенно недопустимо при чистовой обработке. Существует несколько критериев (признаков) износа резцов.

**Критерий блестящей полоски.** Резец считается изношенным и его надо перетачивать, когда при обработке стали на поверхности резания появляется блестящая полоска (рис. 79), а при обработке чугуна — темные пятна. Режущая кромка в отдельных местах начинает выкрашиваться; в этих местах резец производит большое смятие поверхности резания и как бы полирует ее.

Появление блестящей полоски соответствует началу третьего периода износа. При дальнейшей работе в течение 1—2 мин произойдет полное разрушение режущей кромки, и резец окончательно выйдет из строя. Следовательно, этот критерий нельзя применять на чистовых работах, а также при работе сложным и дорогим инструментом.

При работе резцами с твердосплавными пластинками заметить блестящую полоску бывает трудно, требуется также усиленное внимание, чтобы обнаружить темные пятна на поверхности резания и при обработке чугуна.

**Силовой критерий (критерий Шлезингера).** Резец считается затупленным, когда силы резания, особенно силы  $P_y$  и  $P_x$ , резко возрастают. К недостаткам этого критерия относится необходимость в специальных приборах для измерения сил, действующих при резании, а потому в цеховых условиях он неприменим.

**Критерий оптимального износа\*\*.** Под оптимальным износом подразумевается такой износ, при котором общий срок службы инструмента получается наибольшим. Общий срок службы  $M$  инструмента определяется как произведение количества переточек, допускаемых пластинкой при данном износе, на время работы (стойкость), за которое этот износ образовался, т. е.

$$M = KT \text{ мин,}$$

где  $K$  — количество переточек, допускаемых пластинкой при данном износе;  $T$  — машинное время работы (стойкость) инструмента, соответствующее данному износу.

Количество переточек, допускаемых пластинкой при ее износе по передней поверхности (рис. 80, *a*),

$$K_1 = \frac{\frac{2}{3} C}{x} = \frac{\frac{2}{3} C}{h_d + \Delta},$$

где  $C$  — высота (толщина) пластинки в мм;  $x$  — слой, удаляемый при переточке по передней поверхности, в мм;  $\Delta = 0,1 \div$

\* Усиленный износ твердосплавного инструмента может проявляться в виде больших сколов (разрушений) режущей кромки.

\*\* Разработан проф. М. Н. Лариным.

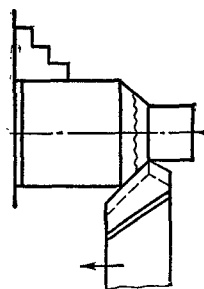


Рис. 79. Полоска на поверхности резания

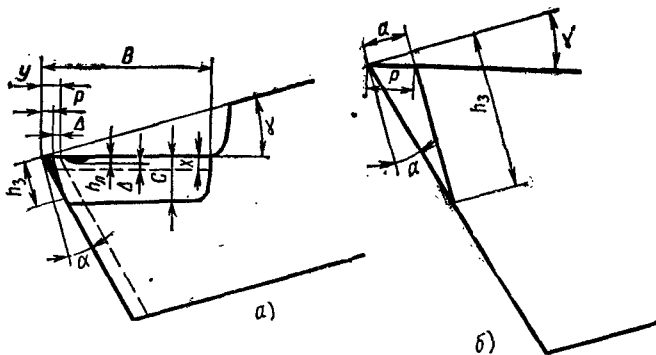


Рис. 80. Элементы износа и заточка реза

$\div 0,2$  мм — допуск на заточку (для удаления слоя, несколько большего, чем глубина лунки). Пластинку обычно перетачивают не до основания, что и отражено в формуле коэффициентом  $\frac{2}{3}$ .

Количество переточек, допускаемых шириной пластинки при ее износе по задней поверхности,

$$K_2 = \frac{\frac{2}{3} B}{y},$$

где  $B$  — ширина пластинки в направлении, перпендикулярном главной режущей кромке;  $y$  — слой, удаляемый при переточке по задней поверхности, измеряемый вдоль ширины пластинки, в мм.

В свою очередь,

$$y = p + \Delta.$$

Из рис. 80, б

$$p = \frac{a}{\cos \gamma}; \quad a = h_3 \operatorname{tg} \alpha;$$

тогда

$$p = \frac{h_3 \operatorname{tg} \alpha}{\cos \gamma};$$

$$y = \frac{h_3 \operatorname{tg} \alpha}{\cos \gamma} + \Delta;$$

$$K_2 = \frac{\frac{2}{3} B}{\frac{h_3 \operatorname{tg} \alpha}{\cos \gamma} + \Delta},$$

где среднее значение  $\Delta = 0,15$  мм.

На рис. 81 показана зависимость общего времени работы резца от величины допустимого износа по задней поверхности; условия работы: ширина пластинки  $B = 15$  мм;  $\gamma = 12^\circ$ ;  $\alpha = 10^\circ$ ; износ протекает так, как это изображено на рис. 78. Оптимальное значение допустимого износа по задней поверхности  $h_{3 \text{ опт}} = 1,3$  мм, что соответствует 40 мин резания (см. рис. 78, а). Из рассмотренного примера следует, что оптимальный износ соответствует точке  $b$  (см. рис. 77), т. е. концу второго периода.

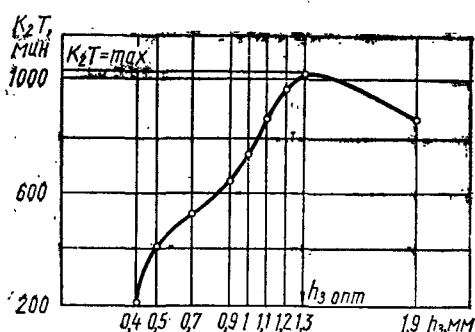


Рис. 81. Зависимость общего времени работы резца от износа по задней поверхности

Критерий оптимального износа находит применение в исследованиях режущих свойств инструмента, предназначенного для предварительных (черновых) и получистовых работ. Он может быть использован и в производственных условиях для инструмента, предназначенного для обработки деталей массового производства, а также для инструмента, дорогого и сложного в изготовлении. К недостаткам этого критерия относится необходимость доведения реза при исследовании до значительного износа (почти до полного разрушения). Кроме того, в некоторых случаях (при обработке инструментом с твердосплавными пластинками) точка перегиба  $b$  (см. рис. 77), характеризующая начало катастрофического износа, отсутствует, хотя износ и достиг такой величины, что дальнейшая работа резцом нецелесообразна.

**Технологический критерий.** Этот критерий применяется к инструменту, предназначенному для чистовой (окончательной) обработки. Сущность его заключается в том, что инструмент считается изношенным (затупленным), когда обработанная поверхность перестает отвечать техническим условиям. По этому критерию инструмент нуждается в переточке при износе, меньшем, чем при всех других критериях. Это объясняется тем, что изменение площади обработанной поверхности (микрogeометрии) вследствие износа инструмента наступает раньше, чем износ достигнет конца второго периода (см. рис. 77).

При токарной обработке влияние износа резца в радиальном направлении (размер  $a$  на рис.

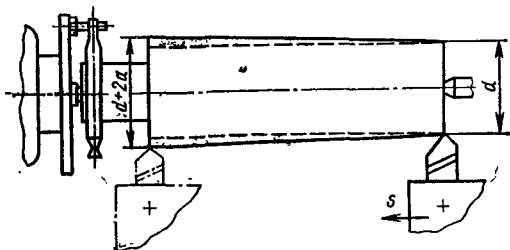


Рис. 82. Схема влияния износа резца на размер обработанной поверхности

80, б) на изменение диаметра обработанной поверхности показано на рис. 82. При отсутствии износа (в начале работы) диаметр обработанной поверхности был  $d$  мм. В процессе резания по мере увеличения износа резца этот размер увеличивается, и при радиальном износе  $a$  он будет составлять  $d + 2a$  \*.

Стойкость резца, соответствующая определенной величине износа в радиальном направлении, называется *размерной стойкостью*. Период размерной стойкости инструмента особенно важен в автоматических линиях, нормальная работа которых возможна при условии стабильной работы режущего инструмента в течение заданного периода времени (обычно смены).

Наибольший период размерной стойкости для заданного инструмента будет при работе с такой скоростью резания, при которой (в совокупности с другими условиями обработки) интенсивность износа будет наименьшей (см. стр. 75—79); величина этой скорости для заданного материала инструмента с изменением других условий будет изменяться, но будет соответствовать постоянной температуре резания.

Достижением отечественной станконструментальной промышленности является разработка и использование в станках автоматических линий специальной «следящей» аппаратуры. Благодаря этим устройствам (так называемому активному контролю) при выходе размера обработанной поверхности за определенную величину поля допуска инструмент автоматически подается на некоторую величину в радиальном направлении, и тем самым поддерживается необходимый размер обработанной поверхности. Еще более эффективными являются системы активного контроля, которые при изменении в процессе резания каких-либо условий, влияющих на точность обработки (износа инструмента, величины припуска, твердости обрабатываемого металла и др.), автоматически изменяют элементы режима резания ( $t$ ,  $s$ ,  $v$ ) для поддержания заданной точности. Эти системы повышают точность обработки в 2—4 раза при одновременном возрастании производительности и стойкости режущего инструмента.

Из рассмотренных критериев затупления наибольшее распространение находят критерий оптимального износа и технологический. В производственных условиях для резцов за критерий затупления принимается соответствующая величина износа. Износ по передней поверхности в меньшей степени влияет на протекание процесса резания. Он резко проявляется лишь при полном износе резца (когда будет уничтожена площадка  $c$ , показанная рис. 74, б), который не может быть принят за оптимальный. В связи с этим износ по задней поверхности является чаще всего лимитирующим износом.

Для токарных проходных и подрезных резцов с пластинками

---

\* Зависимость истинного размера обработанной поверхности от износа резца более сложная.



из твердых сплавов величина износа по задней поверхности  $h_3$ , рекомендуемая в качестве критерия затупления, следующая: 1) при черновой обработке сталей 1,0—1,4 мм, при чистовой 0,4—0,6 мм; 2) при черновой обработке чугуна 0,8—1 мм, при чистовой 0,6—0,8 мм. Для отрезных резцов с пластинками из твердых сплавов  $h_3 = 0,8 \div 1$  мм. Для резцов с керамическими пластинками максимально допустимая величина износа  $h_3 = 0,6 \div 0,8$  мм. Для резцов из эльбора Р  $h_{3 \max} = 0,4$  мм.

Более объективным показателем износа является не линейный размер  $h_3$ , а величина интенсивности износа, выраженная в кубических миллиметрах или в миллиграммах изношенной массы инструмента за 1 м пути резания или приходящаяся на 1 см<sup>2</sup> обработанной поверхности. Величина относительного износа — отношение износа по задней поверхности  $h_3$  или величины радиального износа к длине пути резания или к площади обработанной поверхности.

## § 11. Вибрации при резании металлов

Вибрации (колебания в системе СПИД) ухудшают качество обработанной поверхности (рис. 83), повышают износ инструмента и станка, приводят к разрегулированию соединений в станке и приспособлений. Сильные вибрации вынуждают снижать производительность процесса резания, а иногда работа на станке вообще становится невозможной. При резании металлов возникают вынужденные колебания и автоколебания (самовозбуждающиеся процессом стружкообразования).

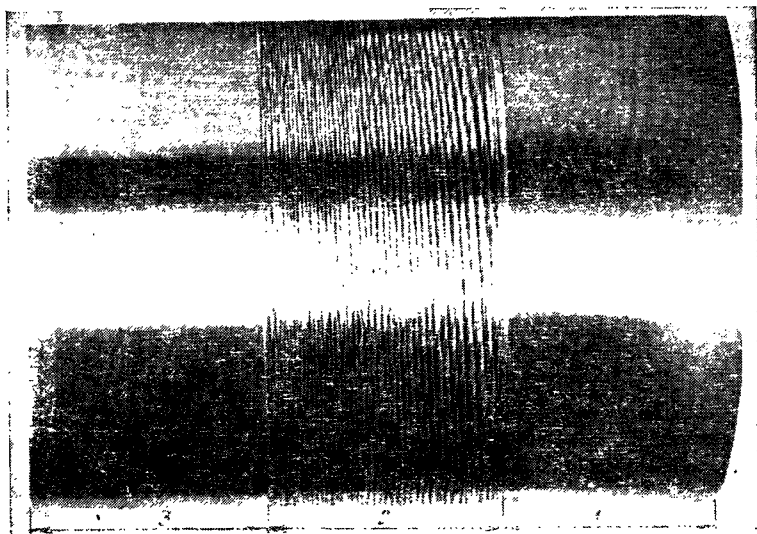


Рис. 83. Обработанная поверхность:

1 — при отсутствии вибраций; 2 — при наличии вибраций; 3 — после устранения вибраций

Вынужденные колебания возникают под действием периодически возмущающих сил, которыми могут быть: 1) переменные силы, действующие на систему в результате прерывистого резания (например, точение валика, имеющего продольный паз) или неравномерного припуска; 2) центробежные силы инерции неравновешенных вращающихся масс (заготовки, патрона, шкивов, роторов электродвигателей и др.); 3) силы удара, вызванные неисправностями и неточностью изготовления рабочих поверхностей в деталях механизмов передач движений (например, износом деталей механизма, неточностью изготовления зубчатых колес), резкими включениями и переключениями и т. п.

Автоколебания — явление более сложное и часто возникающее при резании металлов. Основными причинами появления автоколебаний являются: 1) непостоянство силы трения сходящей стружки о резец и резца о заготовку; 2) неравномерное упрочнение срезаемого слоя по его толщине; 3) непостоянство нароста, приводящее к изменению в процессе резания угла резания и площади поперечного сечения среза.

На интенсивность (высоту волны) автоколебаний влияют вид обрабатываемого металла и его механические свойства, элементы режима резания, геометрические элементы режущей части инструмента и жесткость системы СПИД.

При обработке сталей, в особенности вязких, вибрации сильнее, чем при обработке чугунов. При увеличении  $HВ$  и  $\sigma_v$  обрабатываемого металла вибрации уменьшаются; при возрастании относительного удлинения и относительного сужения — увеличиваются. При росте скорости резания вибрации сначала возрастают, а затем уменьшаются; чем больше подача, тем меньше величина скорости резания, начиная с которой уменьшаются вибрации. При увеличении глубины резания (ширины среза) вибрации при продольном точении возрастают.

Влияние подачи на вибрации меньше, чем влияние скорости и глубины резания. С увеличением подачи (толщины среза) вибрации уменьшаются (при  $s < t$ ); при  $s > t$  вибрации с увеличением подачи возрастают. Чем меньше главный угол в плане  $\phi$ , тем интенсивнее вибрации. Это объясняется как уменьшением толщины и увеличением ширины среза, так и повышением радиальной (отжимающей) силы  $P_y$  с уменьшением угла  $\phi$  (см. рис. 95). Чем больше сила  $P_y$ , тем больше отжим между заготовкой и суппортом станка. Поэтому при обтачивании длинных и тонких валиков (т. е. валиков малой жесткости) необходимо применять резцы с большими углами в плане. Кроме увеличения углов  $\phi$  (до  $90^\circ$ ), для уменьшения отжима и вибраций применяют люнеты, а также специальные приборы — виброгасители. Аналогичное влияние, но менее интенсивное, оказывает и вспомогательный угол в плане  $\phi_1$ ; чем меньше угол  $\phi_1$ , тем больше вибрации.

Вибрации возрастают при увеличении радиуса закругления при вершине резца в плане, что также объясняется увеличением ширины среза и радиальной силы  $P_y$ , а также уменьшением средней толщины среза. Передний и задний углы резца в пределах  $3-20^\circ$  почти не влияют на вибрации. Вибрации зависят от формы передней поверхности резца. Дополнительно заточенная лунка на передней поверхности резца (форма III, рис. 111, в) уменьшает вибрации по сравнению с резцом без лунки. Жесткость резца по заданной поверхности (см. рис. 74) усиливает вибрации. Чем выше жесткость системы СПИД и меньше зазоры между ее звеньями, тем меньше условий для возникновения вибраций и высота волны вибраций, если они и возникают. Поэтому при продольном точении наибольшие вибрации возникают, когда резец находится посередине заготовки, так как величина прогиба заготовки от сил, действующих на нее в этом случае, будет наибольшей (жесткость заготовки будет наименьшей). Вибрации уменьшаются при продольном точении заготовки вблизи

задней бабки; еще меньше они при резании волни передней бабки станка. Чем больше вылет пиноли задней бабки, тем больше вибрации, так как жесткость системы в этом случае будет меньшей. Чем выше жесткость заднего центра, тем меньше вибрации при резании; хорошие результаты получаются при использовании неподвижного заднего центра, вставленного в пиноль задней бабки. Однако при работе на высоких скоростях резания применять такой неподвижный центр практически невозможно, так как большая относительная скорость вращения поверхности центрального отверстия заготовки по конической поверхности центра приводят к большому тепловыделению и износу центра. Поэтому применяют вращающиеся задние центры (на подшипниках), имеющие вид головки, вставляемой, как и неподвижный центр, в пиноль задней бабки. Но такие (обычные) вращающиеся центры имеют жесткость, в 3,5—4 раза меньшую по сравнению с неподвижным центром, и зачастую являются причиной возникновения вибраций. Поэтому, особенно при точных и тяжелых работах, рекомендуется применять специальный вращающийся центр, встроенный в пиноль задней бабки. Чем больше вылет реза из резцедержателя и меньше размеры державки реза в поперечном сечении (при одном и том же материале державки), тем меньше жесткость системы и больше вибрации, причем чем выше скорость резания, тем интенсивнее влияние вылета реза на увеличение вибраций.

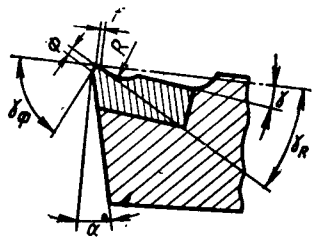


Рис. 84. Резец с виброгасящей фаской

Установленные зависимости влияния различных факторов на вибрации указывают и пути их уменьшения. Однако эти пути не являются универсальными, а иногда и невыгодны. Например, увеличение главного угла в плане хотя и уменьшает вибрации, но вместе с тем увеличивает интенсивность износа режущего инструмента\*. Не всегда целесообразно применять и большой передний угол (малый угол резания), большой вспомогательный угол в плане и малый радиус закругления при вершине реза. Поэтому желательно найти такие средства устранения (или уменьшения) вибраций, которые не снижали бы производительности.

Наряду с повышением жесткости системы СПИД к таким средствам относятся: 1) установка упругих (резиновых и др.) прокладок под поводковые болты (при работе в центрах) и под кулачки патрона (при работе в патроне); 2) применение специальных приборов — виброгасителей, препятствующих возникновению вибраций; действие виброгасителей основано на повышении сил сопротивления в системе СПИД; 3) при черновой и получистовой обработках устранение низкочастотных вибраций заготовки может быть достигнуто путем специальной заточки у реза отрицательной фаски (0,1—0,3 мм) вдоль главной режущей кромки с образованием угла  $\gamma_{\phi} = -80 \div -85^\circ$  (рис. 84); такую заточку\*\* предложил Д. И. Рыжков; ее можно производить оселком, не вынимая реза из резцедержателя, или в простом приспособлении; Д. И. Рыжковым предложены и другие методы и приспособления, способствующие устранению вибраций; 4) соответствующее (более правильное) расположение осей жесткости системы; 5) применение смазочно-охлаждающих жидкостей.

Режимы резания, рекомендуемые на основе лабораторных исследований, бывают выше, чем практически используемые. Такое несоответствие получается из-за отсутствия учета технологических и динамических факторов обработки: технологической жесткости системы СПИД, деформации инструмента, детали и средств крепления; собственных частот вибраций суппорта, обрабатываемой детали и инструмента; массы обрабатываемой детали и т. д. В связи с этим рекомендуется скорость резания, допускаемую резцом, определять с учетом поправочного коэффициента на динамические факторы технологической системы СПИД.

\* Подробнее см. стр. 75—79.

\*\* Стойкость реза значительно снижается при заточке фаски более 0,1 мм.

## СОПРОТИВЛЕНИЕ РЕЗАНИЮ ПРИ ТОЧЕНИИ

### § 1. Сила сопротивления резанию

Суммарную равнодействующую всех сил, действующих на резец со стороны обрабатываемого металла (см. рис. 35), можно назвать силой сопротивления резанию (стружкообразованию). В практических расчетах используют составляющие этой равнодействующей, направление которых совпадает с главным движением и движением подачи (или обратно им). Зная заранее направление этих составляющих сил, пользуясь соответствующими приборами, легко измерить их величину и вывести уравнения для их подсчета.

При токарной обработке в условиях несвободного резания равнодействующая  $R$  силы сопротивления резанию раскладывается на три взаимно перпендикулярные составляющие силы (рис. 85), действующие на резец:  $P_z$  — силу резания, или тангенциальную силу, касательную к поверхности резания и совпадающую с направлением главного движения;  $P_x$  — осевую силу, или силу подачи, действующую параллельно оси заготовки в направлении, противоположном движению подачи;  $P_y$  — радиальную силу, направленную перпендикулярно к оси обрабатываемой заготовки.

Равнодействующая

$$R = \sqrt{P_z^2 + P_y^2 + P_x^2}$$

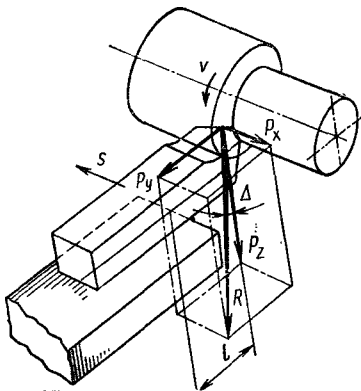


Рис. 85. Схема разложения равнодействующей силы  $R$  на составляющие  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$

При  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\lambda = 0$  и  $\gamma \approx 15^\circ$  угол  $\Delta$  между силами  $P_z$  и  $R$  равен  $25-40^\circ$ , сила  $P_x = (0,3 \div 0,4) P_z$ , сила  $P_y = (0,4 \div 0,5) P_z$ .

На соотношение между силами  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  влияют элементы режима резания, геометрические элементы режущей части резца, материал обрабатываемой заготовки, износ резца и др. Начиная со скорости  $\sim 50$  м/мин, отношения  $\frac{P_y}{P_z}$  и  $\frac{P_x}{P_z}$  уменьшаются с увеличением скорости резания. Относительная величина сил  $P_y$  и  $P_x$  возрастает с увеличением от-

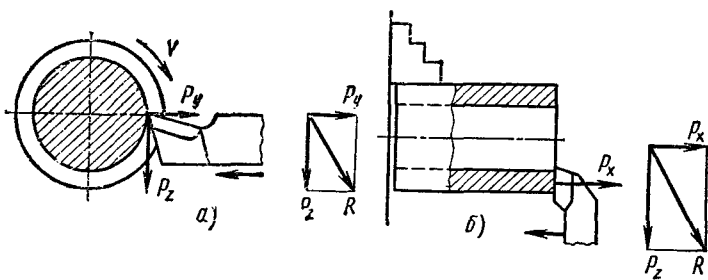


Рис. 86. Частные случаи разложения равнодействующей: а — при отрезании (разрезании); б — при резании трубы резцом с  $\varphi = 90^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$

рицательного значения переднего угла и с увеличением износа реза по задней поверхности. При обработке закаленных сталей ( $\sigma_B \geq 150$  кгс/мм<sup>2</sup>) резцом с отрицательным передним углом от  $-5$  до  $-15^\circ$  сила  $P_y$  больше силы  $P_z$  в 1,3—2,3 раза. С увеличением глубины резания и главного угла в плане отношение  $\frac{P_x}{P_z}$  возрастает, а отношение  $\frac{P_y}{P_z}$  убывает.

Частные случаи разложения равнодействующей силы при токарной обработке имеют место при отрезании резцом с режущей кромкой, параллельной оси (рис. 86, а), и при резании трубы резцом с углами  $\varphi = 90^\circ$  и  $\lambda = 0^\circ$  (рис. 86, б). В этих случаях сила  $R$  раскладывается на две  $P_z$  и  $P_y$ ;  $P_z$  и  $P_x$ .

## § 2. Действие сил $P_z$ , $P_y$ и $P_x$ на инструмент, заготовку и станок

**Действие силы на резец.** Сила резания  $P_z$  изгибает резец в вертикальной плоскости, сила  $P_y$  стремится оттолкнуть резец от заготовки, а сила  $P_x$  стремится изогнуть резец в горизонтальной плоскости и вывернуть его из резцедержателя.

Очевидно, что чем больше вылет резца \*  $l$ , тем больше будет изгибающий момент  $M_{изг} = P_z l$  кгс·мм, тем, следовательно, большим должно быть сечение державки резца. Во избежание смещения резца от действия сил  $P_y$  и  $P_x$  он должен быть прочно закреплен в резцедержателе.

Напряжения, вызванные в державке силами  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$ , не должны повышать напряжений, допускаемых материалом державки по его прочности и жесткости. В практике, однако, принято рассчитывать резец только на плоский изгиб по силе  $P_z$  (см. стр. 139), не учитывая деформаций от сил  $P_y$  и  $P_x$ .

Наряду с напряжениями в державке резца сила  $P_z$  создает большие напряжения и в режущей части инструмента — в пла-

\* За вылет резца принимают обычно расстояние от края плоскости опоры до вершины резца, допуская во всех расчетах, что точка приложения сил находится в вершине.

стинке. В зависимости от значения переднего угла пластинка может испытывать деформации изгиба и среза или деформации сжатия (см. стр. 117). Для каждого резца сила  $P_z$  должна быть не больше определенной величины, иначе напряжения, вызванные этой силой, достигнут предела прочности пластинки и пластинка разрушится. Это особенно важно для твердосплавных резцов из минералокерамических, алмазных материалов и эльбора Р (вследствие их большей хрупкости).

Силы  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  влияют на режущую часть инструмента и в том случае, когда напряжения не достигли ее предела прочности, так как чем больше эти силы, тем интенсивнее протекает износ инструмента (разрушение режущей кромки) в процессе резания.

Точка приложения равнодействующей всех сил  $O_1$  (или центр давления стружки на резец) не проходит через центр тяжести сечения державки резца  $O$  (рис. 87). На положение центра давления влияют глубина резания, подача и геометрические элементы резца (особенно главный угол в плане). Приблизленно центр давления  $O_1$  может быть определен как точка пересечения диагоналей сечения среза. Такое положение центра давления по отношению к центру тяжести сечения державки резца приводит к тому, что сила  $P_z$ , кроме нормальных напряжений от изгибающего момента  $M_{изг} = P_z l$  и касательных напряжений от перерезывающей силы при изгибе, создает еще касательные напряжения от крутящего момента  $M_{крz} = P_z l_0$  кгс·мм.

Сила  $P_x$ , кроме нормальных напряжений от изгибающего момента и касательных напряжений от перерезывающей силы при изгибе, создает касательные напряжения от крутящего момента

$$M_{крx} = \frac{P_x H}{2} \text{ кгс·мм.}$$

Сила  $P_y$ , кроме сжатия, создает продольной изгиб.

Таким образом, при более точных расчетах необходимо иметь в виду, что резец в процессе резания испытывает сложное сопротивление.

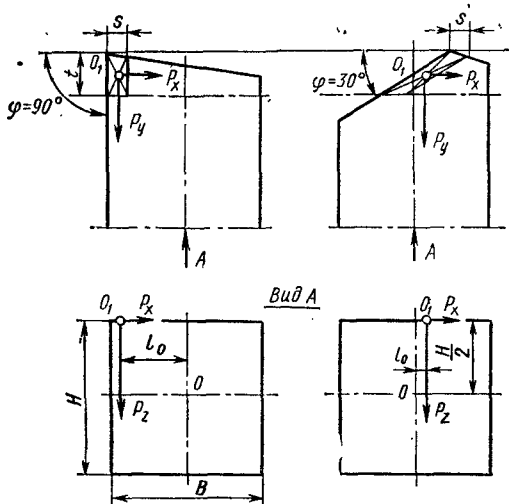


Рис. 87. Действие сил на резец

**Действие сил на заготовку.** Если на резец действует сила  $P_z$ , то на заготовку в месте резания действует сила  $P'_z$ , равная по величине силе  $P_z$ , но обратная по направлению (рис. 88, а).

Перенося в центр обрабатываемой заготовки две равные и противоположно направленные силы  $P$ , видим, что создается пара сил и момент сопротивления резанию:

$$M_{с.р} = \frac{P'_z D}{2},$$

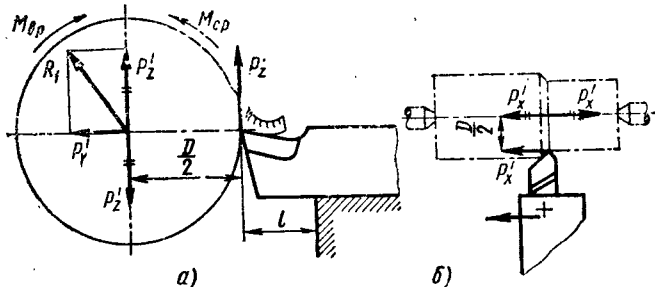


Рис. 88. Действие сил  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  на заготовку

Кроме скручивания заготовки, от действия силы  $P_z'$  создается момент, изгибающий заготовку в вертикальной плоскости. Для резания необходимо, чтобы момент сопротивления резанию был преодолен вращающим (крутящим) моментом станка, т. е. вращающий момент станка на выбранной ступени числа оборотов был бы больше или, в крайнем случае, равен (для расчетов) моменту сопротивления резанию:  $M_{вр} \geq M_{с.р.}$

Вращающий момент станка

$$M_{вр} = 975\,000 \frac{N_{шп}}{n} \text{ кгс} \cdot \text{мм},$$

где  $N_{шп}$  — мощность на шпинделе в кВт;  $n$  — частота вращения шпинделя в об/мин.

В свою очередь,

$$N_{шп} = N_{ст}\eta,$$

где  $N_{ст}$  — мощность электродвигателя станка;  $\eta$  — к. п. д. станка.

Сила  $P_y'$  изгибает заготовку в горизонтальной плоскости. При недостаточной жесткости системы СПИД эта сила может вызвать в процессе резания вибрации. Складываясь с силой  $P_z$ , они создают силу  $R_1$ , которая будет вызывать суммарный изгибающий момент, действующий на заготовку и влияющий на точность обработанной поверхности.

Сила

$$R_1 = \sqrt{P_z'^2 + P_y'^2}$$

Сила  $P_x'$  прижимает заготовку к переднему центру (рис. 88, б) (или стремится сдвинуть заготовку в осевом направлении при креплении ее в патроне) и создает момент

$$M_x = \frac{P_x' D}{2} \text{ кгс} \cdot \text{мм},$$

который «вывертыивает» заготовку из центров. Сила  $P_x' = P_x$ ;  $P_y' = P_y$ ;  $P_z' = P_z$ .

**Действие сил на станок.** Сила резания  $P_z$ , будучи наибольшей и совпадая с направлением скорости резания, через резец действует на суппорт и станину. Сила  $P'_z$  через заготовку действует на центры и заднюю бабку. По этой силе производится расчет ответственных деталей станка и мощности, затрачиваемой на резание (а следовательно, расчет и необходимой мощности электродвигателя станка).

Радиальная сила  $P_y$  действует через резец на суппорт и станину, а сила  $P'_y$  через заготовку — на шпиндель, центры и заднюю бабку станка. По этой силе производится расчет станка на жесткость и расчет радиального давления на подшипники шпинделя.

Сила подачи  $P_x$  действует через резец на механизм подачи станка, а сила  $P'_x$  через заготовку — на шпиндель и его опоры в осевом направлении. Сила  $P_x$  преодолевается механизмом подачи станка, а потому в основном по ней и рассчитываются детали коробки передач \* фартука и упорные подшипники шпинделя, а также мощность, необходимая для осуществления движения подачи. Таким образом, силы, действующие в процессе резания, нужно знать для правильного расчета и конструирования режущего инструмента, станков и приспособлений, для расчета жесткости системы СПИД и мощности, затрачиваемой на резание, а также для правильной эксплуатации станка, инструмента и приспособлений.

### § 3. Мощность, затрачиваемая на резание

Для того чтобы подсчитать мощность, затрачиваемую на резание (эффективную мощность), необходимо сложить мощности на преодоление каждой силы сопротивления  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$ , т. е.

$$N_{\text{рез}} = N_{P_z} + N_{P_y} + N_{P_x}.$$

Так как мощность есть работа в секунду, то необходимо, следовательно, каждую силу умножить на соответствующую относительную скорость перемещения резца и заготовки в направлении действия данной силы (или обратном), вводя соответствующие коэффициенты:

$$N_{\text{рез}} = \frac{P_z v}{60 \cdot 102} + \frac{P_y v_y}{60 \cdot 102} + \frac{P_x s n}{60 \cdot 102 \cdot 1000} \text{ кВт.}$$

При продольном точении никаких перемещений в направлении действия силы  $P_y$ , или в обратном этому направлению, нет, т. е.  $v_y = 0$ , а следовательно, равно нулю и второе слагаемое. Третье слагаемое, представляющее собой мощность, затрачиваемую на движение подачи, мало ( $1-2\%$   $N_{P_z}$ ), и им можно пренебречь.

\* При расчете тяговой силы механизма подачи станка, кроме основной силы  $P_x$ , учитывается также вес движущихся частей и силы трения, возникающие в поверхностях направляющих станины от действия сил  $P_z$  и  $P_y$ .



Тогда

$$N_{\text{рез}} = \frac{P_z v}{60 \cdot 102} \text{ кВт.}$$

С учетом к. п. д. станка  $\eta$  легко подсчитать и необходимую (расчетную) мощность электродвигателя:

$$N_{\text{м}} = \frac{N_{\text{рез}}}{\eta}.$$

Для резания на заданном станке необходимо, чтобы мощность электродвигателя станка  $N_{\text{ст}}$  была больше (или, в крайнем случае, равна) расчетной мощности \*, т. е.  $N_{\text{ст}} \geq N_{\text{м}}$ .

#### § 4. Влияние различных факторов на силы $P_z$ , $P_y$ и $P_x$

**Обрабатываемый металл.** На силы  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  влияют в основном следующие факторы: обрабатываемый металл, глубина резания, подача, передний угол резца (угол резания), главный угол в плане резца, радиус закругления при вершине резца, смазочно-охлаждающие жидкости, скорость резания и износ резца.

Физико-механические свойства обрабатываемого металла и его состояние во многом определяют процесс стружкообразования и сопутствующие ему деформации, а следовательно, и силы сопротивления, которые должен преодолеть резец и станок. Чем больше предел прочности при растяжении  $\sigma_B$  и твердость  $HB$  обрабатываемого металла, тем больше силы  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$ .

При обработке заготовок из незакаленных сталей твердосплавными резами сила

$$P_z = C_1 \sigma_B^{0,35} \text{ кгс.}$$

При обработке твердосплавными резами серых чугунов

$$P_z = C_2 HB^{0,4} \text{ кгс,}$$

где  $C_1$  и  $C_2$  — постоянные коэффициенты.

Приведенные зависимости позволяют иметь следующие соотношения:

для сталей

$$\frac{P_{z1}}{P_{z2}} = \left( \frac{\sigma_{B1}}{\sigma_{B2}} \right)^{0,35};$$

для серых чугунов

$$\frac{P_{z1}}{P_{z2}} = \left( \frac{HB_1}{HB_2} \right)^{0,4}.$$

---

\* Для кратковременного процесса резания возможна перегрузка электродвигателя станка на 25% его номинальной мощности, т. е.  $1,25N_{\text{ст}} \geq N_{\text{м}}$ ; при кратковременности до 1 мин перегрузка электродвигателя допускается на 50%.

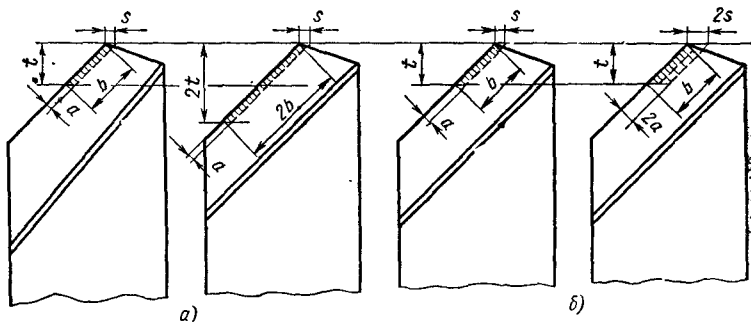


Рис. 89. Схема влияния глубины резания (а) и подачи (б) на ширину и толщину среза (при  $s < t$ )

Приняв условно за единицу силу при обработке незакаленной стали с  $\sigma_B = 75 \text{ кгс/мм}^2$ , можно получить и поправочные коэффициенты  $K_{M_z}$  для сталей с другим значением  $\sigma_B$ :

$$K_{M_z} = \left( \frac{\sigma_B}{75} \right)^{0,35}.$$

Тогда, зная силу  $P_{z_1}$  для стали с  $\sigma_B = 75 \text{ кгс/мм}^2$ , легко определить силу  $P_z$  для стали с другим значением  $\sigma_B$ :

$$P_z = P_{z_1} K_{M_z}.$$

**Глубина резания и подача.** Чем больше глубина резания и подача, тем больше площадь поперечного сечения среза и объем деформируемого металла, тем, следовательно, больше сопротивление металла стружкообразованию, и процесс резания будет протекать с большими силами  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$ .

Глубина резания больше влияет на силу резания, чем подача. При увеличении глубины резания, например, в 2 раза ширина среза возрастает также в 2 раза (при сохранении толщины среза по рис. 89, а), а следовательно, во столько же раз увеличится и нагрузка на резец, вызываемая силами, действующими на переднюю и заднюю поверхности резца. Поэтому

$$P_z = C_1 t^x,$$

где  $x = 1$  для всех обрабатываемых металлов.

При увеличении подачи в 2 раза (рис. 89, б) площадь поперечного сечения среза увеличивается также в 2 раза; но при неизменном значении ширины среза в этом случае увеличивается в 2 раза толщина, т. е. увеличиваются лишь элементы, определяющие в основном силы, действующие на переднюю поверхность резца (силы, действующие на заднюю поверхность, остаются примерно теми же). Кроме того, напряжения и деформации по толщине срезаемого слоя наибольшие в слоях, близко расположенных к плоскости среза; по мере удаления слоя от плоскости среза напряжения и деформации в нем постепенно уменьшаются, что вы-

зывает снижение степени увеличения сил (по мере возрастания толщины среза), действующих на резец со стороны срезаемого слоя. В результате с увеличением подачи (толщины среза) в 2 раза сила  $P_z$  увеличивается меньше, чем в 2 раза.

Зависимость силы  $P_z$  от подачи можно выразить следующей формулой:

$$P_z = C_2 s^y,$$

где  $y < 1$  (при  $a > 0,1$  мм).

При обработке стали и чугуна обычно-ми проходными резцами  $y = 0,75$ . При точении с одинаковой площадью поперечного сечения среза силы резания будут меньше в случае большей подачи и меньшей глубины резания (при  $t > s$ ).

При работе отрезными и прорезными резцами  $y = 1$ . Разница в значениях показателя степени, например при продольном точении и отрезании, объясняется тем, что при отрезании и прорезании снимаются слои с меньшими толщинами среза. При малых же значениях толщин среза большое влияние на напряжения и деформации в срезаемом слое оказывает радиус округления режущей кромки резца  $\rho$  (рис. 90) в связи с увеличением угла резания  $\delta_p$ . Так как ширина среза  $b = \frac{t}{\sin \varphi}$ , а толщина среза  $a = s \sin \varphi$ , то влияние ширины среза аналогично влиянию глубины резания, а влияние толщины среза аналогично влиянию подачи.

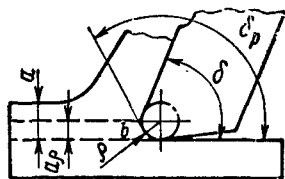


Рис. 90. Схема влияния радиуса округления режущей кромки резца на угол резания

**Передний угол.** Чем меньше передний угол  $\gamma$  или чем больше угол резания (так как  $\delta = 90^\circ - \gamma$ ), тем тяжелее резцу врезаться в заготовку, больше деформация срезаемого слоя при превращении его в стружку, тем больше, следовательно, и сила резания  $P_z$  (рис. 91). Одновременно с силой  $P_z$  будут возрастать и силы  $P_y$  и  $P_x$ , причем по мере увеличения скорости резания степень повышения сил с увеличением  $\delta$  уменьшается.

Для повышения прочности и стойкости режущей кромки у резцов с передним углом  $+\gamma$  делается фаска  $f$  под некоторым углом  $\gamma = 0 \div -10^\circ$  (см. рис. 111, б). При ширине фаски  $f \leq a$  силы резания изменяются незначительно, и размерами фаски и передним углом на ней можно пренебречь, ведя расчет по переднему углу за фаской (т. е. по углу  $\gamma$ ). При ширине  $f > a$  (где  $a$  — толщина среза в мм) силы начинают возрастать, и при  $f \geq 3a$  их необходимо рассчитывать с учетом среднего угла на самой фаске.

**Главный угол в плане.** На рис. 92 показана зависимость силы  $P_z$  от угла  $\varphi$  при обработке легированной стали резцом (быстрорежущая сталь P18) с радиусом закругления при вершине в плане  $r = 2$  мм, резцом с  $r = 0$  при свободном резании (резание трубы, когда в работе принимает участие только прямолинейный участок главной режущей кромки). Для резца с  $r = 2$  мм сила  $P_z$  сначала уменьшается с увеличением угла  $\varphi$  ( $\varphi = 30 \div 60^\circ$ ), а затем увеличивается. Такая сложная зависимость объясняется тем, что при увеличении угла  $\varphi$  возрастает толщина среза и длина криволиней-

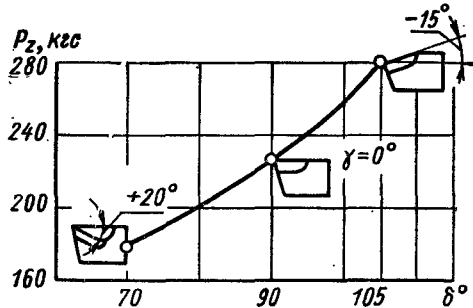


Рис. 91. Влияние угла резания (переднего) на силу резания

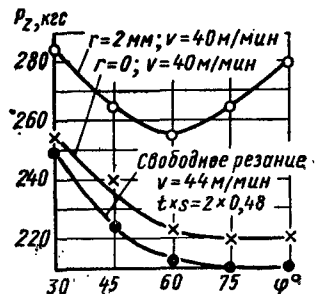


Рис. 92. Зависимость силы  $P_z$  от главного угла  $\varphi$  в плане (по данным автора)

ного участка режущей кромки (рис. 93). С увеличением толщины среза уменьшаются деформации, характеризуемые коэффициентом усадки стружки  $k$  (см. рис. 50), а следовательно (при одинаковых  $t$  и  $s$ ), уменьшается сила  $P_z$ , тогда, как криволинейный участок режущей кромки вызывает большие деформации\*, создавая более тяжелые условия резания, а следовательно, и большую силу.

Для реза с криволинейным участком в диапазоне углов  $\varphi = 30 \div 60^\circ$  увеличение средней толщины среза играет большую роль в уменьшении деформации, чем увеличение длины криволинейного участка, что и приводит к уменьшению силы  $P_z$ . На участке, где угол  $\varphi = 60 \div 90^\circ$ , увеличение средней толщины среза незначительно, тогда как длина криволинейного участка продолжает резко возрастать, что и приводит к увеличению силы  $P_z$ ; чем больше отношение  $\frac{r}{t}$ , тем интенсивнее будет это увеличение.

\* См. стр. 52.

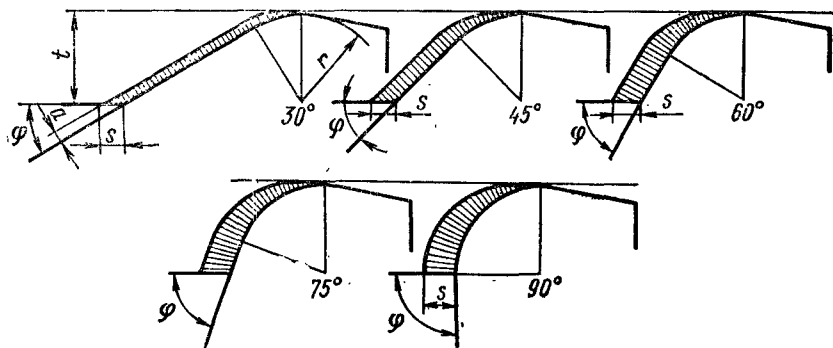


Рис. 93. Изменение толщины среза и длины криволинейного участка режущей кромки с изменением главного угла в плане  $\varphi$

С повышением скорости резания влияние криволинейного участка режущей кромки в диапазоне  $\varphi = 60 \div 90^\circ$  сказывается в меньшей степени, а потому для твердосплавных резцов (работающих с относительно высокими скоростями резания) в диапазоне углов  $\varphi = 60 \div 90^\circ$  сила  $P_z$  практически остается постоянной.

При резании чугуна, имеющего слабую способность к пластическому деформированию, прирост длины криволинейного участка при  $\varphi = 60 \div 90^\circ$  практически не будет сказываться, и наблюдаться даже некоторое уменьшение силы  $P_z$ .

При  $r = 0$  и свободном резании, когда в работе находится только прямой участок главной режущей кромки и дополнительное влияние криволинейного участка режущей кромки исключено, с повышением толщины среза  $a$  (при одной и той же площади поперечного сечения среза) уменьшается усадка стружки (см. рис. 50), а следовательно, с увеличением главного угла в плане уменьшаются и силы  $P_z$  (см. рис. 92). Сила  $P_z$  уменьшается резко в диапазоне углов  $\varphi = 30 \div 75^\circ$ . На участке, где  $\varphi = 75 \div 90^\circ$ , сила  $P_z$  практически остается постоянной, так как увеличение толщины среза с увеличением угла  $\varphi$  в этом диапазоне незначительно (около 4%).

Изменение главного угла в плане влияет на силы  $P_y$  и  $P_x$  (рис. 94):

$$P_y = P_N \cos \varphi; \quad P_x = P_N \sin \varphi,$$

т. е. с увеличением главного угла в плане сила  $P_y$  резко уменьшается, а сила  $P_x$  увеличивается (рис. 95).

**Радиус закругления при вершине резца.** На рис. 96 приведено изменение сил  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  с увеличением радиуса закругления при вершине резца. Чем больше  $r$ , тем больше длина криволинейного участка режущей кромки (см. рис. 47), тем больше деформации (см. рис. 46), тем, следовательно, больше и сила  $P_z$ . При увеличении  $r$  сила  $P_y$  возрастает, а сила  $P_x$  уменьшается (рис. 96). Влияние  $r$  на силы  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  может быть выражено так:

$$P_z = C_z r^{x_1}; \quad P_y = C_y r^{x_2}; \quad P_x = \frac{C_x}{r^{x_3}}.$$

При обработке сталей  $x_1 = 0,1$ ;  $x_2 = 0,3$ ;  $x_3 = 0,3$ ; при обработке чугунов  $x_1 = 0,07$ ;  $x_2 = 0,2$ ;  $x_3 = 0,2$ . Из приведенных зависимостей видно, что увеличение радиуса закругления резца в большей степени влияет на увеличение радиальной силы  $P_y$  и в меньшей — на увеличение силы  $P_z$ . Поэтому для борьбы с вибрациями рекомендуется наряду с увеличением главного угла в плане уменьшать и радиус закругления резца при вершине; как первое, так и второе способствует снижению силы  $P_y$ .

**Смазочно-охлаждающие жидкости.** Смазочно-охлаждающие жидкости, применяемые при резании металлов, влияют не только

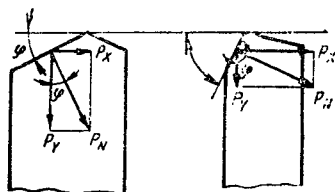


Рис. 94. Схема влияния главного угла в плане  $\varphi$  на силы  $P_z$  и  $P_y$

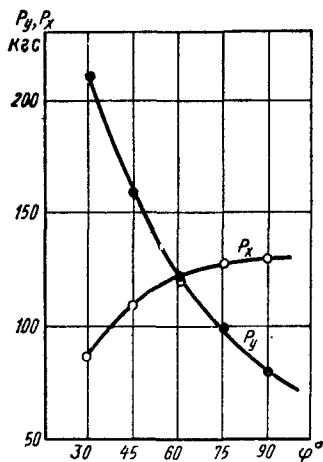


Рис. 95. Влияние главного угла в плане  $\varphi$  на силы  $P_x$  и  $P_y$

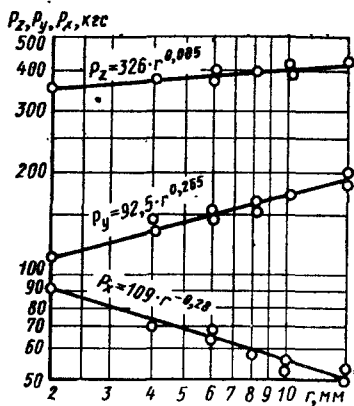
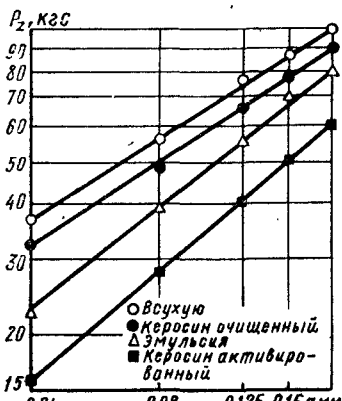


Рис. 96. Влияние радиуса закругления при вершине реза на силы  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  (при обработке стали 45;  $s = 0,6$  мм/об)

на понижение температуры нагрева инструмента, но и на уменьшение трения, облегчение процесса стружкообразования, а следовательно, и на снижение сил, действующих на инструмент.

Средние коэффициенты  $K_\omega$  уменьшения силы резания  $P_z$  в зависимости от рода смазочно-охлаждающей жидкости следующие: 0,7 для растительных масел; 0,8 для осерненных масел (сульфофрезолов); 0,9 для минеральных масел; 0,85 для активированных эмульсий; 0,95 для эмульсий; 1 для воды; 1 при работе всухую.

На рис. 97 в логарифмических координатах показана зависимость силы резания  $P_z$  от толщины среза при обработке стали 20 всухую и с применением поверхностно-неактивных (очищенный керосин) и активных жидкостей. Поверхностно-активные жидкости уменьшают силу  $P_z$ , причем наибольшее уменьшение наблюдается при тонких стружках (рис. 97). По мере увеличения толщины среза разница в значениях силы  $P_z$  при обработке всухую и с применением жидкости уменьшается.



Это же явление можно видеть на рис. 98, где при скорости резания 3,7 м/мин и подаче (толщине среза) 0,04 мм/об поверхностно-активная жидкость по сравнению с обработкой всухую снижает силу  $P_z$  на 40%, тогда как при подаче 0,125 мм/об это снижение составляет 23%, а при подаче 0,20 мм/об — 15%.

Положительный эффект от применения смазочно-охлаждающей жидкости уменьшается и при повышении скорости резания. Если при скорости резания 3,7 м/мин (подача 0,04 мм/об) уменьшение силы  $P_z$  составляет 40%, то

Рис. 97. Зависимость силы  $P_z$  от толщины среза при обработке с применением различных смазочно-охлаждающих жидкостей [обрабатываемый металл — сталь 20;  $v = 6,5$  м/мин (по данным автора)]

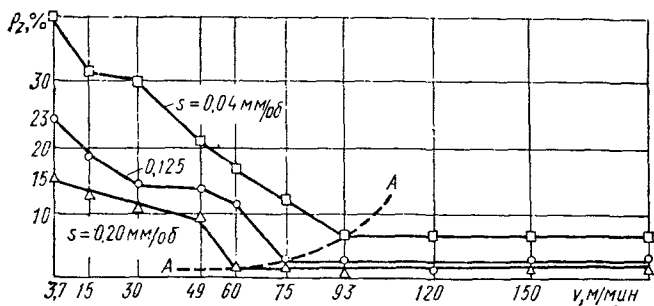


Рис. 98. Понижение силы  $P_z$  при применении поверхностно-активной жидкости (по сравнению с обработкой всухую) в зависимости от скорости резания; сталь А12 (по данным автора)

при скорости 93 м/мин это уменьшение составляет 6%. Подобная картина наблюдается и при других подачах, причем чем больше подача, тем меньше скорость резания, при которой пропадает эффект от применения жидкости (кривая AA').

**Скорость резания.** На рис. 40 была показана зависимость угла резания (с учетом образования нароста), усадки стружки, силы резания  $P_z$  и коэффициента трения от изменения скорости резания. Сила  $P_z$ , начиная со скорости резания 3—5 м/мин, уменьшается, затем при  $v = 20 \div 25$  м/мин увеличивается и снова уменьшается (вторая точка перегиба). По данным авторов, сила резания  $P_z$  сначала уменьшается потому, что начинается процесс наростообразования и угол резания  $\delta_1$  у нароста меньше, чем угол резания у резца (см. рис. 36). Наименьшее значение  $P_z$  соответствует зоне усиленного наростообразования. При дальнейшем увеличении скорости резания наростообразование уменьшается, угол  $\delta_1$  возрастает, приближаясь к углу резания резца, полученному при заточке. В связи с этим увеличивается и сила  $P_z$ . При дальнейшем повышении скорости резания нароста не будет и сила  $P_z$  будет уменьшаться за счет снижения коэффициента трения.

На изменение силы резания в зависимости от скорости резания влияет и то, что в процессе деформации обрабатываемого металла действуют два противоположных фактора: упрочнение и разупрочнение. В зависимости от условий резания может преобладать или первый фактор, вызывающий повышение предела текучести и прочности, или второй, наоборот, снижающий эти характеристики обрабатываемого металла.

Уменьшение  $P_z$  с увеличением скорости резания (скорости деформации) вызывается также уменьшением объема деформируемой зоны, распространяющейся в заготовке от действия резца.

Зависимость силы резания от скорости резания аналогична зависимости усадки стружки от скорости резания, т. е. чем с большими деформациями по условиям работы будет протекать процесс стружкообразования, тем большую силу необходимо приложить к резцу для осуществления этого процесса. Таким образом, по характеру изменения усадки стружки можно судить о характере изменения силы  $P_z$ , действующей на резец в процессе стружкообразования.

Токарная обработка производится на высоких скоростях резания, а потому рассмотрим влияние скорости резания на силы, начиная со скорости 50 м/мин. Сила  $P_z$  при скорости 50 м/мин обычно уменьшается, причем это уменьшение продолжается до скорости резания 400—500 м/мин (рис. 99), после чего процесс резания стабилизируется и сила  $P_z$  при дальнейшем увеличении скорости остается постоянной.

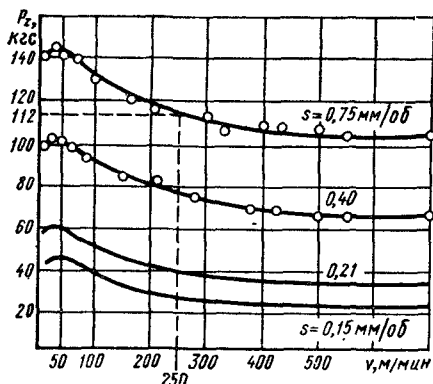


Рис. 99. Зависимость силы  $P_z$  от скорости резания при различных подачах (сталь 50;  $\gamma = +10^\circ$ ;  $t = 1$  мм)

Таким образом, в диапазоне  $v = 50 \div 500$  м/мин

$$P_z = \frac{C}{v^n},$$

где  $C$  — постоянный коэффициент, зависящий от условий обработки (материала, геометрических параметров режущего инструмента, смазочно-охлаждающей жидкости и др.);  $n$  — показатель степени, характеризующий влияние скорости резания на силу  $P_z$ ; зависит в основном от обрабатываемого металла, угла резания и толщины среза ( $n = 0,10 \div 0,26$ ); чем пластичнее металл, больше

угол резания и больше толщина среза, тем больше  $n$ .

Аналогично силе  $P_z$  с изменением скорости резания изменяются и силы  $P_y$  и  $P_x$ :

$$P_y = \frac{C_1}{v^{n_1}}; \quad P_x = \frac{C_2}{v^{n_2}}.$$

Значения  $n_1 = 0,18 \div 0,3$ ;  $n_2 = 0,22 \div 0,4$ .

Приведенная зависимость и значения показателей степени относятся к обработке углеродистых и легированных сталей с твердостью  $HRC < 55$ . По данным д-ра техн. наук проф. А. Я. Малкина, при обработке закаленной стали с  $HRC > 55$  сила  $P_z$  почти не зависит от скорости резания, а сила  $P_y$  возрастает с увеличением скорости резания.

На рис. 100 в логарифмических координатах показана зависимость силы  $P_z$  от скорости резания при обработке твердосплавным (ВК8) резцом заготовки из серого чугуна ( $HB 193$ ) с глубиной резания 2 мм и подачей 0,38 мм/об. Здесь также наблюдается некоторое уменьшение силы  $P_z$  с увеличением скорости резания.

#### Влияние износа реза.

При возрастании износа по задней поверхности  $h_3$  (см. рис. 74) увеличивается площадка контакта поверхностей заготовки с резцом, что приводит к увеличению трения и соответственно к увеличению сил резания; особенно интенсивно увеличиваются силы  $P_y$  и  $P_x$ .

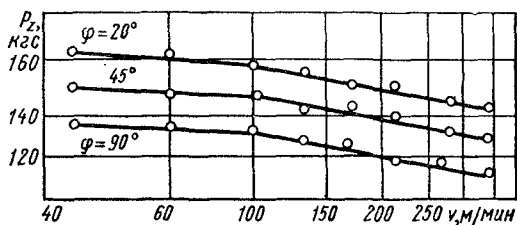


Рис. 100. Зависимость силы  $P_z$  от скорости резания при обработке чугуна (по Н. Ф. Киселеву)



**Некоторые другие факторы.** Выше было рассмотрено влияние на силы резания переднего угла (угла резания), главного угла в плане и радиуса закругления при вершине резца. Остальные геометрические элементы (задние углы резца, вспомогательный угол в плане, передний угол на вспомогательной режущей кромке) при наружном точении значительного влияния на силы резания не оказывают и в расчет могут не приниматься. Если проходной резец работает с врезанием (т. е. сначала резец врезается на некоторую глубину с поперечной подачей, а затем ведется продольное точение), то геометрические элементы вспомогательной режущей кромки будут оказывать большое влияние на силы резания (особенно угол  $\phi_1$ ). Для уменьшения силы  $P_y$  при врезании вспомогательный угол в плане в случае жестких условий обработки делается до  $30^\circ$ .





По опытным данным изменение величины угла наклона главной режущей кромки  $\lambda$  в пределах от  $-20^\circ$  до  $+40^\circ$  вызывает незначительное изменение силы  $P_z$ , которым можно пренебречь. Сила  $P_y$  увеличивается, а сила  $P_x$  уменьшается по мере перехода от угла  $-\lambda$  к углу  $+\lambda$  (в среднем на 2% при изменении угла  $\lambda$  на  $1^\circ$ ) при углах  $\phi \approx 60^\circ$ .

На силы резания влияет также материал режущей части резца. Например, для твердосплавных резцов силы резания несколько меньше, чем для резцов из быстрорежущей стали, для керамических резцов несколько меньше (на 2—3%), чем для твердосплавных, а для резцов из эльбора  $P$  значительно меньше, чем для всех других инструментальных материалов; это объясняется различным значением коэффициента трения между различным материалом режущей части резца и материалом заготовки.

При фасонном точении на силы резания влияет форма режущей кромки резцов (табл. 3).

Таблица 3

Поправочные коэффициенты  $K_\phi$  на силы  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  в зависимости от формы режущей кромки

Материал заготовки	$K_\phi$ в зависимости от формы режущей кромки			
				
Стали всех марок	0,85	0,90	1,0	1,05

### § 5. Формулы для подсчета сил $P_z$ , $P_y$ и $P_x$

При расчетах наиболее часто используют следующие формулы:

$$P_z = C_{P_z} t^{x_z} s^{y_z} v^{n_z} K_z \text{ кгс};$$

$$P_y = C_{P_y} t^{x_y} s^{y_y} v^{n_y} K_y \text{ кгс};$$

$$P_x = C_{P_x} t^{x_x} s^{y_x} v^{n_x} K_x \text{ кгс},$$

где  $C_{P_z}$ ,  $C_{P_y}$ ,  $C_{P_x}$  — коэффициенты, характеризующие металл и условия его обработки;  $t$  — глубина резания в мм;  $s$  — подача в

мм/об;  $x_z, y_z, x_y, y_y, x_x, y_x$  — показатели степеней при глубине резания и подаче;  $n, n_1, n_2$  — показатели степеней при скорости резания;  $K_z, K_y, K_x$  — общие поправочные коэффициенты, учитывающие конкретные условия обработки.

В табл. 4 даны средние значения коэффициентов и показатели степеней для подсчета сил  $P_z, P_y$  и  $P_x$  (при  $s < t$ ) при наружном продольном точении. Значения коэффициентов  $C_{P_z}, C_{P_y}$  и  $C_{P_x}$  даны для указанных в таблице значений  $\sigma_B$  при резании твердо-

Таблица 4

Значения коэффициентов и показателей степеней в формулах для подсчета сил  $P_z, P_y$  и  $P_x$  при наружном продольном точении твердосплавным резцом

Материал заготовки	Подача $s$ в мм/об	Коэффициенты и показатели степеней при определении											
		тангенциальных сил $P_z$				радиальных сил $P_y$				осевых сил $P_x$			
		$C_{P_z}$	$x_z$	$y_z$	$n$	$C_{P_y}$	$x_y$	$y_y$	$n_1$	$C_{P_x}$	$x_x$	$y_x$	$n_2$
Сталь, $\sigma_B = 75$ кгс/мм <sup>2</sup>	До 0,75 Св. 0,75	300	1,0	0,75	-0,15	243	0,9	0,6	-0,3	$\frac{339}{315}$	1,0	$\frac{0,5}{0,2}$	-0,4

сплавными резцами с  $\gamma = +10^\circ, \varphi = 45^\circ, r = 2$  мм,  $\lambda = 0^\circ, \varphi_1 = 10^\circ$ , при работе без охлаждения и при износе резцов по задней поверхности  $h_3 = 1,0 \div 1,4$  мм. При условиях работы, отличных от указанных, на силы  $P_z, P_y$  и  $P_x$  (или на коэффициенты  $C_{P_z}, C_{P_x}$  и  $C_{P_y}$ ) следует вводить (в виде сомножителей) поправочные коэффициенты, приводимые в справочниках по режимам резания; произведение этих коэффициентов будет представлять собой соответственно общие поправочные коэффициенты  $K_z, K_y$  и  $K_x$  в приведенных выше формулах.

## СКОРОСТЬ РЕЗАНИЯ, ДОПУСКАЕМАЯ РЕЖУЩИМИ СВОЙСТВАМИ РЕЗЦОВ

### § 1. Влияние различных факторов на скорость резания

**Скорость резания и стойкость.** Увеличение скорости резания приводит к уменьшению машинного времени  $T_m$ . Однако скорость резания нельзя назначать без учета конкретных условий обработки, так как при ее увеличении резко возрастет износ инструмента (рис. 101), т. е. снизится его стойкость — машинное время работы инструментом от переточки до переточки (или до определенной величины износа). Это вызовет более частую переточку инструмента, а следовательно, и затрату труда заточника, затрату времени на снятие и установку инструмента (станок в это время будет простаивать) и перевод в отходы (при заточке) определенного количества материала, идущего на изготовление режущей части инструмента. Таким образом, стойкость инструмента влияет на производительность, и на себестоимость обработки. Чем большую скорость резания допускает инструмент при одной и той же стойкости, тем выше его режущие свойства, тем он более производителен.

На скорость резания, допускаемую резцом, влияют следующие факторы: стойкость режущего инструмента; физико-механические свойства обрабатываемого металла; материал режущей части инструмента; подача и глубина резания; геометрические элементы режущей части резца; размеры сечения державки резца; смазочно-охлаждающая жидкость; максимально допустимая величина износа резца; вид обработки.

Между скоростью резания и стойкостью режущего инструмента из инструментальных сталей существует зависимость: чем выше скорость резания, тем меньше стойкость резца (рис. 102, кривые 1 и 2); это объясняется описанным выше влиянием скорости резания на тепловыделение и износ.

Для инструмента, оснащенного твердым сплавом, зависимость между скоростью резания и стойкостью

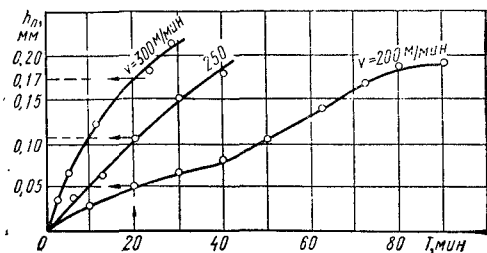


Рис. 101. Зависимость износа от времени работы при различных скоростях резания (сталь 18Х2Н4ВА; сплав Т15К6)

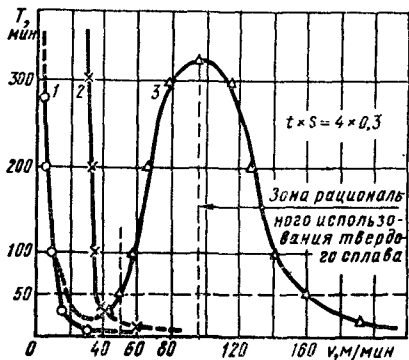


Рис. 102. Зависимость между скоростью резания и стойкостью реза: 1 — для реза из стали У12; 2 — для реза из стали Р18; 3 — для реза из сплава Т15К6

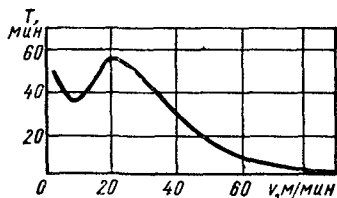


Рис. 103. Зависимость стойкости реза, оснащенного пластижкой из твердого сплава, от скорости резания при обработке закаленной стали HRC 51—52 (по А. Я. Малкину)

более сложная. При увеличении скорости резания стойкость твердосплавного реза сначала уменьшается, затем увеличивается и вновь уменьшается (рис. 102, кривая 3); при этом чем больше твердость обрабатываемого металла, тем меньше величина критических скоростей, соответствующих точкам перегиба (см. рис. 102 и 103). Такая зависимость между скоростью резания и стойкостью для твердосплавных резцов объясняется тем, что при малых  $v$  вследствие низкой температуры резания износ протекает медленно. По мере увеличения  $v$  температура на поверхностях соприкосновения реза с заготовкой и стружкой увеличивается, что содействует слипанию (свариванию) в местах контакта и соответственно повышению интенсивности износа и снижению стойкости реза. При дальнейшем увеличении  $v$  (начиная с  $v = 10$  м/мин, рис. 103) повышение температуры способствует размягчению (и даже микроплавлению) поверхностей стружки и заготовки, что уменьшает слипание, облегчает относительное скольжение и снижает интенсивность износа (повышает стойкость); этому содействует также повышение ударной вязкости твердого сплава (особенно в интервале температур 600—800° С) и уменьшение сил, действующих на резец. При дальнейшем же увеличении скорости ( $v \approx 20$  м/мин) и соответственно температуры резания резко снижаются твердость и прочность твердого сплава, что (при все возрастающем пути трения за один и тот же промежуток времени) приводит к повышению интенсивности износа реза и соответствующему снижению стойкости.

При одинаковой стойкости резцов, например 50 мин (см. рис. 102), выгоднее (производительнее) работать со скоростью  $v = 160$  м/мин, чем со скоростью  $v = 50$  м/мин, а потому зоной рационального использования твердого сплава следует считать участок, расположенный вправо от точки перегиба максимальной стойкости. Поэтому зависимость между величинами  $v$  и  $T$  будем

рассматривать на второй ниспадающей ветви, которая в простых координатах выражается в виде кривой (рис. 104, а), а в логарифмических координатах — в виде прямой линии (рис. 104, б).

Математически эта зависимость выражается так:

$$v = \frac{A}{T^m}, \text{ или } vT^m = A = \text{const},$$

где  $T$  — стойкость в мин, соответствующая данной скорости резания  $v$ ;  $m$  — показатель относительной стойкости, характеризующий влияние стойкости на скорость резания;  $A$  — постоянная величина, зависящая от условий обработки (материала реза и заготовки, охлаждения, сечения среза и др.).

Логарифмируя первое выражение, получим

$$\lg v = \lg A - m \lg T,$$

т. е. в логарифмических координатах зависимость между скоростью резания и стойкостью выражается уравнением прямой линии, тангенс угла наклона которой и есть показатель относительной стойкости (рис. 104, б):

$$m = \operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b}.$$

Показатель относительной стойкости характеризует степень изменения скорости резания с изменением стойкости реза. Он определяется опытным путем и зависит от обрабатываемого металла, материала режущей части реза, толщины среза, вида и условий обработки. Чем ниже износостойкость материала режущей части инструмента и тяжелее условия резания, вызывающие повышение тепловыделения, тем меньше величина  $m$ . Для проходных, подрезных и расточных резцов из быстрорежущей стали  $m = 0,125$  при обработке с охлаждением стали и ковкого чугуна; для резцов, оснащенных пластинками твердых сплавов,  $m = 0,125 \div 0,3$  ( $m_{\text{ср}} = 0,2$ ).

Зная стойкость  $T_1$  при скорости  $v_1$ , по указанной выше зависимости можно определить стойкость  $T_2$  при скорости  $v_2$  (при прочих одинаковых условиях резания) или скорость  $v_2$  при стойкости  $T_2$ . Из уравнения  $vT^m = A = \text{const}$  следует, что

$$v_1 T_1^m = v_2 T_2^m.$$

откуда

$$\frac{v_1}{v_2} = \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^m,$$

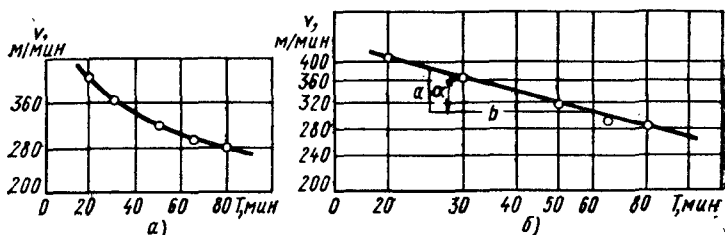


Рис. 104. Зависимость между скоростью резания и стойкостью: а — в простых координатах; б — в логарифмических координатах (сталь 45;  $\sigma_s = 45 \text{ кгс/мм}^2$ ; Т15К6;  $f \times s = 2 \times 0,4 \text{ мм}$ )

$$v_2 = v_1 \left( \frac{T_1}{T_2} \right)^m.$$

Так как показатель относительной стойкости различен при низких и высоких скоростях резания, то полученная зависимость может дать неправильные результаты в случае пересчета скорости резания с малых стойкостей на очень высокие (например, на  $T > 500$  мин).

В зависимости от условий обработки, конструкции режущего инструмента и станка, общего технического уровня производства и технико-экономических условий эксплуатации станка и инструмента значения стойкости и соответствующей ей скорости резания должны быть различными. Так, чем более сложна и дорога конструкция инструмента, больше времени уходит на его переточку после затупления, больше расход материала режущей части инструмента при переточке и расход материала инструмента, которым ведется переточка, больше времени затрачивается на снятие со станка затупленного инструмента и установку нового (переточенного), меньше показатель относительной стойкости инструмента, тем больше должна быть стойкость инструмента. Стойкость фасонного резца, как более сложного, должна быть выше, чем токарного резца.

При многоинструментной обработке (на автоматах и полуавтоматах), когда замена затупленного инструмента и его подналадка связаны с большой затратой времени и труда, стойкость инструмента должна быть выше, чем для одноинструментных, более простых работ. Еще большая величина стойкости (одна-две смены) устанавливается в автоматических линиях, так как здесь замена затупленного инструмента на одном станке практически приводит к остановке (простоя) всех станков линии. На практике, в нормальных условиях, при назначении скорости резания используют оптимальную стойкость.

Оптимальная стойкость — стойкость режущего инструмента, при которой общая сумма затрат общественного труда при выполнении той или иной технологической операции будет наименьшей. При установлении величины оптимальной стойкости учитываются затраты, связанные как с самим инструментом, так и с использованием заданного станка при выполнении на нем данной технологической операции\*.

При работе инструментом с оптимальными режимами резания, соответствующими величине оптимальной стойкости и обеспечивающими получение высокого качества обработанной поверхности, себестоимость обработки будет наименьшей. Для обычных токарных резцов, оснащенных твердым сплавом, при одноинструментной обработке оптимальная стойкость  $T = 30 \div 60$  мин. Если

---

\* Средняя величина оптимальной стойкости для каждого вида инструмента и условий обработки подсчитывается по соответствующим нормам и приводится в справочниках по режимам резания.

при  $T = 60$  мин допускаемую твердосплавным резцом скорость резания принять за единицу, то для другого значения стойкости эта скорость в количественном отношении выразится следующими поправочными коэффициентами  $K_T$ :

Стойкость резца $T$ в мин . . . . .	30	45	60	90	120
Коэффициент $K_T$ . . . . .	1,15	1,06	1,0	0,92	0,87

С учетом коэффициента  $K_T$ , зная допускаемую скорость резания при стойкости 60 мин, скорость резания для некоторой стойкости  $T$ :

$$v_T = v_{60} K_T \text{ м/мин.}$$

Иногда производительность какого-либо станка может быть недостаточной, что вызовет недогрузку других станков участка (при передаче заготовки для следующей операции на другой станок). В этом случае приходится уменьшать оптимальную стойкость и соответственно скорость резания и переходить иногда к стойкости наибольшей производительности ( $T_{н пр}$ ) и соответственно скорости  $v_{н пр}$ .

При расчете  $T_{н пр}$  учитывают только показатель относительной стойкости ( $m$ ) и время на смену затупленного инструмента ( $t_{см}$ ):

$$T_{н пр} = \frac{1-m}{m} t_{см} \text{ мин.}$$

**Обрабатываемый металл.** На скорость резания, допускаемую резцом, большое влияние оказывают физико-механические свойства обрабатываемого металла. Это влияние предопределяется в основном тепловыделением в процессе резания и распределением теплоты между стружкой, заготовкой, резцом и окружающей средой.

Скорость резания, с которой можно обрабатывать данный металл, при определенной стойкости резца, является характеристикой обрабатываемости\* металлов. Чем выше скорость, тем лучше обрабатываемость данного металла по сравнению с тем, который при той же стойкости и прочих одинаковых условиях допускает обработку с меньшей скоростью резания. Наихудшую обрабатываемость имеют инструментальные быстрорежущие хромоникелевольфрамовые, хромомарганцовистые, хромокремнистые, хромокремнемарганцовистые и кремнемарганцовистые стали. Очень низкой обрабатываемостью обладают жаропрочные стали и сплавы. Это объясняется тем, что жаропрочные материалы имеют значительное количество легирующих элементов (в том числе титан и марганец), склонны к свариванию (к адгезии) с режущим инструментом, незначительно изменяют прочность при нагреве до  $800^\circ \text{C}$ , имеют высокий предел прочности на сдвиг (в 2—3 раза выше по сравнению с конструкционной углеродистой сталью); у жаропрочных материалов высокий предел прочности сочетается с большой вязкостью; они способны к сильному упрочнению

\* Обрабатываемость металлов характеризуется также шероховатостью обработанной поверхности (что особенно важно при окончательных — чистовых операциях) и силами, действующими на инструмент в процессе резания.

(наклепу) и имеют низкую теплопроводность. Все это вызывает при резании возникновение больших сил, высокой температуры (в 2—4 раза выше температуры при резании конструкционных сталей), интенсивного износа режущего инструмента, большой шероховатости обработанной поверхности, т. е. низкой обрабатываемости этих материалов; потому их относят к труднообрабатываемым.

С большой скоростью резания обрабатываются автоматные стали, цветные и легкие сплавы. Алюминий обрабатывается со скоростью, в 5—6 раз большей по сравнению со скоростью обработки углеродистой конструкционной стали (углерода менее 0,6%;  $\sigma_B = 75 \text{ кгс/мм}^2$ ); для силумина и литейных алюминиевых сплавов эта скорость выше в 4—5 раз. Чугун вследствие меньшей теплопроводности, большего истирающего действия и сосредоточения давления от стружки на материал вблизи режущей кромки допускает меньшую скорость резания по сравнению с углеродистой конструкционной сталью.

В зависимости от предела прочности стали при растяжении скорость резания, допускаемая резцом при определенной стойкости,

$$v_n = \frac{C_1}{\sigma_B^x}.$$

При обработке резцами, оснащенными твердым сплавом, конструкционных, углеродистых и легированных незакаленных сталей,  $x = 1$ . Таким образом, если известна скорость резания  $v'_n$ , допускаемая резцом при данной стойкости для стали с  $\sigma_{B1}$ , то легко найти скорость  $v''_n$  для стали с  $\sigma_{B2}$ , так как

$$v'_n \sigma_{B1}^x = v''_n \sigma_{B2}^x,$$

откуда:

$$\frac{v''_n}{v'_n} = \left( \frac{\sigma_{B1}}{\sigma_{B2}} \right)^x,$$

или

$$v''_n = v'_n \left( \frac{\sigma_{B1}}{\sigma_{B2}} \right)^x.$$

Если при обработке углеродистой конструкционной и легированной незакаленной стали с  $\sigma_B = 75 \text{ кгс/мм}^2$  скорость резания, допускаемую резцом, принять за единицу, то при других значениях  $\sigma_B$  поправочными коэффициентами на скорость резания будут значения

$$K_{mv} = \frac{75}{\sigma_B};$$

$\sigma_B$ стали в кгс/мм <sup>2</sup> . . . . .	40—50	50—60	60—70	70—80	80—90	90—100
Коэффициент $K_{mv}$ . . . . .	1,66	1,36	1,15	1	0,88	0,79



С учетом коэффициента  $K_{M_p}$  скорость резания для обработки стали с некоторым значением  $\sigma_B$

$$v_{\sigma_B} = v_{75} K_{M_p}.$$

В зависимости от твердости чугуна  $HB$  скорость резания, допускаемая резцом при определенной стойкости,

$$v_{H} = \frac{C}{HB^y}.$$

При работе резцами, оснащенными пластинками из твердых сплавов,  $y = 1,25$ .

На скорость резания, допускаемую режущими свойствами резца, влияет состояние обрабатываемого материала и поверхности заготовки. Так, если для горячекатаной стали скорость резания принять за единицу, то для холоднотянутой стали необходимо ввести коэффициент 1,1, т. е. принять скорость резания на 10% выше. Для нормализованной стали этот коэффициент будет 0,95, для отожженной 0,9 и для улучшенной 0,8.

Если при обработке стальной заготовки из проката или поковки без корки (корка срезана на предыдущем проходе или протравлена) скорость резания принять за единицу, то в случае обработки стальной отливки скорость резания уменьшается (коэффициент 0,9). Твердая корка, получившаяся на чугунной заготовке после литья, окалины после поковки и горячего проката стали — резко повышают износ инструмента и в связи с этим снижают скорость резания (окалина на 10—20%, корка на 20—40%).

На скорость резания влияет химический состав стали, ее термическая обработка и характер структуры, получаемой при термической обработке. Так, при уменьшении содержания углерода в конструкционной углеродистой стали допускаемая скорость резания повышается, а при введении легирующих материалов (Cr, Mn и др.) понижается; для стали 40X наибольшая допустимая скорость резания будет при отжиге с 900°С, для стали 40 — при нормализации с 900—950°С, а для быстрорежущих сталей — при изотермическом отжиге\*. Наибольшая допустимая скорость резания наблюдается при зернистом перлите, когда цементит имеет форму мелких шарообразных зерен, равномерно распределенных в феррите, а из структур наибольшую скорость резания допускает феррит, затем (в порядке уменьшения допустимой скорости резания) перлит (точечный, зернистый, пластинчатый, сорбитообразный), сорбит и троостосорбит.

Мелкозернистые стали обрабатывать легче, чем крупнозернистые, и небольшим введением некоторых элементов (например, до 0,1% S и до 0,2—0,25% Pb) можно повысить обрабатываемость стали, почти не изменяя ее механических свойств.

**Материал режущей части резца.** Износ инструмента во многом предопределяется физико-механическими свойствами материала, из которого сделана его режущая часть. Поэтому если для быстрорежущих сталей допускаемую скорость резания принять за единицу, то по отношению к другим материалам коэффициент на скорость резания  $K_{M_{10}}$  будет меньше единицы для легированных и углеродистых инструментальных сталей и больше единицы для твердых сплавов и керамических материалов.

---

\* Нагрев при 870°С в течение 4 ч, быстрое охлаждение до 740°С и выдержка в течение 2 ч.

Ниже приведены значения коэффициента  $K_{M10}$  для различных марок сталей.

Марка стали режущей части резца . . . . .	P18, P9	9XC	У10А, У12А
Коэффициент $K_{M10}$ . . . . .	1	0,5	0,5 и ниже

Если для твердого сплава Т15К6 скорость резания принять за единицу, то для других сплавов этой группы коэффициент  $K_{M10}$  составит:

Марка твердого сплава . . . . .	Т5К10	Т14К8	Т15К6	Т30К4
Коэффициент $K_{M10}$ . . . . .	0,65	0,83	1	1,4 (при получистовом и чистовом точении)

Приняв для сплава ВК6 скорость резания за единицу, для других сплавов этой группы  $K_{M10}$  составит:

Марка твердого сплава . . . . .	ВК2	ВК3М	ВК4	ВК6	ВК8
Коэффициент $K_{M10}$ . . . . .	1,17	1,15	1,12	1	0,83

Резцы с керамическими пластинками при чистовой и получистовой обработке сталей допускают скорость резания в 1,1—1,3 раза большую, чем с пластинками из сплава Т15К6; при чистовой и предчистовой обработке чугуна — в 1,5 раза большую, чем из сплава ВК6; на отдельных операциях эти коэффициенты еще выше (в 3 раза).

**Подача и глубина резания.** Чем больше подача и глубина резания, тем выше силы, действующие на резец, и температура резания, тем интенсивнее износ резца, тем меньшую скорость резания будет допускать резец при одной и той же стойкости. Зависимость между скоростью резания, подачей и глубиной резания при стойкости 60 мин можно выразить следующей формулой:

$$v_{60} = \frac{C_{v_{60}}}{t^{x_v} s^{y_v}},$$

где  $C_{v_{60}}$  — постоянный коэффициент, зависящий от обрабатываемого металла, материала режущей части резца, геометрических параметров резца, охлаждения и других условий обработки (в нашем случае одним из условий является стойкость резца, равная 60 мин);  $t$  — глубина резания в мм;  $s$  — подача в мм/об;  $x_v$  и  $y_v$  — показатели степеней, различные для разных обрабатываемых металлов, материала резца и условий обработки.

При наружном точении и растачивании заготовок из углеродистой стали резцами из быстрорежущей стали при подаче  $s \leq 0,25$  мм/об  $x_v = 0,25$ ,  $y_v = 0,33$ ; при подаче  $s > 0,25$  мм/об  $x_v = 0,25$ ,  $y_v = 0,66$  (при  $s < t^*$ ). Показатель степени при подаче больше, чем при глубине, т. е. увеличение подачи более резко сказывается на уменьшении скорости резания, чем увеличение глуби-

\* При обратных срезах ( $s > t$ ) глубина резания влияет в большей степени, чем подача, т. е.  $x_v > y_v$ .

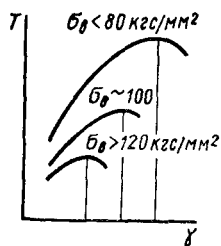


Рис. 105. Зависимость стойкости инструмента от величины переднего угла

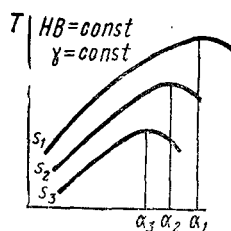


Рис. 106. Зависимость стойкости инструмента от величины заднего угла реза при различных подачах ( $s_1 < s_2 < s_3$ ;  $a_1 > a_2 > a_3$ )

ны резания. Это вызывается более интенсивным износом реза при увеличении  $s$ , чем при увеличении  $t$ , что объясняется большей термодинамической нагрузкой на единицу длины режущей кромки, так как при увеличении  $s$  при неизменной длине активной части режущей кромки увеличивается и толщина среза (см. рис. 89, б).

При одинаковой площади поперечного сечения среза для обычного реза ( $\phi_1 > 0$  при  $s < t$ ) легче работать с меньшей подачей и большей глубиной резания; для станка же (по мощности), наоборот, легче работать с большей подачей и меньшей глубиной резания, так как на силу резания глубина оказывает большее влияние, чем подача (см. стр. 90).

**Геометрические элементы реза.** При увеличении положительного значения переднего угла и уменьшении угла резания деформации (см. рис. 44), силы резания (см. рис. 91), тепловыделение и температура резания (см. рис. 68) снижаются и стойкость сначала повышается (рис. 105). Но вместе с увеличением угла  $\gamma$  уменьшается угол заострения и объем головки реза, вследствие чего теплоотвод от поверхностей трения реза и прочность режущей кромки уменьшаются, и, начиная с некоторого значения переднего угла, износ повышается (возможно и выкрашивание режущей кромки) и стойкость понижается.

Поэтому для каждого материала заготовки, материала реза и других условий обработки есть свое оптимальное значение переднего угла, при котором стойкость, а следовательно (при одинаковой стойкости), и скорость резания будут наибольшими.

Чем больше задний угол реза, тем меньше трение реза о заготовку, меньше его износ и выше стойкость. Однако стойкость повышается до определенного значения угла  $\alpha$ , так как с увеличением заднего угла уменьшается одновременно угол заострения, резец становится менее

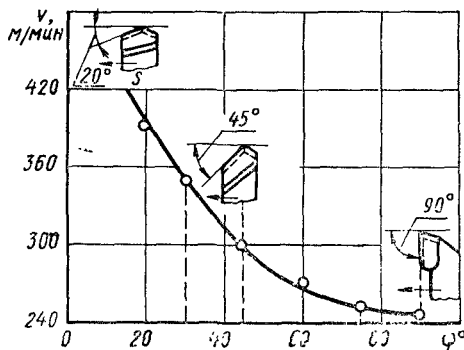


Рис. 107. Зависимость скорости резания от главного угла в плане при постоянных значениях  $t$  и  $s$  (сталь 45; твердый сплав Т15К6;  $t \times s = 2 \times 0,3$  мм)

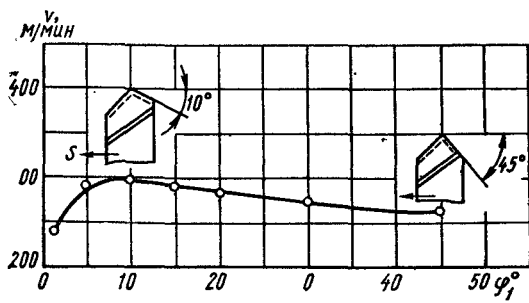


Рис. 108. Зависимость скорости резания от вспомогательного угла в плане

прочным и, начиная с некоторого значения  $\alpha$ , режущая кромка (особенно из твердых сплавов) начинает выкрашиваться и стойкость резки падает (рис. 106); будет уменьшаться, следовательно, и скорость резания (при одной и той же стойкости).

Одним из геометрических элементов, сильно влияющих на допускаемую резцом скорость резания, является главный угол в плане. Чем больше этот угол, тем выше температура резания (см. рис. 69, а), выше термодинамическая нагрузка на единицу длины кромки, интенсивнее износ резца и, следовательно, меньше его стойкость. Поэтому резцы с малыми углами в плане допускают (при прочих одинаковых условиях) большую скорость резания (рис. 107). Если для твердосплавного резца с углом  $\varphi = 45^\circ$  при резании стали скорость резания принять за единицу, то для других значений главного угла в плане скорость резания выразится следующими коэффициентами  $K_{\varphi_0}$  :

Главный угол в плане $\varphi^\circ$ . . . . .	10	20	30	45	60	75	90
Коэффициент $K_{\varphi_0}$ . . . . .	1,55	1,3	1,13	1	0,92	0,86	0,81

Вспомогательный угол в плане также влияет на износ резца, а следовательно, и на его стойкость. При малом вспомогательном угле в плане ( $\varphi_1 < 5^\circ$ ) вспомогательная режущая кромка принимает большое участие в побочном резании, что вызывает большие тепловыделение и износ резца, а следовательно, понижает его стойкость. По мере увеличения угла  $\varphi_1$  работа резания от вспомогательной режущей кромки уменьшается, что приводит к некоторому повышению стойкости и, вследствие этого, к повышению скорости, допускаемой резцом при одинаковой стойкости (рис. 108). Однако, начиная с  $\varphi_1 = 5 \div 10^\circ$ , в большей степени сказывается уменьшение объема головки резца, приводящее к ухудшению теплоотвода и к большей температурной концентрации на поверхностях трения резца, что снижает допускаемую скорость резания. Ниже приведены поправочные коэффициенты  $K_{\varphi_{10}}$  на скорость резания в зависимости от вспомогательного угла в плане, если принять скорость резания при  $\varphi_1 = 10^\circ$  за единицу.

Вспомогательный угол в плане $\varphi_1^\circ$ . . . . .	10	15	20	30	45
Поправочный коэффициент $K_{\varphi_{10}}$ . . . . .	1,0	0,97	0,94	0,91	0,87

При увеличении радиуса закругления (сопряжения) при вершине резца в плане температура резания уменьшается (см.

рис. 70), что приводит к некоторому повышению стойкости и допускаемой скорости резания. Так, если для резца из быстрорежущей стали с  $r = 2$  мм допускаемую скорость резания принять за единицу, то поправочные коэффициенты для других значений  $r$  будут: для  $r = 1$  мм  $K_{r_v} = 0,94$ ; для  $r = 3$  мм  $K_{r_v} = 1,03$ ; для  $r = 5$  мм  $K_{r_v} = 1,13$ .

Положительное значение угла наклона главной режущей кромки  $\lambda$  оказывает большое влияние на упрочнение режущей кромки резца, что особенно важно при ударном (прерывистом) резании, при работе по корке и при работе с неравномерным припуском. В связи с этим по мере перехода от отрицательного значения угла  $\lambda$  к положительному (от  $-15$  до  $+40$ ) стойкость резца повышается. В диапазоне углов  $\lambda = 0 \div 10^\circ$  изменение стойкости незначительно, и им можно пренебречь.

Форма передней поверхности резца также влияет на скорость резания. Если для резца, оснащенного пластинкой из твердого сплава, с плоской формой передней поверхности (форма I, см. рис. 111) скорость резания принять равной единице, то для плоской или радиусной формы с фаской (формы II и III) коэффициент на скорость резания будет 1,15, а для плоской с отрицательным передним углом  $\gamma = -10^\circ$  (форма IV) этот коэффициент равен 1,2. Форма IV имеет коэффициент на увеличение скорости резания 1,05.

**Сечение державки резца.** Чем больше площадь сечения державки резца, тем ниже температурная концентрация (см. стр. 66). Жесткость резца повышается, а потому резец, имеющий большее сечение державки, допускает и более высокие скорости резания. Так, если для резца из быстрорежущей стали с сечением державки  $20 \times 30$  мм скорость резания принять за единицу, то для сечения державки  $16 \times 25$  мм коэффициент  $K_{q_v} = 0,97$ , а для сечения державки  $25 \times 40$  мм он равен 1,04 (при обработке сталей). Для резцов, оснащенных пластинками из твердых сплавов, влияние сечения державки незначительно, и им можно пренебречь.

**Смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ).** При обильном охлаждении (8—12 л/мин) сверху (см. рис. 73, а) при обдирочных работах резцами из быстрорежущей стали скорость резания повышается на 20—30%, а при чистовых работах (тонких стружках, когда тепловыделение меньше) — на 8—10% по сравнению с обработкой всухую. Расход жидкости при чистовой обработке меньше, чем при черновой, и может составлять 4—6 л/мин. Скорость резания при обработке стали с охлаждением может быть повышена на 40—45% по сравнению с обработкой всухую, если смазочно-охлаждающую жидкость (эмульсию) предварительно охладить до  $+2^\circ\text{C}$ . Чем ниже температура охлаждающей жидкости, тем большую скорость резания допускает резец при одной и той же стойкости (рис. 109).

Скорость резания для резцов из быстрорежущей стали может быть повышена на 43%, по сравнению с обработкой стали всухую, и в том случае, если смазочно-охлаждающую жидкость подводить

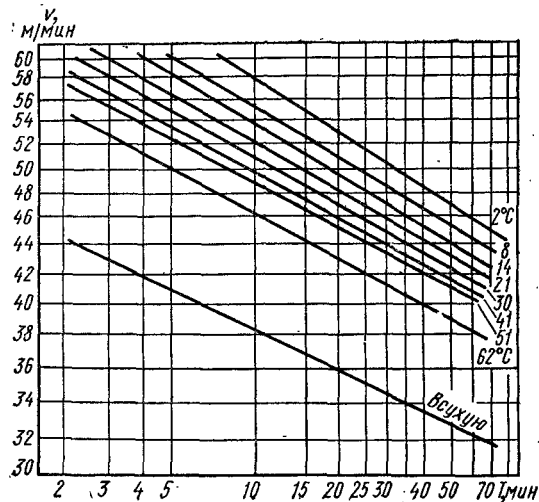


Рис. 109. Зависимость между скоростью резания и стойкостью при различных значениях температуры охлаждающей жидкости (сталь 0ХНЗМ;  $\sigma_b = 76$  кгс/мм<sup>2</sup>; резец из стали Р18;  $t \times s = 2 \times 0,5$  мм)

в зону резания снизу в распыленном состоянии (см. рис. 73, б). По сравнению с обычным охлаждением сверху (см. рис. 73, а) такой способ подвода жидкости в условиях проведения испытаний позволил повысить скорость резания на 14,5%, а стойкость резцов (при одной и той же скорости резания) в 3,2 раза.

Охлаждение инструмента и зоны стружкообразования распыленной жидкостью (воздухо-жидкостной смесью) эффективно и для твердосплавных резцов, особенно при резании высокопрочных и труднообрабатываемых сталей. Наряду с повышением стойкости инструмента (в 2—6 раз по сравнению с обработкой сухой и в 1,5—3 раза по сравнению с обычным охлаждением — поливом) повышается и качество обработанной поверхности при одновременном снижении расхода эмульсии в 10—20 раз, а масла — в сотни раз.

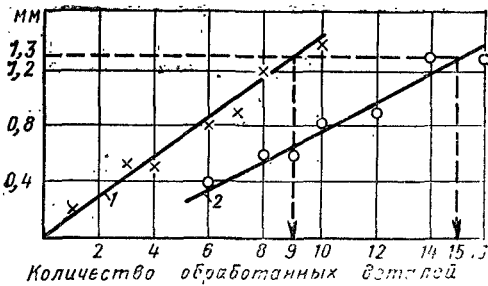
Применять метод распыления жидкости для твердосплавных резцов по сравнению с методом обильного полива целесообразно и потому, что при высоких скоростях резания (с которыми обычно работают твердосплавные резцы) при обильном поливе жидкость сильно разбрызгивается вокруг станка.

При резании серых чугунов с применением обильного охлаждения происходит сильное загрязнение станка кашицеобразной массой, образуемой из чугунной пыли и мелкой стружки. Поэтому в данном случае целесообразно применять жидкости в распыленном состоянии, что способствует повышению стойкости резцов в 2—3 раза.

При резании высокопрочных и износостойких чугунов твердосплавными резцами применение распыленной жидкости способствует повышению скорости резания на 50%. Применение распыленной эмульсии способствует также уменьшению запыленности воздуха чугунной пылью (рис. 110). Для твердосплавного инструмента особенно необходимо постоянное охлаждение, так как в случае прерывистого охлаждения сильно разогреваемая в процессе резания, а затем резко охлаждаемая пластинка твердого сплава может иметь трещины, и резец выйдет из строя.

Рис. 110. Зависимость износа твердосплавного резца (ВК8) от количества обработанных чугуновых деталей:

1 — при обработке без охлаждения; 2 — при обработке с применением распыленной эмульсии



**Допустимая величина износа резца.** Чем больше допустимый износ, тем большую скорость резания можно назначить для резца. Ниже приведены поправочные коэффициенты  $K_{h_3}$  на скорость резания в зависимости от износа по задней поверхности для резцов, оснащенных пластинками твердого сплава, при обработке незакаленной стали.

Износ $h_3$ в мм . . . . .	0,8—1	1,5—2
Коэффициент $K_{h_3}$ . . . . .	1	1,33

**Вид токарной обработки.** В зависимости от вида токарной обработки (наружное точение, растачивание, подрезка торца, отрезка) изменяются условия, в которых находится резец в процессе стружкообразования. Так, при растачивании резец находится в более тяжелых условиях, чем при наружном продольном точении. Наряду с тем, что вершина расточного резца работает с наибольшей скоростью, что в данном случае затруднен подвод свежей охлаждающей жидкости и хуже теплоотвод, отрицательным моментом является и то, что расточным резцам, имеющим меньшее сечение державки и большой вылет, приходится работать в менее жестких условиях. Это вызывает прогиб резца и вибрации, а потому при растачивании снимается обычно меньшее сечение среза и снижается скорость резания. Чем меньше диаметр растачиваемого отверстия, тем больше поверхность соприкосновения резца с заготовкой, тем больше износ по задней поверхности за одно и то же время, тем меньшую скорость резания будет допускать расточной резец по сравнению с резцом для наружного продольного точения:

$D$ в мм . . . . .	До 75	75—150	150—250	Св. 250
$K_{D_{rn}}$ . . . . .	0,8	0,9	0,95	1

При поперечном точении (подрезке торца) условия работы для резца более благоприятны, чем при продольном точении, так как резец при подаче от периферии к центру находится под действием наибольшей скорости резания небольшой промежуток времени. По мере перемещения резца к центру заготовки эта скорость уменьшается (см. рис. 17), и в центре она равна нулю. Следовательно, по сравнению с резцом для наружного продольного точения (который находится под действием постоянной, максимальной для поперечного точения скорости резания вдоль всей длины

обрабатываемой поверхности) резец для поперечного точения будет изнашиваться менее интенсивно, а потому скорость резания для него можно назначить более высокой; чем резче перепад между максимальной и минимальной скоростями резания, т. е. чем меньше отношение  $D_0/D$  (где  $D$  — наибольший, а  $D_0$  — наименьший диаметр обработанной поверхности торца), тем более благоприятны условия и выше допустимая скорость резания. Если скорость резания для твердосплавного резца при продольном наружном точении принять за единицу, то для поперечного точения (при тех же или других условиях) скорость резания может быть выражена следующими коэффициентами  $K_{nv}$  :

$D_0/D$ при поперечном точении . . . . .	0—0,4	0,5—0,7	0,8—1,0
Коэффициент $K_{nv}$ . . . . .	1,25	1,2	1,05

В тяжелых условиях работают отрезные (прорезные) резцы (см. рис. 14), так как процесс стружкообразования протекает здесь в менее благоприятных условиях. Малые углы при вершине в плане и незначительные размеры сечения головки отрезных резцов обуславливают плохой теплоотвод. Особенно нагруженными в температурном отношении оказываются уголки резца, что приводит к их сильному износу и, следовательно, к значительному уменьшению скорости резания по сравнению со скоростью резания, допускаемой резцами для наружного продольного точения. Для упрочнения отрезного резца у него делается переходная кромка (см. рис. 116).

Если для отрезки (разрезки) твердосплавным резцом скорость резания принять за единицу, то при прорезке паза (см. рис. 14) скорость резания может быть выражена следующими коэффициентами  $K_{np}$ :

$D_0/D$ при прорезке паза . . . . .	0,5—0,7	0,8—0,95
Коэффициент $K_{np}$ . . . . .	0,96	0,84

Вследствие специфичности условий резания при отрезке рекомендуется обязательно применять смазочно-охлаждающие жидкости, способствующие как повышению стойкости резцов и облегчению выхода стружки из канавки, так и снижению сил резания (что особенно важно для малопрочных и маложестких отрезных резцов). Для твердосплавных отрезных резцов при резании сталей применение охлаждения способствует повышению скорости резания на 40%.

## § 2. Формула для подсчета скорости резания

На основании изложенного выше скорость резания, допускаемая резцом, может быть подсчитана по следующей общей формуле:

$$v_n = \frac{C_v}{T^m t^{x_v} s^{y_v}} K_v \text{ м/мин,}$$



где  $C_v$  — коэффициент, характеризующий обрабатываемый металл и условия его обработки;  $T$  — стойкость режущего инструмента в мин;  $m$  — показатель относительной стойкости;  $t$  — глубина резания в мм;  $s$  — подача в мм/об;  $x_v$  и  $y_v$  — показатели степеней;  $K_v$  — общий поправочный коэффициент на измененные условия обработки по отношению к тем, для которых дается значение коэффициента  $C_v$  ( $K_v$  равен произведению частных поправочных коэффициентов, см. стр. 105—112).

В табл. 5 для некоторых условий обработки приведены значения  $C_v$ ,  $m$ ,  $x_v$  и  $y_v$  для резца из сплава Т5К10. Значения  $C_v$

Таблица 5

Значения коэффициента и показателей степеней в формуле скорости резания (наружное продольное точение, сплав Т5К10)

Материал заготовки	Подача в мм/об	$C_v$	$x_v$	$y_v$	$m$
Сталь конструкционная углеродистая, легированная, $\sigma_B = 75$ кгс/мм <sup>2</sup>	$\leq 0,3$	273	0,15	0,2	0,2
	$\leq 0,75$	227		0,35	
	$> 0,75$	221		0,45	

в табл. 5 даны для стали без корки при резании без охлаждения твердосплавным резцом, с оптимальным значением углов  $\gamma$  и  $\alpha$ , с  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\varphi_1 = 10^\circ$ , с отрицательной фаской на передней поверхности (формы II, III, см. рис. 111), при максимально допустимом износе по задней поверхности.

При других условиях работы на величину коэффициента  $C_v$  (или в формулу скорости  $v_n$ ) необходимо ввести поправочные коэффициенты.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ РЕЗЦОВ  
И НАЗНАЧЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ

§ 1. Оптимальные значения геометрических элементов

**Форма передней поверхности.** Рассмотренные выше основные положения процесса стружкообразования, износа и стойкости режущего инструмента дают возможность обосновать оптимальные значения геометрических элементов режущей части инструмента, при которых стойкость инструмента (при одинаковой величине износа) будет наибольшей. В понятие «геометрические элементы режущей части инструмента», как уже отмечалось, входят углы, форма передней поверхности и режущих кромок. Оптимальное значение геометрических элементов зависит от материала обрабатываемой заготовки и режущей части инструмента, типа инструмента и других конкретных условий обработки.

Наиболее простой формой является *плоская с положительным передним углом* (рис. 111, а). При такой форме не обеспечивается

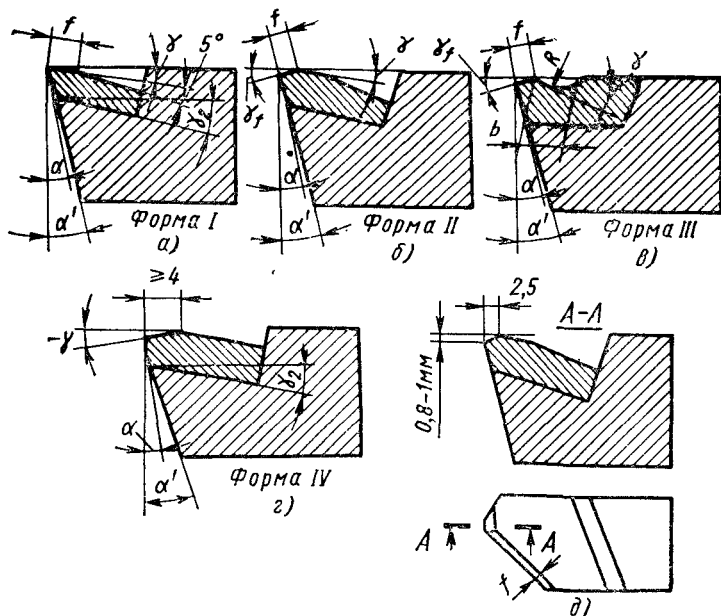


Рис. 111. Формы передней поверхности резцов (сечения а, б, в, г, д — по главной секущей плоскости)

достаточно высокая прочность режущей кромки резца, а потому она может быть использована для условий обработки, при которых силы, возникающие при резании и действующие на единицу длины режущей кромки инструмента, будут относительно невелики. Исходя из этого, форма I используется: 1) для резцов всех типов (с пластинками из быстрорежущей стали и из твердых сплавов) при обработке чугуна и медных сплавов; 2) для резцов из быстрорежущей стали при обработке сталей с подачами до 0,2 мм/об; 3) для фасонных резцов со сложным контуром режущей кромки (вследствие простоты изготовления).

Для облегчения заточки и доводки резца по передней поверхности угол  $\gamma$  целесообразно делать не по всей передней поверхности пластинки, а на площадке шириной  $f = 3 \div 4$  мм, при угле врезания пластинки  $\gamma_2 = \gamma + 5^\circ$ . У резцов, выпускаемых инструментальными заводами в централизованном порядке, угол врезания пластинки принимается  $12^\circ$ .

Для упрочнения наименее прочного и наиболее нагруженного участка резца (около режущей кромки) с углом  $+\gamma$  на некоторой ширине  $f$  от самой режущей кромки делается фаска под углом  $\gamma_f$  (рис. 111, б). Такая форма передней поверхности называется *плоской с фаской*. При образовании нароста фаска является его опорной поверхностью; нарост становится более устойчивым, с более постоянным углом резания  $\delta_1$ , меньшим угла резания по фаске и угла резания резца за фаской ( $\delta_1 < \delta$ , см. рис. 36), что вызывает несколько меньшие силы и тепловыделение и, как результат этого, снижает интенсивность износа резца. Ширина фаски  $f$  делается от 0,2 до 1,2 мм и зависит от толщины среза.

При чрезмерно большой фаске форма II переходит в форму IV (см. ниже). Маленькая фаска может быть быстро уничтожена в результате износа резца от задней поверхности. Величина переднего угла на фаске определяется прочностью (хрупкостью) материала режущей части резца, а потому для резцов из быстрорежущих сталей угол  $\gamma_f = 0 \div 5^\circ$ , для твердосплавных резцов  $\gamma_f = -5 \div -10^\circ$ . Исходя из изложенного, форма II применяется: 1) для резцов из быстрорежущей стали при обработке сталей с подачей  $s > 0,2$  мм за один оборот заготовки (при точении) или за двойной ход (при строгании); 2) для резцов, оснащенных пластинками из твердых сплавов, при резании сталей с пределом прочности  $\sigma_b \leq 100$  кгс/мм<sup>2</sup>, а также с  $\sigma_b > 100$  кгс/мм<sup>2</sup> при недостаточной жесткости системы СПИД.

При резании сталей резцами с формой передней поверхности I или II образуется (особенно при высоких скоростях резания) большое количество малозавитой, опасной и неудобной для транспортирования стружки (рис. 112, а). Кроме того, такая стружка наматывается на заготовку и отдельные части станка, мешая нормальному проведению процесса резания и представляя опасность для рабочего. Для завивания стружки (рис. 112, б) переднюю поверхность делают с выкружкой\* радиусом  $R$  (форма III, рис. 111,

\* Другие способы стружкозавивания см. стр. 155—158.

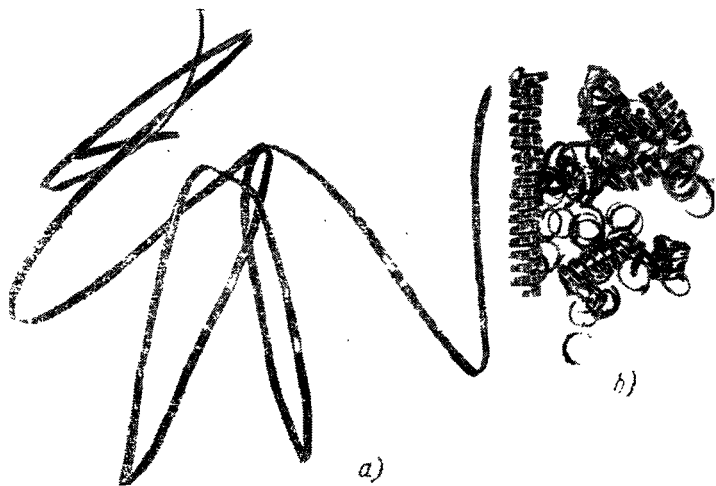


Рис. 112. Вид стружки, полученной при резании:

*а* — резцом, имеющим переднюю поверхность плоскую с фаской; *б* — резцом, имеющим переднюю поверхность радиусную с фаской

*в*). Такая форма называется *криволинейной с фаской*, и она целесообразна: 1) для резцов из быстрорежущей стали всех типов (за исключением фасонных со сложным контуром режущей кромки) при обработке сталей,  $R = 3 \div 18$  мм,  $b = 2,5 \div 15$  мм; 2) для резцов с пластинками из твердых сплавов при обработке стали с пределом прочности  $\sigma_B \leq 100$  кгс/мм<sup>2</sup>,  $b = 2 \div 2,5$  мм;  $R = 2 \div 6$  мм; глубина выкружки 0,1—0,5 мм (выкружка образуется электроискровым способом); угол  $\gamma_2$  равен  $0^\circ$ .

При обработке резцами, оснащенными пластинками из твердых сплавов, более прочных сталей (с пределом  $\sigma_B > 100$  кгс/мм<sup>2</sup>), отливок с коркой и при работе с ударами, т. е. когда на резец будут действовать большие силы, целесообразна форма — *плоская с отрицательным передним углом* (см. рис. 111, *г*).

Для облегчения отвода стружки необходимо применять специальные стружколоматели-завиватели или создать комбинацию углов ( $\gamma = -5 \div -10^\circ$ ;  $\varphi = 60 \div 70^\circ$ ;  $\lambda = +10 \div +15^\circ$ ), при которой обеспечивается хорошее завивание и дробление стружки на мелкие части (при отношении глубины резания к подаче  $\frac{v}{s} \leq 5$ , при  $s > 0,1$  мм/об).

Для резцов с керамическими пластинками при обработке стали и чугуна наиболее эффективными являются формы II и III (см. рис. 111, *б*, *в*);  $f = 0,2 \div 0,3$  мм;  $\gamma_f = -5^\circ$  при резании чугуна;  $\gamma_f = -5 \div -10^\circ$  при резании стали с  $t < 2$  мм,  $s < 0,3$  мм/об;  $\gamma_f = -25^\circ$  при резании стали с  $t \geq 2$  мм,  $s = 0,1 \div 0,7$  мм/об. Наряду с основными формами, показанными на рис. 111, *а—г*, при черновом точении стали с крупными стружками и подачами

$s \geq 1,5$  мм/об применяется плоская форма с фаской (форма *II*), но с дополнительно заточенной площадкой на вершине резца шириной 2,5 мм, со снижением ее на 0,8—1 мм (см. рис. 111, *д*).

**Передний угол.** Суммарное влияние переднего угла на процесс стружкообразования и сопутствующие ему явления может быть выражено зависимостью влияния переднего угла на стойкость инструмента (см. рис. 105 и стр. 106). Снижение стойкости, начиная с некоторого значения  $+\gamma$ , вызываемое уменьшением прочности и износостойкости режущей кромки (вследствие уменьшения угла  $\beta$ ), приводит к выводу, что при обработке твердых металлов (когда в процессе резания на резец будут действовать значительные силы), при обработке прерывистых поверхностей (когда имеет место ударная нагрузка), а также при обработке хрупких металлов (серых чугунов), когда вследствие «сыпучей» стружки надлома нагрузка на резец сосредоточена на участке, близко расположенном к режущей кромке, в целях упрочнения и повышения износостойкости кромки передний угол  $+\gamma$  необходимо уменьшать.

Вследствие хрупкости твердых сплавов передний угол для них нужно брать меньшим, чем для резцов из быстрорежущей стали, а в отдельных случаях (при обработке прочных и твердых металлов) — отрицательным (см. рис. 111, *з*). При положительном значении угла  $\gamma$  пластинка в основном испытывает деформации изгиба и среза (рис. 113, *а*), т. е. деформации, которые плохо выдерживают твердые сплавы. При отрицательном же угле  $\gamma$  пластинка испытывает в основном деформацию сжатия (рис. 113, *б*), которую твердые сплавы хорошо выносят. Отрицательный передний угол не только изменяет характер деформации пластинки (что повышает ее прочность), но также содействует и удалению центра давления стружки от режущей кромки, что особенно важно при ударной нагрузке. При положительном угле  $\gamma$  (рис. 114, *а*), в случае прерывистого резания удар придется на саму режущую кромку. При отрицательном же значении переднего угла (рис. 114, *б*) удар в момент соприкосновения с заготовкой придется не на режущую кромку, вследствие чего она будет меньше подвергаться разрушению. Угол  $-\gamma$  вызывает, по сравнению с углом  $+\gamma$ , повышение сил, действующих в процессе резания (см. рис. 91), что приводит к вибрациям, снижению точности обработки и повышает расход мощности, затрачиваемой на резание, а потому применять резцы с отрицательным передним углом необходимо только в случае крайней необходимости.

Главными факторами, влияющими на величину оптимального значения переднего угла инструмента, оснащенного твердым сплавом, являются предел прочности  $\sigma_B$  обрабатываемой стали и

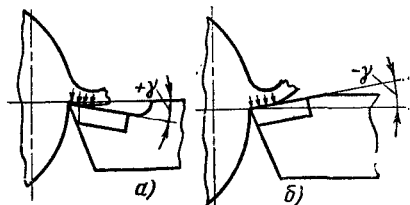


Рис. 113. Схема действия сил на режущую пластинку:

*а* — при положительном значении  $\gamma$ ;  
*б* — при отрицательном значении  $\gamma$

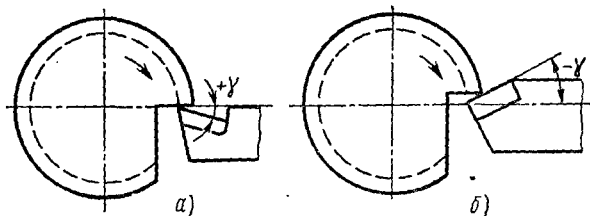


Рис. 114. Соприкосновение заготовки с резцом:  
 а — при положительном значении  $\gamma$ ; б — при отрицательном значении  $\gamma$

твердость  $HB$  обрабатываемого чугуна. Оптимальное значение передних углов приведено в табл. 6.

Таблица 6

Передние и задние углы для резцов

Материал заготовки	Тошение и растачивание резцами с пластинками					
	из твердых сплавов			из стали P18		
	Черное	Чистовое	Угол $\gamma^\circ$	Черное	Чистовое	Угол $\gamma^\circ$
	Угол $\alpha^\circ$			Угол $\alpha^\circ$		
Сталь с $\sigma_B$ в кгс/мм <sup>2</sup> .						
$\leq 80$	8	12	12—15	6	12	25
$> 80$	8	12	10	6	12	20
$> 100$	8	12	—10	—	—	—
Жаропрочные стали и сплавы	10	10	10	8	8	20
Чугун:						
серый	8	10	5	—	—	—
ковкий	8	10	8	—	—	—
Медные сплавы	—	—	—	8	12	12

При обработке закаленных сталей ( $HRC$  35—65) для резцов, оснащенных твердым сплавом, угол  $\gamma = -10 \div -20^\circ$ . Для минералокерамических резцов  $\gamma = 10 \div 15^\circ$  при обработке стали с  $\sigma_B < 70$  кгс/мм<sup>2</sup>;  $\gamma = 10^\circ$  при обработке стали с  $\sigma_B \geq 70$  кгс/мм<sup>2</sup> и чугуна с  $HB < 220$ ;  $\gamma = 0 \div 5^\circ$  при обработке чугуна с  $HB \geq 200$ .

**Задний угол.** Влияние угла  $\alpha$  на стойкость приведено на рис. 106. Чем больше подача, тем меньше оптимальное значение угла  $\alpha$ , при котором стойкость резца наибольшая. Объясняется это тем, что при большей подаче (а следовательно, и большей толщине среза) на режущую кромку будут действовать большие силы, и во избежание ее выкрашивания необходимо иметь больший угол заострения  $\beta$ , что и достигается уменьшением заднего угла  $\alpha$ .

Взаимосвязь между оптимальным значением угла  $\alpha$  и величиной подачи определяется и следующим положением. Особенно большое трение резца о заготовку будет в случае, если радиус округления режущей кромки  $\rho \leq a_p$  (см. рис. 90), так как при

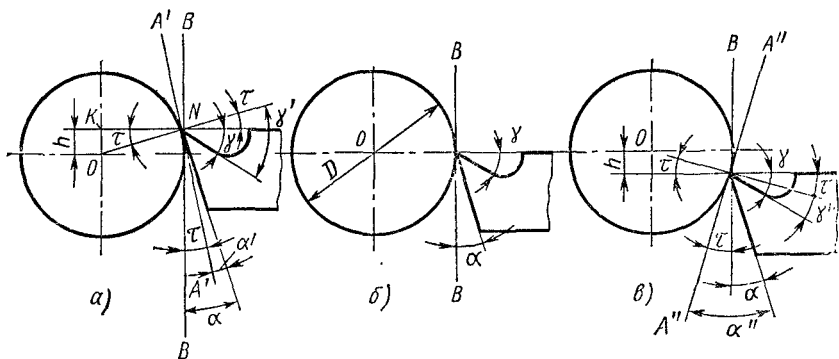


Рис. 115. Влияние установки вершины реза по отношению к оси заготовки на углы

этом кромка не срезает впереди лежащий слой, а скользит по нему и подвергает его сильной деформации\*. Чем тоньше срезаемый слой, тем меньше должен быть радиус округления  $\rho$ . Последний же может быть легко уменьшен\*\* при увеличении заднего угла  $\alpha$  (точнее, при уменьшении  $\beta$ ), а потому чем меньше толщина срезаемого слоя (или подача), тем больше должен быть угол  $\alpha$ . Для резцов оптимальные значения задних углов  $\alpha = 6 \div 12^\circ$ .

На оптимальную величину заднего угла влияют материалы режущей части инструмента и заготовки; чем прочнее первый, тем при большем угле  $\alpha$  режущая кромка выдержит действующие на нее силы резания; чем больше  $\sigma_b$  и  $HВ$  второго, тем больше будут силы резания и меньшим должен быть угол  $\alpha$ .

Значения углов  $\gamma$  и  $\alpha$  могут измениться, если режущая кромка будет смещена относительно оси заготовки. Рассмотрим резец с углом  $\lambda = 0$  и режущей кромкой, параллельной оси заготовки. В этом случае главная секущая плоскость будет проходить перпендикулярно к оси заготовки, и когда резец установлен режущей кромкой (вершиной) по оси заготовки (рис. 115, б), в соответствии с указанными выше определениями, передний угол  $\gamma$  (угол заточки) будет заключен между направлением радиуса, проходящего через вершину реза, и его передней поверхностью. Задний угол  $\alpha$  (угол заточки) заключен между вертикальной линией  $BB$  (след плоскости резания) и задней поверхностью реза. При установке вершины реза выше оси заготовки (рис. 115, а) след плоскости резания  $A'A'$ , нормальный к направлению радиуса, проведенного через вершину реза, будет наклонен к линии  $BB$  на некоторый угол  $\tau$  и действительный задний угол  $\alpha'$  уменьшится, т. е.  $\alpha' = \alpha - \tau$ ; передний угол  $\gamma$ , наоборот, увеличится:  $\gamma' = \gamma + \tau$ .

\* Что резко проявляется при тонких стружках ( $a < 0,01$  мм).

\*\* Уменьшению  $\rho$  содействует и уменьшение шероховатости передней и задней поверхностей инструмента.

При установке вершины резца ниже оси заготовки (рис. 115, в) действительный передний угол уменьшится, а задний увеличится, т. е.  $\alpha'' = \alpha + \tau$ ;  $\gamma'' = \gamma - \tau^*$ .

Угол  $\tau$  может быть определен из треугольника  $OKN$  (рис. 115, а):

$$\sin \tau = \frac{h}{ON} = \frac{2h}{D}$$

Угол  $\tau$  определен при условии, что режущая кромка параллельна оси заготовки и главная секущая плоскость лежит в плоскости чертежа. Если же режущая кромка будет составлять с осью заготовки некоторый угол  $\varphi$  (см. рис. 7), то углы  $\gamma$  и  $\alpha$  у такого резца изменятся на угол  $\tau_\varphi$

$$\operatorname{tg} \tau_\varphi = \operatorname{tg} \tau \cos \varphi,$$

где  $\varphi$  — главный угол в плане.

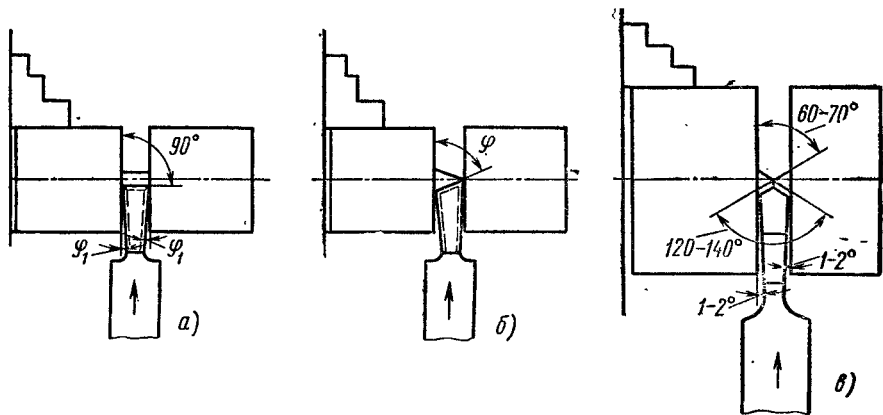
При внутренней обработке (расточивании) при установке вершины резца ниже оси заготовки передний угол увеличится, а задний уменьшится. Резец вершины чаще устанавливают по оси заготовки. Установка выше оси заготовки при наружном точении на величину  $h = (0,01 \div 0,02)D$  допускается лишь при предварительной обработке. При чистовой обработке резец должен быть установлен вершиной по оси заготовки или ниже ее на величину  $h$ , так как, в противном случае, при недостаточной жесткости резца он может изогнуться, врезаться в заготовку и начать срезать слой большей глубины, что приведет к изменению диаметра обработанной поверхности и будет служить причиной брака.

**Главный угол в плане.** Чем меньше главный угол в плане у резца, тем выше его стойкость и допускаемая скорость резания (см. рис. 107). Кроме того, малое значение угла  $\varphi$  (и  $\varphi_1$ ) способствует получению менее шероховатой обработанной поверхности. Но с уменьшением угла  $\varphi$  увеличивается сила  $P_y$  и отжим резца от заготовки; при недостаточной жесткости системы СПИД снижается точность обработки и могут возникнуть вибрации, при которых работать практически невозможно. Поэтому при условиях обработки, не обеспечивающих достаточную жесткость, необходимо принимать большее значение угла  $\varphi$ .

Углы  $\varphi$  и  $\varphi_1$ , полученные при заточке обычного проходного резца, будут теми же по величине и в процессе работы, если тело резца будет перпендикулярно к оси заготовки (см. рис. 7); при развороте резца против движения часовой стрелки угол  $\varphi$  будет увеличен, а угол  $\varphi_1$  уменьшен. У проходных резцов главный угол в плане  $\varphi = 10 \div 30^\circ$  берется в случае обработки в условиях особо жесткой системы СПИД, при отношении длины заготовки  $L$  к диаметру обработанной поверхности  $D_0$  меньше 6 ( $\frac{L}{D_0} < 6$ ) и при малых глубинах резания;  $\varphi = 45^\circ$  берется в условиях достаточно

\* На изменение углов  $\gamma$  и  $\alpha$  влияют также величина подачи и диаметр заготовки (см. стр. 126).





а — с углом  $\varphi = 90^\circ$ ; б — с углом  $\varphi < 90^\circ$ ; в — с двумя режущими кромками

жесткой системы и при  $\frac{L}{D_0} = 6 \div 12$ ;  $\varphi = 60 \div 75$  берется при обработке с ударами, в условиях недостаточной жесткости системы, при  $\frac{L}{D_0} = 12 \div 15$  при многорезцовом точении;  $\varphi = 80 \div 90^\circ$  берется при обработке длинных и тонких заготовок ( $\frac{L}{D_0} > 15$ ), при работе на многорезцовых станках, при растачивании в упор и малых диаметрах отверстий.

У подрезных резцов с твердосплавными пластинками, работающих на проход от периферии к центру (см. рис. 12, б), угол  $\varphi = 30 \div 70^\circ$ . У прорезных и отрезных резцов угол  $\varphi = 80 \div 90^\circ$  (рис. 116, а). При угле  $\varphi = 90^\circ$  во время отрезки правой части заготовки от левой она может отломиться в тот момент, когда резец еще не дошел до центра, и на отрезанной части останется «бобышка», которую затем необходимо удалить (например, с помощью шлифовального круга). На левой части заготовки может получиться раковина, которую также надо будет удалять (специальным торцеванием). При  $\varphi < 90^\circ$  (рис. 116, б) отрезаемая часть отделяется без «бобышки». Оставшаяся на левой части заготовки «бобышка» будет срезана при дальнейшем продвижении резца.

Наиболее нагруженной частью у отрезных резцов вследствие малого угла при вершине в плане являются уголки. Для повышения производительности при отрезке применяют отрезные твердосплавные резцы с двумя симметрично расположенными режущими кромками, имеющими угол  $\varphi = 60 \div 70^\circ$  (рис. 116, в). Вследствие большей массы металла у уголков и более длинной режущей кромки термодинамическая нагрузка на единицу длины режущей

кромки для таких резцов меньше, чем для резцов с углом  $\varphi = 90^\circ$ , а износостойкость и допускаемая скорость резания выше.

**Вспомогательный угол в плане.** Угол  $\varphi_1$ , уменьшая участие вспомогательной режущей кромки в резании, влияет на скорость резания (см. рис. 108) и на шероховатость обработанной поверхности. Поэтому у проходных резцов при чистовой обработке угол  $\varphi_1 = 5 \div 10^\circ$ , при черновой обработке  $\varphi_1 = 10 \div 15^\circ$ . При обработке с подачей в обе стороны (без перестановки резца) и при обработке с предварительным радиальным врезанием  $\varphi_1 = 30^\circ$ . У подрезных отогнутых резцов  $\varphi_1 = 20 \div 45^\circ$ . Для подрезных и отрезных резцов  $\varphi_1 = 1 \div 2^\circ$ . Такое малое значение угла  $\varphi_1$ , как и угла  $\alpha_1$  у отрезных и прорезных резцов, определяется и без того малым сечением головки резца. У специальных резцов с дополнительной режущей кромкой (см. рис. 141) угол  $\varphi_1 = 0^\circ$ .

**Угол наклона главной режущей кромки.** Рассмотрим влияние угла  $\lambda$  на изменение направления отходящей стружки и на место начального соприкосновения срезаемого слоя с режущей кромкой при прерывистом резании.

У проходного резца с углом  $\lambda = 0$ , установленного вершиной по центру заготовки (рис. 117, а), вследствие разных скоростей срезания стружки на периферии  $v_D$  и у обработанной поверхности  $v_{D_0}$  стружка будет отклоняться в сторону обработанной поверхности и будет сходиться в направлении, обратном направлению подачи\*. В еще большей степени стружка будет направляться к обработанной поверхности, и большим будет угол  $\Delta$  для проходного резца с положительным углом  $+\lambda$  наклона главной режущей кромки, установленного вершиной также по оси заготовки (рис. 117, б). Вектор скорости  $v$  для некоторой точки  $M$  режущей кромки, нормальной радиусу  $OM$ , раскладывается на вектор  $v_n$  (нормальный режущей кромке) и вектор скольжения  $v_s$ , направленный вдоль режущей кромки к вершине, т. е. к обработанной поверхности, что и будет способствовать еще большему смещению стружки к обработанной поверхности.

У резца с отрицательным углом  $-\lambda$  наклона главной режущей кромки (рис. 117, в) вектор  $v_s$  будет иметь обратное направление, т. е. от обработанной поверхности к обрабатываемой, что вызовет обратное направление схода стружки. Аналогично углу  $+\lambda$  действует установка резца вершиной ниже оси заготовки (рис. 117, в, угол  $\lambda = 0^\circ$ ), а аналогично углу  $-\lambda$  действует установка резца вершиной выше оси заготовки (рис. 117, д).

При сходе стружки в направлении, обратном подаче, она может наматываться на заготовку и царапать обработанную поверхность,

\* Вследствие разных скоростей  $v_D$  и  $v_{D_0}$  и наличия винтовой поверхности резания вектор истинной скорости срезания не совпадает с вектором скорости вращения заготовки и стружка скользит по резцу не только в главном направлении ее движения, но и вдоль режущей кромки. Поэтому направление схода стружки по резцу (вектор  $v'_D$ ) не будет нормальным режущей кромке, а будет составлять с нормалью некоторый угол  $\Delta$ ,

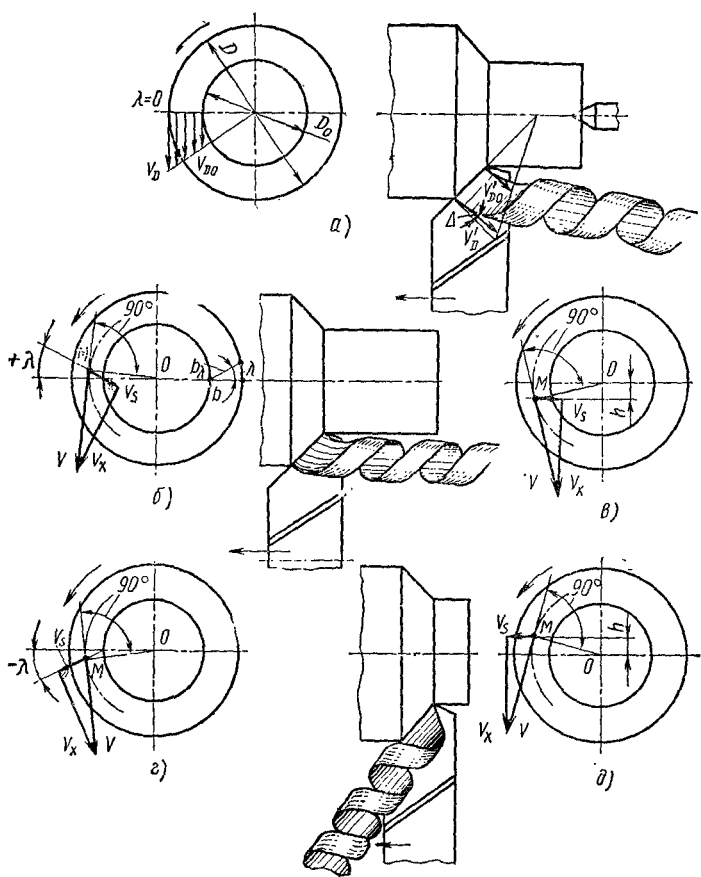


Рис. 117. Влияние угла наклона главной режущей кромки  $\lambda$  на направление отходящей стружки (при  $t > s$ )

мешая при этом наблюдению за процессом обработки. Поэтому у резцов, предназначенных для чистовой обработки, рекомендуется отрицательное значение угла  $\lambda$  (до  $-4^\circ$ ). Но положительное значение угла  $\lambda$  делает головку резца более массивной и стойкой, а потому при обдирочных работах, когда нагрузка на резец большая и когда качество обработанной поверхности не имеет особого значения, рекомендуется положительное значение угла  $\lambda$  (до  $+5^\circ$ ).

На рис. 118 показан резец с  $+\lambda$  и  $-\lambda$  при работе с ударом (прерывистое резание). При отрицательном значении угла  $\lambda$  удар приходится на вершину, являющуюся наименее прочным и самым ответственным местом головки резца. При положительном же значении угла  $\lambda$  удар приходится на удаленный от вершины участок режущей кромки, который более прочен, чем вершина; при этом получается и более плавное врезание резца в заготовку и выход из нее. При наличии угла  $+\lambda$  и отрицательного переднего угла  $-\gamma$

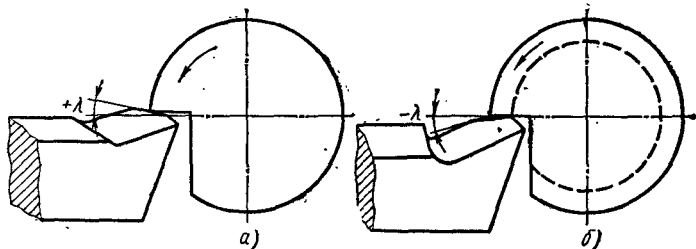


Рис. 118. Соприкосновение заготовки с резцом:  
а — при  $+\lambda$ ; б — при  $-\lambda$

(см. рис. 114, б) разрушающее действие удара на режущую кромку будет сказываться еще меньше.

Наряду с повышением прочности и стойкости резца угол  $+\lambda$  вызывает, однако, увеличение силы  $P_y$  и величины отжима резца от заготовки, а потому большое значение угла  $+\lambda$  необходимо принимать при высокой жесткости системы СПИД, при прерывистом (ударном) резании (от  $+12$  до  $+15^\circ$ ) и при обработке закаленных сталей (до  $+45^\circ$ ), когда нагрузка на режущую кромку повышена. Так как сила  $P_y$  уменьшается по мере перехода от угла  $+\lambda$  к углу  $-\lambda$ , то при нежестких условиях работы в целях исключения вибраций наряду с увеличением главного угла в плане и уменьшением радиуса закругления при вершине резца рекомендуется и отрицательное значение угла  $\lambda$  (до  $-15^\circ$ ).

При  $\gamma = -5 \div -10^\circ$  и  $\varphi = 60 \div 70^\circ$  угол  $\lambda$  делается от  $+10$  до  $+15^\circ$  (в целях дробления стальной стружки на мелкие куски). Угол  $\lambda$  влияет на ширину среза: при  $\lambda \neq 0$  ширина среза больше, чем при  $\lambda = 0$  ( $b_\lambda > b$ , рис. 117, в). Для отрезных и прорезных резцов угол  $\lambda = 0$ .

**Радиус закругления при вершине резца в плане.** С увеличением радиуса  $r$  (рис. 119, а) прочность режущей кромки у вершины и стойкость резца повышаются; при увеличении  $r$  уменьшается шероховатость обработанной поверхности. Однако увеличение радиуса вызывает резкое возрастание силы  $P_y$ , что приводит к увеличению отжима резца от заготовки и к возникновению вибраций, а потому,

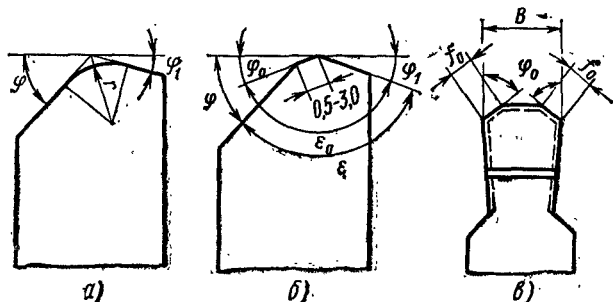


Рис. 119. Сопряжения режущих кромок резца

нельзя назначать большое значение  $r$  при жестких условиях обработки. Для проходных резцов с пластинками твердых сплавов радиус закругления  $r = 0,5 \div 2,5$  мм (в зависимости от сечения державки \* резца  $B \times H$  ( $B$  и  $H$  — ширина и высота державки).

$B \times H$ в мм . . . . .	$10 \times 16, 12 \times 20$	$16 \times 25, 20 \times 32$	$25 \times 40, 30 \times 45$	$40 \times 60$
$r$ в мм . . . . .	0,5	1,0	1,5	2—2,5

Криволинейная форма сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок технологически трудно выполнима, так как, кроме выдерживания радиуса, необходимо образовать на криволинейной поверхности еще и задний угол нужной величины. Поэтому переходная кромка часто выполняется прямолинейной (рис. 119, б), длиной 0,5—3,0 мм под углом  $\varphi_0 = \frac{\varphi}{2}$ , что делает вершину резца достаточно массивной ( $\epsilon_0 > \epsilon$ ) и стойкой.

Задние углы на переходных кромках делаются равными главному заднему углу  $\alpha$ . Длина прямолинейных переходных кромок для прорезных резцов  $f_0 \approx 0,25 B$  (рис. 119, в), а для отрезных  $f_0 = 0,5 \div 1$  мм. При отсутствии прямолинейных переходных кромок радиус закругления при вершинах у отрезных и прорезных резцов  $r = 0,2 \div 0,5$  мм.

## § 2. Влияние подачи на углы резца в процессе резания

Передний и задний углы резца показаны на рис. 7, в момент, когда резец не работает. Эти углы получены после заточки резца в соответствии с назначенной для них величиной. Рассмотрим влияние подачи на эти углы для проходного упорного резца ( $\varphi = 90^\circ$ ), имеющего угол  $\lambda = 0$  и установленного вершиной по оси заготовки.

При продольном точении, когда заготовка вращается, а резец имеет продольное перемещение, поверхность резания представляет собой винтовую поверхность (рис. 120, а). Действительная плоскость резания  $AA$  будет составлять с теоретической плоскостью резания  $BB$  (расположенной вертикально) некоторый угол  $\mu$ , представляющий собой угол подъема винтовой поверхности. В результате этого вместо заднего угла  $\alpha$ , который получен путем заточки, в главной секущей плоскости при резании будет угол  $\alpha' = \alpha - \mu$ . Действительный передний угол в процессе резания  $\gamma' = \gamma + \mu$ .

Винтовая линия при разворачивании ее на плоскости представляет собой гипотенузу прямоугольного треугольника (рис. 120, а), одним из катетов которого является величина подачи, а другим —

\* Минимальное сечение державки определяется исходя из величины сил, действующих на резец в процессе резания (см. стр. 139).

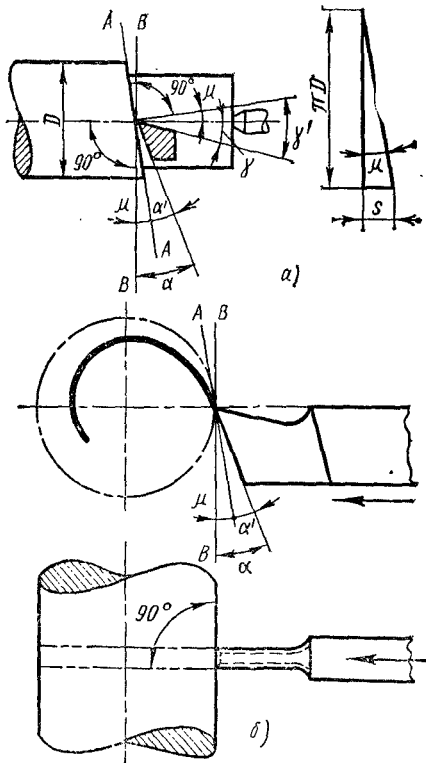


Рис. 120. Углы реза в процессе резания:

а — при продольном точении; б — при поперечном точении (отрезании)

В рассмотренном случае ( $\varphi = 90^\circ$ ) направление подачи совпадало с положением главной секущей плоскости, в которой измеряется угол  $\alpha$  в статическом состоянии. При угле  $\varphi \neq 90^\circ$  этого совпадения не будет, и тогда угол  $\mu_\varphi$  в главной секущей плоскости определится из следующего соотношения:

$$\operatorname{tg} \mu_\varphi = \operatorname{tg} \mu \sin \varphi$$

Действительный задний угол в главной секущей плоскости

$$\alpha' = \alpha - \mu_\varphi.$$

Если образец будет установлен ниже или выше оси заготовки, то необходимо учесть еще и угол  $\tau_\varphi$ , т. е.

$$\alpha' = \alpha - \mu_\varphi \pm \tau_\varphi.$$

Подобное же влияние на действительное значение заднего угла оказывает подача при поперечном точении и при отрезке. Рассмотрим резец с углами  $\varphi = 90^\circ$  и  $\lambda = 0^\circ$  (рис. 120, б). При вращении заготовки и поступательном движении резца точки режущей кромки описывают архимедову спираль, касательная к которой будет действительной плоскостью резания  $AA$ . Чем больше подача и меньше диаметр заготовки, тем круче пойдет спираль и тем больше будет угол  $\mu$  между теоретической  $BB$  и действительной  $AA$  плоскостями резания. Следовательно, дейст-

длина окружности цилиндра, на котором образуется винтовая линия. Из этого треугольника и определится угол подъема  $\mu$ :

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{s}{\pi D}.$$

где  $s$  — подача в мм/об;  $D$  — диаметр заготовки в мм, относящийся к рассматриваемой точке режущей кромки резца.

Угол  $\mu$  возрастает с увеличением подачи и с уменьшением диаметра заготовки. Поэтому чем больше подача, тем меньше будет действительный угол в процессе резания и больше действительный передний.

При обычно употребляемых при точении подачах угол  $\mu$  незначителен (несколько минут), и его влиянием на оптимальное значение углов  $\alpha$  и  $\gamma$  можно пренебречь. При нарезании резьбы этот угол может быть большим, и тогда он принимается в расчет при назначении величины угла  $\alpha$ .

вительный задний угол в главной секущей плоскости  $\alpha' = \alpha - \mu$  будет уменьшаться с увеличением подачи, а также по мере приближения резца к оси заготовки.

По аналогии с ранее приведенным при  $\varphi \neq 90^\circ$   $\operatorname{tg} \mu_\varphi = \operatorname{tg} \mu \sin \varphi$ . При обычном торцовом точении значением  $\mu$  можно пренебречь. При затыловочных же работах  $\mu$  может быть достаточно большим, и тогда этот угол необходимо учитывать. Так как  $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$ , а угол заострения резца  $\beta$  всегда остается величиной постоянной, то с уменьшением заднего угла  $\alpha$  на величину  $\mu_\varphi$  передний угол  $\gamma$  должен увеличиться на эту же величину. Таким образом, во время работы резца в главной секущей плоскости будет иметь передний угол

$$\gamma' = \gamma + \mu_\varphi \pm \tau_\varphi.$$

Основные положения теории резания металлов используются как при конструировании и расчете станков и инструментов, так и при их эксплуатации. В последнем случае это сводится в основном к назначению элементов режима резания с наиболее полным использованием режущих свойств инструмента и кинематических и динамических данных станка, при неизменном условии получения доброкачественной обработанной поверхности.

Назначить основные элементы режима резания — это значит определить глубину резания, подачу и скорость; при этом оптимальными из них будут те, которые обеспечивают на данном станке наименьшую себестоимость процесса обработки. Такой порядок назначения элементов режима резания, когда для заданного инструмента сначала выбирается максимально возможная и целесообразная глубина резания  $t$  (ширина среза), затем максимально возможная подача  $s$ , а потом уже подсчитывается (с учетом оптимальной стойкости и других конкретных условий обработки) скорость резания  $v$ , объясняется тем, что для обычных резцов ( $\varphi_1 > 0$  при  $t > s$ ) на температуру резания, а следовательно, на износ и стойкость резца наименьшее влияние оказывает глубина резания, большее — подача и еще большее — скорость резания.

Для назначения элементов режима резания необходимо знать материал заготовки и его физико-механические свойства; размеры заготовки; размеры детали и технические условия на ее обработанные поверхности; материал и геометрические элементы режущей части инструмента, его размеры, максимально допустимый износ и оптимальную стойкость; кинематические и динамические данные станка, на котором будут обрабатывать данную заготовку.

### § 3. Методика назначения элементов режима резания

**Глубина резания** определяется в основном величиной припуска на обработку. Если, например, после токарной обработки необходимо получить валик диаметром 100 мм, а заготовка имеет диаметр 104 мм, то величина припуска (на сторону)

$$h = \frac{D - D_0}{2} = \frac{104 - 100}{2} = 2 \text{ мм.}$$

Припуск на обработку выгодно удалять за один проход, что и делается при черновой (грубой) обработке, когда к качеству

обработанной поверхности не предъявляется высоких требований; в этом случае глубина резания  $t$  равна припуску  $h$ . При срезании повышенных припусков или при работе на маломощных станках припуск иногда приходится разбивать на части, делая уже не один проход, а больше.

Глубина резания оказывает большое влияние на силы резания, увеличение которых может привести к снижению точности обработки. Поэтому, когда к обработанной поверхности предъявляются повышенные требования, глубину резания назначают меньшей. Так, при получистовой обработке глубина резания назначается в пределах 0,5—2 мм, а при чистовой — в пределах 0,1—0,4 мм.

**Подача.** Для уменьшения машинного времени, т. е. повышения производительности труда, целесообразно работать с максимально возможной подачей с учетом факторов, влияющих на ее величину. При грубой обработке, когда шероховатость, упрочнение и точность обработанной поверхности не являются определяющими, но силы, действующие в процессе резания, могут быть значительными, максимальную величину подачи могут ограничивать прочность и жесткость режущего инструмента (державки, пластинки), жесткость заготовки, прочность деталей механизма подачи и деталей механизма главного движения станка. Подача обычно назначается из таблиц справочников по режимам резания, составленных на основе специально проведенных исследований и опыта работы машиностроительных заводов. Так, при черновом наружном точении чугуна обычным ( $\varphi_1 > 0$ ) резцом с пластинкой из твердого сплава (сечение державки  $20 \times 32$  мм, диаметр заготовки 100 мм, глубина резания до 5 мм) рекомендуемая подача  $s_{\max} = 1,2$  мм/об.

При получистовой и чистовой обработке, когда качество обработанной поверхности должно быть высоким, максимальную величину подачи ограничивает требуемая шероховатость обработанной поверхности, так как чем больше подача, тем более шероховата обработанная поверхность. Величина подачи и в этом случае назначается из таблиц справочников, например, при обработке чугуна резцом с  $r = 1$  мм,  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\varphi_1 \geq 5^\circ$  для получения 6-го класса шероховатости  $s_{\max} = 0,25$  мм/об. После выбора величины подачи из справочников ее корректируют по кинематическим данным станка, на котором будет вестись обработка (берется ближайшая меньшая).

**Скорость резания** определяется по приведенной выше формуле с учетом предварительно назначенной величины оптимальной стойкости.

**Частота вращения шпинделя станка** (заготовки) подсчитывается по найденной скорости резания:

$$n = \frac{1000v_n}{\pi D} \text{ об/мин}$$

и корректируется по станку (берется ближайшее меньшее или большее, если оно не превышает 5%), т. е. находится действительная частота вращения  $n_d$ , с которой будет вестись обработка; по ней подсчитывается действительная скорость резания  $v_d$ .



**Проверка выбранных элементов режима резания.** При черновой обработке назначенная подача обязательно проверяется по прочности деталей механизма подачи станка, а в отдельных случаях (при нежестких и тяжелых условиях резания) — по прочности и жесткости инструмента, жесткости заготовки и прочности деталей механизма главного движения станка. По прочности деталей механизма подачи станка назначенная подача проверяется исходя из следующего. Осевая сила  $P_x$  при данной подаче (и других конкретных условиях резания) должна быть меньше или, в крайнем случае, равна наибольшей силе, допускаемой прочностью механизма подачи станка  $P_{ст}$ , т. е.  $P_x \leq P_{ст}$  (значение  $P_{ст}$  приводится в паспорте станка). В случае, если  $P_x > P_{ст}$ , необходимо уменьшить величину назначенной подачи.

По прочности державки реза назначенная подача проверяется путем сравнения сил  $P_z$  и  $P'_z$  ( $P'_z$  — максимальная нагрузка, допускаемая прочностью державки в опасном сечении). Прочность державки будет достаточна, если  $P_z \leq P'_z$ ;  $P'_z = \frac{BH^2\sigma_{II}}{Gl}$ . Если же окажется, что  $P_z > P'_z$ , то необходимо также уменьшить величину назначенной подачи.

По жесткости державки реза назначенная подача проверяется исходя из следующего. Сила резания  $P_z$  при выбранной подаче и других конкретных условиях резания не должна превышать максимальной нагрузки  $P_{zж}$  допускаемой жесткостью реза, т. е. должно соблюдаться условие  $P_z \leq P_{zж}$ ; если же окажется, что  $P_z > P_{zж}$ , то также необходимо уменьшить величину назначенной подачи (формулу для  $P_{zж}$  (см. стр. 140).

По жесткости заготовки назначенная подача может быть проверена исходя из следующих соображений. Под действием суммарной силы  $R_1$  (см. рис. 88, а) заготовка изгибается. В зависимости от длины, диаметра и способа закрепления заготовки при определенной величине суммарной силы  $R_1$  в результате прогиба заготовки обработанная поверхность получится бочкообразной формы — при двусторонней опоре заготовки (рис. 121, а и б) и конусной формы — при односторонней опоре заготовки (рис. 121, в). Поэтому выбранная подача (совместно с другими условиями обработки) не должна вызвать силы  $R_1$  больше той, которую может допустить заготовка в пределах определенной величины прогиба, т. е. необходимо, чтобы

$$R_1 \leq P_{д.ж}, \quad \text{где} \quad R_1 = \sqrt{P_z^2 + P_y^2}.$$

В случае закрепления заготовки в центрах и когда резец находится посредине ее длины (рис. 121, а), максимально допустимая сила по жесткости заготовки

$$P_{д.ж} = \frac{48EJf}{L^3} \text{ кгс};$$

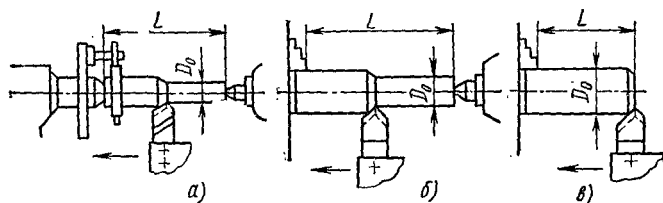


Рис. 121. Виды креплений заготовки при токарной обработке

в случае закрепления в патроне и поджатия задним центром (рис. 121, б)

$$P_{д.ж} = \frac{768EJf}{7L^3} \text{ кгс,}$$

а в случае закрепления в одном патроне (рис. 121, в)

$$P_{д.ж} = \frac{3EJf}{L^3} \text{ кгс.}$$

В этих формулах:  $E$  — модуль упругости обрабатываемого металла, который, например, для углеродистой стали равен 20 000—22 000 кгс/мм<sup>2</sup>;  $J = 0,05D_0^4$  мм<sup>4</sup> — момент инерции сплошного сечения заготовки ( $D_0$  — диаметр обработанной поверхности в первых двух случаях и заготовки в третьем случае, если она одного диаметра, т. е. без уступов, в мм);  $f$  — допускаемая стрела прогиба заготовки в мм; при предварительном точении  $f = 0,2 \div 0,4$  мм, при точении под шлифование  $f \leq 0,1$  мм, при точных работах  $f \leq \frac{1}{5}$  величины допуска на размер обработанной поверхности;  $L$  — расстояние между точками опоры заготовки в первых двух случаях и вылет заготовки из патрона — в третьем случае в мм.

По прочности деталей механизма главного движения станка выбранная подача проверяется сравнением момента от сил сопротивления резанию ( $M_{с.р}$ ) с максимальным моментом, допускаемым станком по слабому звену ( $M'_{вр}$ ). Во избежание поломки слабого звена механизма главного движения должно быть соблюдено условие  $M_{с.р} \leq M'_{вр}$ . Эта проверка может быть проведена также и путем сравнения мощности  $N_{рез}$ , затрачиваемой на резание, с мощностью  $N'_{шп}$  на шпинделе, допускаемой слабым звеном ( $M'_{вр}$  и  $N'_{шп}$  приводятся обычно в паспорте станка); должно быть соблюдено условие  $N_{рез} \leq N'_{шп}$ .

В случае, если окажется, что  $M_{с.р} > M'_{вр}$  или  $N_{рез} > N'_{шп}$ , также необходимо уменьшить величину выбранной подачи.

Так как при полустачевой и чистовой обработке обычными резцами ( $\phi_1 > 0$ ) силы незначительны, то выбранные подачи редко проверяются по прочности и жесткости державки резца, жесткости заготовки, прочности деталей механизма подачи и деталей механизма главного движения станка. Проверку по жесткости заготовки рекомендуется проводить лишь в случае закрепления заготовки только в патроне (рис. 121, в) при большом ее вылете или при других нежестких условиях резания.

Проверка скорости производится исходя из мощности электродвигателя станка, так как может оказаться, что с выбранными основными элементами режима резания вести обработку на данном станке будет невозможно\* (из-за недостаточной мощности). Сначала по приведенной выше формуле (стр. 88) подсчитывают мощность, затрачиваемую на резание  $N_{рез}$  (только вместо  $v$  необходимо подставить действительную скорость резания  $v_d$ , подсчитанную по скорректированной частоте вращения  $n_d$ ), затем необходимую мощность электродвигателя станка  $N_m$  (см. стр. 89), которую и

\* При работе на низкой частоте вращения (примерно на первой четверти от общего числа ступеней оборота шпинделя) проверка должна вестись с учетом прочности слабого звена механизма главного движения станка.

сравнивают с действительной мощностью электродвигателя станка  $N_{ст} (N_m \leq N_{ст})$ .

Если окажется, что мощности электродвигателя данного станка, на котором должна производиться обработка, не хватает, т. е.  $N_m > N_{ст}$ , то необходимо уменьшить скорость резания (частоту вращения шпинделя). Машинное время подсчитывается по соответствующим формулам с учетом действительной частоты вращения и действительной величины подачи.

При назначении элементов режима резания часто используют таблицы и карты справочников по режимам резания, в которых приводятся не только значения подач и данные для подсчета сил и скорости резания, но подсчитаны (для некоторых условий обработки) скорость резания, силы и мощность, потребная на резание; для подсчета применяются специальные приборы и электрошно-вычислительные машины.

Рассмотренный порядок назначения элементов режима резания и основные положения по их выбору (расчету) даны применительно к одноинструментной обработке. При многоинструментной обработке и при работе на станках, встроенных в автоматические линии, на выбор оптимальных элементов режима резания влияет ряд других факторов, и они определяются по специальной методике расчета. При расчетах режимов резания на ЭВМ можно использовать более точные зависимости  $T = f(v)$ , получать развернутые технико-экономические оценки возможных вариантов режимов резания, что позволяет принять наиболее обоснованное решение.

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

### § 1. Рабочая часть инструментов

Представители основных групп режущих инструментов показаны на рис. 122. Каждый из них, несмотря на различную внешнюю форму и назначение, имеет рабочую часть, т. е. часть, которой непосредственно снимается стружка; каждый из инструментов имеет также соединительную (или зажимную) часть. Режущие зубья всех режущих инструментов напоминают резец; даже у такого режущего инструмента, как абразивный круг, кромки зерен тоже снимают стружку.

Под конструированием понимается определение всех размеров и форм режущего инструмента путем расчетов и графических построений. Задача конструктора сводится к следующему: 1) на основании данных учения о резании найти наиболее выгодные углы заточки, определить силы, действующие на режущие поверхности инструмента, подобрать наиболее подходящий материал для изготовления рабочей части инструмента и такую форму рабочей части, которая обеспечивала бы свободное отделение стружки в процессе резания; 2) на основании данных технологии металлов найти наиболее удобную для обработки форму рабочей и соединительной частей инструмента, определить допуски на размеры рабочей и соединительной частей в зависимости от условий работы и требуемой точности обработки детали; 3) на основании данных учения о сопротивлении материалов произвести расчеты рабочей и соединительной частей инструмента на прочность и жесткость; 4) составить рабочий чертеж инструмента и технические условия, внося в чертеж все необходимые данные о форме и размерах инструмента, а в технические условия — допуски, требования, предъявляемые к инструменту, данные для испытания инструмента и т. д.

Для конструирования рабочей части инструментов необходимо знать кинематическую схему резания. Любой режущий инструмент снимает стружку только в том случае, если его режущая кромка перемещается относительно обрабатываемой заготовки. Обычно относительное движение режущей кромок получается в результате сложения абсолютных движений инструмента и заготовки. Если рассмотрим движения, осуществляемые в различных металлорежущих станках, то увидим, что эти движения складываются из поступательных прямолинейных и вращательных движений. Кинематическую схему резания важно знать конструктору для того, чтобы определить действительные значения углов резания, которые при работе инструмента зависят от кинематики резания.

Каждый тип инструмента может иметь различную схему распределения нагрузки. Допустим, намечено изготовить резьбу на валике на токарном станке. Материал впадины можно срезать различными способами. На рис. 123, а и б показано резание при углублении резца перпендикулярно к оси и вдоль одной стороны профиля резьбы. Каждый из указанных способов резания имеет свои преимущества и недостатки, и конструктор должен уметь выбрать наиболее выгодный вариант. Инструментами, предназначенными для обдирочных работ, важно срезать как можно больше материала при наименьших силах и затратах энергии. Инструментом, предназначенным для чистой обработки, важно обеспечить требуемый класс шероховатости и точность изготовления детали.

Различают однолезвийные инструменты (резцы) и многолезвийные (сверла, фрезы и т. д.). Каждый зуб инструмента можно рассматривать как отдельный резец со всеми присущими последнему геометрическими элементами. Переточка зуба инструмента заключается в снятии с него слоя металла, изношенного в про-

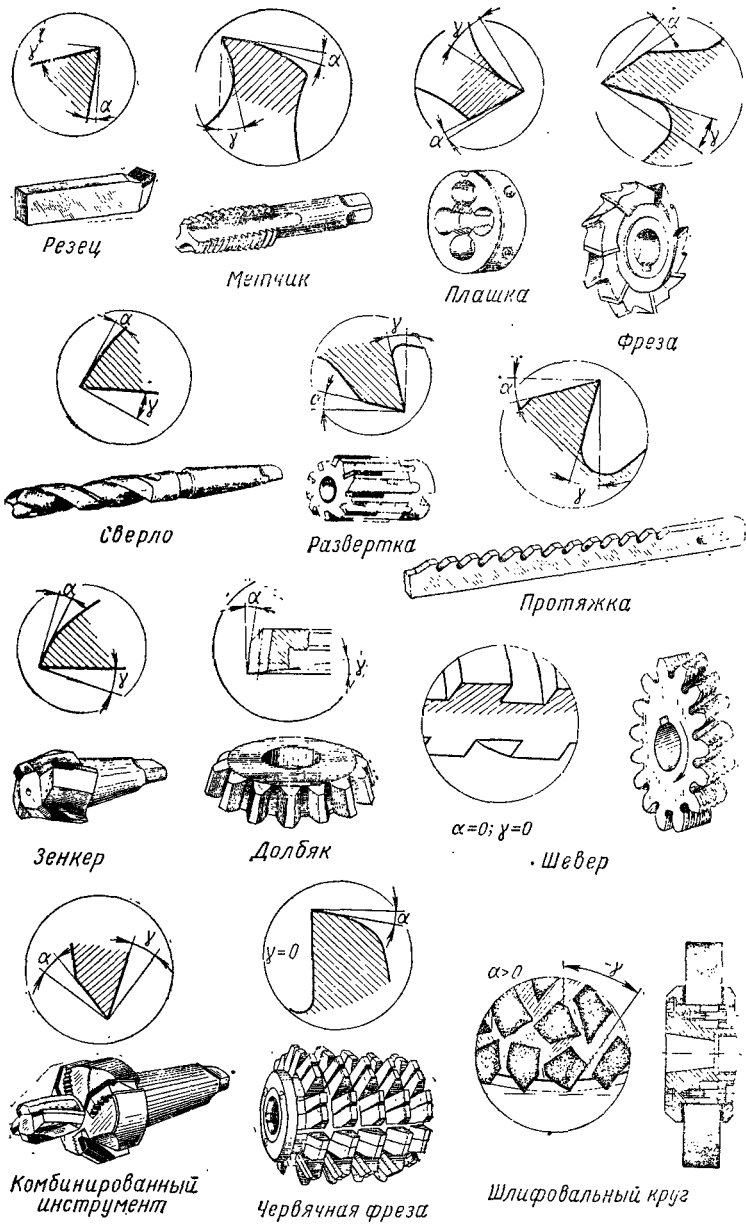
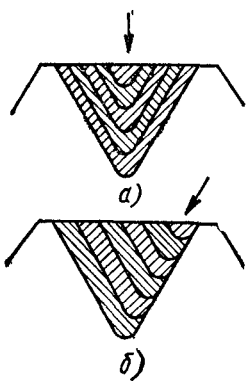


Рис. 122. Представители основных групп режущего инструмента

Рис. 123. Схема резания при нарезании резьбы с углублением резца:

а — перпендикулярно оси; б — вдоль одной стороны профиля резьбы



цессе резания. Переточка, может быть произведена тремя способами: 1) только по задней поверхности; 2) только по передней поверхности; 3) одновременно по задней и передней поверхностям. Применение того или иного метода заточки обуславливается назначением инструмента и условиями его эксплуатации.

Принятый метод затачивания по задней или передней поверхностям определяет основные геометрические размеры зуба инструмента и его форму. Рассматривая условия работы и износа инструмента, конструктор выбирает соответствующий метод затачивания, а следовательно, и форму зуба.

Во время резания происходит интенсивное стружкообразование. Непременное условие хорошей работы режущего инструмента — беспрепятственный отвод стружки от режущей кромки и достаточное пространство для ее размещения. Например, при работе проходного токарного резца стружка, не встречая препятствий на своем пути, свободно отделяется и свободно размещается (рис. 124, а). При резании с высокими скоростями часто приходится искусственным путем создавать препятствия для отвода стружки и вынуждать сливную стружку завиваться отдельными кольцами или ломаться. Для этой цели делают специальные стружколоматели в виде уступов или в виде лунки на передней поверхности резца или других конструкций, обеспечивающих надежное завивание стружки (см. рис. 112, б).

Под закрытым пространством для помещения стружки условимся понимать такое пространство, при котором получаемая в процессе резания стружка не может свободно отводиться и остается в канавке перед зубом. Образующаяся стружка может отходить от режущей кромки по канавкам в теле инструмента (рис. 124, б), например при сверлении. В отдельных случаях прибегают к принудительному отводу стружки. Это можно обеспечить давлением струи охлаждающей жидкости, специальной формой канавки и углом ее наклона. Например, при конструировании гаечных метчиков соответствующим наклоном канавок можно заставить стружку идти в нужном направлении. В **резцах** это достигается выбором соответствующего угла наклона режущей кромки  $\lambda$  (см. рис. 117).

Процесс образования стружки сопровождается выделением значительного количества теплоты, что приводит к интенсивному износу инструмента. Одним из основных принципов конструирования рабочей части инструмента является снижение тепловыделения и обеспечение у проектируемого инструмента более интенсивного отвода теплоты от режущей кромки. При конструировании сложных инструментов приходится обеспечивать правильный отвод теплоты путем изготовления те-

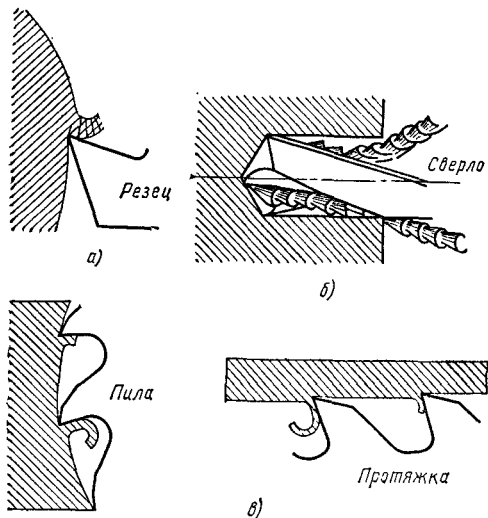


Рис. 124. Виды размещения стружки: а — открытое пространство; б — отвод стружки при сверлении; в — закрытое пространство

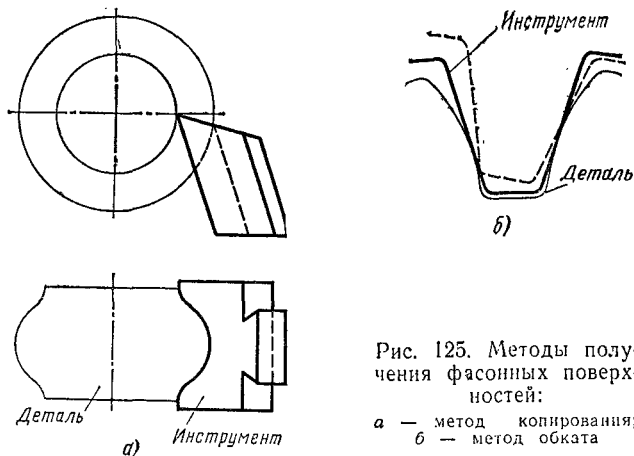


Рис. 125. Методы получения фасонных поверхностей:

а — метод копирования;  
б — метод обкатки

да зуба инструмента достаточных размеров, а также системой каналов для подвода охлаждающей жидкости к режущим кромкам. Примером такой конструкции может служить сверло, изображенное на рис. 194.

Инструмент подвергается действию сил, возникающих в процессе резания. Рабочую часть инструмента — зуб — можно представить в виде балки, один конец которой заделан в корпус инструмента. Форма зуба и энора действующих на зуб сил сложны; поэтому рассчитать зуб на прочность трудно, и такой расчет не всегда производится. Практическая ценность расчета на прочность снижается и потому, что трудно учесть в расчете изменения сил в связи с неравномерной нагрузкой на зубья инструмента (например, при биении фрезы по режущим кромкам часть зубьев не участвует в работе и увеличенная нагрузка приходится на последующие зубья). Однако при конструировании инструментов следует производить хотя бы упрощенный расчет на прочность. Сложнее рассчитать режущий инструмент на жесткость и вибрации. В особо сложных и ответственных случаях производится испытание нескольких различных опытных вариантов конструкции и выбирается лучший из них.

На прочность инструмента влияет термическая обработка. При закалке инструмент получает значительные внутренние напряжения, которые могут привести к трещинам и разрушению инструмента. Концентрация внутренних напряжений происходит в местах резких изменений сечения, в острых углах и т. д. У правильно сконструированных инструментов острые углы и резкие переходы от сечения к сечению совершенно недопустимы. Они снижают прочность в несколько раз и приводят к трещинам и разрушению инструмента в процессе термической обработки.

При проектировании режущих инструментов, предназначенных для обработки сложных и фасонных поверхностей, например резьбы, зубчатых колес и т. д., необходимо определить форму и размеры режущей кромки, так как форма режущей кромки будет обеспечивать получение заданной фасонной поверхности. Обработка фасонной поверхности инструментом может производиться двумя методами. Первый метод предусматривает получение профиля фасонной поверхности прямым копированием поверхности инструмента (рис. 125, а). Второй метод (рис. 125, б) предусматривает получение заданной поверхности детали путем обкатывания. В этом случае профиль детали будет огибающей последовательных положений кромки инструмента.

При проектировании инструмента из голя зрения конструктора не должны выпадать вопросы, связанные с экономичным расходом инструментальных материалов. Сталь для режущего инструмента, особенно быстрорежущая, значительно дороже конструкционной стали, а твердые сплавы в несколько раз дороже быстрорежущей стали. Поэтому в машиностроении получили чрезвычайно широкое распространение такие конструкции режущего инструмента, в которых режущая часть

выполняется из быстрорежущей стали или твердых сплавов, а корпус — из конструкционной стали или инструментальной легированной стали.

Кроме экономного расходования материала, сборный инструмент имеет еще одно важное преимущество перед цельным, а именно: сборный инструмент позволяет производить регулирование размера. Например, у сборной развертки со вставными ножами можно регулировать диаметр развертки после износа путем раздвигания ножей. Регулировка позволяет увеличить срок службы инструмента. Поэтому нередко инструмент делается сборным только для возможности регулирования размера.

## § 2. Соединительная часть инструментов

Соединительная часть режущего инструмента (хвостового или насадного) должна передавать мощность, получаемую от шпинделя станка, на режущую часть инструмента. Если соединительная часть будет недостаточно прочна, т. е. рассчитана неправильно, то она будет лимитировать использование мощности инструментом.

При конструировании соединительной части режущего инструмента важно обеспечить необходимую точность установки инструмента в рабочий шпиндель

Схема закрепления	Назначение соединительной части	Примечание
	Передача крутящего момента	Крепление насадных инструментов на продольной шпонке на цилиндрической оправке
	Передача крутящего момента и восприятие осевой силы	Крепление хвостовых инструментов конусом с затяжкой
	То же	Крепление насадных инструментов (разверток, зенкеров) конусом и торцевой шпонкой
	Передача осевой силы	Крепление протяжек в кулачковом патроне
	Передача крутящего момента и восприятие осевой силы	Крепление хвостовых инструментов штифтовым замком
	То же	Крепление хвостовых инструментов конусом с лапкой

Рис. 126. Наиболее употребительные соединительные части инструмента



(сверла, зенкеры, развертки и т. д.) или в гнездо (резцы фасонные, исжи и т. д.). С этой целью соединительные части инструментов изготавливаются очень точно, чем обеспечивается полная взаимозаменяемость (например, отверстия долбяка, насадной червячной фрезы изготавливаются по 1-му классу точности).

Конструкторы должны выбирать такую форму соединительной части, которая обеспечивает минимальное время, необходимое для закрепления инструмента на станке и даже для закрепления инструмента без остановки шпинделя станка (например, быстрая смена инструмента на сверлильном станке).

Конструкции соединительных частей разнообразны (рис. 126): 1) для хвостовых инструментов с вращательным движением — квадрат на цилиндрическом хвостовике, инструментальный конус с лапкой и без лапки, быстросменные зажимы различных конструкций и т. д.; 2) для насадных инструментов с вращательным движением — цилиндрическое отверстие с продольной шпонкой, цилиндрическое отверстие с торцовой шпонкой, замки различных конструкций, конусы; 3) для инструментов с движением вдоль оси (протяжки, прошивки) — хвостовик с клиновидной чекой, быстросменные замки различных конструкций и т. д. При определении формы и размеров инструмента должен учитываться способ его изготовления. Если, например, предполагается получать спиральное сверло путем прокатки и завивки, а не путем фрезерования, приходится учитывать особенности процесса прокатки и завивки в конструкции сверла.

Обычно при конструировании инструмента все перечисленные вопросы решаются комплексно. В дальнейшем указанные общие вопросы конструирования будут уточнены при рассмотрении отдельных видов инструмента.

**РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ТОКАРНЫХ РЕЗЦОВ  
ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**§ 1. Расчет резцов на прочность и жесткость**

По форме сечения державки резцы делятся на прямоугольные, квадратные и круглые. Резцы прямоугольной формы применяются чаще других, так как при врезании пластинки обеспечивается меньшее снижение прочности державки (в сечении I—I, рис. 127), чем это имеет место у державок квадратного сечения. Резцы прямоугольного сечения применяются с различными соотношениями  $H/B$ . Чаще всего  $\frac{H}{B}$  равно 1,25 и 1,6 при  $B = 10 \div 40$  мм. Для чистовых и получистовых режимов рекомендуется применять резцы с  $\frac{H}{B} = 1,6$ , а для черновых режимов — с  $\frac{H}{B} = 1,25$ . Квадратная форма используется для расточных, автоматнo-револьверных резцов и в других случаях, когда недостаточно расстояние для прямоугольного резца от опорной поверхности резца в резцедержателе до линии центров станка. Круглая форма используется для расточных и резьбовых резцов; она дает возможность поворачивать резцы в резцедержателе. Размеры сечений нормализованы (например, прямоугольные  $10 \times 16$ ,  $12 \times 16$ ,  $12 \times 20$ ,  $16 \times 20$ ,  $16 \times 25$ ,  $20 \times 25$ ,  $20 \times 32$ ,  $25 \times 32$ ,  $25 \times 40$ ,  $32 \times 40$ ,  $32 \times 50$ ,  $40 \times 50$  мм и т. д.).

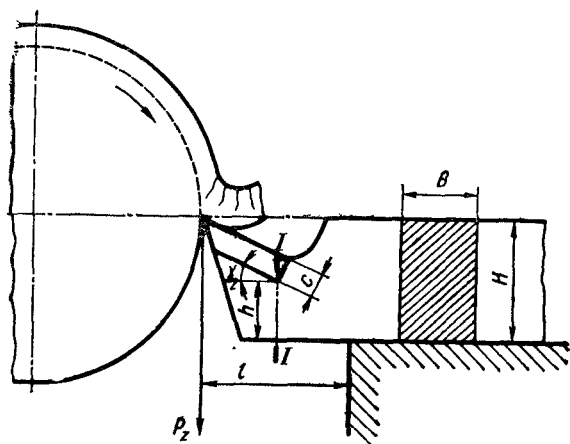


Рис. 127. Схема расположения пластинки в державке

Для определения минимальных размеров сечения державки реза из условия ее прочности необходимо приравнять действующий изгибающий момент максимальному моменту, допускаемому сечением державки, т. е.  $M_{изг} = M_{н'г}$ .

В свою очередь,

$$M_{изг} = P_2 l \text{ кгс} \cdot \text{мм};$$

$$M_{н'г} = \sigma_{н'} W \text{ кгс} \cdot \text{мм},$$

где  $l$  — вылет реза в мм (см. рис. 127);  $\sigma_{н'}$  — допускаемое напряжение на изгиб материала державки в кгс/мм<sup>2</sup>; для незакаленной углеродистой конструкционной стали с  $\sigma_{в} = 60 \div 70$  кгс/мм<sup>2</sup>  $\sigma_{н'} = 20$  кгс/мм<sup>2</sup>; для державок из углеродистой стали, но подвергнутых термической обработке по режиму для быстрорежущей стали, допускаемое напряжение на изгиб примерно в 2 раза выше;  $W$  — момент сопротивления сечения державки реза в мм<sup>3</sup>.

Момент сопротивления прямоугольного сечения

$$W = \frac{BH^2}{6},$$

где  $B$  и  $H$  — соответственно ширина и высота державки реза в опасном сечении в мм.

На основании изложенного можно написать

$$P_2 l = \frac{BH^2}{6} \sigma_{н'},$$

откуда

$$BH^2 = \frac{P_2 l \cdot 6}{\sigma_{н'}}.$$

В державках прямоугольного сечения при высоте  $H = 1,6 B$

$$B(1,6B)^2 = \frac{P_2 l \cdot 6}{\sigma_{н'}},$$

откуда

$$B = \sqrt[3]{\frac{P_2 l \cdot 6}{2,56 \sigma_{н'}}} \text{ мм.}$$

Так как у державок квадратного сечения ширина равна высоте, то

$$BB^2 = \frac{P_2 l \cdot 6}{\sigma_{н'}};$$

$$B = \sqrt[3]{\frac{P_2 l \cdot 6}{\sigma_{н'}}} \text{ мм.}$$

Момент сопротивления для державки круглого сечения

$$W = \frac{\pi d^3}{32} \text{ мм}^3,$$

а потому,

$$P_z l = \frac{\pi d^3}{32} \sigma_{н1}$$

откуда

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 P_z l}{\pi \sigma_{н1}}} \text{ мм.}$$

Приведенный расчет державок на плоский изгиб является простым, но не совсем точным. Здесь учитывается действие одной силы  $P_z$ , да и то только на изгиб. На резец же в процессе резания действуют силы  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$ , вызывающие в державке дополнительные напряжения, в результате чего она работает на сложное сопротивление (см. стр. 86).

Напряжения при сложном сопротивлении выше (по отношению к напряжениям при плоском изгибе от силы  $P_z$ ) примерно в 2 раза, и на их величину влияет угол в плане и конструкция головки резца. В табл. 7 даны допускаемые напряжения при расчете на плоский изгиб, но с учетом сложного сопротивления.

Таблица 7

Допускаемые напряжения  $\sigma_{н}$  (в кгс/мм<sup>2</sup>) для державок из углеродистой конструкционной стали при плоском изгибе (с учетом сложного сопротивления)

Державки	Главный угол в плане в град					
	30	45	60	75	90	45 (огнугнутый)
Незакаленные . . . . .	12	10	8	6,5	5,5	13
Закаленные . . . . .	24	20	1	13	11	26

В некоторых случаях необходимо провести поверочный расчет по жесткости державки резца. Максимальная нагрузка, допустимая жесткостью резца,

$$P_{z,ж} = \frac{3fEI}{l^3}$$

где  $f$  — допустимая стрела прогиба резца в мм (при предварительном точении  $f \approx 0,1$  мм; при чистовом  $f \approx 0,05$ );  $E$  — модуль упругости материала державки резца в кгс/мм<sup>2</sup> (для углеродистой конструкционной стали  $E = 20\,000 \div 22\,000$  кгс/мм<sup>2</sup>);  $J$  — момент инерции державки (для прямоугольного сечения

$J = \frac{BH^3}{12}$ , а для круглого  $J = 0,05d^4$ ;  $d$  — диаметр державки в мм).

При конструировании резца для заданного станка полученные размеры державки (высоту) надо скорректировать с расстоянием от опорной поверхности резца в резцедержателе до линии центров этого станка.

Расчет размеров сечения державки проведен исходя из положения, что опасным сечением является якобы сечение, отстоящее от вершины на расстоянии  $l$ , равном вылету резца из резцедержателя [обычно  $l \approx (1 \div 1,5)H$ ]. Однако чаще всего слабым местом является головка резца в месте выреза под пластинку (см. сечение  $l-l$ , рис. 127), а потому расчет (и проверку) по прочности державки надо вести в том сечении, которое окажется наиболее слабым.

Кроме размеров сечения державки, к габаритным размерам относится длина резцов  $L$  (см. рис. 11), устанавливаемая общесоюзными стандартами в зависимости от поперечного сечения державки ( $L = 100 \div 500$  мм). Величина  $L$  должна назначаться с уче-

том размера головки резца, вылета резца из резцедержателя, размера резцедержателя, числа зажимных винтов (резец должен крепиться не меньше чем двумя винтами) и расстояния между винтами; при выборе длины резца желательнее учитывать и дальнейшее использование державки после, например, окончательного износа твердосплавной пластинки на данной технологической операции.

## § 2. Резцы с пластинками из твердых сплавов

**Резцы с напаянной пластинкой.** По конструкции резцы, оснащенные твердым сплавом, делятся на четыре группы: а) с пластинкой, напаянной непосредственно на державку; б) с механическим креплением пластинки; в) с креплением пластинок силами резания; г) с механическим креплением вставки с напаянной пластинкой.

Формы и размеры твердосплавных пластинок приведены в ГОСТ 2209—69. Одним из способов крепления пластинок к державке является припайка. Нагрев резцов ведется в газовых печах или на установках, использующих т. в. ч. Последний метод является более производительным и качественным. Припоем служит электролитическая красная медь (при нагреве в печах) и сплав: латунь (марки Л68), 5% никеля, 5% ферромарганца (при нагреве в высокочастотных установках). Слой припоя должен быть тонким ( $\sim 0,1$  мм); разрыв слоя припоя не должен превышать 10% его общей длины на отрезных резцах и 20% на проходных и подрезных. Гнезда в державке под пластинку делают открытыми, полузакрытыми, закрытыми и врезными (рис. 128, а—г). Открытое гнездо просто в изготовлении и применяется для резцов большинства типов, полузакрытое гнездо — для пластин, имеющих закругления, закрытые и врезные гнезда — для пластин малых размеров, так как обеспечивают более надежное соединение пластин с державкой.

Важным конструктивным элементом напайного резца является угол врезания пластинки  $\gamma_2$  (см. рис. 127). Исходя из наименьшего объема твердого сплава, снимаемого при переточке по передней и задней поверхностям, наиболее целесообразно расположить пластинку так, чтобы опорная плоскость пластинки была параллельна линии перемещения вершины резца при переточках. При этом положении угол врезания пластинки  $\gamma_2$  должен быть в пределах  $30—45^\circ$ . Но при таком значении угла  $\gamma_2$  уменьшается размер  $h$  в сечении  $I—I$  (см. рис. 127), т. е. уменьшается прочность головки резца, и будет резко сокращаться расстояние от опорной плоскости до вершины резца при переточках. Поэтому в стандартных резцах, выпускаемых централизованно инструментальными заводами, угол  $\gamma_2$  делается равным  $12^\circ$  (см. рис. 11—14), что обеспечивает возможность получения довольно широкого диапазона значения переднего угла резца при относительно небольшом объеме стачивания сплава при переточке и удовлетворительном размере  $h$  (см. рис. 127). При

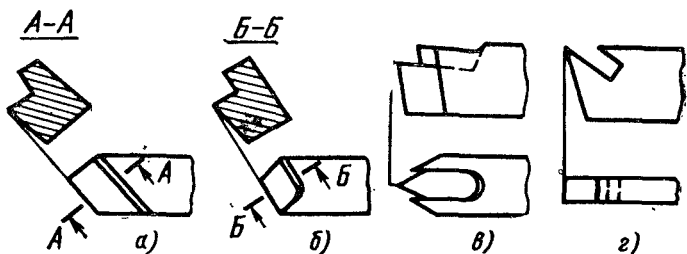


Рис. 128. Форма гнезд под пластинки:

*а* — открытая; *б* — полузакрытая; *в* — закрытая; *г* — врезная

переточке резца по передней поверхности для уменьшения шлифуемой площадки и снимаемого объема твердого сплава угол врезания  $\gamma_2$  делают равным  $\gamma + 5^\circ$  (см. рис. 112, *а*), но при этом для обеспечения достаточной прочности головки резца необходимо, чтобы  $h \geq \frac{2}{3}H$ . Вершину резца обычно располагают на уровне верхней плоскости державки или выше ее, но не более чем на 1—2 мм.

Толщина пластинки  $C$  определяется в основном прочностью пластинки и допусκαемым количеством переточек по передней поверхности. Чем больше силы при резании и интенсивнее износ по передней поверхности, тем больше должна быть толщина пластинки\*. Толщина твердосплавных пластинок делается в пределах 2,5—12 мм. В стандартных резцах (см. рис. 11 и 12) соотношение между толщиной пластинки  $C$  и высотой стержня  $H$  принято следующее:  $C = (0,16 \div 0,20)H$ . Рассмотрим некоторые конструкции напайных твердосплавных резцов.

У прямого проходного резца (см. рис. 11, *а*) с углом  $\varphi = 45^\circ$   $m = (0,5 \div 0,6)B$ . У отогнутого проходного резца (рис. 11, *б*) с  $\varphi = 45^\circ$   $m = 0,2B$ , а  $m_1 \approx 0,5B$ . Для уменьшения вспомогательного угла в плане (у стандартных проходных резцов  $\varphi_1 = 30 \div 45^\circ$ ) по вспомогательной задней поверхности затачивается вспомогательная режущая кромка длиной 2—3 мм под необходимым углом  $\varphi_1$ , как показано на рис. 11, *а* справа. У проходного упорного резца (см. рис. 12, *а*) величина  $m = 4 \div 12$  мм.

У подрезного (торцового) резца (см. рис. 12, *б*) с главным углом в плане  $\varphi = 70^\circ$  и вспомогательным углом  $\varphi_1 = 20^\circ$   $m = 4 \div 16$  мм,  $n = 7,5 \div 23$  мм.

Расточные стержневые резцы (см. рис. 13, *а* и *б*) делаются круглыми на некоторой длине  $l$  и квадратными на остальной части державки (12×12, 16×16, 20×20, 25×25 мм). Наименьший диаметр растачиваемого отверстия для этих сечений державки  $D_{\text{наим}} = 30 \div 65$  мм. Для повышения виброустойчивости В. К. Лаккур предложил расточные резцы (рис. 129), особенностью которых является то, что их главная режущая кромка расположена на ней-

\* Необходимо при этом принимать во внимание и прочность головки резца, так как при увеличении  $C$  уменьшается  $h$  (см. рис. 127).

тральной оси державки. По виброустойчивости эти резцы позволяют работать на более высоких скоростях резания, обеспечивая наименьшую шероховатость обработанной поверхности и повышение производительности труда. Расточные резцы работают при больших вылетах из резцедержателя, что не дает возможности расточному стержневому резцу снимать стружку большого сечения. Поэтому при растачивании глубоких отверстий применяются державочные расточные резцы, закрепленные в специальных оправках (державках). При растачивании глубоких отверстий на токарных станках резцы крепят в державках, показанных на рис. 130.

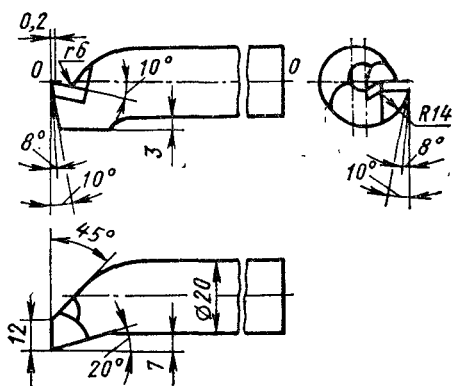


Рис. 129. Расточной резец конструкции В. К. Лакура

Расточные резцы, применяемые на револьверных станках и автоматах, делают круглого сечения и крепят в специальных державках (рис. 131). Регулирование вылета резца производится при отвертывании бокового винта-фиксатора 1 и подвертывании (или отвертывании) упорного винта с внутренним шестигранныком 2.

Расточные резцы для расточных станков делают квадратного и круглого сечений и крепят в державках круглого сечения (борштангах). Крепление может осуществляться с торца (рис. 132, а), винтами сбоку — при растачивании глухих отверстий (рис. 132, б и в) и с помощью конического штифта (рис. 132, г). Для облегчения установки резца в борштанге на размер применяется схема закрепления, приведенная на рис. 133. При установке резца 2 на необходимый размер  $x$  нужно отвернуть винт 3, вынуть резец с регулировочным винтом 4 из борштанги 1, отвернуть винт-фиксатор 5 и, ввертывая или вывертывая регулировочный винт 4, отрегулировать размер  $x$ . После этого завертывается винт-фиксатор 5, и резец готов к установке в борштангу.

Кроме рассмотренных расточных резцов, для растачивания отверстий применяют специальные пластинчатые резцы, резцы-блоки, расточные головки и плавающие резцы.

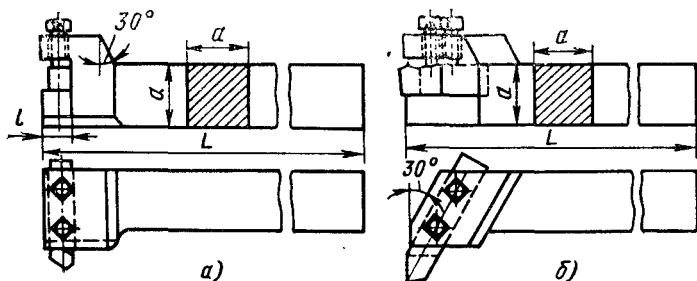


Рис. 130. Державки для резцов:

а — с прямым закреплением; б — с косым закреплением

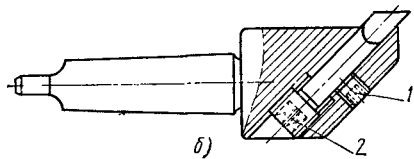
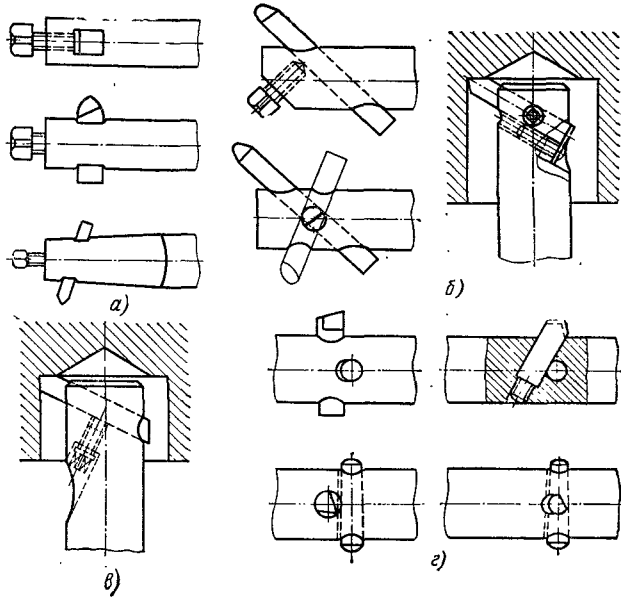
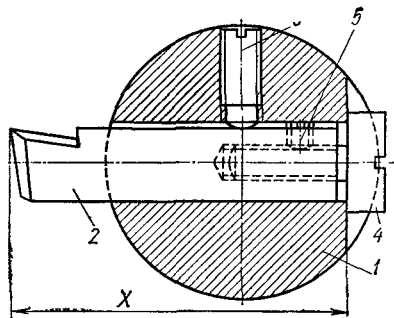


Рис. 131. Расточные резцы, закрепленные в специальных державках:  
*а* — для сквозных отверстий; *б* — для глухих отверстий





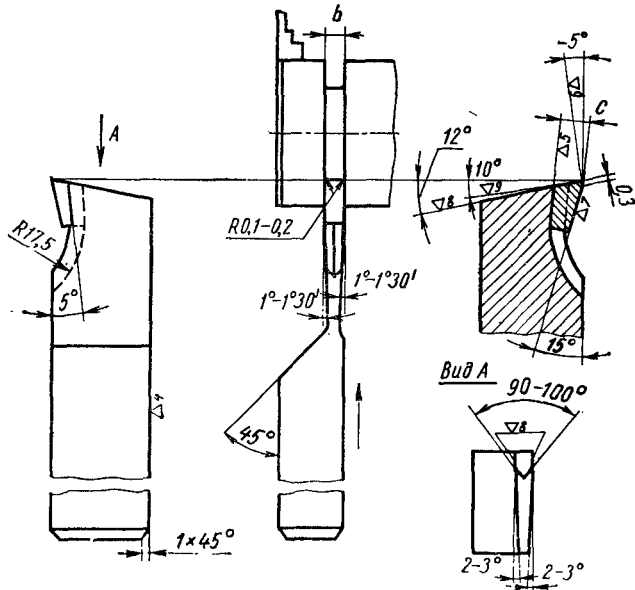


Рис. 131. Отрезной резец с V-образным соединением пластинки

Стандартные отрезные резцы (см. рис. 14) имеют режущую кромку  $b = 3, 4, 5, 6, 8$  и  $10$  мм ГОСТ 18884—73; ориентировочно  $b_1 = 0,6 D^{0,5}$ , где  $D$  — диаметр заготовки в мм. Длина головки зависит от размера отрезаемого материала; у резцов, изготавливаемых централизованно,  $l = (0,75 \div 0,9) H$ . (Для уменьшения ослабления головки угол врезания пластинки принят не более  $12^\circ$ .) Крепление твердосплавной пластинки у отрезного резца по плоскости, как показано на рис. 14, не обеспечивает высокой прочности из-за малой площади припайки (вследствие малой ширины  $b$ ). Для повышения прочности крепления пластинки с державкой предложено V-образное соединение (рис. 134), для чего основанию пластинки и пазу державки придается угловая форма. Площадь припайки в этом случае увеличивается в 1,5 раза (по отношению к пластинке с плоским основанием), а боковые стенки клиновидного паза державки служат дополнительными опорами, препятствующими боковому сдвигу пластинки. Это позволяет вести обработку с более высокими режимами резания, т. е. повышать производительность труда.

Опасным сечением у отрезных резцов является узкая часть головки (на расстоянии  $l$ ); по этому сечению их и рассчитывают на прочность. Для повышения прочности головки делают большего размера по высоте (по отношению к высоте державки резца); усиленная часть головки имеет призматическую (рис. 135, а) или закругленную форму (рис. 135, б). Усиление головки достигается

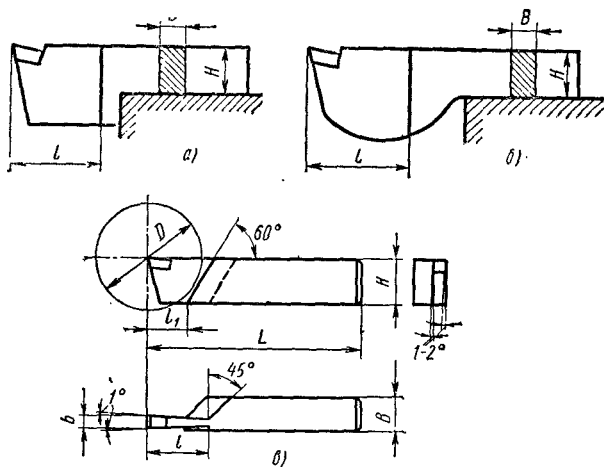


Рис. 135. Конструкции отрезных резцов с усиленной головкой:

*а* — призматической формы; *б* — закругленной формы; *в* — призматической формы со скосом

также фрезерованием скоса на державке под углом  $60^\circ$  (рис. 135, *в*).

**Резцы с механическим креплением пластинок.** Припайка твердосплавных пластинок к державке часто вызывает трещины пластинок. Трещины образуются в результате дополнительных напряжений, возникающих вследствие неравномерного охлаждения пластинок и различного линейного расширения твердого сплава и материала державки инструмента\*. Эти трещины снижают прочность пластинок и способствуют их интенсивному выкрашиванию и разрушению во время работы. Наряду с образованием трещин в пластинках дополнительные напряжения вызывают и отслаивание пластинок, что также снижает качество инструмента\*\*. К недостаткам напайных резцов относится и то, что для завивания стальной стружки в спираль малого радиуса и излома ее на мелкие части (см. рис. 112) необходимо или делать на передней поверхности специальные лунки и уступы, или применять специальные стружколоматели-стружкозавиватели (см., например, рис. 144 и 145). Велик и расход стали, идущей на изготовление державок напайных резцов (из-за удаления материала державки при переточках и сложности использования державок после окончательного использования твердосплавной пластинки). В связи с указанными недостатками напайных резцов в промышленности находят применение и другие, более рациональные конструкции резцов, рассматриваемые ниже.

\* Температурный коэффициент линейного расширения у твердых сплавов примерно в 2 раза меньше, чем у углеродистой конструкционной стали.

\*\* В настоящее время изготавливают режущий инструмент (в первую очередь резцы) с клеевым соединением, позволяющим устранить дефекты пайки,

**Резцы с многогранными неперетачиваемыми пластинками.** В промышленности находят применение резцы с механическим закреплением многогранных твердосплавных пластинок. Разработаны трех-, четырех-, пяти- и шестигранные твердосплавные пластинки, предназначенные для обработки стали и чугуна (ГОСТ 19042—73 ÷ ГОСТ 19086—73). Конструкции резцов позволяют использовать эти пластинки для углов  $\varphi$ , равных 45, 60, 75 и 90°.

На рис. 136 представлен резец с шестигранной пластинкой. Он состоит из державки 1 с запрессованным в нее штифтом 4. Последний имеет бочкообразную форму верхней части и пасеченную нижнюю часть, что повышает надежность закрепления пластинки и снижает требование к точности изготовления отверстия в державке под запрессовку штифта. Сменная подкладка 2 из твердого сплава имеет отверстие с конической поверхностью, получаемой при прессовании подкладки. Закрепляется она в гнезде державки штифтом 4, для чего последний имеет конический участок головки. Многогранная пластинка 3 из твердого сплава крепится расклиниванием ее между штифтом и задней опорной стенкой державки с помощью клина 5 и винта 6 (угол клина 20—30°).

Пластинка, изображенная на рис. 136, имеет выкружки вдоль всех режущих кромок (форма I), получаемых при прессовании пластинки. Это обеспечивает положительное значение переднего угла при резании, удовлетворительное завивание и удачный отвод стружки. Кроме пластинок с выкружками, применяют также пластинки без выкружек, плоские (форма II). Они используются в крупносерийном и массовом производстве при работе на полу-

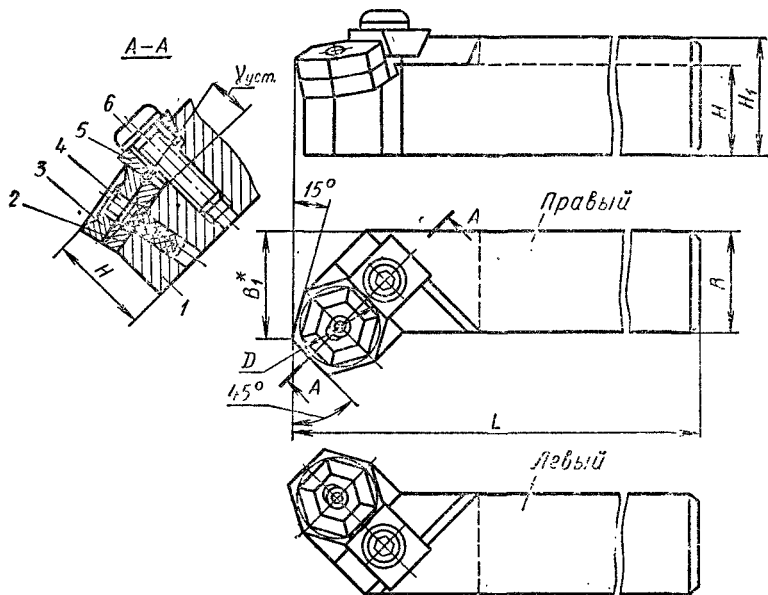


Рис. 136. Схема установки многогранной пластинки в корпусе резца

автоматах, автоматах и агрегатных станках. Для обеспечения отвода сливной стружки и получения положительных значений переднего угла на переднюю поверхность таких пластинок наносят мелкоразмерные лунки доводочным диском.

Задний угол  $\alpha$  образуется за счет установки пластинок в державке под углом  $\gamma_{уст}$  ( $7-8^\circ$ ) к основной плоскости резца. Новые пластинки затачивают только по фаскам (вдоль режущих кромок, по верхнему торцу) на доводочном чугунном диске с применением пасты карбида бора или алмазными кругами. После затупления (поочередно) всех режущих кромок пластинка больше не перетачивается (возвращается в переработку); в державку вставляется новая пластинка.

Компактность, надежность в работе, удобство обслуживания, простота конструкции, долговечность державок и простота их восстановления в случае повреждения при разрушении пластинки, удовлетворительный отвод стружки, экономия в расходах на инструмент — делает эти резцы приемлемыми для широкого внедрения, особенно при получистовой и чистовой обработке.

Универсальные резцы применяются для наружного точения и подрезки торцов, на универсальном оборудовании и на станках с ЧПУ; они могут быть использованы при обработке чугуна, конструкционной и высоколегированной стали.

На основе нового принципа конструирования (неперетачиваемость) созданы не только токарные проходные, расточные, резьбовые, автоматнo-револьверные, копировальные для станков с программным управлением, канавочные и отрезные резцы, но и торцовые фрезы, зенкеры, расточной инструмент и др.

**Выбор формы и расчет параметров установки многогранной пластинки.** Форма многогранной пластинки характеризуется числом граней  $n$ . Выбор формы пластинки обусловлен углами в плане  $\varphi$  и  $\varphi_1$  главной и вспомогательной режущих кромок.

$$n = \frac{360}{\varphi + \varphi_1}.$$

В случае, если значение  $n$  по формуле получается дробным, то оно округляется до целого числа с последующей корректировкой значения вспомогательного угла в плане по формуле

$$\varphi_1 = \frac{360 - n\varphi}{n}.$$

Положение многогранной пластинки на державке резца (рис. 137) определяется поворотом ее относительно основной плоскости вокруг оси  $T-T$  на угол  $\mu$ . Ось поворота  $T-T$  повернута на угол  $\psi$  относительно направления подачи. Поворот производится в плоскости  $BF$  (нормальной оси  $T-T$  и основной плоскости) и расположенной под углом  $\beta$  к проекции главной режущей кромки  $AB$ . С помощью поворота пластинки на угол  $\mu$  обеспечивают необходимые задние углы  $\alpha$  и  $\alpha_1$ , определяемые соответственно в главной (сечении  $I-I$ ) и вспомогательной (сечение  $II-II$ ) секущих плоскостях.

Задача определения параметров установки многогранной пластинки на державке резца сводится к нахождению углов  $\mu$  и  $\beta$ . Рассечем пластинку плоскостью, параллельной основной плоскости и отстоящей от вершины резца  $B$  на расстоя-

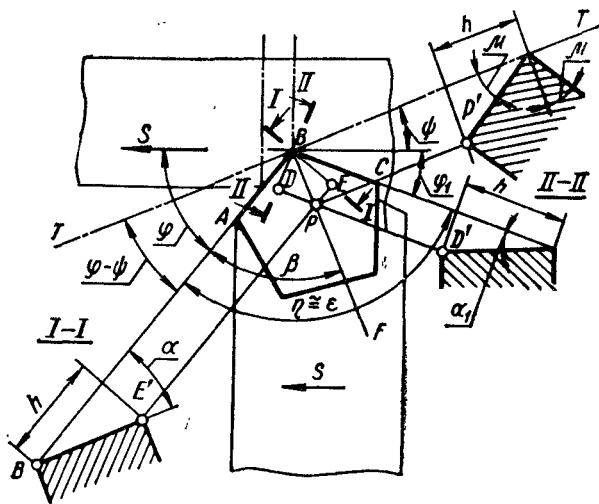


Рис. 137. Резец с механическим креплением неперетачиваемой твердосплавной шестигранной пластинки

нии  $h$ . В сечениях  $I-I$  и  $II-II$  точки  $E'$  и  $D'$  являются следами пересечения этой плоскости с задними поверхностями. Точки  $E'$  и  $D'$  в проекции пластинки на основную плоскость изображены линиями  $EP$  и  $DP$ , параллельными соответствующим проекциям режущих кромок на основную плоскость. Из прямоугольных треугольников  $BDP$  и  $BEP$  (не учитывая угла  $\lambda$ ) имеем

$$PB = \frac{BD}{\sin(\eta - \beta)} = \frac{BE}{\sin \beta}.$$

Так как  $BD = h \operatorname{tg} \alpha_1$ ;  $BE = h \operatorname{tg} \alpha$ , то, подставляя эти значения в предыдущую формулу и решив полученное уравнение относительно  $\beta$ , получим

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\operatorname{tg} \alpha \sin \eta}{\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha \cos \eta},$$

где  $\eta \approx \epsilon = 180 - (\varphi + \varphi_1)$ .

Значение искомого угла  $\mu$  определяем по формуле

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{BP}{h}.$$

Подставив значение  $BP = h \operatorname{tg} \alpha$ , получим окончательно

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sin \beta}.$$

Геометрические параметры резцов с многогранными неперетачиваемыми пластинками представлены в табл. 8.

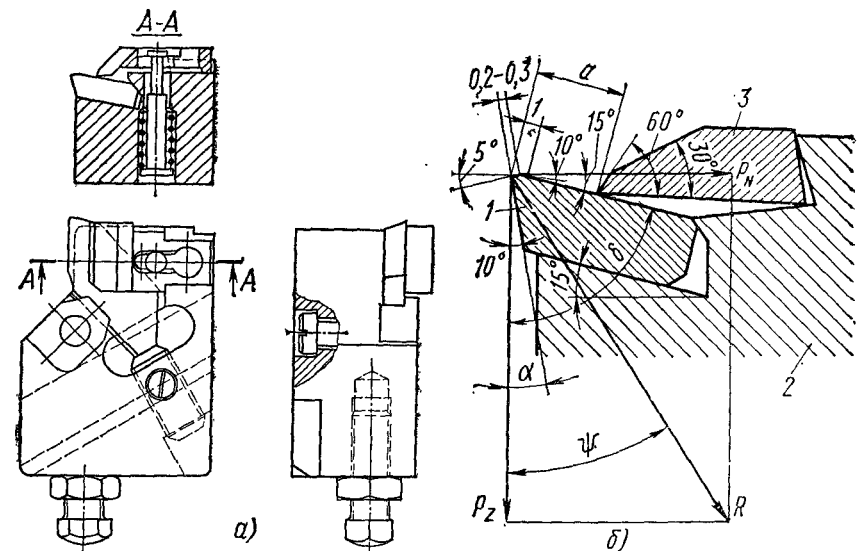


Рис. 138. Закрепление пластинок при помощи сил, действующих на резец при резании (конструкции ВНИИ):  
 а — конструкция проходного резца с  $\varphi = 90^\circ$ ; б — схема действующих сил на рисующую пластинку

Таблица 8

Геометрические параметры резцов

Резец	Углы в плане		Передние углы		Задние углы	
	$\varphi^\circ$	$\varphi_1^\circ$	$\gamma_{уст}^\circ$	$\gamma^\circ$	$\alpha^\circ$	$\alpha_1^\circ$
Трехгранный . . . . .	90	10	12	12—17	7,5	7,5
Четырехгранный . . . . .	45	45	10	10—15	10	4
Пятигранный . . . . .	60	12	10	12	8	8
Шестигранный . . . . .	45	15	10	10	10	5

Резцы с креплением пластинок при помощи сил, действующих при резании.

На рис. 138, а показана конструкция проходного резца с углом  $\varphi = 90^\circ$ . На пластинку 1 (рис. 138, б), свободно лежащую в гнезде державки 2, действуют  $P_z$  — тангенциальная сила, или сила резания, и  $P_N$  — равнодействующая сил  $P_x$  и  $P_y$ , отталкивающая резец от поверхности резания. Равнодействующая этих сил  $R$ , направленная под углом  $\psi$ , при  $\alpha < \psi < \delta$  проходит через опорную поверхность и прижимает пластинку 1 к державке. При  $\psi < \alpha$  пластинка будет опрокидываться вниз (против часовой стрелки), а при  $\psi > \delta$  пластинка будет подниматься (по часовой стрелке).

Наибольшее значение  $\psi$  будет при тонких стружках и работе затупленным лезвием (до  $65^\circ$  при толщине среза 0,025 мм). Если врезать пластинку под углом  $75^\circ$  ( $\delta = 75^\circ$ ), то передняя поверхность будет составлять с горизонталью  $15^\circ$ .

\* Применяется в станках автоматических линий.

(рис. 138, б). При толщине среза более 0,3 мм наименьшее значение  $\psi = 19^\circ$ . Таким образом, при  $\psi_{\min} = 19^\circ$  и  $\psi_{\max} = 65^\circ$  легко соблюдать условие  $\alpha < \psi < \delta$ ; при этих условиях обработки сила  $R$  будет прижимать пластинку к державке. Для того чтобы  $\alpha < \psi < \delta$  при угле врезания пластинки  $15^\circ$  (с горизонтально) пластинка на участке шириной 1 мм может быть заточена под углом  $+10^\circ$ , в результате чего прирезцовая сторона стружки будет упираться в стружкозавиватель 3 несколько выше его опорной кромки. Для упрочнения режущей кромки доводится фаска шириной 0,2—0,3 мм под углом  $\gamma_f = -5^\circ$ . Стружкозавиватель 3 имеет двойную переднюю поверхность под углами 30 и  $60^\circ$ , что обеспечивает устойчивое завивание или дробление стружки на небольшие участки.

Стружкозавиватели отливаются из быстрорежущей стали, а для большей износостойкости и меньшей свариваемости со стружкой передняя к стружке поверхность упрочняется карбидом бора. В процессе работы пластинка и стружкозавиватель прижимаются к державке силами резания и не требуют добавочного закрепления. Вылет режущей кромки (при указанных на рис. 138, б геометрических элементах) во избежание вывертывания пластинки не должен превышать 1,4 мм.

Наряду с устранением напайки, быстросменностью затупленной пластинки, отсутствием заточки державки этот способ позволяет уменьшить и разрушение пластинок при неожиданной остановке станка, когда резец еще находится под стружкой. Последнее объясняется тем, что в этот момент давление на переднюю поверхность резко уменьшается. Однако вследствие обратного воздействия упругих деформаций в звеньях передачи от электродвигателя к шпинделю произойдет поворот заготовки на некоторый угол в направлении, обратном главному движению. Это вызовет напряжения изгиба в пластинке в направлении от задней поверхности резца к разрушенной передней поверхности, что может привести к разрушению пластинки при жестком ее закреплении в державке. При свободно лежащей пластинке (закрепление силами резания) она повернется (приподнимается) по часовой стрелке. Основные недостатки этой конструкции: 1) переточ-

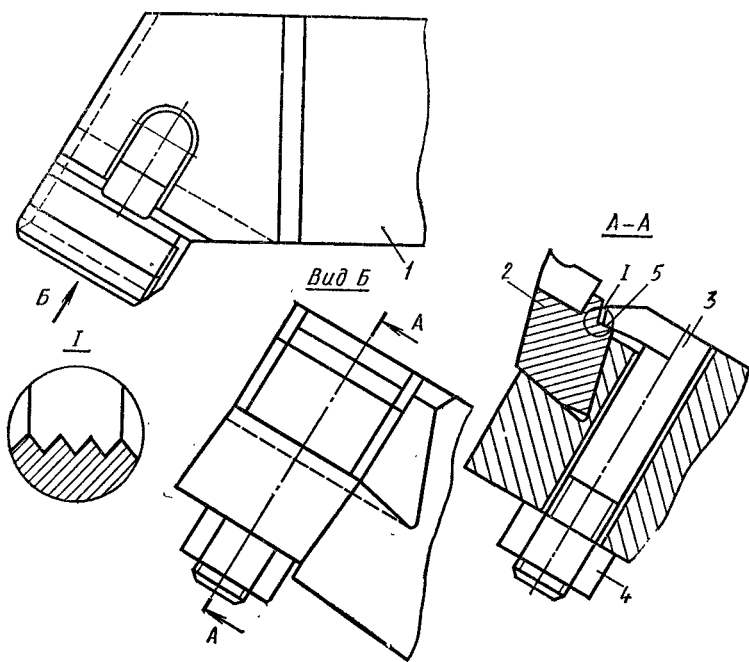


Рис. 139. Сборный крупногабаритный резец (конструкции ВНИИ)

ка должна производиться только по задней поверхности; 2) невозможность восстановления державки в случае ее повреждения при разрушении пластинки.

При работе на обычных токарных станках эти резцы применяются редко, но они оказались эффективными в станках автоматических линий в связи с возможностью быстрой замены затупленных пластинок и наладки инструмента на необходимый размер (см. стр. 404).

**Резцы с механическим креплением вставки с напаянной пластинкой.** В промышленности находят применение разработанные ВНИИ сборные резцы с механическим креплением сменного ножа-вставки, оснащенной пластинкой из твердого сплава (рис. 139). Пластинка из твердого сплава припаивается к ножу-вставке. Но если у напайного цельного резца с пластинкой из твердого сплава при переточках удаляется большой объем материала державки, то здесь этот объем незначителен. Кроме того, наряду с сокращением расхода материала на изготовление державок можно более производительнее осуществлять припайку пластинок и их переточку после затупления.

ВНИИ разработал новую базовую конструкцию сборных крупногабаритных резцов. На рис. 139 показана принципиальная схема резца. Резец имеет державку 1, нож 2 и гайку 4. На задней стороне ножа сделан уступ 5, на который при затягивании гайки 4 давит прихват 3, заклинивая тем самым нож в угловом пазу. В особо тяжелых условиях работы уступ на ноже может быть снабжен поперечными рифлениями, сопрягающимися с рифлениями на головке прихвата. По этой схеме крепления разработаны правые и левые токарные проходные резцы с рабочей высотой 45, 60, 80 мм и  $\varphi = 45, 60, 90^\circ$ , а также торцово-подрезные резцы. Режущие ножи изготавливают двух видов — с твердосплавной пластинкой, напаянной вдоль задней поверхности или вдоль передней поверхности. Первое исполнение предназначено для обработки деталей с переменным припуском, второе — для обработки деталей со снятой коркой и равномерным припуском. Данная конструкция крупногабаритных резцов по сравнению с более ранними конструкциями экономична, технологична и проста в обслуживании.

На рис. 140 показана конструкция крупногабаритных сборных резцов Уралмашзавода, в которой также используется сменная вставка (вкладыш) с напаянной твердосплавной пластинкой. Однако вставка закрепляется иначе. Вкладыш имеет хвостовик формы ласточкина хвоста с уклоном 1:6. В державке имеется соответствующее гнездо. Ввиду простоты конструкции и быстроты смены вкладыша (помимо всех тех преимуществ, о которых сказано выше) резцы конструкции Уралмаша нашли применение в тяжелом машиностроении.

**Резцы для работы с увеличенными подачами.** Значительного повышения производительности труда за счет увеличения подачи можно достичь применением специальных резцов, оснащенных пластинками из твердого сплава, со вспомогательным углом в плане  $\varphi_1 = 0^\circ$  на режущей кромке длиной не менее  $(1,1 \div 1,2) s$  (рис. 141). Резцы такой конструкции предназначены в основном для полустойковой обработки с подачей до 5 мм/об при максимально возможной, по условиям работы, скоростью резания\*. Такие высокие подачи позволяют сократить на некоторых операциях машинное время в 3—15 раз по сравнению с обработкой обычными резцами.

При работе этими резцами подача, как правило, обычно больше глубины резания ( $s > t$ ) и основная работа приходится на ре-

\* Для обеспечения необходимой шероховатости обработанной поверхности рекомендуется  $v \geq 50$  м/мин за зоной усиленного наростообразования.



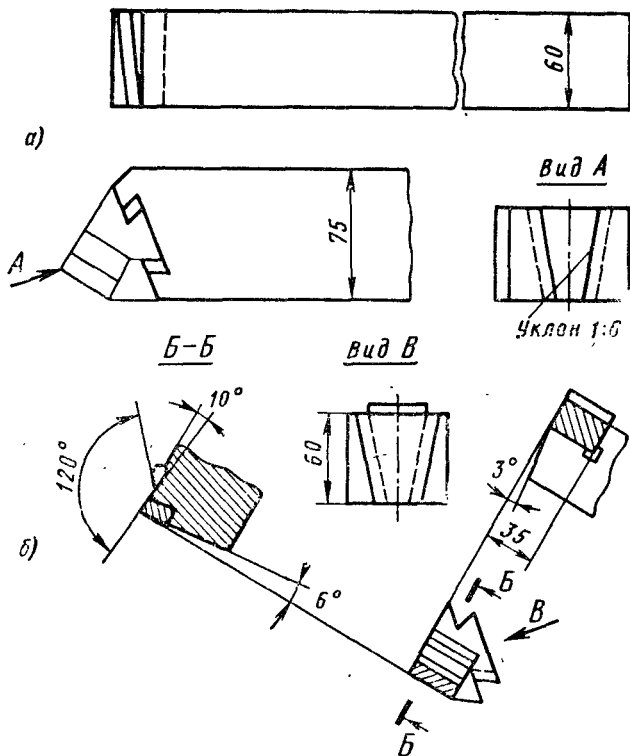


Рис. 140. Сборный резец с клиновым креплением вкладыша конструкции Уралмашзавода:  
 а — державка; б — вкладыш

жущую кромку с углом в плане  $\varphi_1 = 0$ . Для получения высокого класса шероховатости обработанной поверхности эта кромка должна быть строго прямолинейной, хорошо доведенной и параллельной линии центров. Установка резца производится обычно на просвет, по предварительно чисто обработанному пояску или по шлифованной пластинке, положенной на поверхность этого пояска, а также по цилиндрической части заднего центра станка. Но в связи с большой силой  $P_v$ , действующей в процессе резания, для резцов с углом  $\varphi_1 = 0$  требуется повышенная жесткость системы СПИД. Поэтому, во избежание вибраций, при обработке сталей с  $\sigma_B = 60 \div 75$  кгс/мм<sup>2</sup> соотношение между длиной заготовки  $L$  и диаметром  $D$  должно быть  $\frac{L}{D} \leq 10$ . При  $\frac{L}{D} > 10$  рекомендуется применять люнеты; уменьшению вибраций содействуют и другие факторы, рассмотренные выше (повышение жесткости системы СПИД, уменьшение вылета резца, применение виброгасителей).

Для обеспечения стружкозавивания и схода стружки в сторону обрабатываемой поверхности на передней поверхности делается

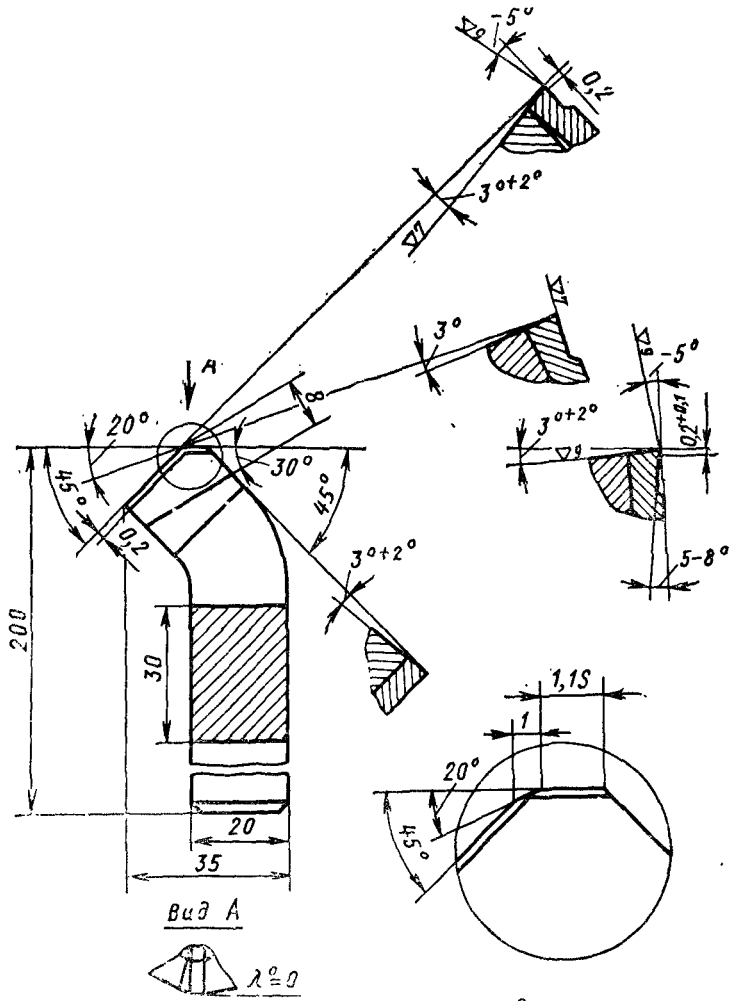


Рис. 141. Резец с углом  $\varphi_1 = 0$

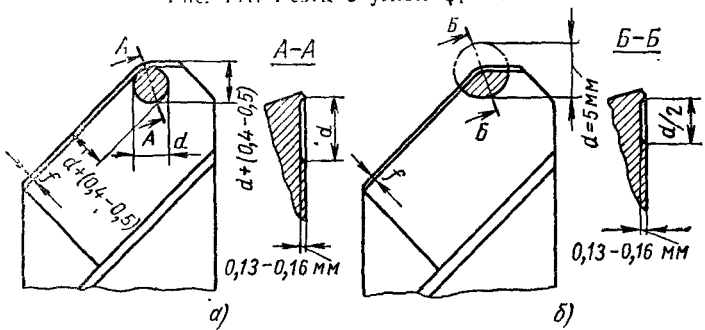


Рис. 142. Лунки на передней поверхности резца (для стружкозавивания у резцов с  $\varphi_1 = 0^\circ$ )

стружкозавивательная канавка-уступ, направленная под углом  $30^\circ$  к режущей кромке с  $\varphi_1 = 0$ . Можно применять и накладной стружколоматель или делать специальные лунки (рис. 142). Работа на повышенных подачах не вызывает значительного снижения срока службы станка, и для этого могут быть использованы почти все токарные станки. Для станков с  $N_{ст} = 7 \div 10$  кВт резание с большими подачами (при  $s > t$ ) дает наибольший эффект при  $t = 0,5 \div 1,5$  мм.

### § 3. Стружколоматели (стружкозавиватели)

**Стружкозавивание с помощью лунок.** При резании сталей на высоких скоростях большое значение приобретает стружколомание (стружкозавивание). Применяют методы стружколомания (стружкозавивания) с помощью лунок, образуемых на передней поверхности резца, уступов, затачиваемых на передней поверхности; накладных стружколомателей, а также кинематический метод стружколомания.

Лунки (см. рис. 111, в и рис. 142, а, б), образуемые на поверхности резца абразивной заточкой или электроискровым методом, способствуют завиванию стружки в спираль малого радиуса и ломанию ее на небольшие отрезки (см. рис. 112, б). Размеры лунок приведены на рис. 142. Наряду с повышенным расходом твердого сплава к недостаткам таких лунок относится и трудность их изготовления, так как тонкие шлифовальные круги быстро осыпаются, теряют свою форму и требуют частой правки; довольно сложен процесс образования лунок и электроискровым способом с помощью медного или латунного электрода.

Для устранения отмеченных недостатков в промышленности находят применение резцы с мелкой лункой, получаемой на передней поверхности твердосплавных пластинок притиркой их бронзовым или чугунным диском, шаржированным карбидом бора (рис. 143, а). Такие лунки хорошо зарекомендовали себя при точении, растачивании и подрезании заготовок из конструкционных и легированных сталей с  $s \geq 0,25$  мм/об при угле  $\varphi = 45^\circ$  и  $s \geq 0,2$  мм/об при  $\varphi = 90^\circ$  глубина резания  $t = 0,5 \div 1,5$  мм. Ширина фаски  $f$  (рис. 143, а) при  $s \leq 0,6$  мм/об на  $0,1-0,2$  мм меньше величины подачи; при  $s > 0,6$  мм/об  $f = s$ ; расстояние  $K = 0,1 \div 0,6$  мм. Длина лунки  $l$  больше ширины стружки на  $0,5-1,5$  мм. Схема заточки (доводки) мелкой лунки показана на рис. 143, б. Скорость вращения диска  $60-90$  мм/мин; время доводки  $15-30$  с. Так как оптимальные размеры лунки во многом зависят от элементов режима резания, то наиболее целесообразно их применять в крупносерийном и массовом производстве при постоянстве элементов режима резания и централизованной заточке резцов.

**Стружкозавивание с помощью уступов.** Уступы на передней поверхности (см. рис. 141) получают шлифованием или электроискровым методом. Стружка, упираясь в такой уступ, завивается в спираль малого радиуса и ломается на неболь-

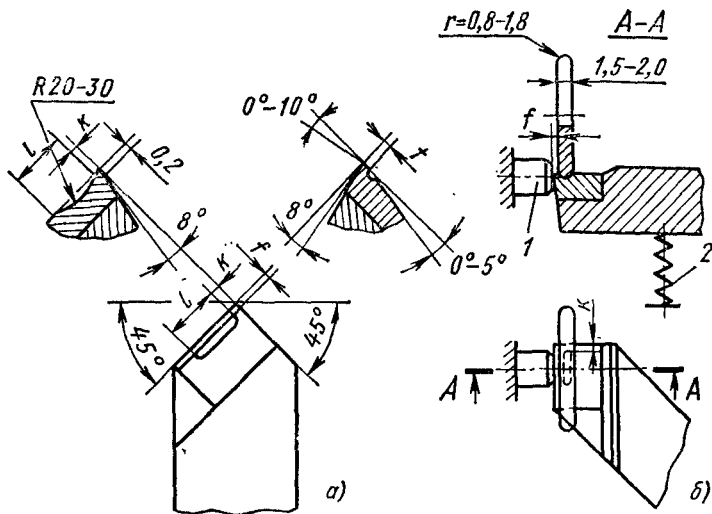


Рис. 143. Резец с мелкой лункой:  
1 — шаблон для установки реза; 2 — пружина

шие кусочки, особенно интенсивно при  $s \geq 0,25$  мм/об. Стружколоматель с уступом усложняет изготовление реза, повышает расход твердого сплава и обеспечивает надежное стружколомание только при вполне определенных размерах, соответствующих конкретным элементам режима резания, а потому в настоящее время применяется редко.

**Накладные стружколоматели.** Накладные стружколоматели позволяют легко регулировать основные размеры для надежного стружкозавивания, при этом сама твердосплавная пластинка никаким дополнительным заточкам не подвергается.

У резцов с механическим закреплением пластин и вставок роль регулируемого стружколомателя выполняет прижим с впаянной в него пластинкой твердого сплава.

Простым, но в то же время надежным, является накладной стружколоматель конструкции МАИ (рис. 144). На переднюю поверхность 1 реза кладется пластинка-стружколоматель 2, сделанная из стали 45 и имеющая криволинейный профиль. На рабочую поверхность этого профиля для повышения износостойкости стружколомателя наплавляется слой стеллита (ВЗК) толщиной 2—3 мм. Стружколоматель имеет профрезерованный паз, через который проходит крепежный болт 3. Стружколоматель обеспечивает устойчивое стружколомание, при обработке вязких сталей с глубиной резания  $t = 1 \div 10$  мм, подачей  $s = 0,08 \div 2$  мм/об и  $v = 50 \div 600$  м/мин. Завивание и ломание стружки на мелкие куски происходит не в плоскости, нормальной к передней поверхности реза (как, например, у стружколомателя на рис. 139), а в плоскости, параллельной направлению подачи. Стружколоматель, показанный на рис. 144, успешно применяется не только при продольном точении, но и при подрезке торцов.

Во избежание попадания стружки под стружколоматель он должен плотно прилегать по всей передней поверхности реза.

Рассмотренные выше накладные регулируемые стружколоматели имеют тот недостаток, что не дают возможности устанавливать

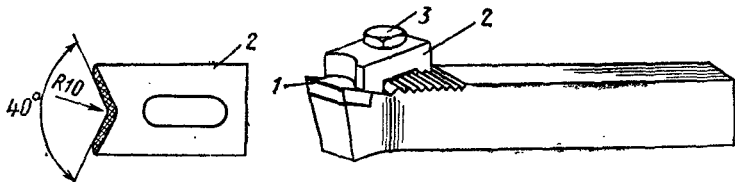


Рис. 144. Накладной стружколоматель конструкции МАИ

их под различным углом  $\lambda$ . Этот недостаток устранен в универсальном стружколомателе конструкции ВНИИ (рис. 145), устанавливаемом на резцедержателе станка. Наряду с поворотом вокруг вертикальной оси головка 1, вставленная в стержень 2, может поворачиваться вокруг горизонтальной оси (при отвертывании винта 3), что и позволяет устанавливать головку на передней поверхности резца под различным углом  $\lambda$ . При износе головки-вставки 1 или при ее повреждении она легко может быть заменена новой.

Надежное стружколомание осуществляется при соответствующей комбинации углов  $\gamma$ ,  $\lambda$ ,  $\phi$  (см. стр. 49). Для резцов с углом  $\phi = 90^\circ$  стружкозавивание наблюдается при следующих геометрических элементах режущей части:  $\lambda = +15^\circ$ ;  $\gamma = +5 \div +10^\circ$ ;  $f = 1$  мм:  $\gamma_f = -5^\circ$  (форма II, см. рис. 111);  $r = 1$  мм:  $\alpha = \alpha_1 = 8^\circ$ .

**Кинематический метод стружколомания.** При дополнительном возвратно-поступательном перемещении инструмента в направлении движения подачи стружка будет иметь различную толщину, что и будет вызывать ее легкое разрушение в наиболее тонких местах. Кинематический способ обеспечивает гарантированное дробление стружки независимо от обрабатываемого материала, геометрии инструмента, его износа и изменения условий резания. При этом стружка дробится на отдельные куски, длина которых зависит от соотношения скорости резания и числа циклов движения инструментов. Этот метод осуществляется: а) при дискретном резании с периодическим выключением подачи при непрерывном вращении детали; б) при осциллирующем точении, когда инструменту с непрерывным движением подачи сообщается дополнительное возвратно-поступательное движение в направлении подачи.

На автоматах с кулачковым приводом дробление стружки по методу дискретного резания осуществляется соответствующим профилированием кулачков. При осциллирующем точении наряду с постоянной подачей осуществляется дополнительное движение инструмента по гармоническому колебательному закону. На рис. 146 представлены принципиальные схемы устройств для осциллирующего точения. Каретка 1 с резцом приводится от синусоидального кулачка 2, соединенного кинематической цепью со шпинделем станка или с индивидуальным приводом 3.

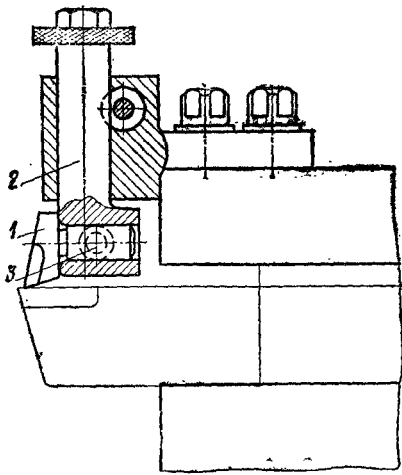


Рис. 145. Стружколоматель конструкции ВНИИ

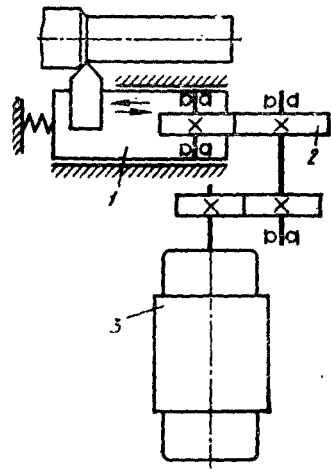


Рис. 146. Кинематический метод стружкодробления

Рассмотренные конструкции стружколомателей способствуют уменьшению возможности получения травмы рабочим от стальной стружки.

Для защиты от чугунной и бронзовой стружки применяют отсасывающие устройства, специальные ограждения (кожухи, экраны) и индивидуальные средства защиты (очки, козырьки). Для удобства наблюдения за работой в ограждениях предусматривается смотровое окно, в которое вставляется высокопрочное стекло.

#### § 4. Минералокерамические резцы

Минералокерамические резцы делают напайными, с механическим закреплением пластинок и закреплением их силами резания.

В напайных резцах (рис. 147) минералокерамическая пластинка припаивается к державке в закрытый или врезной паз (красной медью и другими припоями). Возможна и приклейка минералокерамических пластинок клеем БФ1 с микроасбестом, но, как и припайка, этот метод не является надежным. Напайным минералокерамическим резцам присущи все недостатки напайных твердосплавных резцов, усиливающиеся тем, что прочность припайки керамических пластин еще ниже, чем твердосплавных. Поэтому напайные или склеенные минералокерамические резцы применяют редко.

На рис. 148 приведена одна из конструкций механического крепления минералокерамической пластинки. В державке 1 выстрагивается паз под углами 70° и 80°. Керамическая пластинка 2 прижимается к корпусу клином 3, затягиваемым винтом 4. Такое

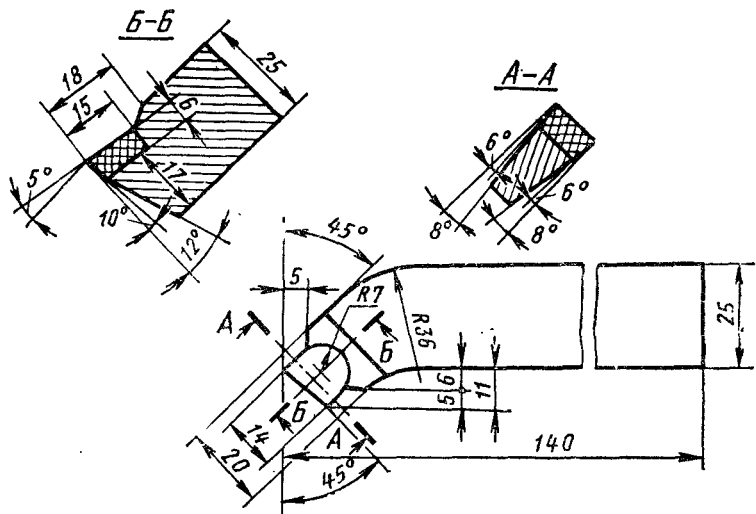


Рис. 147. Отогнутый проходной резец с напаянной керамической пластинкой

зажатие пластинки с боков целесообразно, так как вследствие большой хрупкости минералокерамики она легко может быть разрушена, если зажать пластинку сверху. В пластинку упирается винт 6, ввернутый в палец 5, который запрессован в державке. По мере переточки пластинки ее ширина уменьшается; подвертыванием винта 6 регулируется вылет пластинки, который не должен превышать 0,5—0,8 мм.

Другие конструкции механического крепления минералокерамических пластинок аналогичны конструкциям крепления твердосплавных пластинок. Наиболее рациональной из них является конструкция с механическим креплением многогранных минералокерамических пластинок, подобная креплению твердосплавных многогранных пластинок (см. рис. 137). Такие резцы с плоскими керамическими пластинками применяют в основном для чистовой обработки чугуна и закаленной стали; пластинки с выкружками вдоль режущих кромок используют для чистовой обработки.

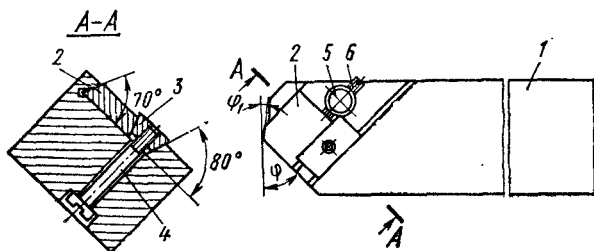


Рис. 148. Резец с механическим креплением керамической пластинки

Методы стружкозавивания для минералокерамических резцов те же, что и для твердосплавных. Геометрические элементы режущей части и элементы режимов резания для минералокерамических резцов приведены в соответствующих справочниках.

## § 5. Алмазные резцы

Алмазные резцы, имеющие высокую размерную стойкость и обеспечивающие получение высококачественной обработанной поверхности (по 1-му классу точности, до 13-го класса шероховатости, почти без упрочнения), находят все более широкое применение при тонком точении и растачивании цветных металлов и неметаллических материалов. При резании черных металлов алмазные резцы, как правило, имеют низкую стойкость, что вызывается диффузией атомов углерода в обрабатываемые углеродосодержащие материалы.

Станки для алмазной обработки (токарные, алмазорасточные) должны быть жесткими, точными, высокоскоростными, с хорошо уравновешенными вращающимися деталями и с кинематическими данными, позволяющими установить оптимальное значение скоростей резания и подачи, приведенных в табл. 9.

Таблица 9

Скорость, подача и глубина резания при работе алмазными резцами

Материал заготовки	Скорость резания в м/мин	Подача в мм/об	Глубина резания в мм
Алюминий	400—500	0,01—0,05	0,1—0,15
Сплавы алюминия	600	0,01—0,05	0,05—0,1
Латунь	400—500	0,02—0,07	0,03—0,06
Баббит	400—500	0,02—0,05	0,05—0,15
Бронза:			
оловянистая	300—400	0,03—0,06	0,05—0,25
свинцовистая	800	0,02—0,04	0,025—0,05
Медь	350—500	0,01—0,04	0,1—0,3
Титан	100—300	0,02—0,05	0,03—0,05
Магний и его сплавы	800—1000	0,02—0,1	0,1—0,4
Пластмассы	500—700	0,03—0,06	0,05—0,3

Алмазные резцы делают двух типов: а) с напаянным алмазом (рис. 149); б) с механическим креплением алмаза (рис. 150). Масса применяемых алмазов для резцов 0,5—0,8 карата\*. Режущая кромка алмазного резца должна быть расположена так, чтобы равнодействующая сил резания не проходила по плоскостям спайности алмаза. Передняя поверхность у алмазных резцов делается плоской. При обработке заготовок из латуни, алюминия и антифрикционных сплавов  $\gamma = 0^\circ$ ,  $\alpha = 12^\circ$ ,  $r = 0,3 \div 0,6$  мм; при обработке заготовок из бронзы и твердых алюминиевых сплавов  $\gamma = -8^\circ$ ,  $\alpha = 8^\circ$ ,  $r = 0,6 \div 1,5$  мм. Главный угол в плане  $\varphi = 45 \div 90^\circ$ ,

\* 1 карат равен 0,2 г.



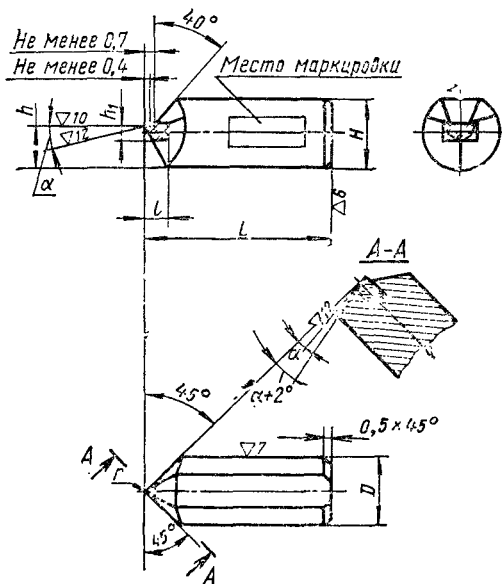


Рис. 119. Токарный расточной резец с напаянным алмазом

вспомогательный  $\phi_1 = 20 \div 45^\circ$ . На стержнях резцов углы в плане делаются на  $2^\circ$  больше по сравнению с углами на самом алмазе. Стержень расточных токарных алмазных резцов делается круглого сечения (см. рис. 149, и 150, а) диаметром 6—20 мм; у токарных проходных — круглого, квадратного и прямоугольного сечений (16×16, 20×20, 16×25 мм).

При изготовлении резцов с напаянным алмазом (см. рис. 149) в стержне резца фрезеруется врезной паз, в него вставляется огранный алмаз и запаивается серебрянным припоем. Метод припайки позволяет использовать алмазы малых размеров; несложна и конструкция резца. К недостаткам этого метода относятся сложность разборки резца и опасность перегрева алмаза, у которого при нагреве свыше  $720\text{—}750^\circ\text{C}$  появляются дефекты, снижающие его прочность и стойкость. Поэтому метод припайки необходимо применять тогда, когда вследствие ограничения размеров алмаз нельзя закрепить механически.

При механическом креплении алмаз (см. рис. 150) легко может быть извлечен из стержня, осмотрен и перешлифован (если это необходимо) и вновь установлен для работы; отсутствует и опасность перегрева алмаза. К основным недостаткам механического крепления алмаза относится необходимость применения более крупных алмазов. В разработанных стандартах на алмазные резцы (ГОСТ 13288—67 ÷ ГОСТ 13297—67) предусматривается механическое крепление с использованием метода порошковой металлургии, который заключается в следующем. В пресс-форму засыпает-

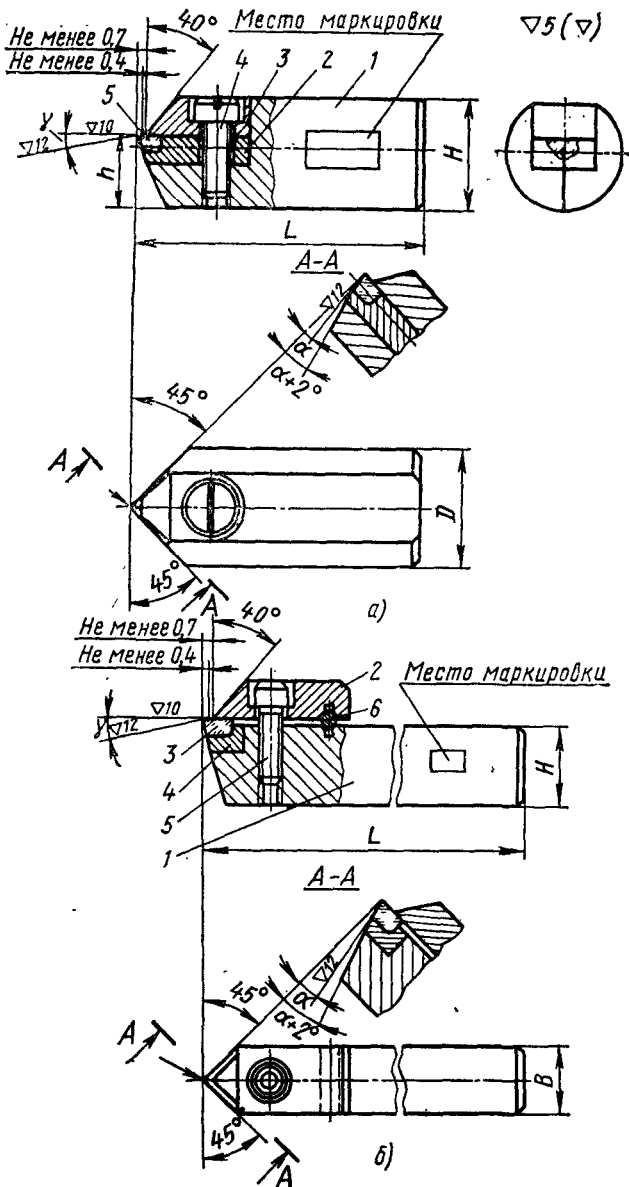


Рис. 150. Алмазные резцы с механическим креплением алмаза:

а — токарный расточной; б — токарный проходной

ся смесь порошка (80% Cu, 15% Sn и 5% Pb), сверху которой укладывается алмаз (с предварительно обработанными передними гранями). Смесь вместе с алмазом сначала прессуется под давлением 150 кгс/мм<sup>2</sup>, а затем спекается при температуре 650°С вместе с алмазом; эта температура не изменяет качества алмаза. В результате такого спекания в брикете остается вмятина (гнездо), соответствующая контуру алмаза. После извлечения алмаза брикет подвергают соответствующей механической обработке; получают вставку 2 (см. рис. 150, а), устанавливаемую в закрытый паз стержня 1 резца. В полученное при спекании гнездо вставки 2 вставляется алмаз 5, который прижимается накладкой 3 с помощью винта 4.

В конструкции, показанной на рис. 150, б, вставка 4 с алмазом 3 крепится в закрытом пазу к стержню резца 1 накладкой 2 посредством винта 5 через опору на штифт 6. Штифт 6 обеспечивает более плотное прилегание наклейки 2 к передней поверхности алмаза, который несколько выступает из вставки 4. В зависимости от размера, на который выступает алмаз из вставки, должен меняться и диаметр штифта.

Заточка и доводка алмазов производится на специальных станках с помощью чугунных дисков, шаржированных смесью алмазного порошка. Заточку алмазного инструмента можно производить и с помощью алмазного шлифовального круга (на металлической связке), но с последующей доводкой на чугунном доводочном диске по передней и задним поверхностям.

## § 6. Резцы из эльбора

В качестве режущего элемента для резцов используются поликристаллы эльбора (эльбор Р) размером до 12 мм, закрепленные в металлической державке (из сталей 40Х или 9ХС) методом заливки расплавленным металлом (медью, латунию, специальными припоями).

Режущие свойства эльбора Р выше, чем твердого сплава, минералокерамики и синтетического алмаза (рис. 151). Силы, возникающие при резании инструментом из эльбора Р, значительно ниже (в 10 раз), чем при резании инструментом из других материалов, а потому применять резцы из эльбора Р особенно эффективно при резании труднообрабатываемых сплавов и сталей (закаленных до высокой твердости быстрорежущих, нержавеющей, жаропрочных и др.), а также чугунов.

Резцы из эльбора Р делают сборными (рис. 152, а) с механическим креплением вставки (рис. 152, б), в которую вделан поликристалл эльбора Р, и цельными (рис. 153). Резцы из эльбора Р применяют в основном для полустогового и чистого точения и растачивания, получая при этом обработанные поверхности высокого качества.

Геометрические элементы режущей части для прямых проходных резцов рекомендуются следующие: передний угол  $\gamma = -5 \div$



$\div -15^\circ$  — при обработке закаленных сталей с  $HRC$  55—67;  $\gamma = 0 \div -5^\circ$  — при обработке сталей с  $HRC$  50—55;  $\gamma = 0 \div 15^\circ$  — при обработке сталей с  $HRC < 35$ , чугунов и цветных металлов; задний угол  $\alpha = 6 \div 10^\circ$ ; угол  $\alpha_1 = 6 \div 10^\circ$ ; главный угол в плане  $\varphi = 30 \div 60^\circ$ ; угол  $\varphi_1 = 10 \div 45^\circ$ ; угол  $\lambda = 0 \div -40^\circ$ ; радиус  $r = 0,6 \div 2$  мм.

Рекомендуемые элементы режима резания следующие:  
а) при получистовом точении и растачивании  $t = 0,2 \div 0,6$  мм;  $s = 0,04 \div 0,1$  мм/об;  $v = 60 \div 160$  м/мин; б) при чистовом точении и растачивании  $t = 0,05 \div 0,2$  мм;  $s = 0,02 \div 0,04$  мм/об;  $v = 80 \div 100$  м/мин. Максимально допустимая величина износа по задней поверхности  $h_{з\max} = 0,4$  мм. Заточка и доводка резцов из эльбора Р производится на универсально-заточных станках кругами из синтетических алмазов.

## ФАСОННЫЕ РЕЗЦЫ

### § 1. Общие сведения

Фасонным называют резец, режущие кромки которого имеют форму, определяющуюся формой профиля детали. Фасонные резцы обеспечивают высокую производительность, однородность формы профиля и точность размеров обрабатываемых деталей и применяются в крупносерийном и массовом производстве.

Фасонные резцы можно разделить на следующие группы: 1) по форме — круглые (рис. 154, *а—в, е*), призматические (рис. 154, *г и д*) и стержневые (рис. 154, *ж*); 2) по установке относительно детали призматические резцы делятся на резцы с радиально расположенной режущей кромкой (рис. 154, *г*) и тангенциальные (рис. 154, *д*); 3) по расположению оси — с параллельным расположением оси относительно оси детали (рис. 154, *а—в*) и с наклонным расположением оси или базы крепления (рис. 154, *е*); 4) по форме образующей поверхности — круглые резцы с кольцевыми образующими (рис. 154, *а и б*), круглые с винтовыми образующими (рис. 154, *в*), призматические с плоскими образующими (рис. 154, *г и д*). Резцы с наклонным расположением оси или базы (рис. 154, *е*) ввиду их сложности применяют редко, в случае, когда форма детали (например, на участке *аб*) не позволяет применить резцы с параллельным расположением оси.

Фасонные резцы изготовляют в основном из быстрорежущей стали, но все более широкое применение находит и твердый сплав. Пластифицированный твердый сплав легко обрабатывается обычным твердосплавным резцом. Полученные после токарной обработки и разрезки профильные (еще «сырые») пластинки имеют размеры на 25—30% больше по сравнению с окончательными размерами профиля резца. Такие пластинки-заготовки подвергаются затем окончательному спеканию, после чего припаиваются (или крепятся механически) к корпусу фасонного резца (рис. 155). Применение твердосплавных фасонных пластин для резцов способствует повышению производительности труда на 30—40% (по сравнению с быстрорежущими фасонными резцами).

Фасонный резец должен иметь соответствующие задние и передние углы, чтобы стружка снималась при достаточно выгодных условиях. Значения переднего угла в зависимости от обрабатываемого материала приведены в табл. 10. Задний угол  $\alpha$  режущей

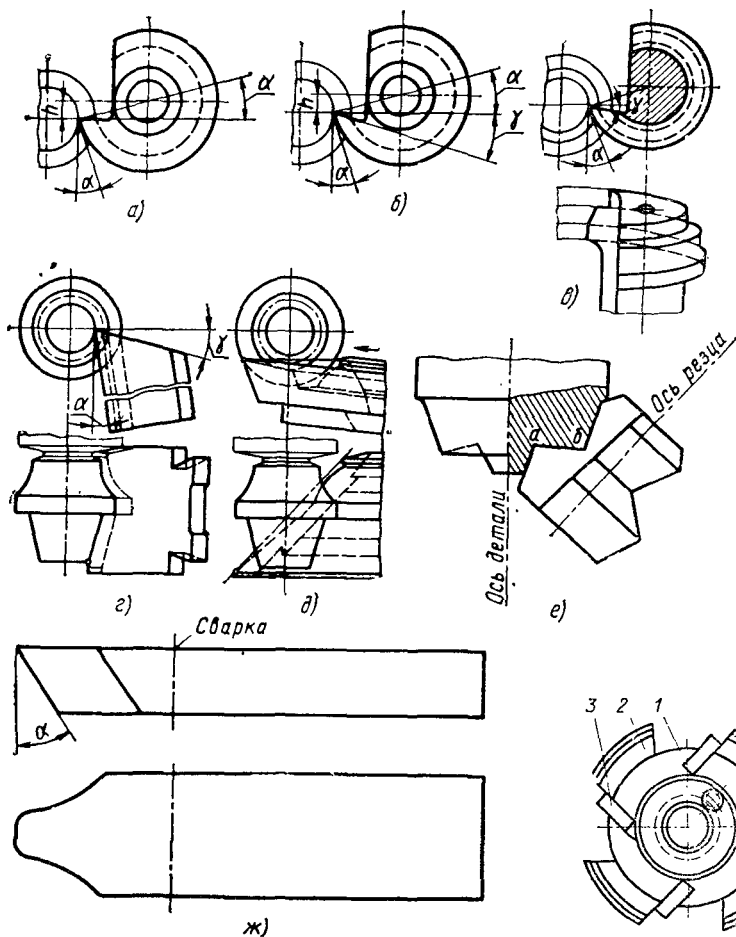


Рис. 154. Типы фасонных резцов:

а — круглый резец с передним углом, равным нулю; б — круглый резец с передним углом больше нуля; в — круглый винтовой резец; г — призматический резец с радиально расположенной режущей кромкой; д — тангенциальный резец; е — резец с наклонным расположением оси; ж — стержневой фасонный резец

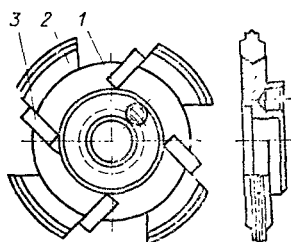


Рис. 155. Фасонный резец, оснащенный твердым сплавом:

1 — корпус; 2 — профильные пластинки; 3 — узоры

кромки резца зависит от типа фасонного резца. У круглых фасонных резцов  $\alpha = 10 \div 12^\circ$ , у призматических фасонных резцов  $\alpha = 12 \div 15^\circ$ ; у резцов, предназначенных для загилования фасонных фрез, задний угол  $\alpha$  может приниматься до  $25-30^\circ$ ; его приходится брать большим потому, что угол  $\mu$  (см. рис. 123) наклона траектории относительного движения достигает  $10-15^\circ$ .

Наружный диаметр резца определяется с учетом высоты профиля детали. Для резцов с углом  $\gamma > 0^\circ$  можно рекомендовать графическое построение

Значения переднего угла в зависимости от материала заготовки

Материал заготовки	Механические свойства материала заготовки		$\gamma^\circ$
	$\sigma_B$ в кгс/мм <sup>2</sup>	НВ	
Алюминий, красная медь . . . . .	—	—	20—25
Бронза, свинцовая латунь . . . . .	—	—	0—5
Сталь:			
мягкая . . . . .	До 50	До 150	25
средней твердости . . . . .	Св. 50 до 80	150—235	20—25
твердая . . . . .	» 80 » 100	235—290	12—20
весьма твердая . . . . .	» 100 » 120	290—350	8—12
Чугун:			
мягкий . . . . .	—	До 150	15
твердый . . . . .	—	150—200	12
весьма твердый . . . . .	—	200—250	8

(рис. 156). Вокруг оси  $O$  детали проводим две concentric окружности радиусами, равными наибольшему и наименьшему радиусам детали. Через точку  $A$  под углом  $\gamma$  проводим линию, изображающую след плоскости заточки передней поверхности резца. Из той же точки  $A$  проводим линию под углом  $\alpha$ , равным заднему углу резца. На расстоянии  $k$  от точки касания  $B$  проводим линию, перпендикулярную линии  $OO_1$ . Расстояние  $k$  представляет собой минимальное расстояние, необходимое для отвода стружки от передней поверхности резца. Из полученной точки  $C$  пересечения вертикальной линии с линией передней поверхности проводим линию, делящую угол  $\omega$  пополам; точка пересечения этой линии и линии, идущей под углом  $\alpha$ , будет искомой точкой  $O_2$  — центром круглого резца. Размер  $k$  принимается в зависимости от толщины и от объема срезанной

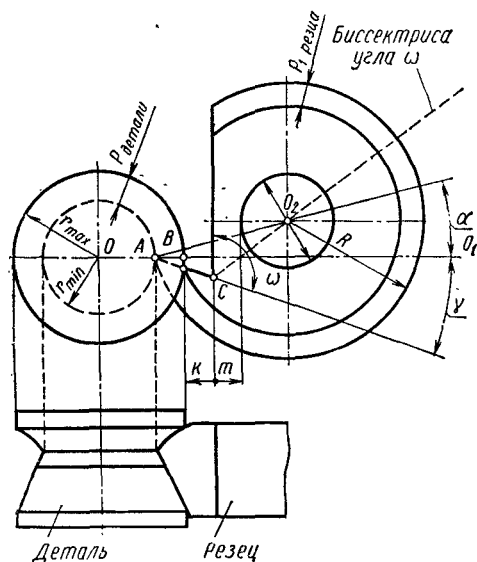
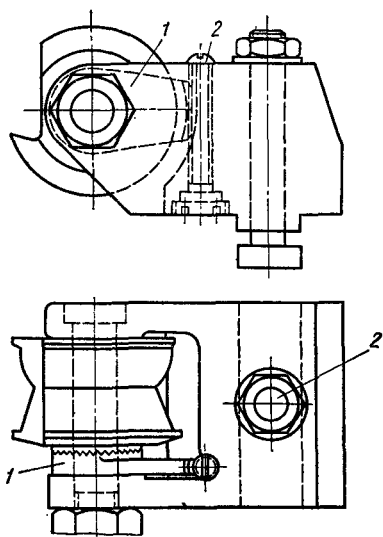
Рис. 156. Схема графического определения наружного радиуса резца при  $\gamma > 0$ 

Рис. 157. Крепление круглого фасонного резца в державке



Схема расчета фасонного резца

Расчетные формулы	Обозначение размера	Числовая величина размера	Логарифмы размера
$h_H = r_1 \sin \gamma$	$r_1$ $\sin \gamma$ $h_H$	15,0 $\sin 20^\circ$ 5,136	1,17610 $\bar{1},53405$ 0,71015
$A_1 = r_1 \cos \gamma$	$r_1$ $\cos \gamma$ $A_1$	15,0 $\cos 2,0^\circ$ 11,187	1,17610 $\bar{1},97299$ 1,04909
$\sin \gamma_2 = \frac{h_H}{r_2}$	$h_H$ $r_2$ $\sin \gamma_2$	5,136 24,0 $\sin 12^\circ 20' 36''$	0,71015 1,38021 $\bar{1},32994$
$A_2 = r_2 \cos \gamma_2$	$r_2$ $\cos \gamma_2$ $A_2$	24,0 $\cos 12^\circ 20' 36''$ 23,445	1,38021 $\bar{1},98984$ 1,37005
$C_2 = A_2 - A_1$	$A_2$ $A_1$ $C_2$	23,445 11,187 12,258	— — —
$\epsilon_1 = \alpha + \gamma$	$\alpha$ $\gamma$ $\epsilon_1$	$20^\circ$ $12^\circ$ $32^\circ$	— — —
$H = R_1 \sin \epsilon_1$	$\overline{ R_1 }$ $\sin \epsilon_1$ $H$	$\overline{ 50,0 }$ $\sin 32^\circ$ 26,496	1,69897 $\bar{1},72420$ 1,42318
$B_1 = R_1 \cos \epsilon_1$	$R_1$ $\cos \epsilon_1$ $B_1$	50,0 $\cos 32^\circ$ 42,403	1,69897 $\bar{1},92842$ 1,62739
$B_2 = B_1 - C_2$	$B_1$ $C_2$ $B_2$	42,403 12,258 30,145	— — —
$\operatorname{tg} \epsilon_2 = \frac{H}{B_2}$	$H$ $B_2$ $\operatorname{tg} \epsilon_2$	26,496 30,145 $\operatorname{tg} 40^\circ 39' 40''$	1,42318 1,47921 $\bar{1},93397$
$R_2 = \frac{H}{\sin \epsilon_2}$	$H$ $\sin \epsilon_2$ $R_2$	26,496 $\sin 40^\circ 39' 40''$ 40,661	1,42318 $\bar{1},81397$ 1,60921

стружки в пределах 3—12 мм. Зная центр резца (точка  $O_2$ ), можно, проведя окружность радиусом  $R$ , определить графически остальные размеры. Для определения диаметра отверстия следует принять толщину стенки  $m$  в пределах 6—10 мм.

У фасонных резцов для внутренней обработки диаметр принимается равным 0,6—0,85 диаметра отверстия. Если у резца невозможно изготовить отверстие для оправки, то он выполняется за одно целое с хвостовиком и изготавливается из целого куска металла, если хвостовик небольших размеров, или делается сварным. Для установки и закрепления круглого фасонного резца на одном из торцов наносятся зубцы с 90°-ным профилем. Чаще число зубцов принимается равным 34. С помощью несложного механизма эти зубцы используются для поворота резца при его заточке. Например, в державке (рис. 157) для поворота резца предусмотрен рычаг 1, снабженный зубцами на одной стороне и регулируемый винтом 2 относительно корпуса державки.

## § 2. Способы определения профиля фасонных резцов

В связи с тем, что профиль фасонного резца не совпадает с исходным профилем обрабатываемой детали, необходимо знать способы его определения. Профиль фасонного резца можно найти графическим и аналитическим (расчетным) способами. Графический способ нагляден, но имеет неточности, связанные с графическими построениями. Аналитический способ позволяет получить любую высокую точность определения размеров. Недостатком этого способа является сложность в вычислениях\*, особенно для криволинейных профилей.

На рис. 158 показан графический способ определения профиля фасонного круглого резца. Строим в левом углу чертежа профиль детали. Проектируем точки профиля на ось  $I—I$ , перпендикулярную к оси детали; получаем точки  $1'$ ,  $2'$ ,  $3'$  и т. д. Из точки  $O_1$  проводим окружности соответствующими радиусами  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$ .

Задавшись определенными углами  $\gamma$  и  $\alpha$ , а также наружным диаметром резца (способ определения наружного диаметра резца см. стр. 168), определяем центр резца  $O_2$ , расположенный на линии  $II—II$ , построенный выше центра детали на величину  $H_{и} = R_1 \sin \alpha$ . Для этого раствором циркуля, равным наружному радиусу  $R_1$  фасонного резца, делаем засечку из точки 1, находящейся на пересечении оси  $I—I$  с окружностью радиуса  $r_1$ . Точка  $O_2$  пересечения линии  $II—II$  с засечкой, сделанной из точки 1, будет искомым центром окружности круглого резца. Из точки 1 проводим линию под углом  $\gamma$  к линии  $I—I$ . Соединив точки пересечения 1, 2, 3 линии передней поверхности с соответствующими окружностями радиусов  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$  с центром  $O_2$  фасонного резца, получим соответствующие радиусы фасонного резца  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ .

Чтобы построить профиль фасонного резца в радиальном сечении, необходимо провести радиальную линию  $AA$ , отложить вправо на линии, нормальной к  $AA$ , размеры  $l_1$  и  $l_2$  (и т. д.), равные соответствующим осевым размерам детали (если ось круглого резца параллельна оси обрабатываемой детали). Из крайней точки  $1'$  осевых размеров отложим параллельно линии  $AA$  размеры  $P_2$  и  $P_3$

\* В настоящее время этот недостаток устраняется при использовании ЭВМ.

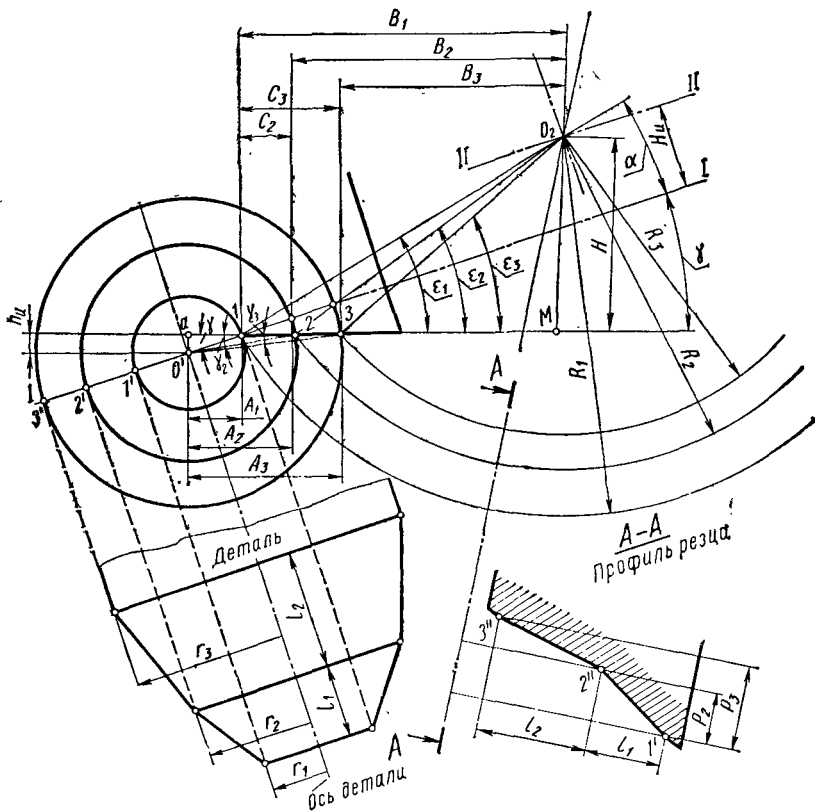


Рис. 158. Графическое определение профиля круглого фасонного реза

и равные разности соответствующих радиусов фасонного круглого реза ( $R_1 - R_2$  и  $R_1 - R_3$ ). На пересечении линий, соответствующих размерам  $P_2$  и  $P_3$ , и линий, определяющих размеры  $l_1$  и  $l_2$ , получим точки  $2''$  и  $3''$ . Соединяя точки  $1'$ ,  $2''$  и  $3''$ , получим профиль фасонного реза в радиальном сечении.

На рис. 158 дана схема расчета профиля круглого фасонного реза. Соединив точки  $1, 2, 3$  с центром  $O_1$  детали, получим ряд прямоугольных треугольников  $1aO_1, 2aO_1, 3aO_1$  и т. д. Для определения стороны  $A_1$  достаточно составить простое уравнение  $A_1 = r_1 \cos \gamma$ ; для определения стороны  $A_2$  — уравнение  $A_2 = r_2 \cos \gamma_2$  и т. д.

Фасонный резец обычно должен быть рассчитан по большому числу узловых точек, и для удобства можно составить следующую схему расчета размеров  $C_2, C_3$  и т. д., а результаты занести в табл. 11:

$$h_{II} = r_1 \sin \gamma; \quad C_2 = A_2 - A_1;$$

$$A_1 = r_1 \cos \gamma; \quad \sin \gamma_3 = \frac{h_{II}}{r_3};$$

$$\sin \gamma_2 = \frac{H}{r_2}; \quad A_3 = r_3 \cos \gamma_3;$$

$$A_2 = r_2 \cos \gamma_2; \quad C_3 = A_3 - A_1.$$

Для расчета соответствующих радиусов фасонного реза можно также составить ряд уравнений:

$$\epsilon_1 = \alpha + \gamma; \quad R_2 = \frac{H}{\sin \epsilon_2} = \frac{B_2}{\cos \epsilon_2};$$

$$H = R_1 \sin \epsilon_1; \quad B_3 = B_1 - C_3;$$

$$B_1 = R_1 \cos \epsilon_1; \quad \operatorname{tg} \epsilon_3 = \frac{H}{B_3};$$

$$B_2 = B_1 - C_2; \quad R_3 = \frac{H}{\sin \epsilon_3} = \frac{B_3}{\cos \epsilon_3}; \quad \operatorname{tg} \epsilon_2 = \frac{H}{B_2};$$

На рис. 159 показан графический способ построения профиля фасонного призматического реза. Аналогично расчету круглых резов профиль детали строим в двух проекциях и рассекаем его параллельными прямыми. Точки пересечения параллельных прямых с профилем детали проектируем на соответствующие окружности  $r_1, r_2, r_3$ ; получаем точки  $1', 2', 3'$ . Вершина реза должна лежать на оси детали. Из точки 1 проведем линию передней поверхности реза под углом  $\gamma$  и линию задней поверхности под углом  $\alpha$ . Из точек 1, 2 и 3 проводим линии параллельно задней поверхности (сечению AA), а также проводим линию LL; от нее отложим отрезки  $l_1$  и  $l_2$  и проведем через концы отрезков линии  $2-2'', 3-3''$ , параллельные линии задней поверхности, так как размеры профиля реза,

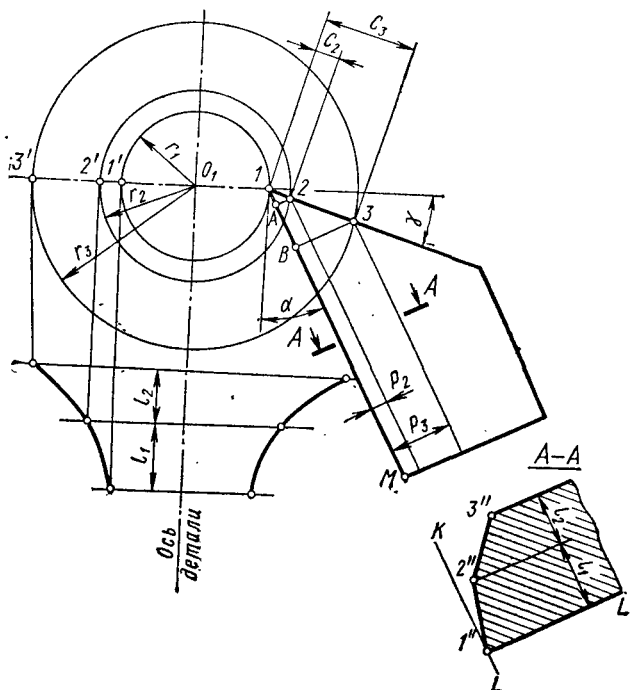


Рис. 159. Графическое определение профиля призматического фасонного реза

измеренные вдоль оси детали, будут равны соответствующим размерам детали, измеренным вдоль ее оси. Полученные точки 1'', 2'', 3'' и есть точки профиля фасонного призматического резца в сечении AA.

Можно осуществить также аналитический расчет призматического фасонного резца. Для этого достаточно найти размеры, обозначенные на чертеже  $P_2, P_3$ . Если известны расстояния  $C_2, C_3$ , которые могут быть вычислены по схеме, аналогичной схеме расчета профиля круглого фасонного резца, то нетрудно определить и размеры  $P_2, P_3$ , которые являются катетами прямоугольных треугольников  $IA_2, IB_3$ .

Уравнения для решения построенных прямоугольных треугольников приведены ниже:

$$e_1 = \alpha + \gamma; \quad P_2 = C_2 \cos e_1; \quad P_3 = C_3 \cos e_1.$$

Расстояния  $P_2, P_3$  следует подсчитывать с точностью до 0,001 мм.

### § 3. Пример расчета профиля круглого фасонного резца

Требуется спроектировать фасонный резец (рис. 160).

Принимаем передний угол  $\gamma = 20^\circ$ ; задний угол  $\alpha = 12^\circ$ ; диаметр резца 100 мм. Определим размеры  $C_2, C_3$  (см. стр. 171) и необходимые радиусы резца  $R_1, R_2, R_3$ . Для удобства расчета составим табл. 11, в которой указаны логарифмы размеров; это сделано с целью облегчения и ускорения действий умножения и деления, которые, как известно, заменяются сложением и вычитанием соответствующих логарифмов. В результате получим искомые радиусы резца:  $R_1 = 50,0$  мм;  $R_2 = R_3 = 40,664$  мм.

### § 4. Заточка фасонных резцов

Круглые и призматические фасонные резцы необходимо затачивать по передней поверхности чашечными кругами на универсаль-

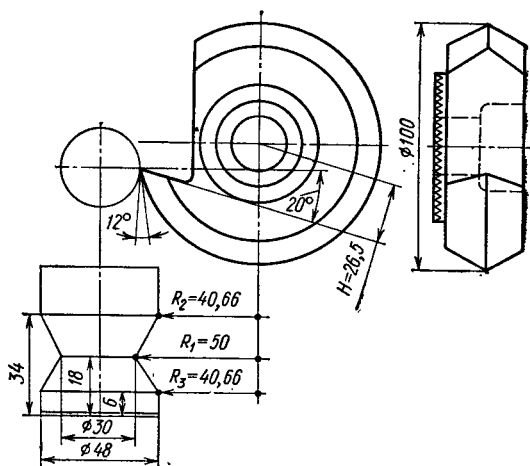


Рис. 160. Круглый фасонный резец

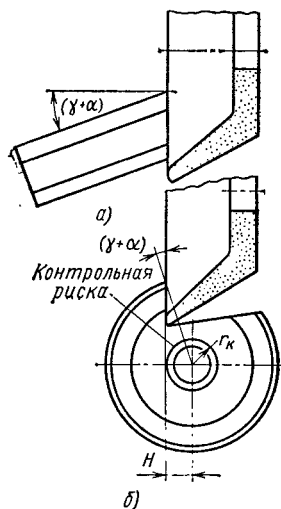


Рис. 161. Схема заточки фасонных резцов по передней поверхности: а — призматического; б — круглого

но-заточных станках. Если передний угол резца не будет точно выдержан по чертежу, то профиль резца будет искажен. Поэтому при заточке фасонных резцов необходимо обращать особое внимание на правильное расположение резца относительно шлифовального круга.

На рис. 161, *а* дана схема заточки призматического фасонного резца. Приспособление должно быть таким, чтобы резец мог быть установлен под определенным углом, равным сумме заднего и переднего углов призматического резца. На рис. 161, *б* показана схема установки круглого фасонного резца при заточке его на универсально-заточном станке.

Ось круглого резца должна быть расположена относительно плоскости вращения режущих кромок шлифовального круга на расстоянии  $r_k = H$ .

СТРОГАНИЕ

§ 1. Режущий инструмент

Процесс строгания, применяемый для обработки фасонных поверхностей, осуществляется на строгальных станках с прямолинейным движением резания. Строгальные станки делятся на поперечно- и продольно-строгальные. У продольно-строгальных станков движение резания сообщается столу с закрепленной на нем заготовкой, а движение подачи — инструменту (резцу). У поперечно-строгальных станков (рис. 162), наоборот, движение резания (главное движение) сообщается резцу, закрепленному в ползуне станка, а движение подачи — столу, на котором крепится заготовка. Подача при строгании имеет размерность в мм/дв.ход.

У строгальных станков во время рабочего хода происходит процесс резания, а во время холостого (обратного) хода заготовка или резец перемещаются в обратном направлении. При холостом ходе резания не происходит, в конце холостого хода начинается движение подачи, т. е. относительное перемещение резца и заготовки в поперечном ее направлении, необходимое для снятия следующего слоя металла при рабочем ходе. Для уменьшения

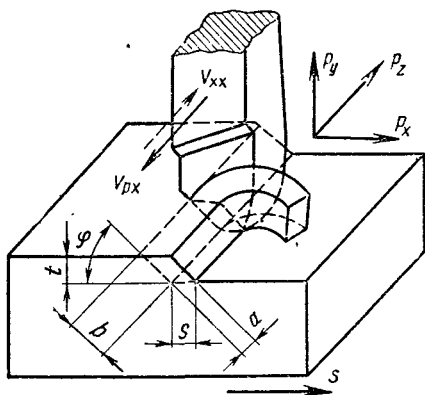


Рис. 162. Элементы резания при строгании

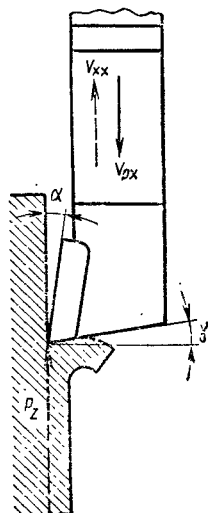


Рис. 163. Схема долбления

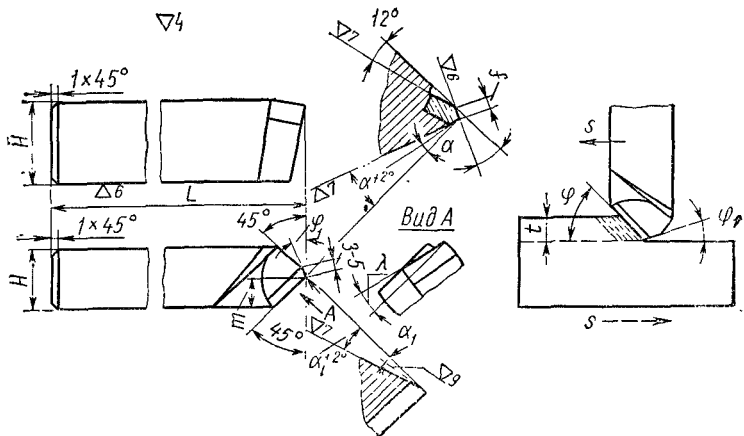


Рис. 164. Левый проходной строгальный резец с пластинкой твердого сплава

времени на обработку скорость холостого хода ( $v_{х.х}$ ) у строгальных станков больше скорости рабочего хода ( $v_{р.х}$ ).

К строгальным относятся и долбежные станки, у которых возвратно-поступательное движение осуществляется не в горизонтальной, а в вертикальной плоскости (рис. 163). У этих станков скорости рабочего и холостого ходов равны.

В качестве режущего инструмента при строгании применяют строгальные резцы, а при долблении — долбежные. На рис. 164 показан левый проходной строгальный резец с пластинкой из твердого сплава, предназначенный для обработки горизонтальных поверхностей, на рис. 165 — левый подрезной, предназначенный

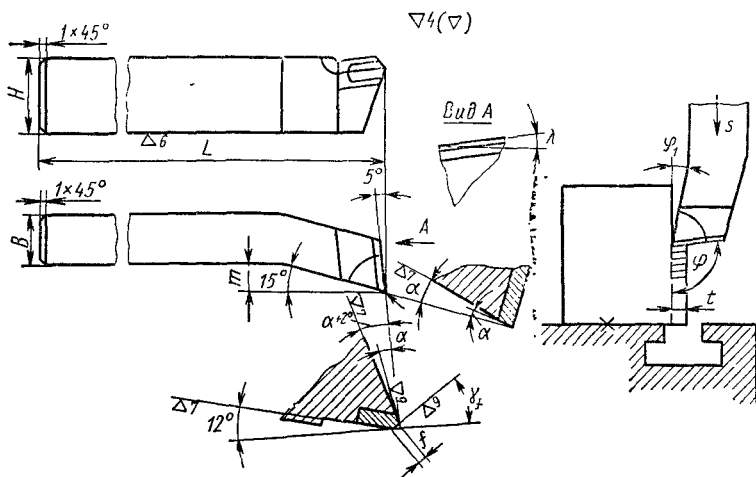


Рис. 165. Левый подрезной строгальный резец с пластинкой твердого сплава



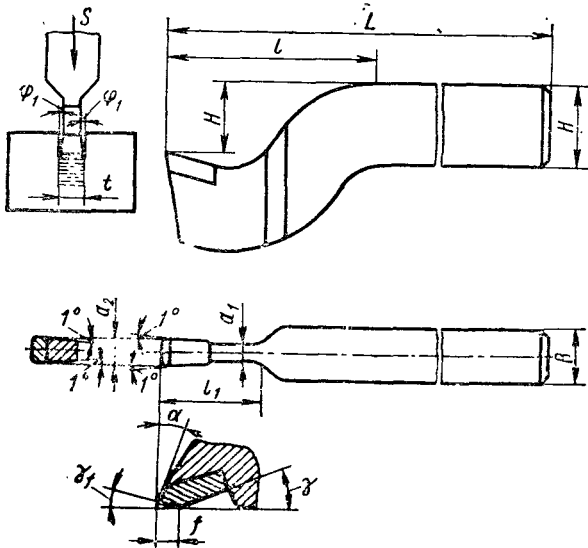


Рис. 166. Отрезной изогнутый строгальный резец

для обработки вертикальных поверхностей, а на рис. 166 — отрезной (прорезной) изогнутый резец, предназначенный для отрезки или прорезки пазов. Форма передней поверхности строгальных резцов та же, что и у токарных резцов.

В связи с тем, что строгальный резец вступает в работу каждый раз с ударом, у резцов, изготовленных из быстрорежущей стали, передний угол  $\gamma$  делается на  $5-10^\circ$  меньше (по сравнению с токарными резцами); угол на фаске  $\gamma_f = +5^\circ$ . У резцов, оснащенных пластинками из твердых сплавов и изготовленных по форме I (см. рис. 111), при обработке чугунов угол  $\gamma = 0 \div 5^\circ$ , а по формам I, IV (при обработке сталей) — от 0 до  $-15^\circ$ . При обработке сталей резцами с передней поверхностью по формам II и III угол на фаске  $\gamma_f = -5 \div -15^\circ$ . Задний угол  $\alpha$  у строгальных резцов от  $8$  до  $16^\circ$ . Главный угол в плане  $\phi$  у проходных строгальных резцов  $30-75^\circ$ .

У подрезного резца угол  $\phi$  делается равным  $90^\circ$  при необходимости получения уступа, составляющего с вертикальной плоскостью угол  $90^\circ$ . При обработке вертикальной поверхности на проход, чтобы не простругать поверхность стола, угол  $\phi$  может быть и больше  $90^\circ$  (см. рис. 165). Однако если можно обработать вертикальную поверхность на проход, не испортив стола станка\*, то лучше использовать проходной отогнутый резец с углом  $\phi < 90^\circ$ , так как чем меньше угол  $\phi$ , тем больше стойкость резца. У отрезных резцов  $\phi = 80 \div 90^\circ$  (рис. 166). Вспомогательный угол в

\* Для этого применяют подкладки под заготовку.

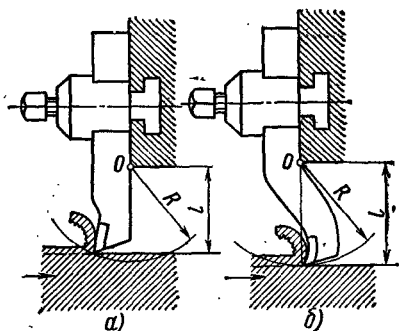


Рис. 167. Форма стержней строгальных резцов:

*a* — прямой; *b* — изогнутый

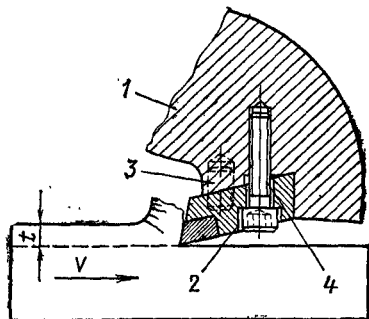


Рис. 168. Схема сборного изогнутого строгального резца (конструкции ВНИИ):

1 — державка; 2 — нож; 3 — штифт; 4 — винт

плане  $\varphi_1$  у проходных и подрезных резцов делается равным  $10-30^\circ$ , у отрезных и прорезных 2 или  $3^\circ$ .

Для сохранения вершины и уменьшения разрушающего действия удара, а также для более плавного входа резца в заготовку и выхода из нее угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$  у проходных и подрезных строгальных резцов делается обязательно положительным (до  $+20^\circ$ ); радиус закругления при вершине  $r$  должен быть равен 1—2 мм; у отрезных (прорезных) резцов  $r = 0,5 \div 2,5$  мм. Угол врезания пластинки принят  $+12^\circ$ . Чтобы уменьшить заклинивание резца при резании, стержень строгальных резцов рекомендуется делать изогнутым\*. При прямом стержне (рис. 167, *a*) под влиянием сил, действующих на резец, изгиб стержня вокруг точки *O* вызовет внедрение вершины резца в обработанную поверхность. При изогнутом стержне это внедрение меньше, и в случае, если вершина резца находится в плоскости опоры (рис. 167, *b*), его не будет совсем, так как радиус окружности  $R$ , по которой будет перемещаться вершина резца, равен вылету  $l$ .

При строгании на крупных строгальных станках успешно применяют строгальные сборные резцы (рис. 168), способные выдерживать нагрузки при резании чугуна с глубиной резания до 30 мм и подачей до 2—2,5 мм/дв.ход. Применение таких резцов повышает производительность на 20—30% (по сравнению с обычными стержневыми строгальными резцами).

Для окончательной (чистовой) обработки применяют чистовые резцы, имеющие большой радиус закругления или большую длину (до 40 мм и более) режущей кромки с углом  $\varphi_1 = 0$  (так называемые широкие чистовые или лопаточные резцы). Чистовое строгание — высокопроизводительный процесс окончательной обработки

\* Размеры изогнутых быстрорежущих строгальных резцов приведены в ГОСТ 18887—73, а твердосплавных резцов — в ГОСТ 18892—73.

поверхностей, заменяющий при обработке чугуна такую трудоемкую операцию, как шабрение. При этом тяжелый ручной труд заменяется машинным и производительность повышается до 10 раз. В отдельных случаях чистовое строгание заменяет и шлифование, так как при работе на станке широкими резцами можно получить высокую точность и малую шероховатость обработанной поверхности ( $\nabla 7$  — при подаче до 20 мм/дв. ход, глубине резания до 0,1 мм и соответствующей смазочно-охлаждающей жидкости).

На рис. 169 показан резец, оснащенный пластинкой из твердого сплава ВК8, успешно применяемый при чистовом строгании чугуна. Передняя и задняя поверхности тщательно доведены; режущая кромка острая и прямолинейная, что существенно влияет на повышение качества обработанной поверхности. Для обеспечения постепенного входа и выхода резца по всей ширине среза, а также для уменьшения разрушающего действия ударной нагрузки на вершину резец имеет угол наклона режущей кромки  $\lambda = +15^\circ$ . На длине 10 мм режущая кромка имеет угол  $\varphi = 1^\circ$ , а на остальной части режущей кромки угол  $\varphi_1 = 0$ . Длина части режущей кромки с углом  $\varphi_1 = 0$  должна быть не менее 1,5 s; по ней резец устанавливается в резцедержателе (по шлифованной плитке, положенной на предварительно простроганную поверхность). Обработку таким резцом рекомендуется вести не менее чем с двух проходов: предварительного с глубиной резания 0,5—0,8 мм, окончательного с глубиной резания не более 0,08 мм. При строгании чугунов для первого прохода рекомендуется скорость резания 15—20, а для окончательного 4—12 м/мин. Величина подачи назначается в зависимости от длины режущей кромки  $a_1$ , имеющей угол  $\varphi_1 = 0$ ;  $s = (0,7 \div 0,3) a_1$ .

Для повышения качества обработанной поверхности чугуна и охлаждения режущего инструмента применяют керосин, подавая его небольшой струей на резец.

Высокий класс шероховатости поверхности достигается при обработке широкими резцами, оснащенными пластинками твердых сплавов, с режущей кромкой, повернутой на угол  $60^\circ$  относительно направления рабочего движения. При чистовой обработке поверхностей крупногабаритных деталей применяют строгальные вращающиеся (чашечные) резцы конструкции ВНИИ (рис. 170).

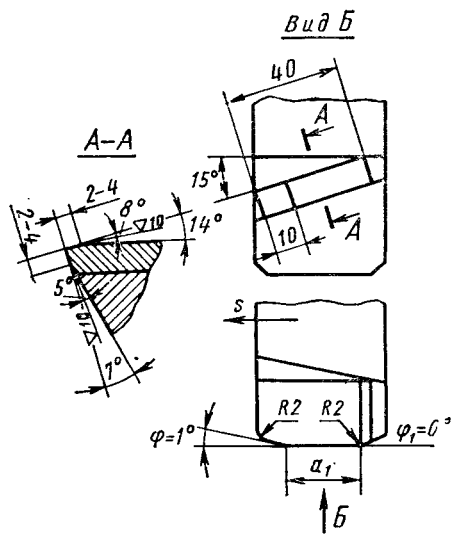


Рис. 169. Резец для чистового строгания

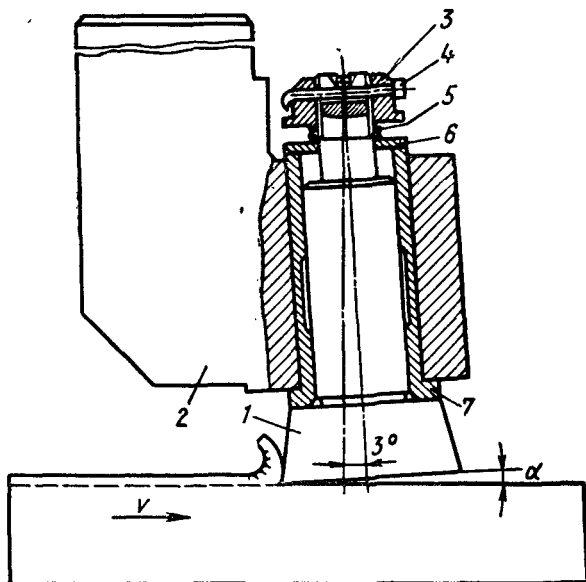


Рис. 170. Чистовой строгальный вращающийся резец для обработки стали

Чашка 1 из быстрорежущей стали\* с цилиндрическим хвостовиком вращается в бронзовой втулке 7, которая запрессована в державке 2. Во втулке 7 чашка 1 крепится с помощью шайбы 6, пружины 5 и гайки 3; во избежание отвинчивания гайки в ней сделано отверстие, в которое вставляется шплинт 4.

Для образования заднего угла  $\alpha$  ось отверстия в державке наклонена под углом  $3^\circ$ . Кроме этого, резец (державка) поворачивается в резцедержателе на угол  $5^\circ$ — $5^\circ 30'$  в плоскости, перпендикулярной направлению главного движения; этот разворот делается для обеспечения рационального стружкообразования и стружкоотвода.

Чашечными вращающимися строгальными резцами работают с глубиной резания до 11 мм, с подачей до 5 мм/дв.ход, при скорости резания до 8 м/мин. Стойкость резцов (при износе  $h_3 = 0,2 \div 0,3$  мм) очень высокая (22—24 ч), что позволяет обрабатывать поверхности площадью до 30 м<sup>2</sup> без переточки резца. Высокое качество обработки (плоскостность в пределах 0,03—0,05 мм, класс шероховатости 5-й), получаемое при работе этими резцами, позволяет снизить трудоемкость отделочных работ и в отдельных случаях исключить шабрение.

В процессе стружкообразования при строгании имеют место упругие и пластические деформации, трение, тепловыделение, упрочнение, наростообразование и износ режущего инструмента.

\* Применяют также чашки из сплава Т5К10.

Типы стружек, получаемых при строгании, аналогичны типам стружек, образующихся при точении.

Однако процесс резания при строгании имеет и некоторые особенности.

При непрерывном точении резец, врезавшись в обрабатываемый металл, находится под воздействием стружки вдоль всей линии обрабатываемой поверхности. При строгании резец находится под воздействием срезаемого слоя и стружки только во время рабочего хода.

Во время холостого хода резец не режет; в этот период он охлаждается, что положительно сказывается на его стойкости. Но строгальный резец каждый раз входит в заготовку с ударом, разрушительная сила которого возрастает с увеличением скорости резания, площади поперечного сечения среза и твердости обрабатываемого металла. Такая ударная нагрузка отрицательно сказывается на прочности и стойкости резца, что вынуждает делать строгальные резцы более массивными, жесткими и режущую часть из более вязких материалов, а также работать на относительно низких скоростях резания. Работу на высоких скоростях резания затрудняет и особенность строгального станка, имеющего возвратно-поступательное движение. Большие перемещающиеся массы и большие инерционные силы вызывают тяжелые условия реверсирования (т. е. переключения с рабочего хода на холостой и обратно), а потому на современных строгальных станках скорости резания не превышают 80 м/мин.

В связи с тем, что подача осуществляется в конце холостого хода, когда резец не соприкасается с заготовкой, она не влияет на передний и задний углы в процессе резания. На эти углы не влияют также размер заготовки и расстояние от вершины резца до его опорной поверхности. Процесс резания при строгании производится обычно без охлаждения (за исключением окончательного — чистового строгания).

## § 2. Силы, действующие на резец, скорость резания и мощность

На силы резания при строгании влияют те же факторы, что и при точении; сила

$$P_z = C_{P_z} t^{x_z} s^{y_z} K_z \text{ кгс.}$$

В формуле отсутствует скорость резания, что вызвано относительно низкими скоростями резания при строгании. Значения коэффициента  $C_{P_z}$ , показателей степеней  $x_z$  и  $y_z$  и поправочных коэффициентов, входящих в общий коэффициент  $K_z$ , приводятся в справочниках по режимам резания. Скорость резания, допускаемая режущими свойствами строгальных резцов ( $v_n$ ), подсчитывается по формуле, приведенной на стр. 112.

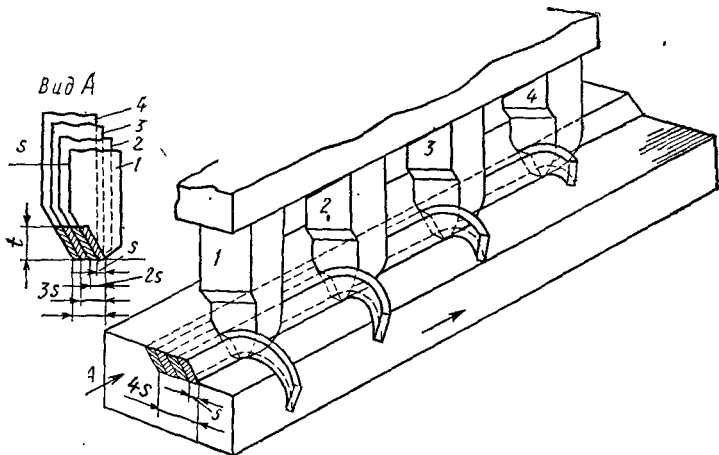


Рис. 171. Схема многолезцового строгания

Рекомендуемая оптимальная стойкость для всех строгальных резцов 120 мин.

Высокопроизводительное строгание резцами, оснащенными пластинками из твердых сплавов, как более производительный метод находит в металлообрабатывающей промышленности широкое применение. Однако скорость резания на современных строгальных станках не превышает 80 м/мин, а на станках старых моделей 40—50 м/мин, несмотря на то, что продольно-строгальные станки, как правило, имеют электродвигатели большой мощности. Для повышения производительности и полного использования мощности станка остается другой фактор — увеличение подачи, т. е. строгание с большими подачами.

При получистовой обработке стали с подачами до 6 мм/дв.ход применяют строгальные резцы, имеющие режущую кромку под углом  $\varphi_1 = 0^\circ$  длиной  $(1,2 \div 1,8)s$ . Но при работе такими резцами мощность станка часто не используется полностью, да к тому же при строгании чугуна с относительно большими  $t$  и подачами более 1—1,5 мм/дв.ход может происходить скалывание заготовки по краям, т. е. в местах входа и выхода резца. Учитывая это, Средневолжский станкостроительный завод предложил строгание, основанное на применении многолезцовой державки, в которой закрепляются сразу четыре резца (рис. 171). Конструкция державки позволяет смещать вершины двух соседних резцов относительно друг друга на величину подачи  $s$ , приходящейся на каждый резец. В результате этого суммарная величина подачи за один двойной ход будет  $4s$  и машинное время сократится соответственно в 4 раза.

Мощность, затрачиваемая на резание при строгании,

$$N_{\text{рез}} = \frac{P_z v_{\text{р.х}}}{60 \cdot 102} \text{ кВт.}$$

Необходимая (расчетная) мощность электродвигателя станка определяется, как обычно (см. стр. 89).

### § 3. Элементы режима резания

Принципы и порядок назначения элементов режима резания при строгании те же, что и при токарной обработке.

1. Определяют глубину резания в зависимости от припуска на обработку (см. стр. 127).

2. Выбирают подачу, максимально допустимую по технологическим требованиям. При черновом строгании чугуна обычными резцами с твердосплавными пластинками (при  $\varphi = 45^\circ$ ) подача до 5,5 мм/дв.ход. В зависимости от шероховатости обработанной поверхности для обычного резца подачу можно назначать такой же, как и при наружном продольном точении, с последующей корректировкой по станку. При работе широкими специальными сборными резцами с режущей кромкой длиной до 150 мм при полустрогальной обработке подача может быть до 100 мм/дв.ход.

3. После выбора глубины резания и подачи подсчитывают при назначенной стойкости скорость резания, допускаемую режущими свойствами резца ( $v_{н}$ ).

4. По найденной скорости резания определяют необходимое число двойных ходов в минуту. Скорость резания по станку при строгании (скорость рабочего хода)

$$v_{р.х} = \frac{kL(1+m)}{1000} \text{ м/мин,}$$

где  $k$  — число двойных ходов в минуту;  $L$  — длина хода стола (ползуна) в мм;  $m$  — отношение скорости резания рабочего хода к скорости холостого хода (дается в паспорте на станок;  $m_{ср} = 0,75$ ).

Подставляя в левую часть формулы найденное значение скорости  $v_{н}$ , можно подсчитать число двойных ходов:

$$k = \frac{1000v_{н}}{L(1+m)} \text{ дв. ход/мин.}$$

Найденное  $k$  корректируют по станку ( $k_{д}$ ), по  $k_{д}$  подсчитывают действительную скорость резания  $v_{р.х.д}$ .

5. Проверяют достаточность мощности электродвигателя станка, для чего подсчитывают сначала  $N_{рез}$ ; при недостаточности мощности электродвигателя станка, т. е. если  $N_{м} > N_{сг}^*$ , целесообразнее уменьшить скорость резания (число двойных ходов), а не подачу. Для поперечно-строгальных стан-

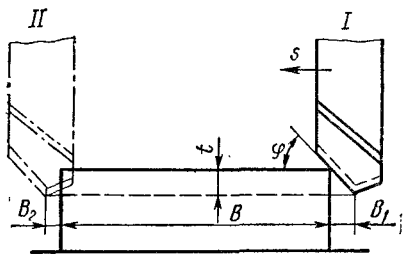


Рис. 172. Элементы пути, проходного строгальным резцом в направлении подачи

\* См. сноску на стр. 89.

ков с качающейся кулисой проверку необходимо вести по минимальной силе, развиваемой ползуном в середине длины хода; необходимо, чтобы  $P_z \leq P_{\min}$ .

6. Подсчитывают машинное время:

$$T_m = \frac{B + B_1 + B_2}{ks} \text{ мин,}$$

где  $B$  — ширина обработанной поверхности (размер в направлении движения подачи) в мм;  $B_1 = t \operatorname{ctg} \varphi$  — боковое врезание резца в мм (рис. 172);  $B_2 = 2 \div 3$  мм — боковой сход резца;  $k$  — число двойных ходов в минуту;  $s$  — подача в мм/дв.ход.

7. При тяжелых условиях работы необходимо проверить прочность резца.



СВЕРЛЕНИЕ

§ 1. Элементы режущей части сверла

Сверление является одним из самых распространенных методов получения отверстия. Режущим инструментом служит сверло (рис. 173), с помощью которого получают отверстие в сплошном материале или увеличивают диаметр ранее просверленного отверстия (рассверливание). Движение резания при сверлении — вращательное, движение подачи — поступательное. На обычных сверлильных станках сверло вращается, будучи закрепленным в шпинделе станка, и одновременно перемещается в глубину обрабатываемой заготовки, которая неподвижно закреплена на столе станка. Режущая часть сверла изготавливается из инструментальных сталей (Р18, Р12, Р6М5, Р6М3 и др.) и из твердых сплавов.

Как и резец, сверло имеет передний и задний углы. Передний угол  $\gamma$  — угол между касательной к передней поверхности в рассматриваемой точке режущей кромки и нормально в той же точке к поверхности вращения режущей кромки вокруг оси сверла. Пе-

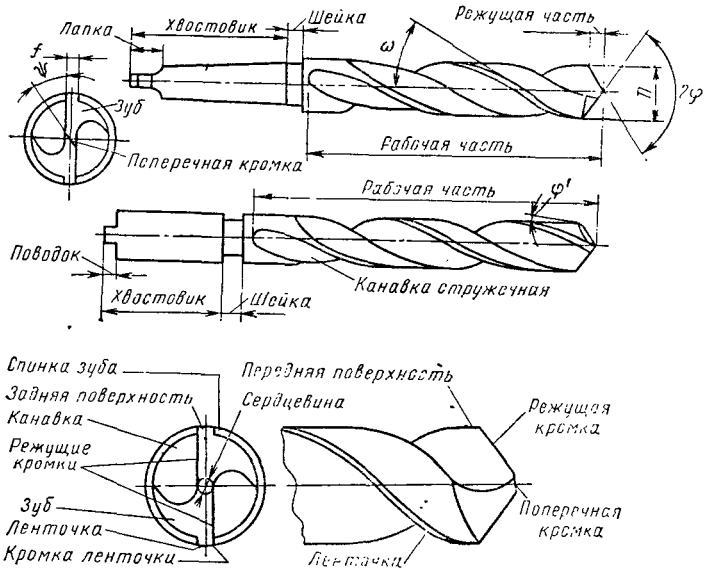


Рис. 173. Части и элементы сверла

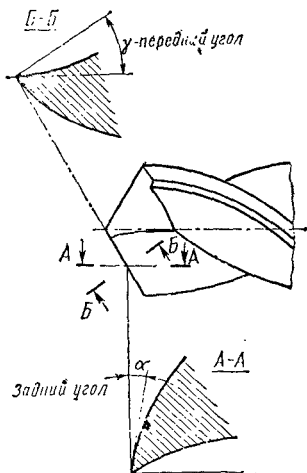


Рис. 174. Передний и задний углы сверла

редний угол рассматривается в плоскости, перпендикулярной к режущей кромке (плоскость *ББ*, рис. 174). В каждой точке, режущей кромки передний угол является величиной переменной. Он может быть определен (без учета ширины перемычки), по формуле

$$\operatorname{tg} \gamma_x = \frac{r_x}{R} \cdot \frac{\operatorname{tg} \omega}{\sin \varphi},$$

где  $r_x$  — радиус окружности, на которой расположена рассматриваемая точка;  $R$  — радиус сверла;  $\omega$  — угол наклона винтовой канавки;  $\varphi$  — половина угла при вершине сверла.

Наибольшее значение угол  $\gamma$  имеет на периферии сверла, где в плоскости, параллельной оси сверла (плоскость *АА*), он равен углу наклона винтовой канавки  $\omega$ . Наименьшее значение угол  $\gamma$  имеет у

вершины сверла. На поперечной кромке угол  $\gamma$  имеет отрицательное значение, что создает угол резания больше  $90^\circ$ , а следовательно, и тяжелые условия работы. Такое резкое изменение переднего угла вдоль всей длины режущей кромки является большим недостатком сверла, так как это вызывает более сложные условия образования стружки. На периферии сверла, где наибольшая скорость резания и наибольшее тепловыделение, необходимо было бы иметь и наибольшее тело зуба сверла. Большой же передний угол уменьшает угол заострения, что приводит к более быстрому нагреву этой части сверла, а следовательно, и к наибольшему износу.

Изменение переднего угла сверла вдоль всей длины режущей кромки можно видеть из графического построения, приведенного на рис. 175. Винтовая линия при разворачивании на плоскость представляет собой гипотенузу прямоугольного

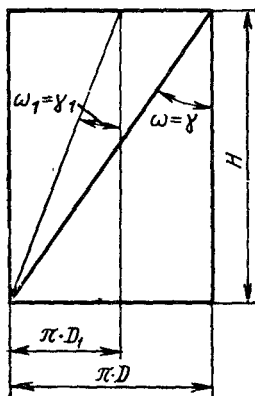
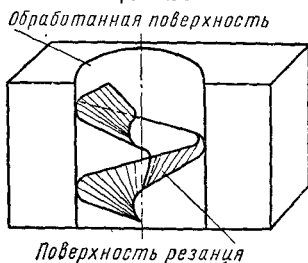


Рис. 175. Изменение переднего угла сверла вдоль режущей кромки

Рис. 176. Поверхности при сверлении



треугольника, одним катетом которого является шаг винтовой канавки, а другим — длина окружности того диаметра, на котором образована винтовая линия. Так как шаг винтовой канавки одинаков в любом осевом сечении, то, рассматривая винтовую канавку на цилиндре диаметром  $D_1 < D$ , видим что угол  $\omega_1 < \omega$ , а так как в осевом сечении передний угол равен углу наклона винтовой канавки, то и  $\gamma_1 < \gamma$ , т. е. по мере приближения точки режущей кромки к оси сверла передний угол уменьшается.

Задний угол  $\alpha$  — угол между касательной к задней поверхности в рассматриваемой точке режущей кромки и касательной в той же точке к окружности ее вращения вокруг оси сверла. Этот угол принято рассматривать в плоскости  $AA$  (см. рис. 174), касательной к цилиндрической поверхности, на которой лежит рассматриваемая точка режущей кромки. Для точки, находящейся на периферии сверла, задний угол в нормальной плоскости  $BB$  может быть определен по формуле

$$\text{tg } \alpha_n = \text{tg } \alpha \sin \varphi.$$

Действительное значение заднего угла во время работы иное по сравнению с тем углом, который мы получили при заточке и измерили в статическом состоянии. Это объясняется тем, что сверло во время работы не только вращается, но и перемещается вдоль оси. Траекторией движения точки будет не окружность (как это принимают при измерении угла), а некоторая винтовая линия, шаг которой равен подаче сверла в миллиметрах, за один его оборот. Таким образом, поверхность резания, образуемая всей режущей кромкой, представляет собой винтовую поверхность (рис. 176), касательная к которой и будет действительной плоскостью резания. Действительный задний угол в процессе резания  $\alpha'$  заключен между этой плоскостью и плоскостью, касательной к задней поверхности сверла (рис. 177). Он меньше угла, измеренного в статическом состоянии, на некоторую величину  $\mu$ :

$$\alpha' = \alpha - \mu;$$

$$\text{tg } \mu = \frac{s}{\pi D}.$$

Чем меньше диаметр окружности, на которой находится рассматриваемая точка режущей кромки, и чем больше подача  $s$ , тем больше угол  $\mu$  и меньше действительный задний угол  $\alpha'$

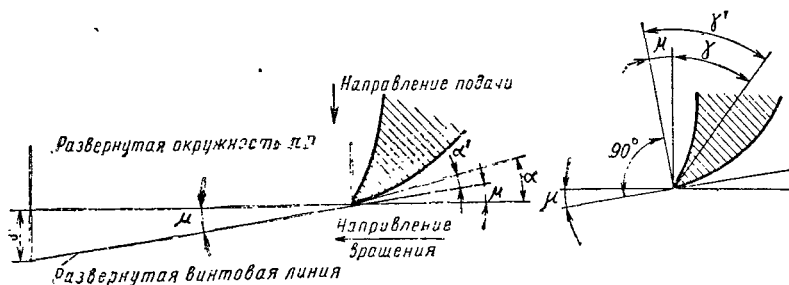


Рис. 177. Углы режущих кромок сверла в процессе резания

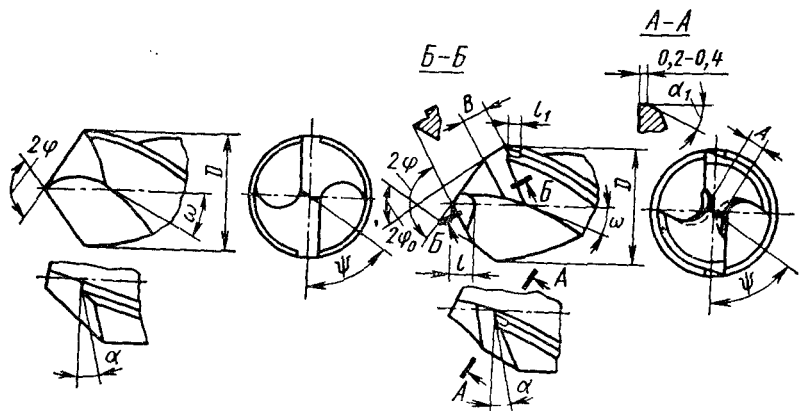


Рис. 178. Элементы заточки и подточки спиральных сверл

Действительный же передний угол в процессе резания  $\gamma'$  соответственно будет больше угла  $\gamma$ , измеренного после заточки в статическом состоянии:

$$\gamma' = \gamma + \mu.$$

Чтобы обеспечить достаточную величину заднего угла в процессе резания в точках режущей кромки, близко расположенных к оси сверла, а также для получения более или менее одинакового угла заострения зуба вдоль всей длины режущей кромки задний угол заточки делается: на периферии  $8-14^\circ$ , а у сердцевины  $20-27^\circ$ ; задний угол на ленточках сверла  $0^\circ$ .

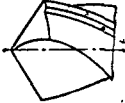
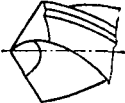


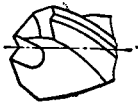
Кроме переднего и заднего углов, сверло характеризуется углом наклона винтовой канавки  $\omega$ , углом наклона поперечной кромки  $\psi$ , углом при вершине  $2\phi$ , углом обратной конусности  $\phi'$  (см. рис. 173). Угол  $\omega = 18 \div 30^\circ$ ,  $\psi = 55^\circ$ ,  $\phi' = 2 \div 3'$ , у сверл из инструментальных сталей  $2\phi = 60 \div 140^\circ$ .

Спиральное сверло имеет ряд особенностей, отрицательно влияющих на протекание процесса стружкообразования при сверлении: а) уменьшение переднего угла в различных точках режущих кромок по мере приближения рассматриваемой точки к оси сверла; б) неблагоприятные условия резания у поперечной кромки (так как угол резания здесь больше  $90^\circ$ ); в) отсутствие заднего угла у ленточек сверла, что создает большое трение об обработанную поверхность.

Для облегчения процесса стружкообразования и повышения режущих свойств сверла производят двойную заточку сверла и подточку перемычки и ленточки. В табл. 12 приведены различные формы заточки спиральных сверл из инструментальных сталей. Элементы заточки и подточки спиральных сверл даны на рис. 178.

При двойной заточке сверла вторая заточка производится под углом  $2\phi_0 = 70^\circ$  на ширине  $B = 2,5 \div 15$  мм (рис. 178). Такая заточка повышает стойкость сверла, а при одной и той же стойко-

## Формы заточек сверл

Диаметр сверла в мм	Форма заточки	Обозначение	Эскиз	Материал заготовки
0,25—12*	Обыкновенная (нормальная)	Н		Сталь; чугун
12—80	Обыкновенная с подточкой поперечной кромки	НП		Сталь с $\sigma_B$ до 50 кгс/мм <sup>2</sup>
	Двойная с подточкой поперечной кромки	ДП		Сталь с $\sigma_B > 50$ кгс/мм <sup>2</sup> , с неснятой коркой; чугун с неснятой коркой
	Двойная с подточкой поперечной кромки и ленточки	ДПЛ		Сталь с $\sigma_B > 50$ кгс/мм <sup>2</sup> , со снятой коркой; чугун со снятой коркой
Двойная с подточкой и срезанной поперечной кромкой (по методу В. И. Жирова)	ДП-2		Чугун со снятой коркой	

\* Обыкновенная (нормальная) заточка используется и на сверлах диаметром более 12 мм в тех случаях, когда одно и то же сверло применяется для различных обрабатываемых материалов при работе по корке и со снятой коркой, что часто имеет место в условиях мелкосерийного производства.

сти позволяет увеличить и скорость резания (см. рис. 101). Подточка перемычки (сердцевины) производится на длине  $l = 3 \div 15$  мм. От такой подточки уменьшаются длина поперечной кромки (размер  $A = 1,5 \div 7,5$  мм; см. рис. 178) и величина угла резания в точках режущих кромок, расположенных вблизи перемычки сверла. Для уменьшения трения ленточек об обработанную поверхность (о стенки отверстия) производится подточка ленточек под углом  $\alpha_1 = 6 \div 8^\circ$  на длине  $l_1 = 1,5 \div 4$  мм (форма ДПЛ), что приводит к повышению стойкости сверла.

У сверл, заточенных по методу В. И. Жирова (см. форму ДП-2, табл. 12, рис. 179), наряду с двойной заточкой и подточкой поперечной кромки (под углом  $\Delta = 25 \div 30^\circ$ ) производится прорезка перемычки (ширина  $a = 1 \div 6$  мм; угол  $\mu = 50 \div 56^\circ$ ; передний угол у дополнительной режущей кромки  $\gamma_1 = 3 \div 5^\circ$ ). Такая комбинированная заточка облегчает врезание сверла (осевая сила уменьшается по отношению к обычному сверлу в 3—4 раза), что позволяет повысить подачу в 2—3 раза и соответственно уменьшить машинное время.

При сверлении на большую глубину сверлом большого диаметра образуется широкая, трудно отводимая по канавкам стружка, что увеличивает трение и затрудняет подвод охлаждающей жидкости к месту резания. Во избежание этого у сверл делают специальные стружкоразделительные канавки, которые могут быть на передней поверхности сверла (рис. 180, а) и на задней (рис. 180, б). Глубина канавки примерно равна  $0,05D$ , ширина примерно  $0,07D$ . Такие канавки разделяют широкую стружку на несколько узких, облегчают условия работы сверлом, снижая силы, действующие при резании, и тепловыделение. Во избежание увеличения диаметра отверстия и увода сверла в сторону от оси отверстия оно должно иметь после заточки режущие кромки одинаковой длины и симметрично расположенные.

Сверла, оснащенные пластинками из твердых сплавов, обладают высокой стойкостью, обеспечивают более высокую производительность, повышают качество обработанной поверхности и в результате снижают затраты на обработку. Особенно эффективно

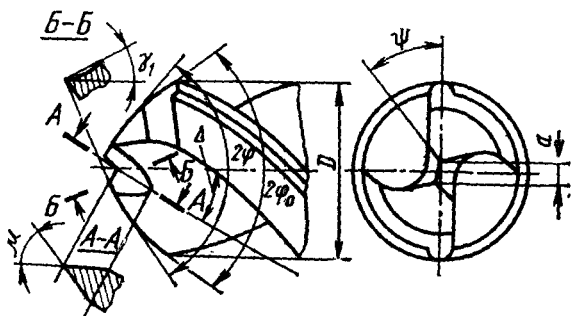


Рис. 179. Схема заточки сверла по методу В. И. Жирова

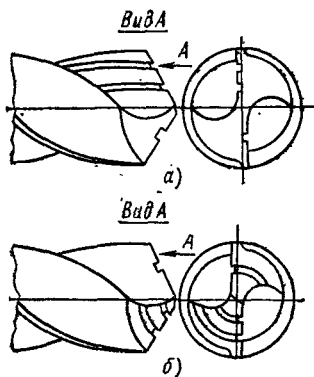


Рис. 180. Стружкоразделительные канавки у сверла:  
 а — по передней поверхности;  
 б — по задней поверхности

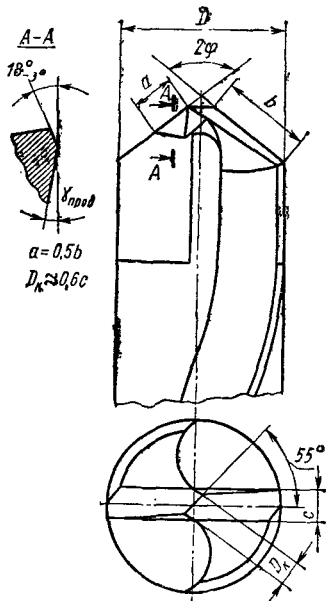


Рис. 181. Подточка перемычки у сверл, оснащенных твердым сплавом

применять сверла с пластинками из твердых сплавов при сверлении чугунов и рассверливании чугунов и сталей. Твердосплавные сверла имеют передний угол  $\gamma = 0 \div 7^\circ$ , задний угол  $\alpha = 8 \div 16^\circ$ , угол  $2\varphi = 118 \div 150^\circ$ ,  $\gamma_f = 0$  на фаске  $f = 0,5 \div 1,5$  мм. При обработке сталей рекомендуется применять твердый сплав Т15К6, при обработке чугунов — сплав ВК8. У сверл с пластинками из твердых сплавов, как и у сверл, изготовленных из быстрорежущей стали, производится подточка перемычки (рис. 181) и двойная заточка под углом  $2\varphi_0 = 70^\circ$   $B = 0,2D$ . Большое значение для успешной работы сверла с пластинкой из твердого сплава имеет симметричность заточки обеих режущих кромок. Биение по режущим кромкам желательно иметь не более 0,02 мм, а по ленточкам не более 0,03 мм.

## § 2. Элементы режима резания и среза

Скорость резания для различных точек режущей кромки сверла различна: на периферии сверла скорость резания наибольшая, а по мере приближения к оси сверла она уменьшается и в центре равна нулю. В расчет принимается наибольшая скорость резания на периферии

$$v = \frac{\pi D n}{1000} \text{ м/мин,}$$

где  $D$  — диаметр сверла в мм;  $n$  — частота вращения сверла в об/мин.

Подача — величина перемещения сверла вдоль оси за один его оборот (или за один оборот заготовки, если она вращается, а сверло только перемещается). У сверла две главные режущие кромки; подача, приходящаяся на каждую из них,

$$s_z = \frac{s}{2} \text{ мм/об.}$$

Как и при токарной обработке, подачу можно измерять и в миллиметрах за 1 мин (мину́тая подача):

$$s_m = sn \text{ мм/мин.}$$

Толщина среза  $a$  (рис. 182, *a*) измеряется в направлении, перпендикулярном к режущей кромке:

$$a = s_z \sin \varphi = \frac{s}{2} \sin \varphi \text{ мм.}$$

Ширина среза  $b$  измеряется вдоль режущей кромки и равна ее длине:

$$b = \frac{D}{2 \sin \varphi} \text{ мм.}$$

Площадь поперечного сечения среза, приходящаяся на одну режущую кромку,

$$f_z = ab = \frac{s}{2} \sin \varphi \frac{D}{2 \sin \varphi} = \frac{Ds}{4} \text{ мм}^2.$$

Общая площадь поперечного сечения среза, приходящаяся на обе режущие кромки,

$$f = 2f_z = \frac{2Ds}{4} = \frac{Ds}{2} \text{ мм}^2.$$

Глубина резания (при рассверливании; рис. 182, *б*),

$$t = \frac{D - D_0}{2} \text{ мм,}$$

где  $D$  — диаметр сверла в мм;  $D_0$  — диаметр ранее просверленного отверстия в мм.

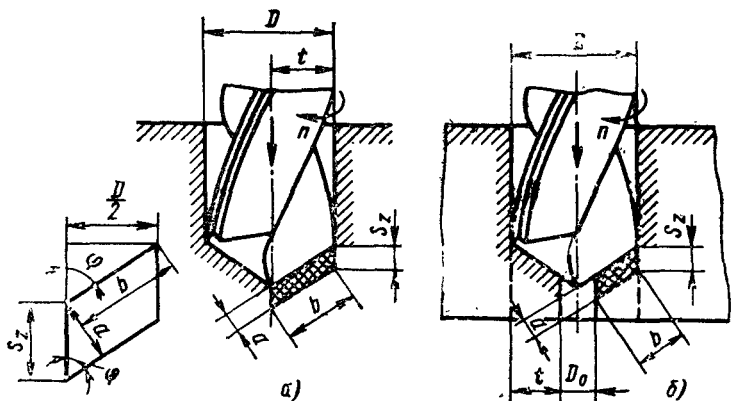


Рис. 182. Элементы резания:

*a* — при сверлении, *б* — при рассверливании



Толщина среза при рассверливании определяется так же, как и при сверлении в сплошном материале:

$$a = \frac{s}{2} \sin \varphi \text{ мм.}$$

Ширина среза при рассверливании

$$b = \frac{D - D_0}{2 \sin \varphi} \text{ мм.}$$

Площадь поперечного сечения среза при рассверливании, приходящаяся на одну режущую кромку,

$$f_z = ab = \frac{s}{2} \sin \varphi \frac{D - D_0}{2 \sin \varphi} = \frac{(D - D_0)s}{4} \text{ мм}^2.$$

Общая площадь поперечного сечения среза при рассверливании

$$f = \frac{(D - D_0)s}{2} \text{ мм}^2.$$

При рассверливании скорость резания переменная вдоль всей длины активной части режущей кромки и изменяется от  $v = \frac{\pi D n}{1000}$  до  $v_0 = \frac{\pi D_0 n}{1000}$  м/мин.

Во всех расчетах принимается наибольшее значение скорости резания, соответствующее наружному диаметру сверла  $D$ .

Машинное время при сверлении и рассверливании

$$T_m = \frac{L}{ns} = \frac{l + y + \Delta}{ns} \text{ мин,}$$

где  $L$  — полный путь, проходимый сверлом в направлении подачи, в мм;  $l$  — глубина сверления в мм (глубина отверстия, рис. 183);  $\Delta$  — величина перебега (1—2 мм);  $n$  — частота вращения сверла в об/мин;  $s$  — подача в мм/об;  $y$  — величина врезания в мм;  $y = \frac{D}{2} \operatorname{ctg} \varphi$  из треугольника  $OMN$ ; рис. 183, а); для обычных сверл

одинарной заточки при угле  $2\varphi = 116 \div 118^\circ$   $y \approx 0,3D$ ; для сверл с двойной заточкой  $y \approx 0,4D$ ; при рассверливании  $y = l \operatorname{ctg} \varphi$  (из треугольника  $OMN$ , рис. 183, в):

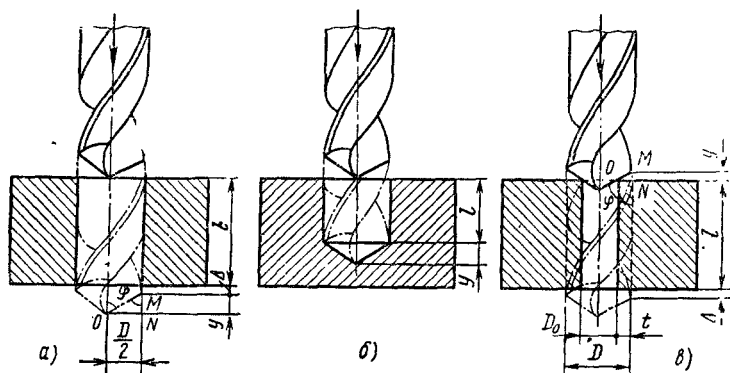


Рис. 183. Элементы пути, проходимого сверлом:

а — при сквозном (на выход) сверлении; б — при глухом сверлении; в — при рассверливании

### § 3. Образование стружки

Сверло — более сложный инструмент, чем резец. В более сложных условиях протекает и процесс резания сверлом: затруднен отвод стружки и подвод охлаждающей жидкости; наблюдается значительное трение стружки о поверхность канавок сверла, трение стружки и самого сверла об обработанную поверхность; вдоль режущей кромки возникает резкий перепад скорости резания (от  $v_{\max}$  до нуля), так что в отдельных точках режущей кромки срезаемый слой деформируется и срезается с разной скоростью; различная деформация имеет место и в связи с переменным углом  $\gamma$  вдоль всей режущей кромки спирального сверла, а потому по мере приближения точки режущей кромки к периферии сверла деформация срезаемого слоя уменьшается (вследствие увеличения  $v$  и  $\gamma$ ).

Все это вызывает более тяжелые, по сравнению с точением, условия процесса стружкообразования при сверлении, большие деформации срезаемого слоя, увеличенное тепловыделение и повышенный нагрев сверла. Процесс стружкообразования на небольшом участке режущей кромки подчиняется тем же закономерностям и сопровождается теми же явлениями, что и при точении; упругие и пластические деформации, тепловыделение, наростообразование, упрочнение, износ инструмента здесь возникают по тем же причинам. Как и при точении, на температуру резания при сверлении скорость резания оказывает большее влияние, чем подача. При сверлении сталей образуется в основном сливная стружка, а при обработке чугунов — стружка надлома.

#### Силы, действующие на сверло

На все элементы сверла при резании действуют некоторые силы сопротивления стружкообразованию. Разложим равнодействующую силу сопротивления на каждой режущей кромке на силы в трех взаимно перпендикулярных направлениях:  $P_z$ ,  $P_v$  и  $P_r$  (рис. 184). Горизонтальные силы  $P_r$ , действующие на обеих режущих кромках, можно считать\* взаимно уравновешенными. Силы  $P_v$ , направленные вверх, препятствуют проникновению сверла в глубину заготовки. В этом же направлении действует и сила  $P_1$  на поперечной кромке. Кроме того, продвижению сверла препятствуют силы трения на ленточках сверла (в результате трения об обработанную поверхность отверстия) и силы трения от сходящей стружки  $P_T$ .

Для проникновения сверла в обрабатываемую заготовку к сверлу от станка должна быть приложена такая сила  $P'$ , которая могла бы преодолеть сумму сил сопротивления, действующих вдоль оси сверла:

$$P' > \Sigma(2P_v + P_1 + P_T).$$

\* Принимая вследствие малого значения толщины перемычки сверла действие сил вдоль одной прямой.

Суммарная сила от указанных сил сопротивления в осевом направлении сверла называется осевой силой  $P$  (или усилием подачи). Силы сопротивления проникновению сверла  $P_{в}$ , возникающие на режущих кромках, составляют около 40% общего сопротивления (или силы  $P$ ); силы сопротивления, возникающие на поперечной кромке ( $P_1$ ), составляют 57% и силы от трения  $P_{т}$  — около 3%. Силы, препятствующие продвижению сверла в материал, преодолеваются механизмом подачи сверлильного станка, который и рассчитывается по максимальной осевой силе  $P$ .

При эксплуатации станка с заданными условиями сверления необходимо, чтобы сумма сил сопротивления, действующих вдоль оси сверла, или осевая сила  $P$ , была меньше или, в крайнем случае, равна наибольшей силе  $P_{max}$ , допускаемой механизмом подачи станка (во избежание поломки слабого звена механизма подачи), т. е.  $P \leq P_{max}$ . Наибольшая сила  $P_{max}$  рассчитывается при конструировании станка и приводится обычно в его паспорте.

Сила  $P_z$  создает момент сопротивления

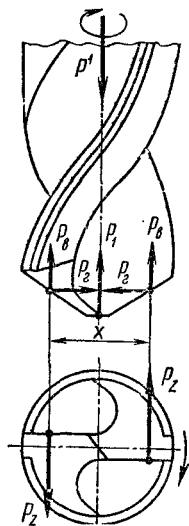
$$M_{ср} = P_z x.$$

Суммарный момент от сил сопротивления резанию складывается из момента от сил  $P_z$ , момента от сил скобления и трения на поперечной кромке  $M_{п.к}$ , момента от сил трения на ленточках  $M_{л}$  и момента от сил трения стружки о сверло и обработанную поверхность  $M_c$ , т. е.

$$M = M_{с.р} + M_{п.к} + M_{л} + M_c.$$

Измерения показывают, что 80% общего момента сопротивления резанию приходится на долю режущих кромок, 8% — на поперечную кромку и 12% — на трение стружки о сверло и стенки отверстия и сверла своими ленточками об обработанную поверхность ( $M_{л} + M_c$ ). Для того чтобы на данном станке могло быть осуществлено резание, кроме указанного выше условия проникновения сверла, необходимо, чтобы суммарный момент сопротивления резанию был преодолен вращающим (крутящим) моментом станка, т. е.  $M_{вр} \geq M$ .

Суммарный момент сопротивления резанию  $M$  должен быть меньше или, в крайнем случае, равен не только вращающему моменту  $M_{вр}$ , развиваемому электродвигателем станка на данной ступени частоты вращения шпинделя, но и меньше, или в крайнем случае, равен максимальному крутящему моменту  $M'_{вр}$ , допускаемому слабым звеном механизма главного движения станка (во



избежание поломки его), т. е.  $M \leq M'_{вр}$ . Если момент  $M_{вр}$  легко подсчитывается по приведенной выше формуле (см. стр. 87), то момент  $M'_{вр}$  рассчитывается при конструировании станка и приводится обычно в его паспорте.

По силе  $P$  и моменту  $M$  можно рассчитать необходимую (потребную) мощность электродвигателя сверлильного станка.

Мощность, затрачиваемая на резание, будет складываться из мощности, затрачиваемой на вращение, и мощности, затрачиваемой на движение подачи, т. е.

$$N_{рез} = N_{вр} + N_{под}.$$

Мощность, затрачиваемая на вращение,

$$N_{вр} = \frac{Mn}{975\,000} \text{ кВт},$$

где  $M$  — момент от сил сопротивления резанию в кгс·мм;  $n$  — частота вращения сверла в об/мин.

Мощность, затрачиваемая на подачу сверла,

$$N_{под} = \frac{Psn}{60 \cdot 1000 \cdot 102} \text{ кВт},$$

где  $P$  — осевая сила в кгс.

Расчеты показывают, что, как и при токарной обработке, мощность, затрачиваемая на движение подачи, мала (0,5—1,5% мощности, затрачиваемой на вращение сверла) и ею можно пренебречь. Поэтому

$$N_{рез} = N_{вр} = \frac{Mn}{975\,000} \text{ кВт},$$

или

$$N_{рез} = \frac{M_v}{3060D} \text{ кВт}.$$

Зная мощность, затрачиваемую на резание, легко подсчитать и необходимую (потребную) мощность электродвигателя станка ( $N_M$ ), которая обеспечит проведение процесса резания при сверлении при определенных условиях работы.

Сравнивая  $N_M$  с действительной мощностью электродвигателя станка  $N_{ст}$ , легко проверить возможность осуществления процесса сверления на заданном станке при заданных условиях резания (см. стр. 89). Однако, как и при проверке возможности осуществления процесса сверления на заданном станке по моменту, необходимо учитывать не только мощность электродвигателя станка, но и мощность на шпинделе по слабому звену механизма главного движения станка  $N'_{шп}$ . Во избежание поломки этого слабого звена должно быть соблюдено условие  $N_{рез} \leq N'_{шп}$ . Наиболее слабое звено механизма главного движения станка проверяют по моменту или по мощности, в зависимости от того, какие данные приводятся в паспорте станка.

## § 5. Влияние различных факторов на осевую силу и момент

**Обрабатываемый металл.** На возникающие при сверлении осевую силу и суммарный момент сопротивления резанию влияют следующие основные факторы: 1) обрабатываемый металл; 2) диаметр сверла и подача; 3) геометрические элементы сверла; 4) смазочно-охлаждающие жидкости; 5) глубина сверления; 6) износ сверла. Чем выше предел прочности при растяжении  $\sigma_B$  или твердость  $HВ$  обрабатываемого металла, тем больше осевая сила и момент от сил сопротивления резанию при сверлении.

Математически эта зависимость может быть выражена следующими уравнениями:

при обработке сталей сверлами из быстрорежущей стали

$$P = C_1 \sigma_B^{0,75}; \quad M = C_2 \sigma_B^{0,75};$$

при обработке серых чугунов сверлами, оснащенными твердым сплавом,

$$P = C_3 HВ^{1,08}; \quad M = C_4 HВ^{0,5}.$$

**Диаметр сверла и подача.** Чем больше диаметр сверла и величина подачи, тем больше площадь поперечного сечения среза, больше объем деформируемого металла и сопротивление стружкообразованию, тем больше, следовательно, осевая сила и момент от сил сопротивления резанию. Диаметр сверла оказывает большее влияние на увеличение параметров  $P$  и  $M$ , чем подача. Если подача влияет на параметры  $P$  и  $M$  примерно одинаково, то диаметр сверла влияет на момент от сил сопротивления больше, чем на осевую силу; последнее объясняется тем, что при увеличении диаметра возрастает и плечо, на котором эти силы действуют. Различное влияние диаметра сверла и подачи учитывается показателями степени в формулах для подсчета осевой силы  $P$  и момента  $M$  (см. стр. 199).

**Геометрические элементы сверла.** Угол наклона винтовой канавки  $\omega$  влияет на параметры  $P$  и  $M$  постольку, поскольку он влияет на передний угол сверла. Из формулы

$$\operatorname{tg} \gamma_x = \frac{r_x}{R} \frac{\operatorname{tg} \omega}{\sin \varphi}$$

следует, что чем больше угол  $\omega$ , тем больше передний угол в каждой точке режущей кромки сверла, тем меньше деформация срезаемого слоя, а следовательно, меньше осевая сила  $P$  и момент от сил сопротивления  $M$  (рис. 185).

Угол при вершине сверла  $2\varphi$  влияет на соотношение сил  $P_T$  и  $P_B$ , а также на толщину среза (рис. 186), а потому он не может не влиять на силу  $P$  и момент  $M$ . При уменьшении угла  $2\varphi$  увеличиваются горизонтальные силы  $P_T$  и уменьшаются вертикальные силы  $P_B$  аналогично изменению сил  $P_y$  и  $P_x$  при уменьшении главного угла в плане у резца (см. стр. 86), что и приводит к умень-

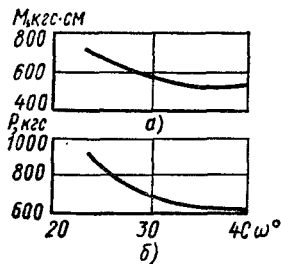
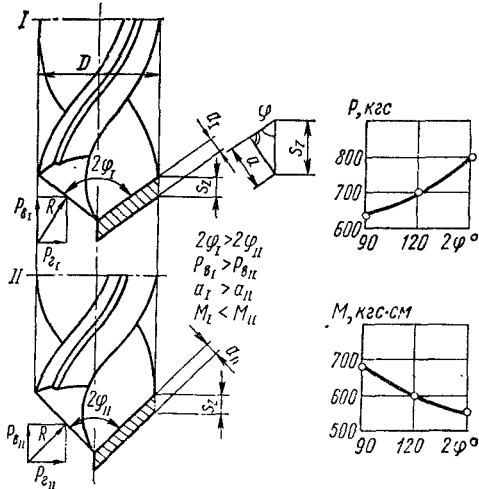


Рис. 185. Влияние наклона винтовой канавки  $\omega$  сверла на момент (а) и на осевую силу (б)

Рис. 186. Влияние угла при вершине сверла на осевую силу и момент



шению осевой силы  $P$ ; при увеличении же угла  $2\varphi$  при вершине сверла увеличивается и осевая сила  $P$  (рис. 186).

Толщина среза, приходящаяся на одну режущую кромку,

$$a = s \sin \varphi$$

уменьшается с уменьшением угла  $2\varphi$  (рис. 186). Тонкие стружки деформируются больше (см. стр. 92), а потому сила  $P_z$  будет увеличиваться с уменьшением угла  $2\varphi$  и уменьшаться с его увеличением. Увеличение или уменьшение силы  $P_z$  приводит к соответствующему увеличению или уменьшению момента от сил сопротивления резанию. Таким образом, при увеличении угла  $2\varphi$  осевая сила увеличивается, а момент от сил сопротивления резанию уменьшается (при прочих одинаковых условиях резания).

Выше указывалось, что поперечная кромка значительно влияет на осевую силу, так как более 50% величины общей силы  $P$  приходится на поперечную кромку, которая имеет неблагоприятные углы резания. Следовательно, чем больше длина поперечной кромки, тем большим будет момент от сил сопротивления резанию и особенно осевая сила (рис. 187). Для уменьшения  $P$  и  $M$  подтачивают перемычку, благодаря чему уменьшается как длина поперечной кромки (размер  $A$ ; рис. 178), так и угол резания в точках режущей кромки, близко расположенных к оси сверла; осевая сила  $P$  при такой подточке уменьшается на 30—35% (по сравнению со сверлом, не имеющим подточки). У сверл со срезанной поперечной кромкой (форма заточки ДП-2, см. табл. 12) углы резания еще более благоприятны; такая заточка способствует снижению силы  $P$  до 4 раз и повышению стойкости сверла. При работе сверлом с двойной заточкой сила  $P$  и момент  $M$  практически мало отличаются от  $P$  и  $M$  при работе сверлом с одинарной заточкой.

**Смазочно-охлаждающие жидкости.** Применение при сверлении соответствующих смазочно-охлаждающих жидкостей вызывает по сравнению с обработкой всухую уменьшение осевой силы (силы подачи) и момента от сил сопротивления резанию на 10—30% при обработке сталей, на 10—18% при обработке чугунов и на 30—40% при обработке алюминиевых сплавов.

**Глубина сверления.** С увеличением глубины сверления условия резания ухудшаются. Отвод стружки и подвод свежей охлаждающей жидкости затрудняются, тепловыделение увеличивается, упорчение возрастает. Все это приводит как к снижению стойкости сверла, так и к повышению осевой силы и момента от сил сопротивления резанию. Для облегчения резания на большой глубине у сверл делают стружкоразделительные канавки (см. стр. 197).

**Износ сверла.** С увеличением износа сверла по задней поверхности (рис. 188) сила  $P$  и момент  $M$  увеличиваются; затупленное сверло по сравнению с острым повышает параметры  $P$  и  $M$  на 10—16%.

## § 6. Формулы для подсчета осевой силы и момента

В общем виде для сверл из инструментальных сталей

$$P = C_p D^2 s^y K_p \text{ кгс};$$

$$M = C_m D^2 s^y K_m \text{ кгс} \cdot \text{мм},$$

где  $C_p$  и  $C_m$  — коэффициенты, характеризующие материал и условия его обработки;  $D$  — диаметр сверла в мм;  $s$  — подача в мм/об;  $z_p$ ;  $z_m$ ;  $y_p$ ;  $y_m$  — показатели степеней;  $K_p$  и  $K_m$  — общие поправочные коэффициенты на измененные условия обработки.

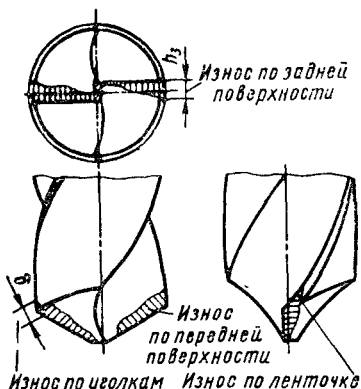
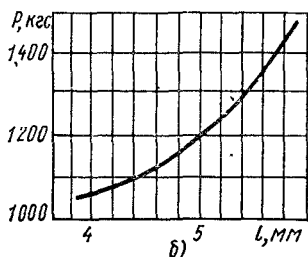
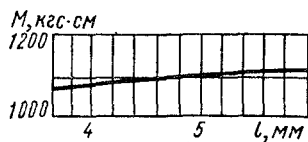


Рис. 187. Влияние длины поперечной кромки сверла на момент (а) и на осевую силу (б)

Рис. 188. Износ сверла из быстрорежущей стали

В табл. 13 приводятся значения  $C_p$ ,  $C_M$ ,  $y_p$ ,  $y_M$ ,  $z_p$ ,  $z_M$  при обработке сверлами с нормальными геометрическими элементами

Таблица 13

Коэффициенты и показатели степени в формулах для подсчета осевой силы и момента от сил сопротивления резанию при сверлении

Материал заготовки	Материал инструмента	$C_p$	$C_M$	$y_p$	$y_M$	$z_p$	$z_M$
Сталь конструкционная углеродистая, $\sigma_B = 75$ кгс/мм <sup>2</sup> ; <i>HB</i> 215	P18	68	31,5	0,7	0,8	1	2
Чугун серый, <i>HB</i> 190 . . . . .	ВК8	42	12	0,75	0,8	1,2	2,2

режущей части (форма заточки, НП, ДП, ДПЛ) различных металлов с определенным значением  $\sigma_B$  и *HB*, с охлаждением (в случае обработки стали) и всухую (в случае обработки серого чугуна). При других условиях обработки на приведенные значения  $C_p$  и  $C_M$  необходимо вводить поправочные коэффициенты, что в формулах для  $P$  и  $M$  учитывается коэффициентами  $K_p$  и  $K_M$ .

### § 7. Износ сверл

Как и всякий другой инструмент, сверло в процессе резания изнашивается. Сверла из быстрорежущих сталей изнашиваются по задней поверхности, передней поверхности, ленточкам и уголкам (в месте перехода от режущих кромок к ленточкам, рис. 188).

Износ сверла вызывает повышенные значения  $M$  или  $P$ , или той и другой величины вместе. Так, в случае износа ленточки момент от сил сопротивления резанию резко возрастает, а осевая сила почти не изменяется. Объясняется это тем, что дополнительная сила трения, вызванная износом, будет действовать на плече, равном радиусу сверла, что в большей степени скажется на моменте от сил сопротивления резанию  $M$  и в меньшей степени — на осевой силе  $P$ .

В случае износа поперечной кромки более резко увеличится  $P$  и меньше  $M$ , так как такой износ образует еще более тупой, закругленный угол у вершины сверла, что будет препятствовать внедрению сверла в обрабатываемый металл. Незначительное же увеличение момента  $M$  в этом случае объясняется малым плечом, на котором действуют силы, так как длина поперечной кромки по сравнению с диаметром сверла относительно невелика. Большой износ поперечной кромки считается ненормальным и проявляется у сверл, плохо термически обработанных (несквозная прокалка), или у сверл, имеющих большую длину поперечной кромки. В случае износа уголка и задней поверхности происходит увеличение осевой силы  $P$  и момента  $M$ .

При обработке сталей за лимитирующий принимается износ по задней поверхности. Износ по задней поверхности происходит не-



равномерно: больше на периферии сверла и меньше в центре. Это объясняется тем, что на периферии сверла скорость резания наибольшая, что вызывает наибольшие тепловыделение и скорость относительного скольжения точек сверла относительно поверхности резания.

Для сверл из быстрорежущих сталей при обработке заготовок из сталей в качестве критерия затупления принимается износ по задней поверхности  $h_3 = 0,8 \div 1,2$  мм (для сверл  $D > 20$  мм). При обработке чугунов сверлами из быстрорежущей стали за лимитирующий износ принимается износ по уголкам с максимально допустимой величиной  $0,5-1,2$  мм.

Сверла, оснащенные твердым сплавом, изнашиваются по задней поверхности, уголку, перемычке и ленточкам (рис. 189); при сверлении чугуна в качестве критерия затупления сверл рекомендуется износ по задней поверхности  $h_3 = 0,4 \div 1,3$  мм для сверл диаметром  $D = 15 \div 30$  мм. Закономерность износа сверл аналогична износу резцов (см. рис. 77). Точке перегиба  $b$  соответствует оптимальный износ, т. е. износ, при котором общий срок службы сверла будет наибольшим. Оптимальный износ и принимается за критерий износа сверл.

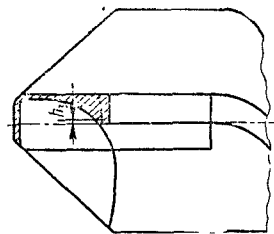


Рис. 189. Износ сверла, оснащенного пластинкой твердого сплава

## § 8. Влияние различных факторов на скорость резания

**Скорость резания и стойкость.** На скорость резания при сверлении влияют следующие основные факторы: стойкость режущего инструмента, физико-механические свойства обрабатываемого металла, материал режущей части сверла, диаметр сверла, подача, глубина сверления, форма заточки сверла, смазочно-охлаждающие жидкости.

Чем больше скорость резания, тем больше тепловыделение, интенсивнее износ, скорее затупится сверло, меньшую стойкость оно будет иметь. Скорость резания зависит от стойкости сверла:

$$v = \frac{A}{T^m};$$

показатель относительной стойкости при работе сверлами из быстрорежущей стали  $m = 0,2$  при обработке сталей и  $m = 0,125$  при обработке чугунов; при резании чугунов сверлами с пластинками из твердых сплавов (ВК8)  $m = 0,2$ . Для сверл  $D = 5 \div 60$  мм из быстрорежущих сталей при обработке стали стойкость  $T = 15 \div 110$  мин оптимальная, а при обработке чугуна  $T = 20 \div 170$  мин; для сверл, оснащенных твердым сплавом ВК8, при обработке серого чугуна  $T = 40 \div 80$  мин.

**Физико-механические свойства обрабатываемого металла.** Чем выше механические свойства обрабатываемого металла, тем мень-

ше скорость резания, допускаемая сверлом (при одной и той же стойкости; см. стр. 103). В зависимости от предела прочности стали при растяжении скорость резания, допускаемая сверлами из быстрорежущей стали (при одной и той же стойкости)

$$v_{II} = \frac{C_1}{\sigma_B^x}$$

При сверлении заготовок из автоматных сталей показатель степени  $x = 1,05$ ; при сверлении углеродистых сталей с  $\sigma_B < 55$  кгс/мм<sup>2</sup> величина  $x = -0,9$ ; при  $\sigma_B \geq 55$  кгс/мм<sup>2</sup> величина  $x = 0,9$ ; при сверлении хромистых, никелевых, хромоникелевых, хромомолибденовых, инструментальных быстрорежущих и других легированных незакаленных сталей  $x = 0,9$ .

Для сверла, оснащенного твердым сплавом ВК8, при обработке серого чугуна скорость резания зависит от твердости чугуна:

$$v_{II} = \frac{C_2}{HB^{0.7}}$$

**Материал режущей части сверла.** Сверла из инструментальных углеродистых сталей допускают скорости резания в 2 раза меньшие, чем сверла из быстрорежущих сталей Р18 и Р9; сверла с пластинками из твердых сплавов — в 2—3 раза больше. Сверла из легированной стали 9ХС допускают меньшую скорость резания, чем сверла из стали Р18 (коэффициент уменьшения 0,6).

**Диаметр сверла.** С увеличением диаметра сверла (при прочих одинаковых условиях) скорость резания, допускаемая сверлом, повышается. Это объясняется тем, что при увеличении диаметра сверла, несмотря на увеличение площади поперечного сечения среза и увеличение работы, затрачиваемой на резание, отвод теплоты от поверхностей сверла в его тело и в заготовку более интенсивен, что снижает тепловую напряженность на поверхностях трения сверла и повышает его стойкость. Повышение интенсивности теплоотвода от поверхностей сверла вызывается большей массой тела сверла при увеличении его диаметра, большей поверхностью соприкосновения с заготовкой по поверхности резания, а также и большим объемом канавок сверла, что наряду с облегчением подвода охлаждающей жидкости к месту стружкообразования облегчает и выход стружки из отверстия. Благоприятное влияние на повышение  $v$  с увеличением  $D$  оказывает и повышенная жесткость сверл большего диаметра.

**Подача.** С увеличением подачи увеличивается термодинамическая нагруженность сверла, что снижает его стойкость (или скорость резания при одинаковой стойкости).

**Глубина сверления.** С увеличением глубины сверления условия работы сверла становятся более тяжелыми (см. стр. 199); это приводит к большему нагреву сверла и к снижению его стойкости (в большей степени для сверл меньших диаметров). Поэтому при

сверлении на глубину более  $3D$  скорость резания необходимо снижать, что учитывается поправочным коэффициентом  $K_{lv}$ :

Глубина отверстия до . . . . .	$3D$	$4D$	$5D$	$6D$	$8D$	$10D$
Коэффициент $K_{lv}$ . . . . .	1,0	0,85	0,75	0,7	0,6	0,5

**Форма заточки.** Двойная заточка под углом  $2\varphi_0 = 70^\circ$  (рис. 190) позволяет повысить скорость резания в среднем на 15—20% при сверлении стали (по сравнению с одинарной заточкой) и на 30% при сверлении чугуна; стойкость сверл (при одной и той же скорости резания) повышается в 2—3,5 раза. Повышение скорости резания, допускаемой сверлом, объясняется тем, что режущая кромка становится длиннее, стружка у кромки, образованной дополнительной заточкой, будет тоньше (рис. 190), а уголок (в месте перехода от режущих кромок к ленточкам), являющийся наиболее слабым местом сверла, — более массивным. Это повышает прочность уголка и снижает термодинамическую нагрузку на единицу длины режущей кромки. Повышению скорости резания на 10—15% способствует и подточка перемычки (см. размер  $A$ , рис. 178); стойкость при одинаковой скорости резания повышается в 1,5—2 раза.

Подточка ленточки на длине  $l_1$  под углом  $6-8^\circ$  (см. рис. 178) снижает трение, что способствует повышению допускаемой скорости резания в среднем на 15%. Такая подточка ленточки целесообразна при сверлении заготовок с предварительно снятой коркой; при наличии же корки ослабленная подточкой ленточка может выкрошиться, и тогда эффект от подготовки будет обратным. Заточка сверл по схеме, приведенной на рис. 179, способствует при обработке чугуна еще большему повышению стойкости и производительности (последнее в основном за счет возможности увеличения подачи вследствие уменьшения осевой силы, см. стр. 195).

**Смазочно-охлаждающие жидкости.** При сверлении применяются следующие жидкости: при обработке сталей — эмульсии и компаундированные масла (для легированных сталей); при обработке ковкого чугуна — эмульсии; при обработке серого чугуна — керосин (чаще всухую); при обработке алюминия — эмульсия, керосин (чаще всухую); при обработке бронзы — эмульсия (чаще всухую).

Особенно эффективен подвод жидкости в зону резания под давлением  $15 \text{ кгс/мм}^2$ . При такой интенсивной подаче жидкости стружка получается дробленой и полностью вымывается из отверстия. Значительное снижение температуры резания при этом приводит к повышению стойкости сверл из быстрорежущей стали Р9 до 10 раз, что обеспечивает возможность соответствующего повышения элементов режима резания и снижения машинного времени в 2 раза. В 1,75—2

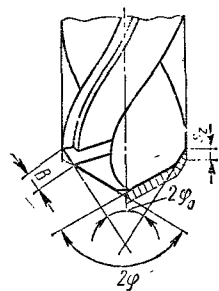


Рис. 190. Двойная заточка сверла

раза снижается машинное время и при применении такого метода охлаждения для сверл с пластинками из твердых сплавов. Применение обычного метода охлаждения для сверл, оснащенных сплавом ВК8, при обработке серого чугуна способствует повышению скорости резания на 30—40%.

## § 9. Формулы для подсчета скорости резания

При сверлении

$$v_{\text{н}} = \frac{C_v D^{z_v}}{T^m s^{y_v}} K_v \text{ м/мин.}$$

При рассверливании

$$v_{\text{н}} = \frac{C_v D^x}{T^m t^{x_v} s^{y_v}} K_v \text{ м/мин,}$$

где  $C_v$  — постоянный коэффициент, характеризующий материал заготовки и условия ее обработки;  $D$  — диаметр сверла в мм;  $T$  — стойкость сверла в мин;  $s$  — подача в мм/об;  $t$  — глубина резания при рассверливании в мм;  $m$  — показатель относительной стойкости;  $x_v, z_v, y_v$  — показатели степеней;  $K_v$  — общий поправочный коэффициент, учитывающий все другие конкретные условия обработки по сравнению с теми, для которых дается  $C_v$ .

Для сверл с формой заточки ДП (см. табл. 12) значения  $C_v, m, z_v, x_v$  и  $y_v$  приведены в табл. 14 (при обработке горячекатаной

Таблица 14

Коэффициент  $C_v$  и показатели степеней в формуле для определения скорости резания при сверлении

Материал заготовки	Материал сверла	Вид обработки	Подача $s$ в мм/об	$C_v$	$m$	$z_v$	$y_v$	$x_v$
Сталь конструкционная углеродистая, $\sigma_B = 75 \text{ кгс/мм}^2$ , $HB \ 215$	P18	Сверление Рассверливание	$\leq 0,2$	7	0,2	0,4	0,7	—
			$> 0,2$	9,8	0,2	0,4	0,5	—
			—	16,2	0,2	0,4	0,5	0,2
Чугун серый, $HB \ 190$	ВК8	Сверление	—	34,2	0,2	0,45	0,3	—

стали — с охлаждением эмульсией, при обработке чугуна — без охлаждения) при глубине сверления до  $3D$ . В случае измененных условий обработки на приведенные значения коэффициента  $C_v$  необходимо ввести в виде множителя поправочные коэффициенты (см. стр. 104—113).

## § 10. Назначение элементов режима резания

Элементы режима резания при сверлении и рассверливании для конкретных условий обработки (обрабатываемый материал; материал и геометрические параметры инструментов; требования, предъявляемые к обработанной поверхности; станок, на котором будет производиться обработка и др.) должны быть выбраны такими, чтобы процесс резания был наиболее производительным и экономичным. Порядок выбора элементов режима резания следующий.

1. Подача выбирается в зависимости от технологических и механических факторов (качества обработанной поверхности, характера обработки, прочности сверла, вида отверстия) по таблицам, приводимым в справочниках, и корректируется по кинематическим данным станка (берется ближайшая меньшая).

2. При заданной оптимальной стойкости подсчитывается скорость резания, допускаемая режущими свойствами сверла (см. стр. 204). По найденной скорости определяется частота вращения, которая корректируется по кинематическим данным станка (берется ближайшее меньшее или ближайшее большее, если оно не превышает более чем на 5% расчетное). По скорректированной частоте вращения  $n_d$  находится действительная скорость резания, с которой будет производиться обработка.

3. Проверяются выбранные элементы режима по прочности слабого звена механизма подачи станка, а также механизма главного движения станка (при работе с малой частотой вращения шпинделя), и по достаточности мощности электродвигателя станка. Если окажется, что мала прочность слабого звена механизма подачи, т. е. если  $P > P_{\max}$  (стр. 195), то необходимо уменьшить подачу. Подачу необходимо уменьшить и в случае, если будет недостаточна прочность слабого звена механизма главного движения станка, т. е. если  $M > M'_{\text{вр}}$  или если  $N_{\text{рез}} > N'_{\text{шп}}$  (стр. 130, 131).

4. Достаточность мощности электродвигателя станка проверяется по условию, чтобы  $N_M \leq N$  (или  $M \leq M_{\text{вр}}$ ). Если же окажется, что  $M > M_{\text{вр}}$  (или  $N_M > N_{\text{ст}}$ ), то целесообразно уменьшить  $n(v)$ .

5. По окончательно найденным  $n_d$  и  $s$  подсчитывается машинное время.

При определении  $v_{\text{и}}$ ,  $P$  и  $N_{\text{рез}}$  можно воспользоваться соответствующими таблицами справочников по режимам резания с учетом поправочных коэффициентов.

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ СВЕРЛ

§ 1. Основные элементы конструкции сверл

По конструкции различают сверла: спиральные, с прямыми канавками, перовые, для глубоких отверстий, для кольцевого сверления, центровочные и специальные комбинированные. К конструктивным элементам относятся: диаметр сверла  $D$ ; угол режущей части  $2\phi$  (угол при вершине); угол наклона винтовой канавки  $\omega$ ; геометрические параметры режущей части сверла, т. е. соответственно передний  $\alpha$  и задний  $\gamma$  углы и угол резания  $\delta$ , толщина сердцевины (или диаметр сердцевины)  $d$ ; толщина пера (зуба)  $b$ ; ширина ленточки  $f$ ; обратная конусность; форма режущей кромки и профиль канавки сверла; длина рабочей части  $l_0$ ; общая длина сверла  $L$ .

Диаметр сверла всегда следует брать немного меньше, чем диаметр просверливаемого им отверстия, так как диаметр отверстия при сверлении увеличивается. Диаметр сверла выбирают по ГОСТ 885—64\*. Допуски на диаметр спиральных сверл в зависимости от условий работы следовало бы давать различные, однако, учитывая, что окончательная обработка отверстия производится другими инструментами (развертки, раскатки) и что трудно предвидеть точное назначение сверла, допуски на диаметр принимают единые. Диаметр направляющей части спирального сверла с целью уменьшения трения о стенку отверстия уменьшается по направлению к хвостовику, т. е. направляющая часть сверла имеет обратную конусность:

Диаметр сверла в мм . . . . .	1—6	Св. 6 до 18	Св. 18
Обратная конусность в мм на 100 мм длины	0,03—0,07	0,04—0,08	0,05—0,10

В табл. 15 приведены рекомендуемые значения угла  $\omega$  в зависимости от диаметра сверла общего назначения, а в табл. 16 — в зависимости от обрабатываемого материала.

**Сердцевина и поперечная кромка сверла.** Диаметр сердцевины у спиральных сверл является важнейшим элементом. При недостаточном диаметре сердцевины сверло будет менее жестким, а следовательно, будет выдерживать меньшие крутящие моменты. Однако при уменьшении сердцевины значительно сокращается осевая сила и облегчается процесс сверления, так как уменьшается поперечная кромка.

Угол наклона винтовой канавки  $\omega$ 

Диаметр сверла в мм	$\omega^\circ$	Диаметр сверла в мм	$\omega^\circ$	Диаметр сверла в мм	$\omega^\circ$	Диаметр сверла в мм	$\omega^\circ$
0,25—0,35	18	0,75—0,95	21	3,0—3,4	24	6,5—8,4	27
0,4—0,45	19	1,0—1,9	22	3,5—4,4	25	8,5—9,9	28
0,5—0,7	20	2,0—2,9	23	4,5—6,4	26	10—80	30

Таблица 16

Значения  $\omega$  и  $2\varphi$ , рекомендуемые для сверл из инструментальных сталей \*

Материал заготовки	$\omega^\circ$	$2\varphi^\circ$	Материал заготовки	$\omega^\circ$	$2\varphi^\circ$
Сталь, $\sigma_{\text{в}}$ кгс/мм <sup>2</sup> :			Лагунь . . . . .	25—30	130
До 70 . . . . .	30	116—118	Бронза:		
70—100 . . . . .	25	120	$HB \geq 100$ . . . . .	15—20	135
100—140 . . . . .	20	125	$HB < 100$ . . . . .	8—12	125
Нержавеющая сталь	25	120	Алюминиевые сплавы	35—45	130—140
Чугун . . . . .	25—30	116—120	Пластмассы, эбонит,		
Красная медь . . . . .	34—45	125	бакелит . . . . .	8—12	60—100

\* Для сверл диаметром 10 мм и выше; у более мелких сверл следует принимать иные углы; кроме того, данные таблицы предусматривают изготовление сверл из быстрорежущей, углеродистой или легированной стали, но не из твердого сплава.

Для сверл из углеродистой и быстрорежущей сталей диаметром от 6 до 10 мм диаметр сердцевинки принимают в пределах  $(0,2 \div 0,25) D$ ; для сверл диаметром свыше 10 мм диаметр сердцевинки  $(0,13 \div 0,16) D$ . У сверл с пластинками из твердого сплава сердцевина делается относительно большой, так как такое сверло ослабляется при врезании пластинки. Для сверл с пластинками из твердого сплава диаметром до 10 мм сердцевина равна  $(0,27 \div 0,3) D$ ; для сверл с диаметром свыше 10 мм она равна  $(0,25 \div 0,26) D$ . У сверл, канавки которых обрабатываются на фрезерном станке, диаметр сердцевинки по направлению к хвостовику увеличивается на 1,4—1,8 мм на 100 мм длины. Это обеспечивает большую прочность и жесткость сверла.

Ширина пера  $b$  выбирается из условия прочности сверла, а ширина канавки — из условия достаточного пространства для помещения стружки и отвода ее от режущей кромки во время работы сверла. Обычно ширину пера принимают равной ширине канавки, т. е. при двух перьях равной  $1/4$  окружности сверла. Однако для сверл с большим углом  $\omega$  ширину канавки следует немного увеличивать. Для быстрорежущих сверл:

$b$ в мм . . . . .	0,62D	0,59D	0,58D
$d$ в мм . . . . .	3—8	8—20	Св. 20

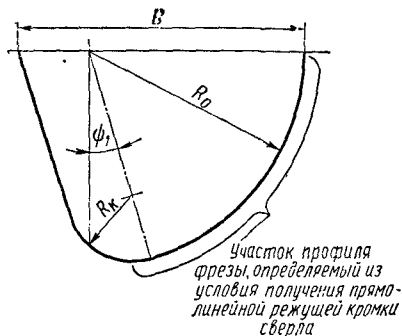


Рис. 191. Профиль канавочной фрезы

Профиль канавочной фрезы рассчитывается по аналитическим формулам. Все элементы профиля канавочной фрезы (радиусы  $R_0$ ,  $R_k$  и ширина  $B$ ; рис. 191) можно определить упомянутым аналитическим способом.

Радиус  $R_0$  профиля фрезы для обработки сверла диаметром  $D$

$$R_0 = C_R C_r C_\phi D,$$

где

$$C_R = \frac{0,026 \cdot 2\varphi \sqrt[3]{2\varphi}}{\omega}$$

Коэффициент, учитывающий изменение диаметра перемычки,

$$C_r = \left( \frac{0,14D}{d} \right)^{0,044}$$

где  $d$  — диаметр перемычки (сердцевины) сверла.

Коэффициент, учитывающий влияние диаметра канавочной фрезы,

$$C_\phi = \left( \frac{13 \sqrt{D}}{D_\phi} \right)^{\frac{0,9}{\omega}}$$

где  $D_\phi$  — диаметр канавочной фрезы.

Радиус закругления вершины фрезы

$$R_k = C_k D,$$

где коэффициент

$$C_k = 0,015\omega^{0,75}$$

Ширина фрезы

$$B = R_0 + \frac{R_k}{\cos \psi_1}$$

Так как угол  $\psi_1$  обычно мал (равен  $10^\circ$ ), можно приближенно принять

$$B \approx R_0 + R_k.$$

Фрезу построенного или рассчитанного профиля можно использовать только для обработки сверла одного диаметра при определенных значениях угла наклона винтовой линии, угла при вершине, размера сердцевинки. Но при таких условиях потребовалось бы большое количество фрез. Поэтому практически одной фрезой

Форма режущей кромки и поперечного сечения канавки сверла. Режущая кромка сверла — линия, образованная пересечением передней поверхности канавки сверла и задней поверхности, — обычно выполняется прямолинейной. Однако большего постоянства переднего угла  $\gamma$  можно добиться при криволинейной (выпуклой) режущей кромке.

На чертежах указывается не форма поперечного сечения канавки сверла, а профиль зуба канавочной фрезы (у сверл с фрезерованными канавками) или профиль прокаточной заготовки (у витых сверл). Профиль канавочной фрезы (рис. 191) можно определить двумя методами: графически, когда профиль фрезы строится по заданному профилю сверла, и аналитическим, при котором криво-



обрабатывают сверла диаметром в определенных пределах; получающиеся при этом неточности не имеют большого значения. Рабочая часть сверла может быть получена не только фрезерованием, но и шлифованием.

В последнее время распространяется применение спиральных сверл, канавки и спилки которых получены при шлифовании абразивным кругом закаленного цилиндрического стержня. Вследствие того, что отпадает необходимость в термической обработке инструмента после изготовления, а также благодаря применению высокопроизводительного и точного метода шлифования, многие параметры сверла выдерживаются точнее, чем у фрезерованных сверл. Расчет профиля абразивного круга аналогичен расчету профиля фрезы.

Широко распространена технология получения витых сверл. Основное отличие витых сверл заключается в том, что винтовые канавки у них получены не фрезерованием, а путем прокатки круглой заготовки (рис. 192) и последующей завивки. При такой технологии сокращается расход быстрорежущей стали.

Существует несколько способов получения витых сверл (секторный прокат, продольно-винтовой прокат и т. д.)\*. Ленточка *f* — узкая полоска зуба, шлифованная по диаметру, принимается обычно в пределах (0,06—0,07) диаметра сверла по высоте. От ленточки зависит направление сверла и потери на излишнее трение при сверлении. Длина  $l_0$  рабочей части сверла приводится в соответствующих стандартах. У сверл, оснащенных твердым сплавом, длину рабочей части следует брать короче, чем у быстрорежущих сверл, так как запас на перегретку из-за небольшой длины пластинки у них будет значительно меньше. Как общая длина сверла, так и длина рабочей части влияют на жесткость сверла, поэтому там, где нет необходимости применять длинные сверла (например, при центрировании), следует применять укороченные сверла, чтобы уменьшить опасность поломки. Форма хвостовика сверла определяется методом крепления сверла. Мелкие сверла (диаметром до 10—12 мм) изготавливаются с цилиндрическим хвостовиком и закрепляются в зажимных патронах. Более крупные сверла изготавливаются обычно с коническим хвостовиком

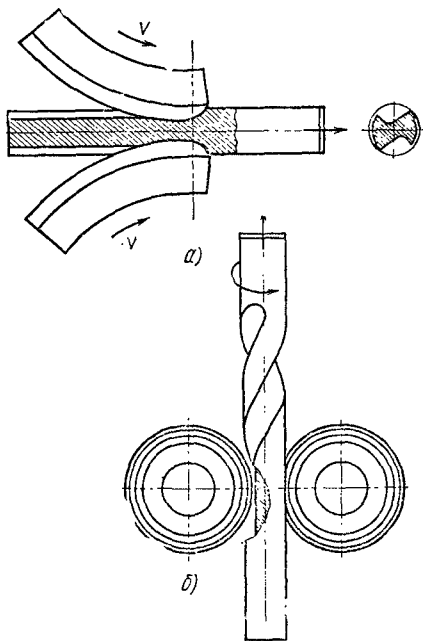


Рис. 192. Схема секторной прокатки и завивки сверла:

а — прокатка профиля заготовки; б — завивка

## § 2. Особенности конструкций отдельных типов сверл

В настоящее время стандартизованы основные типы сверл: а) из углеродистых и быстрорежущих сталей, с цилиндрическим и коническим хвостовиками различной длины (короткие, нормальные, длинные и т. д.); б) оснащенные твердым сплавом, с цилиндрическим и коническим хвостовиками; в) центровочные.

\* Подробнее изложено в курсах технологии изготовления режущего инструмента.

**Сверла, оснащенные твердым сплавом.** Сверла, оснащенные твердым сплавом, применяют для сверления заготовок из чугуна, закаленной стали, пластмассы, стекла, мрамора, особенно в тех случаях, когда сверление производится на высоких скоростях с небольшими по величине подачами. Существует несколько типов сверл, оснащенных твердыми сплавами.

Цельные, так называемые монолитные сверла изготавливают небольших диаметров. На рис. 193, а показано сверло конструкции Института твердых сплавов. На рис. 193, б показана конструкция твердосплавного монолитного сверла, изготавливаемого по способу, предложенному ВНИИ. Мелкогабаритный цельный твердосплавный инструмент (сверла, развертки, метчики, концевые фрезы) до 6 мм целесообразно изготавливать шлифованием из гладких твердосплавных стержней с получением стружечных канавок и ленточек.

Размеры сверл:  $D = 0,8 \div 6$  мм; общая длина  $L = 30 \div 65$  мм — для короткой серии и  $L = 30 \div 95$  мм — для длинной серии сверл; длина рабочей части  $l_0 = 5 \div 28$  мм — для короткой серии и  $l_0 = 10 \div 60$  мм — для длинной серии сверл; ширина ленточки  $f = 0,3 \div 0,72$  мм; толщина сердцевины  $k = 0,2 \div 1,8$  мм. Параметры  $2\varphi$ ,  $\omega$ ,  $\gamma$  назначаются в зависимости от обрабатываемого материала. Сверла изготавливаются из твердых сплавов ВК6М, ВК8М и ВК10М и предназначены для обработки тугоплавких металлов (вольфрам, бериллий), титановых и молибденовых сплавов и высокопрочных чугунов, нержавеющей, хромоникелевых, жаропрочных сталей и сплавов. Стоимость монолитных сверл из твердого сплава в 10 раз выше по сравнению со стоимостью сверл из быстрорежущей стали.

Сверла с косыми канавками просты по конструкции: в цилиндрической державке (рис. 193, в) из стали 9ХС прорезается паз, в который впаивается пластинка из сплава ВК8. Такие сверла удобны при сверлении неглубоких отверстий.

Сверла с винтовыми канавками предназначены для сверления отверстий в заготовках из хрупких и вязких металлов при высоких режимах работы, а также из неметаллических материалов. На рис. 193, г показано сверло с коническим

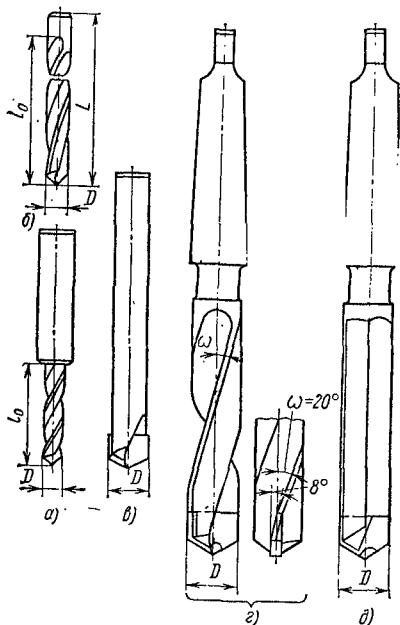


Рис. 193. Сверла из твердого сплава:

а — со стальным хвостовиком; б — изготовленное по методу ВНИИ; в — с косыми канавками, оснащенное твердым сплавом; г — спиральное, оснащенное пластинкой твердого сплава; д — с прямыми канавками и твердосплавной пластинкой

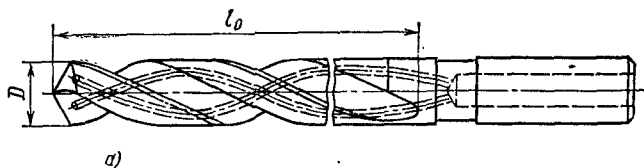
хвостовиком, оснащенное твердым сплавом. Винтовые канавки имеют переменный шаг. У режущей части угол наклона  $\omega_1 = 5 \div 8^\circ$ , а часто даже равен нулю (т. е. прямая канавка); дальше канавка наклонена под углом  $\omega = 15 \div 20^\circ$ . Длина канавки принимается  $(4,5 \div 5,5)d$ . Общая длина сверла также соответственно меньше, чем у сверла из быстрорежущей стали. Ввиду ограниченного числа переточек обратная конусность должна быть больше, чем у нормального сверла, и равна 0,6—0,8 мм на 100 мм длины. Для работы с кондуктором конусность дается только на длине пластинки, а корпус сверла шлифуется по цилиндру.

На рис. 193, д показано сверло с прямыми канавками (по данным завода «Фрезер»). Такое сверло предназначено для сверления в заготовках из чугуна и хрупких материалов отверстий глубиной до  $(2 \div 3)d$ . При сверлении большое значение имеет подвод охлаждающей жидкости в достаточном количестве и отвод стружки. Особенно это важно при сверлении более глубоких отверстий. Сверла с канавками для подвода охлаждающей жидкости (рис. 194, а) хорошо работают при глубине отверстия  $(1 \div 2)d$ . Для изготовления таких сверл применяется технология, разработанная инж. П. Овчинниковым. В короткой заготовке сверлятся два отверстия, в которые вставляются стержни из наполнителя; затем производится прокатка профиля сверла, и длина заготовки соответственно увеличивается.

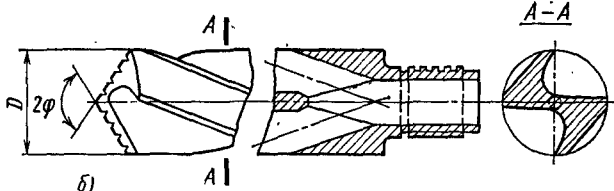
После завивки в процессе нагрева (при термической обработке) наполнитель удаляется, и в сверле остаются глубокие отверстия для охлаждения, располагающиеся по винтовой линии (рис. 194, а).

**Сверла для глубоких отверстий.** Если глубина отверстий превышает  $5D$ , то такие отверстия принято называть глубокими. Можно обеспечить глубокое сверление, если использовать длинное сверло с обычными геометрическими параметрами и сверлить, часто приостанавливая процесс и вынимая сверло с тем, чтобы охладить его и удалить накопившуюся в канавках стружку. Такое сверление (оно носит название «шаг за шагом») малопродуктивно. В СКБ-8 разработано сверло (рис. 195), имеющее крутые винтовые канавки [ $\omega = 50 \div 65^\circ$  (по виду сверло напоминает буров для дерева)] и измененную форму стружечных канавок по сравнению со стандартными сверлами. Сверло хорошо выводит стружку из зоны резания и позволяет осуществлять сверление глубоких отверстий длиной более  $10d$  в заготовках из чугуна, стали, легких сплавов. При сверлении отверстий (особенно в деталях из труднообрабатываемых материалов) с глубиной  $(2 \div 4)d$  целесообразно применять сверла НИПИЛ Куйбышевского политехнического института (рис. 195, б). Эти сверла имеют угол  $\omega = 40 \div 45^\circ$  и более усиленную сердцевину  $[(0,3 \div 0,5)d]$ . Канавки сверла можно получить фрезерованием дисковой пазовой фрезой с закругленными уголками.

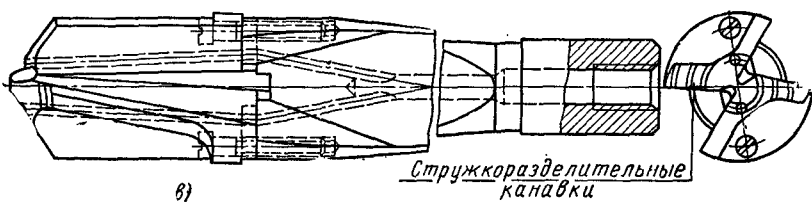
Глубокие отверстия сверлят обычно непрерывно с принудительным наружным или внутренним отводом стружки. Принуди-



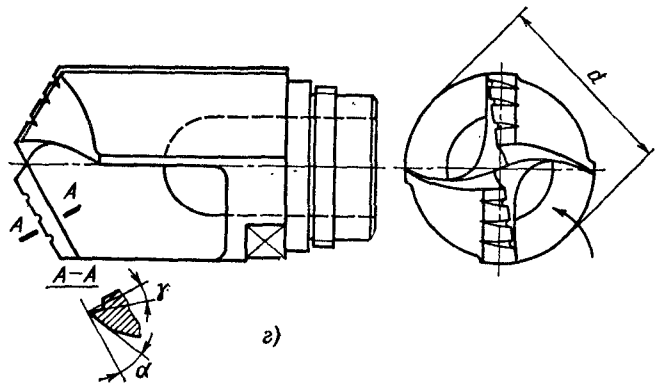
а)



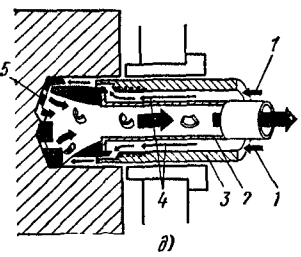
б)



в)



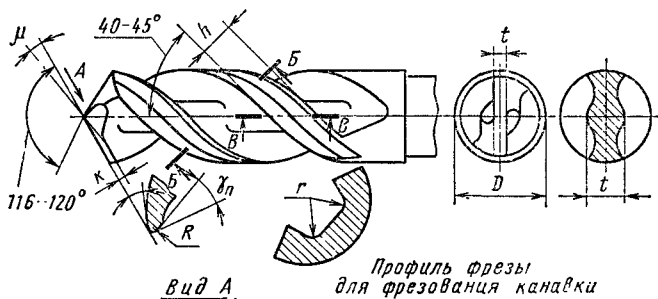
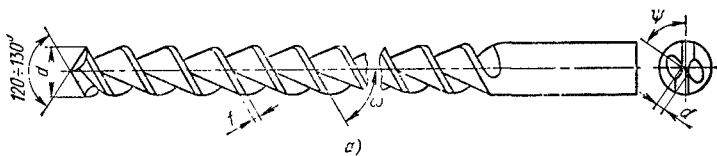
г)



д)

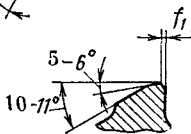
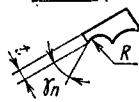
Рис. 194. Типы сверл с подводом охлаждающей жидкости:

а — сверло с каналами; б — сверло с четырьмя ленточками и с внутренним отводом стружки; в — сверло с наружным отводом стружки; г — сверло с М-образной заточкой и внутренним отводом стружки; д — эжекторное сверло

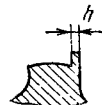


*Вид А*

*Профиль фрезы для фрезования канавки*



*Вариант I*



*Вариант II*

*б)*

Рис. 195. Сверла конструкции СКБ-8 (а) и НПИЛ (б)

тельный отвод осуществляется жидкостью (реже воздухом), подводимой в зону резания под давлением.

На рис. 194, б показано спиральное двухкромочное составное сверло с четырьмя направляющими ленточками (вместо двух), образующими каналы для охлаждающей жидкости. Отвод стружки осуществляется через внутренние отверстия и стемель, представляющий собой трубку. Охлаждающая жидкость под давлением 10—20 кгс/см<sup>2</sup> подается в пространство между наружным диаметром стемеля и стенками отверстия. Сверление производится на специальном станке, имеющем устройство для подвода жидкости. Для улучшения внутреннего отвода стружки используется эжекторный эффект, получаемый при проходе струи жидкости под давлением через сопло. На рис. 194, д приведена схема подачи жидкости при работе эжекторного сверла. Поток жидкости 1, проходя между внутренним 2 и наружным 3 стемелями, достигая щелей 4, раздвигается. Часть (примерно одна треть) проходит через щели внутреннего стемеля и создает при выходе разрежение (эжекторный эффект), что способствует лучшему удалению стружки из зоны резания. Оставшаяся жидкость продолжает двигаться и, проходя через отверстия 5 в рабочей части сверла, охлаждает

режущие кромки и направляющие, смазывает их и перемещает стружку в стружечные канавки.

Спиральное короткое сверло с наружным отводом стружки (см. рис. 194, в) также имеет две главные режущие кромки. При сверлении жидкость подводится по каналу в стебле сверла и распределяется через отдельные мелкие отверстия по режущим кромкам. Для спокойной работы сверла необходимо обеспечить форму стружки в виде мелких завитых спиралей (это касается всех сверл для глубокого сверления). Поэтому на кромках сверла делают стружкоразделительные канавки. Это сверло, однако, не обеспечивает прямолинейной оси отверстия, особенно если заточка произведена неправильно и длина режущих кромок различна.

Применяют два способа сверления глубоких отверстий: 1) обычный способ, при котором весь материал, отделяемый от заготовки, превращается в стружку; отверстия диаметром до 70 мм чаще сверлят этим способом; 2) способ кольцевого сверления, при котором высверливается кольцевая полость, а в центральной части отверстия остается стержень; таким способом сверлят отверстия больших диаметров, так как для меньших отверстий сверло оказывается непрочным.

Сверла для глубокого сверления можно разделить на многокромочные с перемычкой, т. е. сверла, имеющие две главные режущие кромки, и однокромочные, или сверла одностороннего резания. Для получения прямолинейности оси отверстия необходимо устранить или ослабить влияние перемычки на увод сверла в сторону. Это достигается путем применения сверла с отверстием для образования сердечника. Такое сверло не обращает в стружку весь металл, а оставляет тонкий стержень (сердечник), благодаря чему улучшается направление сверла.

Основным преимуществом многокромочных сверл является их высокая производительность по сравнению с однокромочными. На рис. 194, г показана конструкция многокромочного сверла для глубокого сверления с М-образной заточкой, при которой максимально устраняется влияние перемычки. Вместе с тем все конструкции многокромочных сверл в той или иной степени имеют общий недостаток — наличие поперечной кромки (перемычки). Даже идеально заточенное многокромочное сверло с перемычкой не гарантирует от увода сверла. Многокромочные сверла работают с вибрациями. Указанные недостатки многокромочных сверл частично устраняются при использовании сверл одностороннего резания. Увод сверла от оси детали резко уменьшается при неподвижном сверле и вращающейся детали; эта схема часто применяется при глубоком сверлении.

На рис. 196 показана простейшая конструкция однокромочного (пушечного) сверла. Оно представляет собой стержень, передний конец которого срезан до центра и заточен под соответствующими углами. Во избежание заедания сверла в отверстии передняя поверхность расположена выше центра на 0,2—0,5 мм, в зависимости от диаметра сверла. Сверло имеет главную режущую кромку,

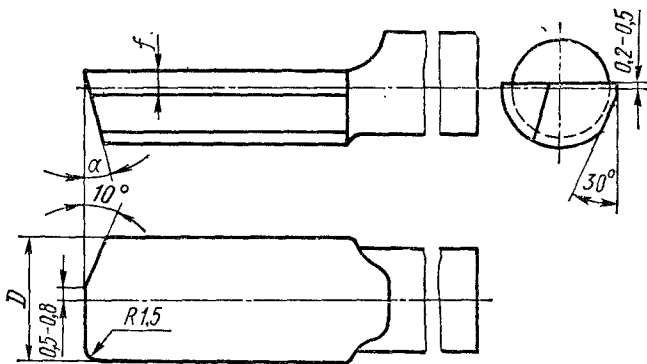


Рис. 196. Однокромочное сверло (пушечное)

направленную перпендикулярно оси отверстия. Вспомогательная режущая кромка может быть срезана под углом  $10^\circ$ . Сверло работает с направлением по предварительно надсверленному отверстию. Для направления по отверстию сверло имеет цилиндрическую поверхность, которая опирается о стенки просверленного отверстия. Углы сверла следующие: угол резания  $90^\circ$ ; задний угол  $8-10^\circ$ . Для уменьшения трения направляющей о стенки отверстия срезана лыска под углом  $30^\circ$  и направляющая имеет обратный конус в пределах  $0,03-0,05$  мм на 100 мм длины.

Для получения точных отверстий с прямолинейной осью применяются так называемые ружейные сверла. Они также представляют собой инструмент одностороннего резания. Такое сверло (рис. 197, а)\* состоит из двух основных частей: режущей части, изготовляемой из быстрорежущей стали, и зажимной части, или стебля сверла, изготовляемого из углеродистой стали. Стебель представляет собой длинную трубку, которой придают форму, показанную в сечении по  $B-B$ . По внутреннему отверстию в трубке к режущей части сверла под высоким давлением подается охлаждающая жидкость, которая выполняет двойную роль: она отводит тепло от режущей части сверла и удаляет образующуюся стружку из зоны резания.

Сверло во время работы испытывает одностороннее кручение, сжатие и продольный изгиб. Ввиду этого необходимо обеспечить достаточную жесткость державки. Следовательно, канал должен быть наименьшим; но для свободного выхода стружки из канавки сверла сечение канавки должно быть максимальным. Практически установлен и рекомендуется угол  $\varphi = 100 \div 120^\circ$ .

Однокромочные сверла с напайными пластинками твердого сплава применяются для сверления сквозных и глухих отверстий (рис. 197, в)  $D = 30 \div 60$  мм,  $L = 65 \div 98$  мм,  $d = 29 \div 57$  мм.

\* На рис. 197, б показаны реакции сил  $R_W$  и  $R_N$ , равные им, но противоположно направленные.

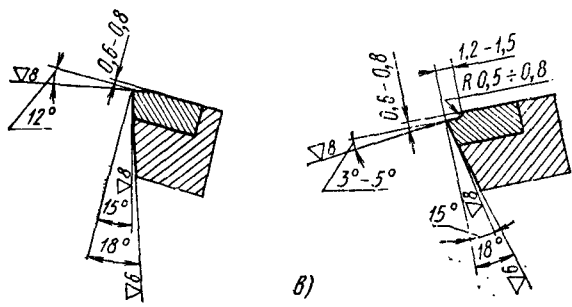
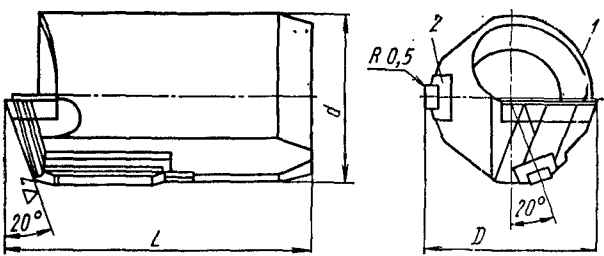
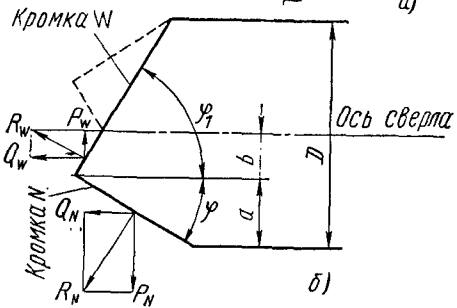
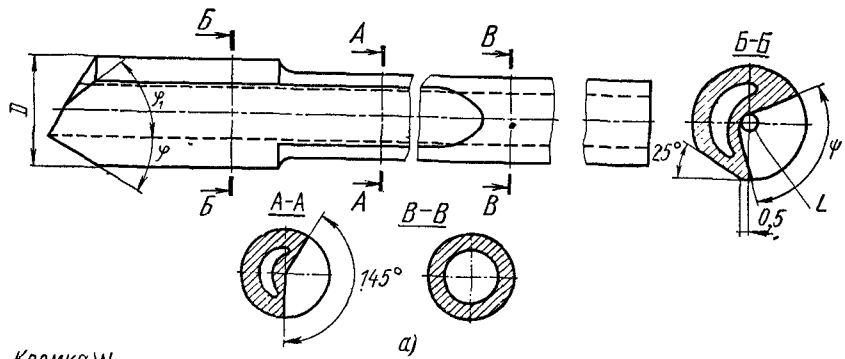


Рис. 197. Однокромочные сверла:

а — конструкция ружейного сверла; б — схема действующих сил резания; в — конструкция сверла с напайными твердосплавными пластинками



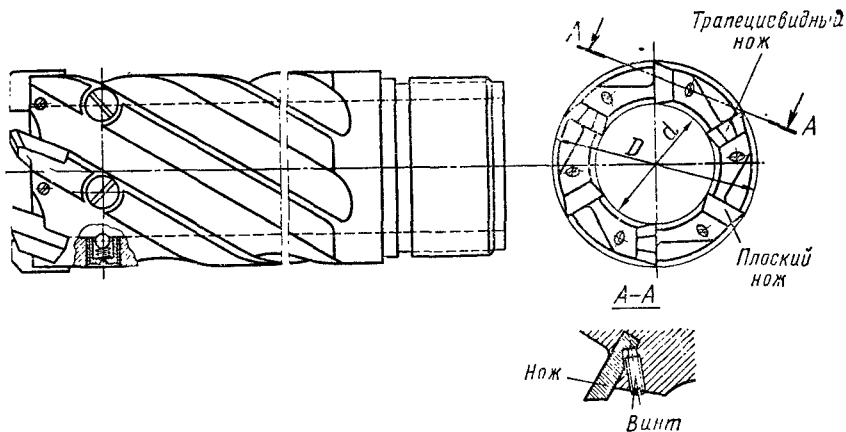


Рис. 198. Сверло для кольцевого сверления

Для изготовления режущих пластинок применяется твердый сплав Т15К6, а для направляющих — сплав ВК8.

**Сверла для кольцевого сверления.** При сверлении отверстий большого диаметра (больше 70 мм) вырезается кольцевая полость, а в середине остается сердечник, который затем может быть удален. В корпусе сверла для кольцевого сверления (рис. 198) закреплены ножи. Режущие кромки ножей выступают со стороны торца, наружного диаметра корпуса и со стороны его внутреннего диаметра. При вращении ножи вырезают кольцевую полость. За трапециевидным прорезным ножом следует плоский зачистной. Для направления сверла при глубоком сверлении в отверстии корпус сверла имеет направляющие ленточки (или иногда кулачки, которые изготавливаются из пластмассы или дерева). Сверла для кольцевого сверления глубоких отверстий конструкции С. Черничина изготавливаются цельными и тонкостенными (могут армироваться твердыми сплавами) и поэтому позволяют сверлить отверстие  $d < 50$  мм.

### § 3. Заточка сверл

Станки для заточки сверл можно разбить на группы: 1) для конической заточки, когда поверхности сверла, образуемые при заточке, являются коническими; 2) для винтовой заточки, когда поверхности сверла, образуемые при заточке, являются винтовыми; 3) для плоской заточки. На рис. 199, а и б показаны два способа заточки сверл на станках, относящихся к первой группе. Они различаются только схемой расположения оси воображаемого конуса относительно оси сверла. Приспособление для установки сверла (губкодержатель) конструируется таким образом, чтобы вершина конуса, по которому производится заточка, была расположена на определенном расстоянии от оси сверла; при первом способе

(рис. 199, *a*) это расстояние равно  $1,16D$ , а при втором способе (рис. 199, *б*) —  $1,9D$ . Кроме того, ось конуса смещается от оси сверла на расстояние  $K$ , равное  $1/13$ — $1/10$  диаметра сверла. Различное расположение оси воображаемого конуса относительно оси сверла обеспечивает различное изменение задних углов по всей длине режущей кромки сверла. Для сверла лучше, когда задний угол у наружного диаметра меньше, чем у центра. Поэтому наибольшее распространение получила заточка по второму способу, которая резко увеличивает задний угол по направлению к центру сверла. Заточка по первому способу увеличивает задний угол значительно меньше.

Широкое распространение имеет винтовая заточка (рис. 199, *в*). Сверло, зажатое в патроне, медленно вращается вокруг оси  $CC$ . Шлифовальный круг, кроме основного вращения вокруг оси  $AA$ , получает еще дополнительные движения — вращения вокруг оси  $BB$  (ось шпинделя смещена относительно оси втулки, и последняя получает независимое вращение) и возвратно-поступательное перемещение вдоль оси, которое осуществляется посредством кулачка. Дополнительное вращение шлифовального круга обеспечивает перемещение его рабочей поверхности по режущей кромке сверла. Таким образом, все относительные перемещения шлифовального круга и сверла так связаны между собой, что в результате полу-

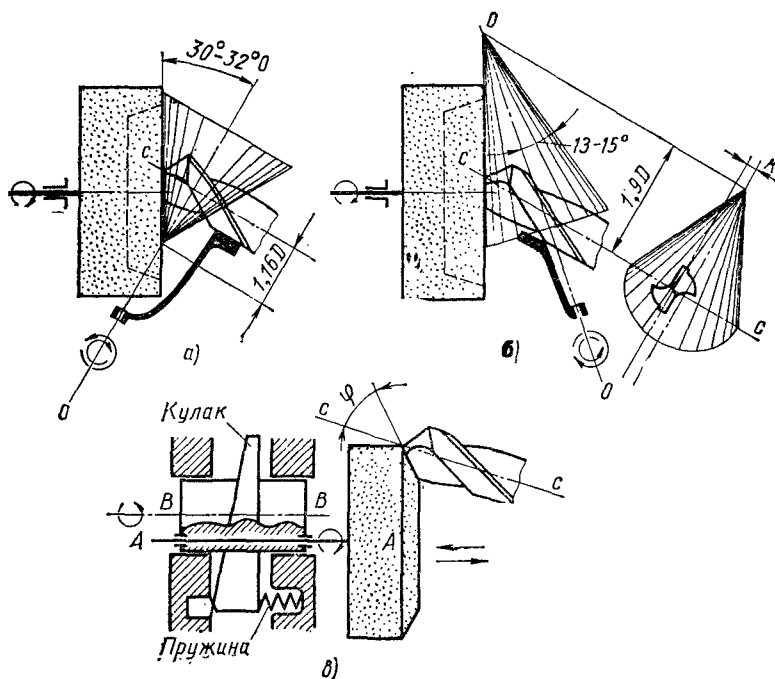


Рис. 199. Схема заточки сверл:  
*a* и *б* — коническая заточка; *в* — винтовая заточка

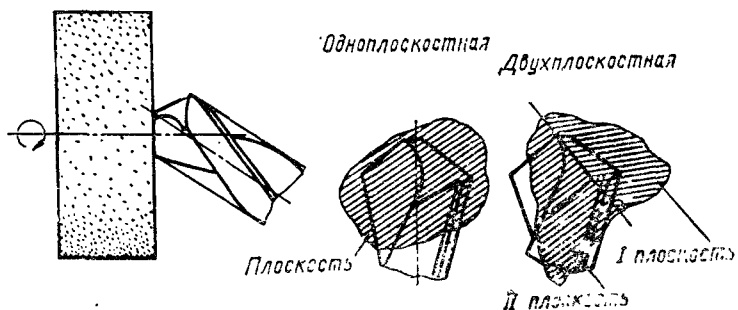


Рис. 200. Схема плоской заточки сверл

чается заточка задних поверхностей сверла по винтовой поверхности. Такой метод заточки позволяет получить более резкое увеличение заднего угла (на 25%) к центру сверла и имеет преимущества перед более распространенной заточкой по первому и второму способам.

Плоская заточка (рис. 200) используется для мелких сверл диаметром до 3 мм и реже для сверл больших диаметров. В последнем случае необходимо иметь так называемую двухплоскостную заточку, обеспечивающую необходимые задние углы для режущей кромки и образование второго затылка на нерабочей части пера, устраняющего затирание задней поверхности.

На станках с программным управлением рекомендуется применять сверла со специальными формами заточки задней поверхности и подточки поперечной кромки. Для сверл диаметром до 5 мм рекомендуется двухплоскостная заточка, а для сверл диаметром свыше 5 мм — двухплоскостная с улучшенным стружкоотводом или винтовая заточка с выпуклой заостренной поперечной режущей кромкой.

ЗЕНКЕРОВАНИЕ И РАЗВЕРТЫВАНИЕ

§ 1. Элементы режущей части зенкеров и разверток

Сверла из быстрорежущей стали обеспечивают обработку отверстий по 4—5-му классу точности и по 3—4-му классу шероховатости. Сверла с пластинками из твердых сплавов, работающие на более высоких скоростях резания, обеспечивают обработку отверстий по 3—4-му классу точности и 4—5-му классу шероховатости. Для получения более точных отверстий (3—4-й класс точности, 6-й класс шероховатости) применяют зенкерование.

Процесс зенкерования осуществляется зенкером (рис. 201), который служит для дальнейшей обработки отверстий, полученных после литья, штамповки или сверления. Эта обработка отверстия может быть либо окончательной, либо промежуточной (получи-

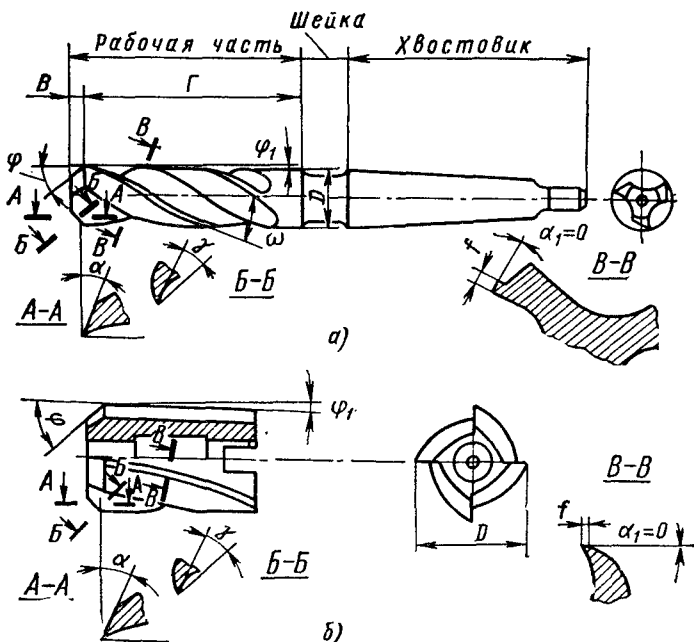


Рис. 201. Основные части зенкеров:

а — цельного с конусным хвостовиком; б — насадного цельного

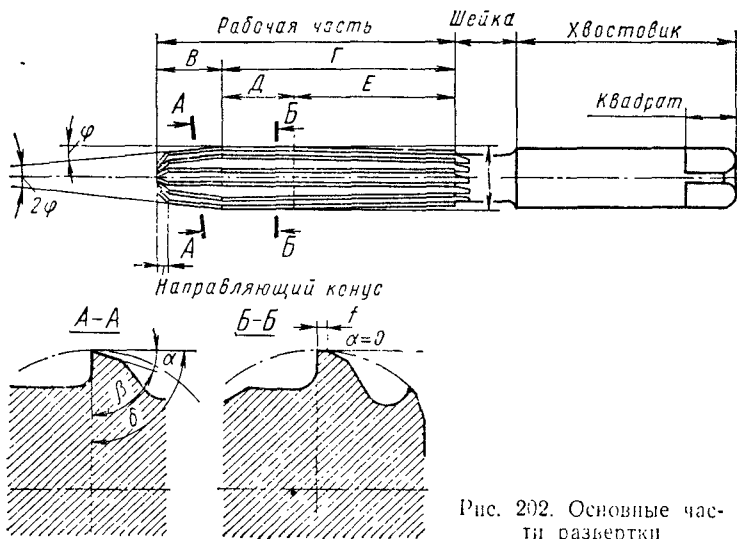


Рис. 202. Основные части развертки

стовой) перед развертыванием, дающим еще более точные отверстия (3 — 1-й класс точности, 7—9-й класс шероховатости). Характер работы зенкера подобен сверлу при рассверливании отверстия. По конструкции и оформлению режущих кромок зенкер несколько отличается от сверла и имеет три — четыре зуба.

Процесс развертывания осуществляется разверткой. Развертка (рис. 202) во многом напоминает зенкер; основное ее отличие от зенкера заключается в том, что она снимает значительно меньший припуск и имеет большее число зубьев\* — от 6 до 12.

Зенкеры и развертки изготовляют как из инструментальных быстрорежущих сталей P18 и P9, так и с пластинками из твердых сплавов (Т15К6 при обработке сталей; ВК8, ВК6 и ВК4 при обработке чугунов); ручные развертки изготовляют из сталей 9ХС и У12А.

Рабочая часть зенкера и развертки (см. рис. 201 и 202) снабжена режущими зубьями и состоит, в свою очередь, из двух частей: режущей В и калибрующей Г. Режущая (заборная) часть, наклоненная к оси под главным углом в плане φ (угол конуса режущей части 2φ), выполняет основную работу резания. Калибрующая часть служит для направления инструмента при работе, для калибрования отверстий и сохранения размера инструмента после его переточки. У развертки, в отличие от зенкера, калибрующая часть состоит из двух участков: цилиндрического Д и конического Е, так называемого обратного конуса (рис. 202). Обратный конус делается для уменьшения трения инструмента об обработанную поверхность и меньшего увеличения диаметра отверстия.

\* За исключением специальных однозубых и двузубых разверток.

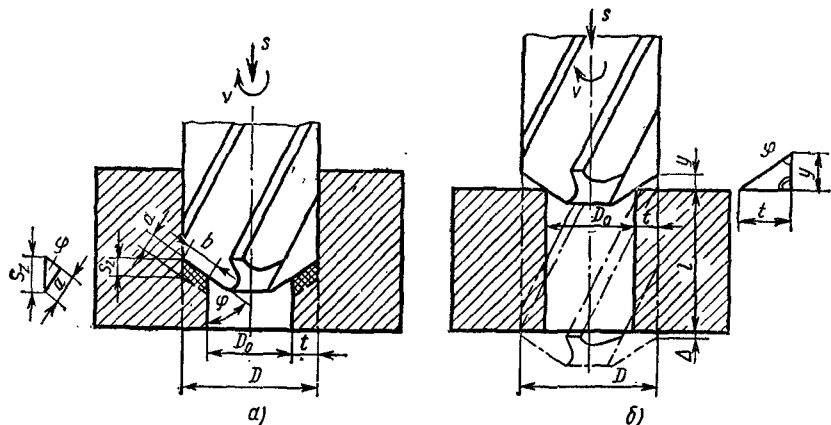


Рис. 203. Элементы резания при зенкеровании

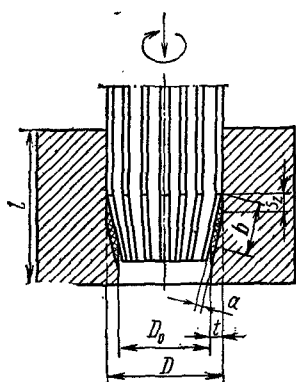


Рис. 204. Элементы резания при развертывании

*Передний угол  $\gamma$*  у зенкера из инструментальной стали равен  $10-20^\circ$ , у разверток  $\gamma = 0 \div 10^\circ$  ( $0^\circ$  — для чистовых разверток и при резании хрупких металлов). У зенкеров с твердосплавными пластинками угол  $\gamma$  равен от  $+5$  до  $-5^\circ$ , а у разверток — от  $0$  до  $-5^\circ$ .

*Задний угол  $\alpha$*  на режущей части у зенкеров и разверток делается  $6-15^\circ$  (большие значения для малых диаметров); задний угол на калибрующей части равен нулю, так как имеется цилиндрическая ленточка  $f$ .

*Главный угол в плане  $\phi$*  у зенкера  $30-60^\circ$ . У разверток из инструментальных сталей: ручных  $\phi = 0,5 \div 1,5^\circ$ ; машинных при обработке сквозных отверстий в вязких металлах (стали)  $\phi = 15^\circ$ ; при обработке сквозных отверстий в чугунах  $\phi = 5^\circ$ ; при развертывании глухих, а также сквозных отверстий по 3-му классу точности и грубее  $\phi = 45 \div 60^\circ$ ; у разверток, оснащенных пластинками твердых сплавов,  $\phi = 30 \div 45^\circ$ .

## § 2. Элементы режима резания и среза

Как и сверло, зенкер и развертка совершают два движения: вращательное и поступательное; элементы резания определим с помощью рис. 203, а и 204. Скорость резания подсчитывается по формуле, приведенной на стр. 204.

*Толщина среза  $a$*  при развертывании (рис. 204) обычно незначительна ( $0,02-0,05$  мм) и  $a \leq \rho$  (где  $\rho$  — радиус округления режущей кромки), что вызывает увеличенное давление со стороны

срезаемого слоя вблизи режущей кромки, большую деформацию срезаемого слоя, а также большое трение по задней поверхности зуба развёртки и интенсивный ее износ.

Глубина резания определяется припуском на обработку: при зенкеровании  $t$  до 7 мм (на сторону). Ниже приведены средние значения припусков под зенкерование после сверления, которые удаляются за один проход (т. е.  $t = h$ ).

Диаметр зенкера в мм	До 20	21—35	36—45	46—50	51—60	61—70	71—80
Припуск $h$ на сторону в мм	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2

Припуск под чистовые (окончательные) развёртки принимается 0,05—0,25 мм на сторону. Для предварительной (черновой) развёртки припуск на сторону может быть увеличен в 2—3 раза. Средние значения припусков (глубины резания) при чистовом (окончательном) развёртывании:

Диаметр развёртки в мм	До 5	6—10	11—15	16—30	31—50	51—60	61—80
Припуск на сторону в мм (глубина резания)	0,05	0,075	0,1	0,125	0,15	0,2	0,25

Машинное время при зенкеровании и развёртывании

$$T_m = \frac{L}{ns} = \frac{l + y + \Delta}{ns} \text{ мин},$$

где  $L$  — путь, проходимый инструментом в направлении подачи, в мм;  $l$  — глубина зенкерования или развёртывания в мм;  $y = t \operatorname{ctg} \varphi$  — величина врезания в мм (см. рис. 203, б);  $\Delta = 1 \div 3$  мм — величина перебега в мм.

### § 3. Осевая сила и момент

Как и при сверлении, на зенкер действуют осевая сила \* (сила подачи) и момент от сил сопротивления резанию.

Момент

$$M = C_m D^{z_m} t^{x_m} s^{y_m} K_m \text{ кгс} \cdot \text{мм}.$$

При зенкеровании заготовок из конструкционных сталей с  $\sigma_B = 75$  кгс/мм<sup>2</sup> зенкером, оснащённым сплавом Т15К6,  $C_m = 943$ ;  $z_m = 0,75$ ;  $x_m = 0,8$ ;  $y_m = 0,95$ . Осевая сила и момент при развёртывании имеют малую величину (вследствие малой глубины резания), а потому подсчитываются редко. Мощность, затрачиваемая на резание при зенкеровании и развёртывании, может быть подсчитана по формулам, приведенным на стр. 196.

### § 4. Износ и стойкость зенкеров и развёрток

В общем случае при обработке заготовок из сталей зенкер из быстрорежущей стали изнашивается по задней поверхности, угол-

\* Обычно незначительной величины.

кам, ленточке и передней поверхности (рис. 205, а). При обработке зенкером отверстия, к поверхности которого не предъявляется особых требований или когда зенкерование является промежуточной (не окончательной) операцией, за критерий износа принимается оптимальный износ. Если же зенкер предназначен для окончательной обработки поверхности, то за критерий износа принимается технологический износ (см. стр. 79). За лимитирующий износ зенкером из инструментальных сталей при обработке заготовок из сталей принимается износ по задней поверхности  $h_3 = 1,2 \div 1,5$  мм, при обработке заготовок из чугунов — износ по уголкам  $\delta = 0,8 \div 1,5$  мм. Зенкеры с пластинами из твердых сплавов изнашиваются в основном по задней поверхности и уголку (рис. 205, б). За лимитирующий износ принимается износ по задней поверхности  $h_3 = 1 \div 1,6$  мм. Средние периоды оптимальной стойкости для зенкером 30—100 мин.

Развертки работают с малыми толщинами среза и на относительно низких скоростях резания, поэтому они изнашиваются в основном по задней поверхности и уголку; захватывается при этом и ленточка. Развертка является чистовым (отделочным) инструментом, а потому за критерий ее износа принимается технологический износ. Максимально допустимая величина износа по задней поверхности для разверток из инструментальных сталей  $h_3 = 0,5 \div 0,8$  мм; для разверток с пластинами из твердых сплавов  $h_3 = 0,4 \div 0,7$  мм (рис. 206).

При работе изношенной разверткой отверстие может быть меньше и больше номинального размера развертки. Последнее объясняется тем, что зубья развертки изнашиваются неравномерно. Мелкая стружка и металлическая пыль, образующиеся при развертывании, заклиниваясь между стенкой отверстия и изношенным в большей степени зубом, отжимают развертку на некоторую величину (рис. 207). Противоположный зуб начинает срезать слой большей глубины, увеличивая диаметр отверстия. Заклиненная мелкая стружка царапает при этом обработанную поверхность, увеличивая ее шероховатость.

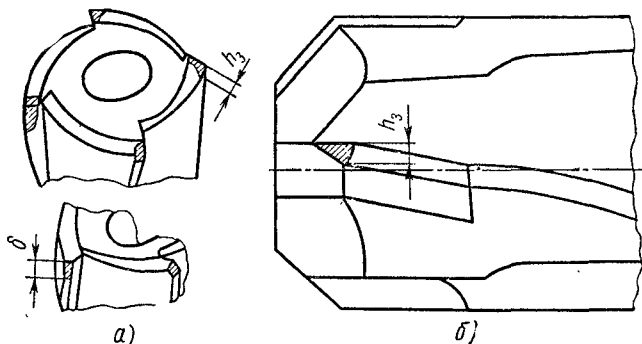


Рис. 205. Износ зенкером:

а — из быстрорежущей стали; б — с пластинами из твердого сплава



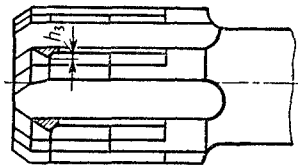


Рис. 206. Износ разверток

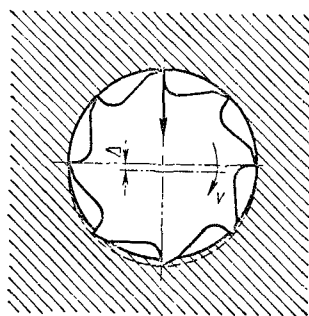


Рис. 207. Отжим изношенной развертки

По мере увеличения износа нарост становится более прочным, что также приводит к увеличению диаметра отверстия и увеличению шероховатости обработанной поверхности. На увеличение диаметра обработанной поверхности \* влияет соосность развертки и предварительно обработанной поверхности.

Для машинных разверток из инструментальных сталей при обработке заготовок из стали оптимальная стойкость  $T = 40 \div 120$  мин, а при обработке заготовок из чугуна  $T = 60 \div 180$  мин. Для разверток с твердосплавными пластинками  $T = 25 \div 180$  мин при обработке заготовок из незакаленных сталей и  $T = 30 \div 240$  мин при обработке заготовок из чугуна.

### § 5. Скорость резания

Скорость резания, допускаемая режущими свойствами зенкера и развертки, может быть подсчитана по формуле, приведенной на стр. 204, но с другими значениями коэффициентов и показателей степеней. В табл. 17 приведены значения  $C_v$ ,  $z_v$ ,  $m$ ,  $x_v$  и  $y_v$  для зенкеров, а в табл. 18 — для разверток.

Приведенные в табл. 17 и 18 значения применимы при обработке горячекатаной стали с охлаждением эмульсией, при обработке серого чугуна — всухую. Измененные условия обработки необходимо учесть поправочными коэффициентами, равными поправочным коэффициентам, вводимым при сверлении, или учесть их через коэффициент  $K_v$  в формуле для  $v_n$ .

При развертывании с охлаждением эмульсией заготовок из конструкционных углеродистых, хромистых и хромоникелевых закаленных сталей развертками с пластинками из твердого сплава Т15К6

$$v_n = \frac{4900D^{0,3}}{T^{0,7} S^{0,65} \sigma_B^{0,9}} \text{ м/мин.}$$

Глубина резания  $t$  почти не влияет на скорость резания, допускаемую развертками с твердосплавными пластинками (в пределах принятых припусков).

\* Встречаются случаи уменьшения диаметра обработанной поверхности по сравнению с диаметром развертки, которой данная поверхность была получена; это может быть при малых углах  $\phi$ , когда увеличиваются упругие деформации обработанной поверхности.

Коэффициент  $C_v$  и показатели степеней в формуле для определения скорости резания при зенкеровании заготовок из конструкционной углеродистой стали с  $\sigma_b = 75 \text{ кгс/мм}^2$

Материал зенкера	$C_v$	$m$	$z_v$	$x_v$	$y_v$
P18 . . . . .	16,3	0,3	0,3	0,2	0,5
T15K6 . . . . .	18	0,25	0,6	0,2	0,3

Коэффициент  $C_v$  и показатели степеней в формуле для определения скорости резания при обработке развертками из стали P18

Материал заготовки	$C_v$	$m$	$z_v$	$y_v$	$x_v$
Сталь конструкционная углеродистая, $\sigma_b = 75 \text{ кгс/мм}^2$ , $HB$ 215 . . . . .	10,5	0,4	0,3	0,65	0,2
Чугун серый, $HB$ 190 . . . . .	15,6	0,3	0,2	0,5	0,1

При зенкеровании и развертывании применяют смазочно-охлаждающие жидкости. Так как процесс развертывания совершается при относительно низких скоростях резания и с малыми толщинами среза, то условия для проявления эффективных свойств жидкости здесь особенно благоприятны. При соответствующем подборе жидкости исчезают налипы мелкой стружки на поверхности зуба развертки, уменьшается заедание развертки, повышается качество и точность обработанной поверхности и увеличивается стойкость развертки.

При обработке заготовок из сталей применяют эмульсии, сульфозфрезол (за исключением обработки легированных сталей), компаундированные и растительные масла; при обработке заготовок из ковкого чугуна — эмульсии; при обработке серого чугуна — эмульсию, керосин или обрабатывают всухую; при обработке заготовок из алюминия применяют скипидар с керосином.

## § 6. Элементы режима резания

Порядок назначения режимов резания тот же, что и при сверлении.

Подача  $s$  при зенкеровании, при прочих одинаковых условиях, допускается большей, чем при сверлении и рассверливании. Это объясняется тем, что, имея лучшие условия работы (отсутствие поперечной кромки, более рациональные углы резания вдоль режущей кромки, меньшую глубину резания), зенкер имеет и большее число режущих кромок, так что при одной и той же подаче

$s_z$ , общая подача  $s$  при зенкеровании будет больше. При зенкеровании выбранные элементы режима резания проверяют по прочности слабого звена механизма главного движения станка (при работе на малых частотах вращения шпинделя) и по мощности электродвигателя станка аналогично тому, как это производится при сверлении (прочность механизма подачи станка при зенкеровании обычно не проверяется, так как осевая сила при зенкеровании незначительна).

При разворачивании вследствие незначительных величин момента, осевой силы и мощности, затрачиваемой на резание, элементы режима резания по прочности и мощности станка обычно не проверяют.

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ЗЕНКЕРОВ И РАЗВЕРТОК

§ 1. Элементы конструкций зенкеров и разверток

**Диаметр зенкера и развертки.** Зенкер и развертка (см. рис. 201 и 202), кроме рабочей части (см. стр. 221), определяемой такими конструктивными элементами, как диаметр  $D$ , длина рабочей части  $l_0$ , число зубьев  $z$ , углы режущей части ( $2\varphi$ ,  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\lambda$ ), ленточка на калибрующей части  $f$ , имеют соединительную часть в виде цилиндрического или конического хвостовика (в случае насадного инструмента соединительной частью является отверстие).

Зенкер предназначен для предварительной обработки отверстия после сверла под развертывание; диаметр его выбирается меньше номинального диаметра отверстия на величину припуска под развертывание. Если зенкер предназначен для окончательной обработки отверстий, диаметр его принимается с учетом допуска отверстия, величины его увеличения и запаса на износ. В табл. 19 приведены отклонения диаметра зенкеров.

Таблица 19

Отклонения диаметра зенкеров

Номинальный диаметр в мм	Зенкер № 1		Зенкер № 2		Номинальный диаметр в мм	Зенкер № 1		Зенкер № 2	
	Отклонение в мм					Отклонение в мм			
	Верхнее	Нижнее	Верхнее	Нижнее		Верхнее	Нижнее	Верхнее	Нижнее
До 18 . . .	-150	-200	+60	+20	30—50 . . .	-240	-300	+90	+30
18—30 . . .	-200	-250	+70	+20	50 . . . . .	-290	-365	+105	+30

Развертка обрабатывает более точные отверстия, и конструктору при назначении диаметра развертки необходимо учитывать: 1) увеличение диаметра отверстия, получаемое после развертывания; 2) запас на износ, так как развертка изнашивается по диаметру от трения о стенки обрабатываемого отверстия; 3) допуски на изготовление самой развертки.

Расположение полей допусков на диаметр развертки в зависимости от допуска обрабатываемого отверстия показано на рис. 208. Буквой *A* обозначен допуск на отверстие. Линия *CD* — верхнее отклонение диаметра развертки, расположена ниже верхнего откло-

нения диаметра отверстия на величину максимального увеличения диаметра  $P_{\max}$ . Максимальная величина увеличения диаметра зависит от условий работы (в том числе и соосности развертки с обрабатываемым отверстием), диаметра развертки, класса точности развертываемого отверстия. Линия  $EF$  показывает нижнее отклонение диаметра развертки, а  $P_{\min}$  — минимальное увеличение диаметра отверстия. Таким образом, между верхним  $CD$  и нижним  $EF$  отклонениями лежит поле допуска  $B$  на развертку. Это поле допуска разбивается на допуск на изготовление  $B$  и запас на износ  $И$ . Рекомендуемые величины допусков приведены в табл. 20.

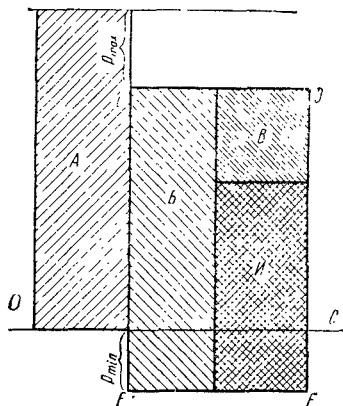


Рис. 208. Схема расположения полей допусков на диаметр развертки

Угол режущей (заборной) части  $2\varphi$  (см. рис. 201) у зенкеров, если нет особых условий, вызванных технологическими причинами,

Таблица 20  
Допуски на диаметр развертки в мкм

Составляющие допуска	Класс точности отверстия	Номинальный диаметр развертки в мм							
		1—3	3—6	6—10	10—18	18—30	30—50	50—80	80—120
Максимальное увеличение диаметра отверстия $P_{\max}$	2-й	4	5	6	7	8	9	10	12
	3-й	7	8	10	12	15	17	17	20
Допуски на неточности изготовления $B$	2-й	3	4	5	6	8	9	10	12
	3-й	7	9	10	12	15	18	18	20
Минимальное увеличение диаметра отверстия $P_{\min}$	2-й	3	4	4	5	5	6	7	8
	3-й	3	4	4	5	5	6	7	8

рекомендуется принимать в следующих пределах: для обработки стали  $120^\circ$ , для обработки чугуна  $90$  или  $120^\circ$ , для работы вподрезку  $180^\circ$ , для зенкеров с твердыми сплавами  $120^\circ$ , для двузубых

Таблица 21  
Значения  $2\varphi''$  для разверток

Развертка	Материал заготовки	
	хрупкий	мягкий
Ручная	1—3	
Машинная цельная и сборная	10	30—90

зенкеров 150°. Величины угла режущей части 2φ, рекомендуемые для различных типов разверток, приведены в табл. 21. Ниже приведены рекомендуемые значения переднего угла γ<sub>N</sub> режущих кромок зенкера. В отдельных случаях в целях упрочнения режущих кромок приходится уменьшить значение угла γ<sub>N</sub>.

Материал заготовок	γ <sub>N</sub> <sup>°</sup>
Алюминий, латунь	25—30
Мягкая сталь	15—20
Сталь средней твердости, стальные отливки	8—12
Чугун средней твердости, <i>НВ</i> до 200	6—10
Твердая сталь, твердый чугун	5—0

Для черновых разверток при обработке вязких металлов следует принимать угол γ<sub>N</sub> = 5 ÷ 10°; например, для котельных разверток при обработке заготовок из стали γ<sub>N</sub> = 10°.

Для обеспечения скользящего действия можно использовать развертку с отрицательным передним углом. На заводе «Фрезер» в сборных развертках, оснащенных твердыми сплавами, принимают отрицательный передний угол в пределах от —3 до —5°. Развертки с отрицательным передним углом обеспечивают получение чистой гладкой поверхности. Однако применение таких разверток при обработке мягких металлов может вызвать налипание стружки; в таких случаях следует заточить развертку с положительным передним углом.

**Цилиндрические ленточки *f*.** На режущей части зуб развертки затачивается до остра с определенным задним и передним углом (см. рис. 202). На калибрующей части развертки оставляется цилиндрическая ленточка *f*. Рекомендуемые величины заднего угла α и ширины ленточки *f* (по данным завода «Фрезер») приведены в табл. 22. Для чистовых ручных разверток задний угол α

Таблица 22

Задний угол и ширина ленточки в зависимости от диаметра развертки

Диаметр развертки в мм	Задний угол α°	Ширина ленточки в мм	Диаметр развертки в мм	Задний угол α°	Ширина ленточки в мм
3—10	8—15	0,08—0,2	30—50	6—10	0,2—0,4
10—18	6—10	0,1—0,25	50—80	6—8	0,25—0,5
18—30	6—10	0,15—0,3			

принимается наименьшим (до 3—5°). Ленточка должна быть чисто обработана (доведена), так как она выглаживает обрабатываемую поверхность и облегчает процесс изготовления и измерения развертки. У разверток для получения окончательно обработанного отверстия зубья располагают по окружности неравномерно.

Для уменьшения трения о стенки обработанного отверстия калибрующую часть развертки на небольшой длине делают также цилиндрической, а далее — конической с обратным конусом по направлению к хвостовику. Для ручных разверток рекомендуется

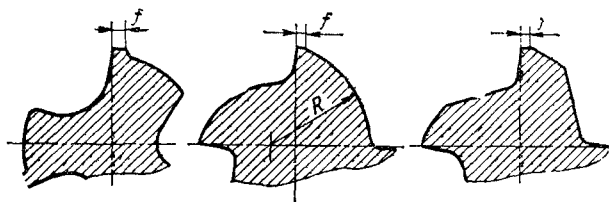


Рис. 209. Типы канавок зенкеров

уменьшение диаметра к хвостовику на 0,008—0,005 мм, для машинных разверток с жестким креплением — на 0,04—0,06 мм и для машинных разверток с качающимися патронами — на 0,06—0,08 мм. Количество зубьев зенкера может выбираться различное. Обычно зенкер имеет три-четыре зуба. При выборе числа зубьев следует обеспечить: 1) достаточное пространство для отвода стружки; для этого удобнее брать меньшее число канавок; например, у зенкеров, предназначенных для снятия больших припусков, делают две канавки; 2) достаточный класс шероховатости и точность отверстия; для этого выгоднее принимать большее число канавок. Чем больше канавок, тем лучше направление зенкера. Зенкер с большим количеством канавок приближается по своим качествам к развертке. Профиль канавок зенкера делается различным. На рис. 209 показаны наиболее распространенные профили канавок.

Развертка предназначена для снятия небольших припусков. Поэтому из условий нагрузки на зуб можно было бы выбирать небольшое число зубьев, однако для получения менее шероховатой поверхности и точной геометрической формы отверстия следует использовать большое количество зубьев с небольшим окружным шагом. Междузубые канавки для стружки делаются небольшими, так как стружка образуется немного. Число зубьев развертки следует брать четным, с тем чтобы обеспечить удобное измерение диаметра развертки микрометром. В табл. 23 приведены ориентировочные числа зубьев разверток.

Таблица 23

Числа зубьев разверток

Тип разверток	Диаметр в мм				
	3—10	11—19	20—30	32—45	46—50
С прямыми канавками:					
ручные . . . . .	6	8	10	12	14
машинные . . . . .	6	8	10	12	—
Машинные:					
сборные . . . . .	—	—	6	8	10
хвостовые . . . . .	—	—	6	8	10
насадные . . . . .	—	—	—	8	8
Котельные . . . . .	—	4	4	4	—
Ручные разжимные . . . . .	6	8	8	10	12

Стружечные канавки у разверток могут быть прямыми и винтовыми. Развертки с винтовыми (спиральными) канавками сложны в изготовлении, но могут развертывать прерывистые поверхности. Профиль канавок для разверток, оснащенных твердым сплавом, показан на рис. 210. При определении профиля канавки для этих разверток приходится учитывать толщину пластинки из твердого сплава и необходимость создания достаточной жесткой опорной поверхности под пластинкой. Так как зубья разверток неравномерно расположены по окружности, то при фрезеровании канавок они, естественно, получаются разной глубины, если, конечно, выдержана одна ширина ленточки. Для получения одинаковой ширины  $f$  ленточки необходимо канавочную фрезу на станке поднимать или опускать, в зависимости от центрального угла между зубьями. Это обстоятельство затрудняет изготовление разверток.

При массовом изготовлении разверток предусматривают фрезерование канавок специальными комбинированными фрезами (рис. 211). Такая фреза имеет двойной профиль и одновременно обрабатывает двумя своими выступами обе стороны зуба; ширина ленточки  $f$  остается постоянной. Для улучшения направления при работе каждый зуб зенкера также имеет цилиндрические ленточки. Иногда (например, двузубые зенкеры) эти ленточки отсутствуют. Ширина ленточек принимается для обычных зенкеров в пределах 0,8—2,0 мм. Цилиндрические ленточки направляют зенкер, но наличие их создает добавочное трение, ускоряя износ и притупление зенкера. Поэтому ленточки шлифуют с небольшой обратной конусностью; конусность зенкеров может изменяться в зависимости от требований к точности; чем больше величина обратной конусности, тем легче работает зенкер, но тем быстрее будет изменяться его размер при переточках. Диаметр к хвостовику должен уменьшаться на 0,05—0,25 мм на 100 мм.

Длина рабочей части зенкера или развертки определяется из условия максимального количества переточек, а также конструктивных технологических особенностей обрабатываемых деталей

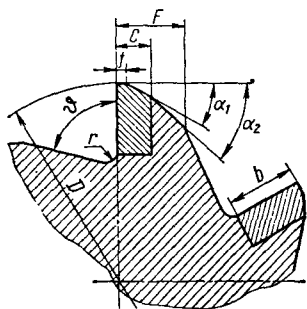


Рис. 210. Профиль канавки развертки с твердосплавными напаянными пластинками

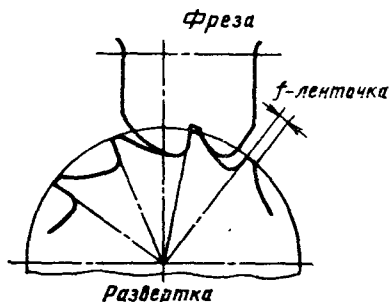


Рис. 211. Схема работы двузубой фрезы для обработки канавок разверток



(глубины отверстия, наличия уступов и т. д.). В большинстве случаев длина рабочей части и общая длина зенкеров и разверток принимаются по соответствующим стандартам, причем общая длина зависит от глубины отверстия и метода крепления. Если инструмент должен иметь направляющую часть, то в общую длину включают и длину направляющей части. Длину рабочей части развертки рекомендуется делать в пределах 0,8—3 диаметра развертки. Чем короче рабочая часть развертки, тем легче она режет, но при этом резко ухудшается направление развертки в отверстии, а часто увеличивается и шероховатость отверстий. При наличии направляющей части можно сокращать длину рабочей части развертки.

## § 2. Конструкции отдельных типов зенкеров и разверток

**Зенкеры.** Зенкеры применяют в основном в серийном и массовом производстве; поэтому к ним предъявляются повышенные требования в отношении быстрого и правильного закрепления их на станке. Типы закрепления зенкеров, получившие наибольшее распространение, показаны на рис. 212. Цилиндрическая поверхность хвостовика зенкера правильно направляется и центрируется, а крутящий момент передается байонетным зажимом (при повороте штифт, закрепленный в оправке, входит в паз и закрепляет зенкер) в быстросменном креплении типа *а*. Центрирование по конусу, передача крутящего момента квадратом хвостовика и затягивание винтом предусматриваются в креплении типа *б*. Это крепление надежно, но для закрепления требуется много времени. При креплении типа *в* крутящий момент передается шестигранным хвостовиком. Короткий конус для центрирования и лапка, которая может передавать крутящий момент, а также служит для выбивания, имеются в креплении типа *г*.

Насадной зенкер со спиральными канавками представлен на рис. 213. В зависимости от диаметра зенкер снабжается тремя или четырьмя канавками.

Составной зенкер с укороченным хвостовиком изображен на рис. 214. Такие зенкеры, оснащенные пластинками из твердого сплава, предназначены для зенкерования глубоких стальных и чугунных отверстий при больших глубинах резания. Диаметр зенкеров 30—80 мм. Эта конструкция зенкеров имеет существенные преимущества перед цельными спиральными зенкерами; при износе пластинок из твердого сплава заменяется только короткий зенкер 1; державка 2 используется для дальнейшей работы.

Для снятия больших припусков применяются двузубые сборные зенкеры (рис. 215). Двузубые зенкеры используются при рассверливании отверстий в заготовках из различных материалов (стали, чугун, бронзы, меди и т. д.). Применяются эти зенкеры также и для предварительно просверленных отверстий в коротких деталях, отливках, листах; для получения фасонных отверстий (в этом случае необходимы специальные зенкеры); для получения глубо-

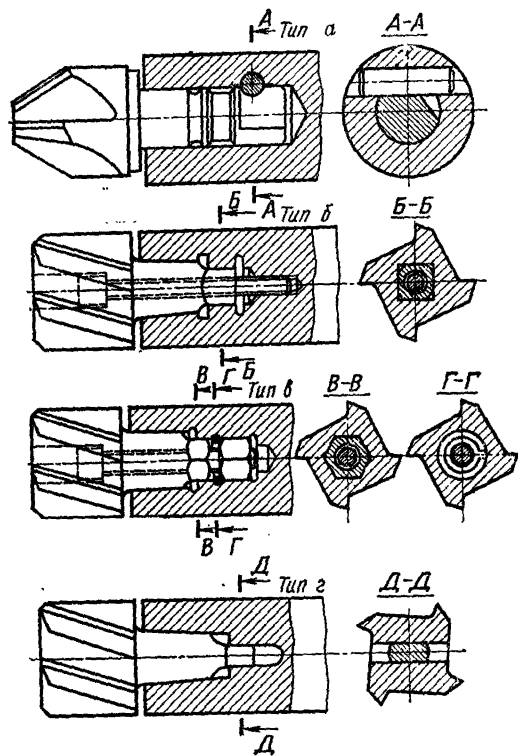


Рис. 212. Схемы закрепления укороченных зенкеров

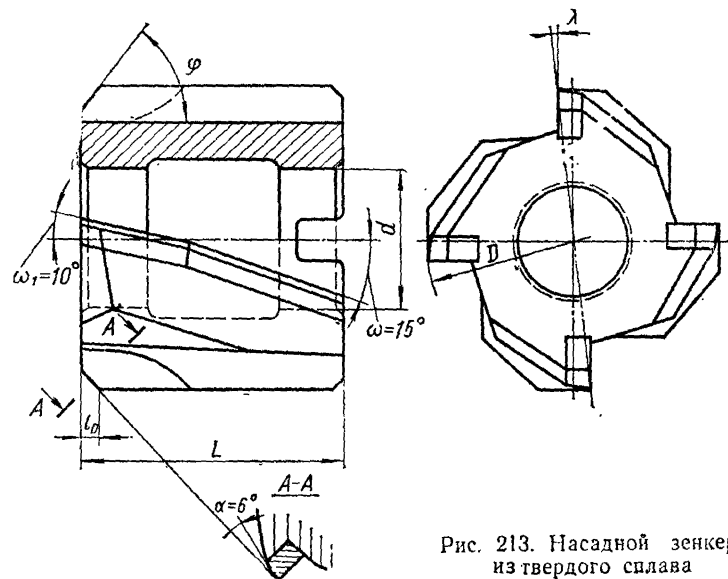


Рис. 213. Насадной зенкер из твердого сплава

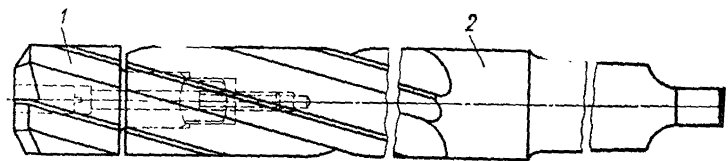


Рис. 214. Составной зенкер

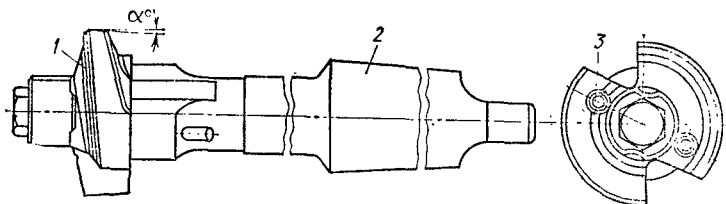


Рис. 215. Двужубый зенкер с оправкой

ких отверстий (в этом случае зенкеры снабжаются соответствующими длинными оправками).

Двужубый зенкер снабжен двумя затылованными зубьями, имеющими торцовые режущие кромки. Выточка на опорном торце служит для центрирования зенкера 1 на оправке 2. Отверстия на опорном торце предназначены для ведущих штифтов 3 (имеются и другие конструкции). На рис. 216 показано несколько наиболее распространенных конструкций сборных зенкеров со вставными ножами. В конструкции зенкера типа А корпус снабжен клиновидными пазами, в которые забиваются клиновидные рифленые ножи. Рифления позволяют после износа зенкера переставлять ножи и тем самым увеличивать диаметр зенкера. Эта конструкция пригодна для зенкеров с ножами из быстрорежущей стали и с ножами, оснащенными твердыми сплавами. В последнем случае к ножам из стали У7 и У8 припаиваются пластинки из твердого сплава. Эта конструкция вполне надежна в отношении прочности крепления ножей. Большим ее недостатком является невозможность увеличения вылета ножей. Стачивание ножей происходит по режущей кромке, и после нескольких заточек вылет ножа резко уменьшается.

В конструкции зенкера типа В этот недостаток устранен. Нож и паз корпуса снабжены продольными рифлениями, направленными вдоль оси. Для закрепления ножа в пазу корпуса предусмотрен клин, имеющий на стороне, прилегающей к ножу, поперечно направленные рифления, которые входят в соответствующие рифления ножа. Нож и клин прикладывают друг к другу сторонами, имеющими поперечные рифления, и в сложенном виде забивают в корпус.

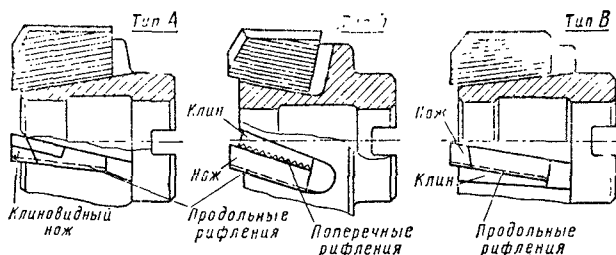


Рис. 216. Типы крепления ножей у сборных зенкеров

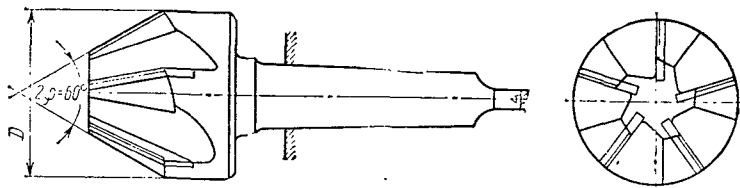


Рис. 217. Зенкер (зенковка) для обработки конических поверхностей

У зенкера типа *B* клинья и плоские ножи снабжены с одной стороны продольными рифлениями. Этими рифлеными сторонами они соприкасаются друг с другом и вставляются в паз. Пазы в корпусе клиновидные, расширяющиеся к центру, что обеспечивает двойную регулировку пожей. Недостатком данной конструкции является сложность изготовления, а также ненадежное крепление пожей, особенно при малых диаметрах зенкера. Из всех перечисленных конструкций крепления ножей наибольшее распространение получил тип *A*.

Кроме зенкеров для увеличения диаметра отверстий, широкое распространение получили зенкеры для цилиндрических выемок, под головки винтов и т. п. Такие зенкеры часто называют головочными; их изготавливают с направляющей цапфой. Цапфа служит для направления зенкера по предварительно просверленному отверстию. Режущая часть зенкера снабжена винтовыми зубьями для зенкерования углубления под винт с цилиндрической головкой; угол  $\varphi = 90^\circ$ . Если зенкер предназначен для зенкерования углубления под винт с конусной головкой, он имеет соответствующий угол режущей части. Для облегчения заточки у зубьев, расположенных на торце зенкера, направляющая цапфа делается съемной; она отвертывается и вынимается перед заточкой зенкера.

Зенкер (зенковка) для обработки конических поверхностей показан на рис. 217. В зависимости от диаметра зенкеры изготавливают с цилиндрическими или коническими хвостовиками. Наибольшее распространение получили конические зенкеры с углом при вершине  $2\varphi$ , равным 30, 60, 90 и  $120^\circ$ .

Для обработки торцовых поверхностей бобышек, различных приливов и т. д. получили распространение так называемые торцовые зенкеры. У этих зенкеров зубья расположены только на торце.

На рис. 218 изображен торцовый зенкер небольшого диаметра, который надевается на цилиндрическую оправку и служит для подрезки торца ступицы или прилива. Зенкер оснащен пластинками твердого сплава.

**Развертки.** При конструировании развертки необходимо учитывать, что для точной работы важно правильно закреплять развертку в шпинделе станка, что должно обеспечить наилучшее совпадение осей обрабатываемого отверстия и инструмента. Это требование удовлетворяется при использовании самоустанавливающихся патронов для крепления разверток. Простейший тип и наиболее рас-

Рис. 218. Торцовый зенкер

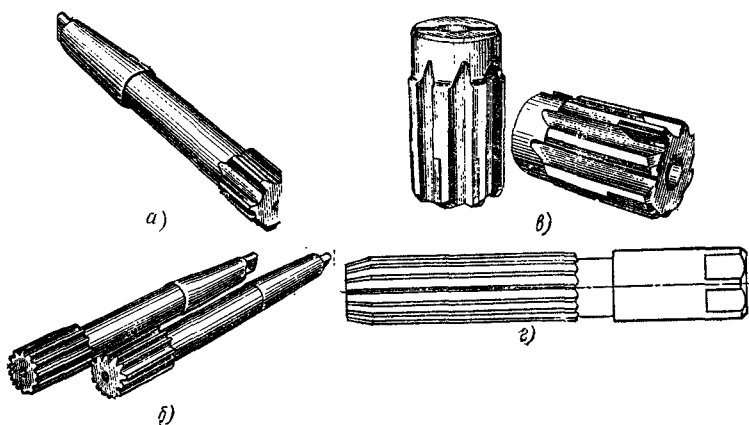
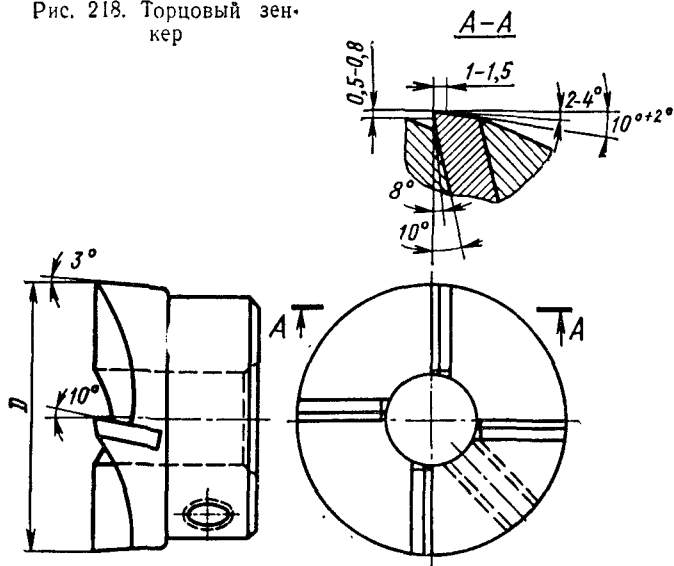


Рис. 219. Типы разверток:

*а* — оснащенные твердым сплавом с коническим хвостовиком; *б* — из быстрорежущей стали сварные с коническим хвостовиком; *в* — оснащенные твердым сплавом насадные; *г* — ручная цельная

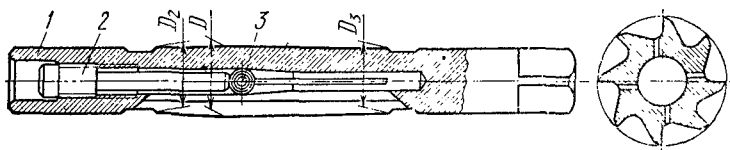


Рис. 220. Регулируемая разжимная развертка

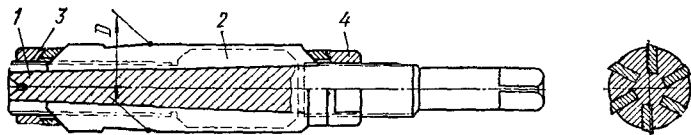


Рис. 221. Регулируемая раздвижная развертка

пространенный — цельные цилиндрические ручные развертки с прямыми канавками (рис. 219, *г*). Такие развертки изготовляют из углеродистой стали У12А или из хромистой стали 9ХС. В ГОСТ 7722—70 приведены основные размеры цельных ручных разверток. Недостаток этих разверток — невозможность восстановления размера развертки после износа.

Разжимная развертка с шариком и регулируемая раздвижная развертка показаны на рис. 220 и 221. В корпусе 1 разжимной развертки (рис. 220), изготовленной из стали 9ХС, по центру просверлено отверстие, на одном конце которого нарезана резьба; в глубине отверстие имеет конусную часть. В отверстие развертки вставлен шарик 2 и ввернут регулировочный винт 3. При ввертывании винт будет нажимать на шарик, который стремиться раздвинуть стенки отверстия. В средней части корпус развертки снабжен прорезями. По мере вдавливания шарика в отверстие корпус развертки разжимается и увеличивается в диаметре, причем увеличение диаметра  $D$  происходит только в центральной части развертки; диаметры  $D_2$  и  $D_3$  существенно не меняются.

Диаметр  $D$  раздвижной развертки (рис. 221) изменяют перемещением ножей 2 по наклонным пазам корпуса 1 (отпуская и заворачивая переднюю 3 и заднюю 4 крепежные гайки).

Для развертывания конических отверстий часто применяют конусные развертки. Чем больше конусность, тем труднее развернуть отверстие одной разверткой, поэтому приходится использовать несколько разверток. Наиболее распространенные конусные развертки для инструментальных конусов показаны на рис. 222. В комплект обычно входят три развертки: черновая, промежуточная, чистовая.

Машинные развертки в отличие от ручных обычно имеют более короткую рабочую часть и часто меньшее число зубьев. На рис. 219, *а* показаны машинные развертки с коническим хвостовиком, оснащенные твердым сплавом, а на рис. 219, *б* — сварные из быстрорежущей стали. Развертки диаметром 26—30 мм и выше следует изготовлять не с хвостовиком, а насадными. Изображенные на рис. 219, *в* насадные развертки оснащены пластинками из твердого сплава. Для обработки заготовок из чугуна рекомендуется твердый сплав ВК6 или ВК8; для обработки заготовок из стали рекомендуется применять твердый сплав Т15К6. Перечисленные типы машинных разверток обладают одним общим недостатком — невозможностью восстановления размера по мере износа.

Раздвижные машинные развертки различных конструкций можно подразделить на следующие группы.

1. Развертки, у которых диаметр изменяется путем регулирования винта с шариком или путем расклинивания развертки (рис. 223).

2. Развертки с привернутыми сменными ножами (рис. 224). В корпусе развертки профрезерованы продольные пазы, в которые вставлены и привернуты винтами ножи.

3. Развертки разнообразных конструкций. Развертка, показанная на рис. 225, а, имеет обычные клиновидные рифленные ножи. Увеличение диаметра развертки после износа достигается перестановкой ножей на одно рифление в радиальном направлении. В таких развертках рекомендуется делать различное расстояние рифлений до дна паза. Переставляя ножи из одного паза в другой,

можно увеличить диаметр развертки, так как расстояние от первого рифления до дна паза постепенно увеличивается. Развертка, показанная на рис. 222, б, имеет пазы с рифленной задней стороной, в которые вставляются плоские ножи, снабженные также рифлением с одной стороны; ножи упираются торцами в регулировочные кольца. Вследствие того, что рифления наклонены к оси развертки под углом  $5^\circ$ , можно увеличить диаметр развертки, передвигая нож вдоль оси корпуса.

Машинная насадная развертка, изображенная на рис. 226, проста по конструкции. В корпусе 1 развертки профрезерованы наклонные пазы с гладкими параллельными стенками. В них вставлены плоские ножи 2, которые могут быть изготовлены из быстрорежущей или из инструментальной стали 9ХС, с припаянными пластинками из твердого сплава. Ножи зажаты в пазах шайба-

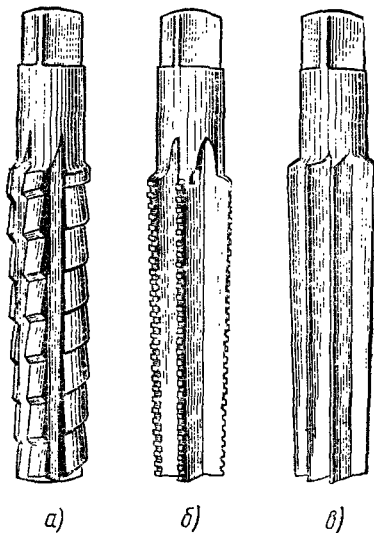


Рис. 222. Конические развертки:  
а — черновая; б — промежуточная;  
в — чистовая



Рис. 223. Разжимная развертка, оснащенная пластинками из твердого сплава

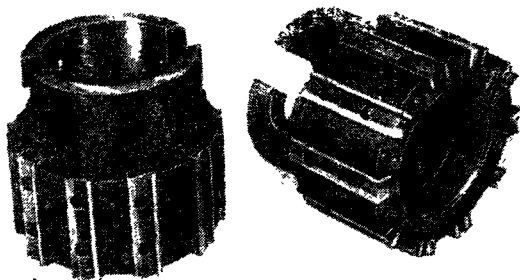


Рис. 224. Развертки с привернутыми сменными ножами

ми 3, причем каждая из них зажимает сразу два ножа. Шайбы закреплены винтами 4. Регулирование ножей происходит так же, как и в описанной выше конструкции, с той разницей, что нож не может быть поднят на следующее рифление. Регулировочные кольца 5 и 6 передвигаются по резьбе. Для точности изменения диаметра развертки снабжают делениями. При повороте на определенное деление диаметр развертки увеличивается на определенную величину. Для обработки точных отверстий ножи развертки после регулирования должны быть шлифованы по диаметру и заточены.

Развертки цельные твердосплавные и развертки твердосплавные с припаянным хвостовиком из сталей 45 и 40X изготавливают шлифованием гладких твердосплавных стержней (рис. 227). По нормалам ВНИИ размеры разверток:  $D = 1,0 \div 6$  мм; диаметр хвостовика  $d = 1,2 \div 6$  мм — для цельных твердосплавных и  $d = 3,0 \div 6,0$  мм для разверток с припаянным хвостовиком; общая длина  $L = 30 \div 65$  мм для цельных твердосплавных и  $L = 50 \div 90$  мм для разверток с припаянным хвостовиком; число зубьев 4—5. Развертки изготавливают из твердых сплавов ВК6М, ВК8М и ВК10М. Освоен выпуск разверток диаметром 6—10 мм. Перечисленные развертки применяются для обработки заготовок из труднообрабатываемых сталей и сплавов, чугуна и пластмасс с абразивным наполнителем.

### § 3. Заточка зенкеров и разверток

Заточка режущей части зенкера или развертки производится в зависимости от конструкции зуба по задней или по передней поверхностям. Зенкеры и развертки в основном снабжены зубьями, заточенными по задней поверхности. Но имеются зенкеры, которые снабжены затылованными зубьями (двузубые), заточенными по передней поверхности.

Для затачивания применяют универсально-заточные станки. Зенкер устанавливают в приспособлении, допускающем поворот



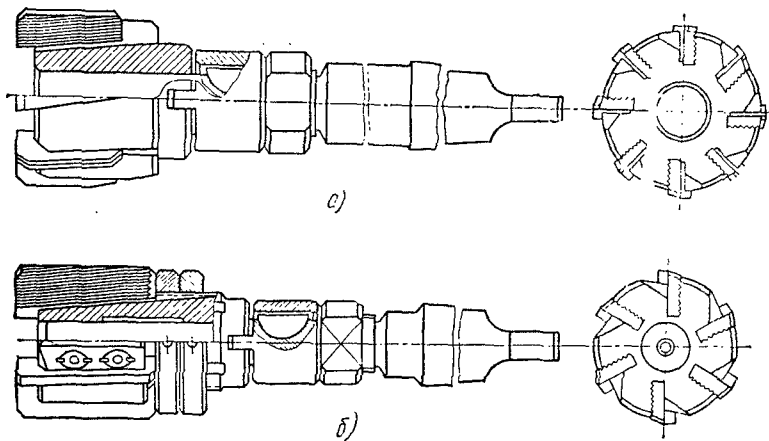


Рис. 225. Машинные регулируемые развертки.

*a* — в результате перестановки ножей в радиальном направлении, *б* — в результате осевого перемещения ножей

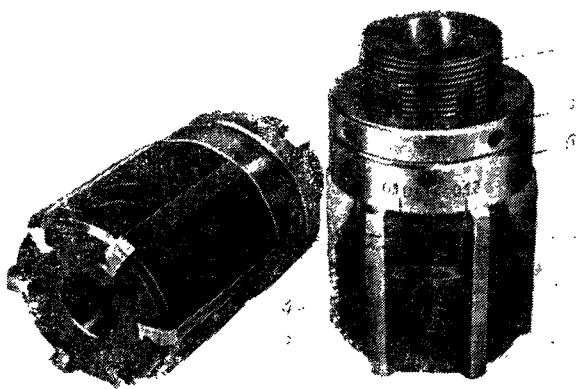


Рис. 226. Насадная регулируемая развертка с гладкими плоскими ножами

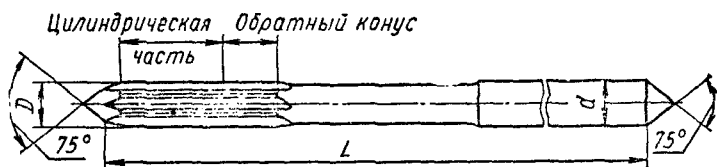


Рис. 227. Цельнотвердосплавная развертка

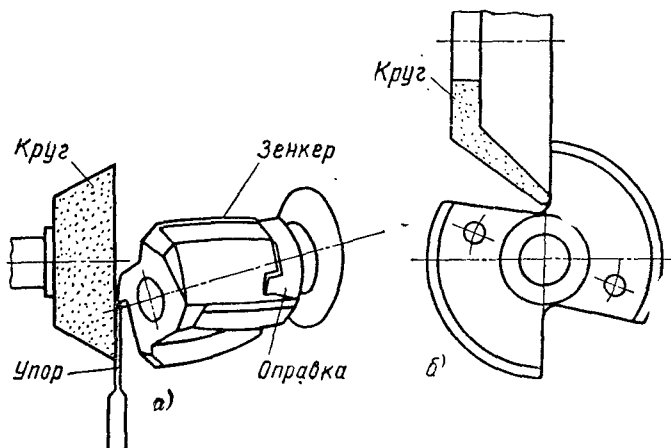


Рис. 228. Схема заточки зенкера:

а — насадного по задней поверхности; б — двузубого по передней поверхности

его на определенный угол. На рис. 228, а показана схема заточки зенкера по задней поверхности зуба. Инструмент насаживают на оправку, установленную в приспособлении, и подводят к чашечному кругу. Для фиксирования зуба в определенном положении на стол станка устанавливают передвижной упор, который упирается в переднюю поверхность зуба.

Иначе затачивают зенкеры с затылованным зубом, например двузубый зенкер (рис. 228, б). Такой зенкер перед заточкой необходимо поставить на специальную оправку. Перед заточкой рекомендуется вершины зубьев прошлифовать, т. е. коснуться шлифовальным кругом обеих вершин зубьев. Затем на заточном станке в поворотном приспособлении, установленном под определенным углом,

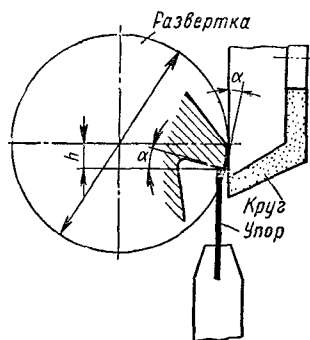


Рис. 229. Схема заточки развертки

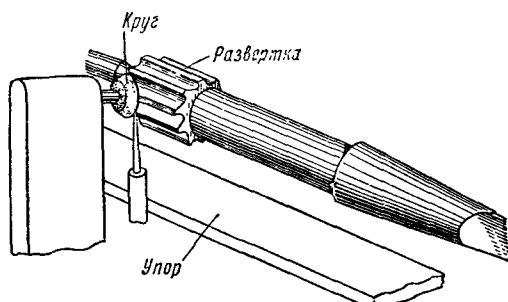


Рис. 230. Схема доводки развертки

затачивают только переднюю поверхность зенкера. Для заточки применяют тарельчатый или чашечный шлифовальный круг.

Развертка является чистовым инструментом, поэтому к качеству заточки ее предъявляются очень высокие требования; рабочие поверхности зубьев развертки должны быть обработаны не ниже 8—9-го классов шероховатости. На рис. 229 дана схема установки развертки при заточке ее по задней поверхности. После заточки развертка подвергается доводке. Доводку разверток производят на специальном точном доводочном станке чашечным кругом (рис. 230). Развертку устанавливают в центрах и опирают передней поверхностью на упор; доводочный круг устанавливают на шпинделе станка.

ФРЕЗЕРОВАНИЕ

§ 1. Элементы режущей части фрезы

Фрезерование является одним из высокопроизводительных и распространенных методов обработки металлов резанием. Оно осуществляется с помощью фрезы. Фреза — многозубый инструмент, представляющий собой тело вращения, на образующей поверхности которого, а иногда и на торце, имеются режущие зубья. Движение резания (главное движение) при фрезеровании —

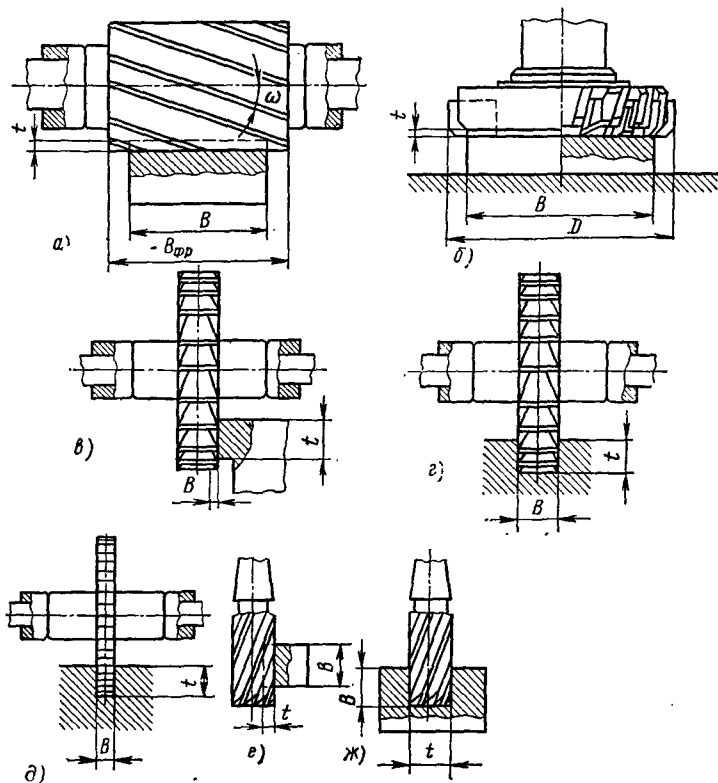


Рис. 231. Виды фрезерования и основные типы фрез:  
 а — цилиндрические; б — торцовые; в и г — дисковые; д — прорезные и  
 отрезные; е и ж — концевые

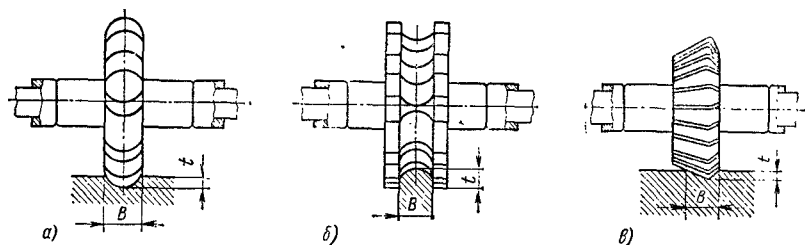


Рис. 232. Фасонные фрезы:

а — с выпуклым профилем; б — с вогнутым профилем; в — угловые

вращательное и его совершает фреза; движение подачи (обычно прямолинейное) может иметь заготовка или фреза.

Фрезами обрабатывают наружные поверхности (рис. 231, а—в, е), пазы (рис. 231, г, д, ж) и фасонные поверхности, причем в последнем случае необходимо иметь фрезу соответствующего профиля (рис. 232).

Фрезы специальной конструкции применяют также для обработки тел вращения, для разрезки металлов (пилы), для изготовления зубчатых колес (зуборезные фрезы) и др.

Фрезы делают цельными, составными, сборными с режущей частью из быстрорежущих сталей или с пластинками твердых сплавов. Вследствие преимуществ фрез, оснащенных пластинками из твердых сплавов (высокая производительность, высокое качество обработанной поверхности, исключая иногда применение шлифования; возможность обработки закаленных сталей; снижение себестоимости обработки и др.), их успешно применяют в металлообрабатывающей промышленности.

Наряду с широко распространенными торцовыми фрезами с пластинками из твердых сплавов в промышленности применяют твердосплавные дисковые, концевые, шпоночные и фасонные фрезы.

На рис. 233 и 234 показаны геометрические элементы режущей части фрезы. Главный передний угол  $\gamma$  рассматривается в плоскости, нормальной к главной режущей кромке и проходящей через данную точку (сечение  $BB$ ). У торцовой фрезы (рис. 234) главная режущая кромка направлена под некоторым углом  $\phi$ ; у цилиндрической фрезы с винтовым зубом (рис. 233) направление главной режущей кромки совпадает с направлением винтовой линии.

Для фрез из быстрорежущих сталей величина главного переднего угла колеблется в пределах  $10\text{--}20^\circ$ . У торцовых и дисковых фрез, оснащенных пластинками из твердых сплавов, угол  $\gamma = +5 \div -10^\circ$ . Отрицательный угол  $\gamma$  делается на фаске шириной  $1\text{--}1,5$  мм и используется при фрезеровании заготовок из конструкционных и легированных сталей. Иногда передние углы задают в плоскости, нормальной к оси фрезы (угол  $\gamma'$  в сечении  $ГГ$ ).

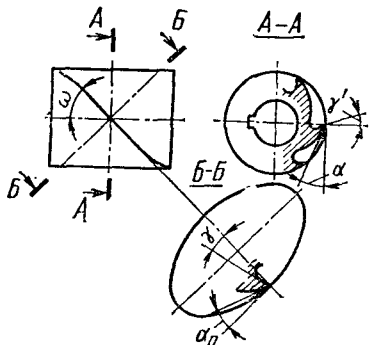


Рис. 233. Геометрические элементы режущей части цилиндрической фрезы

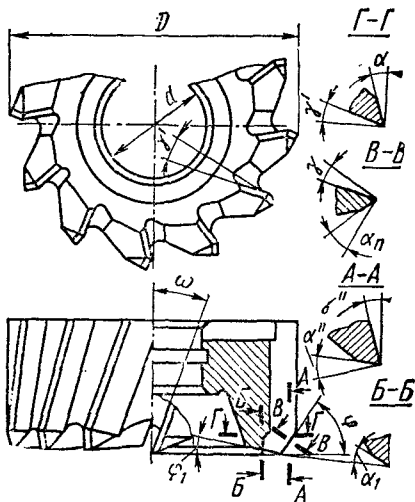


Рис. 234. Геометрические элементы режущей части торцевой фрезы

Для перехода от угла  $\gamma'$  к углу  $\gamma$  можно пользоваться следующими формулами:

для торцевой фрезы

$$\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \gamma' \sin \varphi + \operatorname{tg} \omega \cos \varphi;$$

для цилиндрической фрезы

$$\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \gamma' \cos \omega.$$

В этих формулах  $\omega$  — угол наклона зубьев фрезы к оси фрезы;  $\varphi$  — главный угол в плане.

Главный задний угол  $\alpha$  рассматривается в плоскости, нормальной к оси фрезы (сечение  $\Gamma\Gamma$ ). Он заключен между касательной к задней поверхности зуба фрезы в рассматриваемой точке главной режущей кромки и касательной к окружности вращения данной точки. Иногда задний угол задается в нормальном сечении к главной режущей кромке (угол  $\alpha_n$  в сечении  $BB$ ).

Для цилиндрической фрезы

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \alpha_n \cos \omega;$$

для главной режущей кромки торцевой фрезы

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} \alpha_n}{\sin \varphi}.$$

Задний угол на вспомогательной (торцевой) режущей кромке  $\alpha_1$  рассматривается в сечении  $BB$ , перпендикулярном вспомогательной режущей кромке.

У фрез из быстрорежущих сталей величина главного заднего угла колеблется в пределах  $12$ — $30^\circ$  (в зависимости от типа фрезы). У торцевых фрез с твердосплавными пластинками  $\alpha_n = 6 \div 15^\circ$ ; у дисковых фрез  $\alpha_n = 20 \div 25^\circ$  при обработке сталей и  $\alpha_n = 10 \div 15^\circ$  при обработке чугунов.

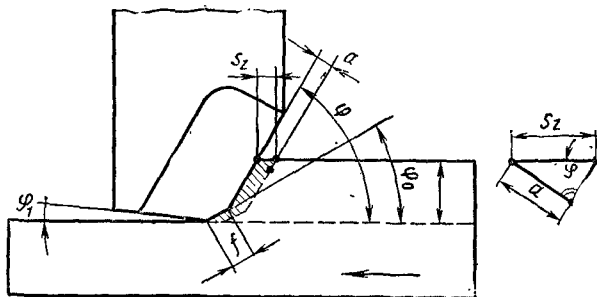


Рис. 235. Углы в плане торцовой фрезы

Увеличенное (например, по отношению к резцам) значение заднего угла у фрез объясняется тем, что фрезы (особенно шлищепрорезные и дисковые) работают с относительно малыми толщинами среза\*, когда радиус округления режущей кромки  $\rho$  (в целях уменьшения трения и износа задней поверхности) должен быть минимальным.

Торцовые фрезы характеризуются также углами в плане (рис. 235) и углом наклона главной режущей кромки  $\lambda$ . Главный угол в плане  $\varphi$  влияет на толщину и ширину среза (при одной и той же подаче и глубине), соотношение составляющих сил, действующих на фрезу, стойкость фрезы и качество обработанной поверхности. Чем меньше этот угол, тем меньше толщина среза и нагрузка на единицу длины режущей кромки (при одной и той же подаче), выше стойкость фрезы, чище обработанная поверхность, но больше осевая составляющая сил резания. Поэтому малое значение угла  $\varphi = 10 \div 30^\circ$  используется лишь при достаточно жестких условиях системы СПИД. Малый главный угол в плане  $\varphi$  затрудняет работу с большой глубиной резания, так как вызывает необходимость увеличения длины режущей части кромки, а потому работа фрезой с углом  $\varphi < 30^\circ$  рекомендуется при глубине резания не выше 3—4 мм. При фрезеровании на проход  $\varphi = 60^\circ$ .

Для упрочнения вершины зуба фрезы и для получения одинаковых элементов у всех ее зубьев у торцовых твердосплавных фрез делается обычно переходная кромка  $\bar{f} = 1 \div 2$  мм, направленная под углом  $\varphi_0 = \frac{1}{2}\varphi$  (рис. 235). Вспомогательный угол в плане  $\varphi_1$  для торцовых фрез делается 2—10°, для дисковых трехсторонних 2—5°. Угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$  влияет на прочность и стойкость зуба; при положительном его значении ( $+\lambda$ ) место входа (место удара) зуба фрезы отодвигается от вершины зуба, являющейся наиболее слабой и ответственной частью; положительное значение угла  $\lambda$  способствует и более плавному входу зуба в заготовку и выходу из нее\*\*. Однако при увеличении

\* В отдельных случаях, например при врезании зуба (см. рис. 237), толщина среза равна 0.

\*\* По аналогии с резцом, см. рис. 118.

угла  $+\lambda$  уменьшается продольный передний угол, что приводит к большим силам при резании и большому расходу мощности. У торцовых твердосплавных фрез угол  $\lambda$  делается от 0 до  $+15^\circ$  ( $0^\circ$  в случае обработки жаропрочных сталей).

## § 2. Режим резания при цилиндрическом фрезеровании

Процесс образования стружки при фрезеровании сопровождается теми же явлениями, что и процесс стружкообразования при точении (деформации, тепловыделение, наростообразование, износ инструмента и др.), с аналогичными причинами их возникновения. Однако процесс фрезерования имеет и некоторые особенности. При точении резец, врезавшись в обрабатываемый металл, находится под постоянным действием стружки примерно одинакового сечения вдоль всей длины обработки. При фрезеровании зуб за один оборот фрезы находится под действием стружки относительно малое время. Большую часть оборота он не участвует в резании; при этом зуб охлаждается, что положительно сказывается на его стойкости. Но при каждом обороте зуб должен вновь врезаться в срезаемый слой, что сопровождается ударом о его режущую кромку; ударная нагрузка приводит к снижению стойкости зуба фрезы и в отдельных случаях — к его полному разрушению.

При указанных на рис. 236, а движениях фрезы и заготовки (цилиндрическое фрезерование против подачи) зуб фрезы должен начинать резание с малой (нулевой) толщины, чего, однако, вследствие наличия радиуса округления между передней и задней поверхностями он сделать не может. Вместо начала резания в точке  $K$  (рис. 237) зуб начинает отделять стружку только в некоторой точке  $M$ , где толщина среза будет равна примерно радиусу округления  $\rho$ . На участке  $KM$  зуб скользит по упроченной поверхности резания, образованной впереди идущим зубом, что вызывает большое трение и износ по задней поверхности. Но и после начала стружкообразования в точке  $M$  зуб фрезы находится в иных усло-

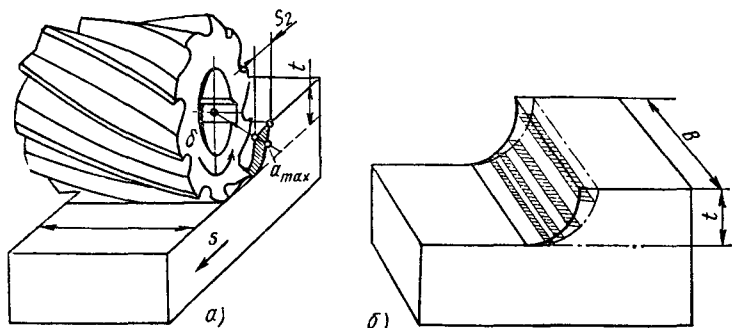


Рис. 236. Фреза и заготовка в рабочем состоянии (а) и изменение площадки поперечного сечения среза (б) вдоль дуги контакта (у прямозубой фрезы)



виях, чем резец, так как толщина среза по мере продвижения зуба фрезы под стружкой все время будет увеличиваться и достигнет своего наибольшего значения  $a_{max}$  перед выходом зуба (рис. 236 и 238, а). Наряду с изменением толщины среза у фрезы с винтовыми зубьями будет переменная и ширина среза (длина соприкосновения режущей кромки с заготовкой; рис. 238, б).

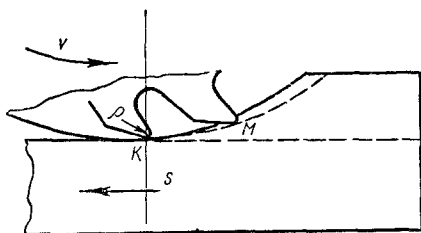


Рис. 237. Схема врезания зуба при цилиндрическом фрезеровании против подачи

Переменность работы зуба фрезы, переменная толщина и ширина среза (а следовательно, и переменная площадь поперечного сечения среза), а также непостоянное число зубьев, одновременно находящихся в работе, вызывают переменное значение сил, моментов и мощности, необходимых для процесса стружкообразования, и усложняют процесс фрезерования по сравнению с другими методами обработки металлов резанием.

Рассмотрим элементы режима резания при цилиндрическом фрезеровании. Так как главное движение — вращательное (фрезы), то скорость резания подсчитывается по обычной формуле (см. стр. 27; где  $D$  — диаметр фрезы в мм).

Подача у фрезерных станков осуществляется в горизонтальной (горизонтальная подача) и в вертикальной (вертикальная подача)

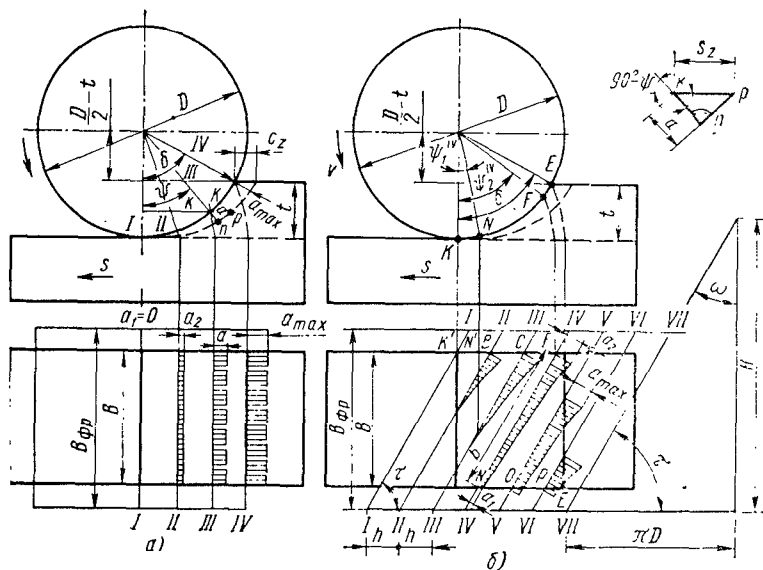


Рис. 238. Элементы резания при работе цилиндрической фрезой: а — с прямыми зубьями; б — с винтовыми зубьями

плоскостях. При фрезеровании различают подачу на один зуб фрезы —  $s_z$  в мм/зуб, подачу на один оборот фрезы —  $s_0$  в мм/об, подачу за 1 мин —  $s_m$  в мм/мин.

Между указанными подачами существует следующая зависимость:

$$s_z = \frac{s_0}{z} = \frac{s_m}{nz} \text{ мм/зуб};$$

$$s_0 = s_z z \text{ мм/об}; \quad s_m = s_z z n \text{ мм/мин}$$

где  $z$  — число зубьев фрезы.

Глубина  $t$  и ширина  $B$  фрезеруемой поверхности показаны на рис. 236, 238, *a*, *b* и 231, *a* ( $B_{фр}$  на рисунках — длина фрезы).

Углом контакта фрезы  $\delta$  называется центральный угол, соответствующий дуге соприкосновения фрезы с заготовкой, измеряемый в плоскости, перпендикулярной к оси фрезы. Из рис. 238, *a* следует, что

$$\cos \delta = \frac{\frac{D}{2} - t}{\frac{D}{2}} = 1 - \frac{2t}{D}.$$

Толщина среза  $a$  есть переменное расстояние между двумя последовательными поверхностями резания (образованными режущими кромками двух смежных зубьев фрезы), измеренное в радиальном направлении (см. рис. 238, *a*). У цилиндрической фрезы с прямым зубом (см. рис. 238, *a*) толщина среза постоянна вдоль всей длины зуба (для некоторого мгновенного положения зуба) и может быть определена из треугольника  $knp$ , если принять линию  $np$  за прямую:

$$kn = kp \cos(90^\circ - \psi) = kp \sin \psi$$

или

$$a = s_z \sin \psi,$$

где  $\psi$  — мгновенный угол контакта, или угол, соответствующий данному положению зуба фрезы.

При входе зуба (положение *I*) толщина среза равна нулю. При выходе зуба (положение *IV*) толщина среза соответствует полному углу контакта  $\delta$  и имеет наибольшее значение:

$$a_{\max} = s_z \sin \delta \text{ мм.}$$

Зуб прямозубой фрезы входит в обрабатываемую заготовку и выходит из нее сразу по всей ширине  $B$  (см. рис. 238, *a*) и его положение в каждый данный момент определяется углом  $\psi$ . Зуб же винтозубой фрезы входит в заготовку постепенно (см. развертку на рис. 238, *b*), достигает максимального соприкосновения с ней (когда он перекрывает всю ее ширину  $B$ ) и затем постепенно выходит из нее.

Мгновенное положение зуба винтозубой фрезы характеризуется двумя углами: углом входа  $\psi_1$  и углом выхода  $\psi_2$ .

Для положения *IV* угол входа

$$\psi_1^{IV} = \frac{360^\circ}{\pi D} \widetilde{KN},$$

а угол выхода

$$\psi_2^{IV} = \frac{360^\circ}{\pi D} \widetilde{KF} (\widetilde{KF} = K'F).$$

Для положения *I*

$$\psi_1^I = \psi_2^I = 0$$

Для положения *II* угол входа  $\psi_1^{II} = 0$ , а угол выхода

$$\psi_2^{II} = \frac{360^\circ}{\pi D} K'B.$$

Для положения *IV* угол входа

$$\psi_1^{IV} = \frac{360^\circ}{\pi D} KP,$$

а угол выхода

$$\psi_2^{IV} = \frac{360^\circ}{\pi D} KE (KE = \widetilde{KE}).$$

Толщина среза для винтозубой фрезы подсчитывается по той же формуле, что и для прямозубой фрезы; но эта толщина будет переменной как вдоль всей длины дуги контакта, так и вдоль всей длины активной части зуба (см. рис. 238, б).

Для положения *IV* толщина среза на входе

$$a_1 = s_2 \sin \psi_1^{IV};$$

толщина среза на выходе

$$a_2 = s_2 \sin \psi_2^{IV};$$

максимальная толщина среза

$$a_{\max} = s_2 \sin \delta.$$

Ширина среза  $b$  измеряется вдоль режущей кромки и представляет собой длину соприкосновения зуба фрезы с заготовкой.

Для прямозубой фрезы  $b = V$ .

Для фрезы с винтовым зубом ширина среза для каждого зуба, находящегося в данный момент в работе, — переменна.

Площадь поперечного сечения среза, снимаемая одним зубом прямозубой фрезы,  $f = ab = bs_2 \sin \phi$ . Для определения суммарной площади поперечного сечения среза необ-

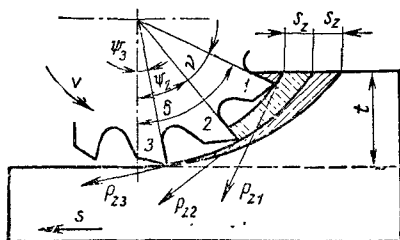


Рис. 239. Суммарная площадь поперечного сечения среза

ходимо знать число зубьев, одновременно находящихся в работе, и мгновенный угол контакта для каждого зуба (рис. 239).

Для прямозубой фрезы число зубьев, одновременно находящихся в работе,

$$m = \frac{\delta}{\nu} = \frac{\delta z}{360},$$

где  $\delta$  — полный угол контакта;  $\nu$  — угол между двумя соседними зубьями.

Если  $1 < m < 2$ , то одновременно в работе находятся максимум два зуба; если  $2 < m < 3$ , то в работе одновременно находятся максимум три зуба и т. д.

Если учесть, что

$$\sin \delta = \sqrt{1 - \cos^2 \delta} = 2 \sqrt{\frac{t}{D} - \frac{t^2}{D^2}},$$

то число зубьев, одновременно находящихся в работе, будет зависеть от соотношения  $\frac{t}{D}$ , диаметра фрезы и числа ее зубьев. Чем больше  $t$  и  $z$  и меньше  $D$ , тем больше  $m$ . Для конкретной фрезы с заданными  $D$  и  $z$  число зубьев, одновременно находящихся в работе, зависит только от глубины резания  $t$ .

Для фрезы с винтовым зубом число зубьев, одновременно находящихся в работе, может быть определено графически (см. рис. 238, б). Для этого в масштабе вычерчиваются фреза и заготовка и дается развертка поверхности резания. Под известным углом подъема зуба фрезы (угол  $\tau = 90^\circ - \omega$ ) проводятся лучи на расстоянии торцового шага  $h = \frac{\pi D}{z}$ , начиная с положения  $I-I$ . Число таких лучей, попавших в зону развернутой поверхности резания, и будет числом зубьев, одновременно находящихся в работе. На рис. 238, б число зубьев, одновременно находящихся в работе, равно шести ( $m = 6$ ). Гю-видному, чем меньше  $h$ , тем больше  $m$  (при прочих одинаковых условиях).

Число зубьев, одновременно находящихся в работе, для фрезы с винтовым зубом

$$m = \frac{\delta z}{360^\circ} + \frac{Bz}{nD \operatorname{ctg} \omega}.$$

Чем больше  $t^*$ ,  $z$ ,  $B$ ,  $\omega$  и меньше  $D$  (при прочих одинаковых условиях), тем больше число зубьев фрезы, одновременно находящихся в работе.

Суммарная площадь поперечного сечения среза для фрезы с винтовым зубом

$$F = \frac{D}{2} \frac{s_z}{\sin \omega} \sum_1^m (\cos \psi_1 - \cos \psi_2) \text{ мм}^2.$$

\* Так как с увеличением  $t$  увеличивается  $\delta$ .

## Машинное время при цилиндрическом фрезеровании

$$T_M = \frac{L}{s_M} = \frac{l + y + \Delta}{s_M z n} \text{ мин.},$$

где  $L$  — полный путь относительного перемещения фрезы и заготовки в направлении подачи, в мм (из положения  $I$  в положение  $II$ ; рис. 240);  $l$  — длина обработанной поверхности в мм;  $y$  — величина врезания в мм;

из треугольника  $OKM$

$$y = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2} - l\right)^2} = \sqrt{l(D-l)};$$

$\Delta = 1 \div 5$  мм — перебег;  $s_M$  — минутная подача в мм/мин.

### § 3. Равномерность фрезерования

Зуб прямозубой фрезы входит в заготовку и выходит из нее сразу по всей ширине. Это приводит к резкому изменению площади поперечного сечения среза, а следовательно, и сил, действующих в процессе резания. Представим, что в работе будет находиться только один зуб прямозубой фрезы, т. е. впереди идущий зуб уже вышел из контакта с заготовкой, а следующий за ним зуб только начинает входить в заготовку. В этом случае площадь поперечного сечения среза будет плавно изменяться от нуля до максимума, когда зуб находится под стружкой, с последующим резким падением до нуля, когда зуб выйдет из заготовки.

Процесс происходит более спокойно (более равномерно), если в работе одновременно находятся два или три зуба. В этом случае не будет резких изменений в площади поперечного сечения среза. Однако и при достаточно большом числе зубьев, одновременно находящихся в работе, для прямозубой фрезы невозможно получить равномерное фрезерование, т. е. такое фрезерование, при котором площадь поперечного сечения среза оставалась бы постоянной на всем протяжении обработки.

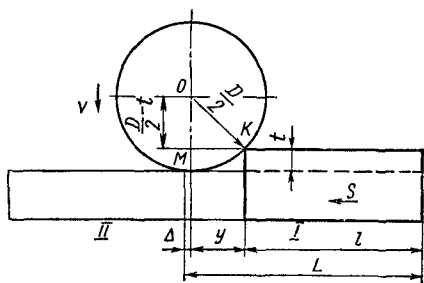


Рис. 240. Элементы пути, проходимого заготовкой при цилиндрическом фрезеровании

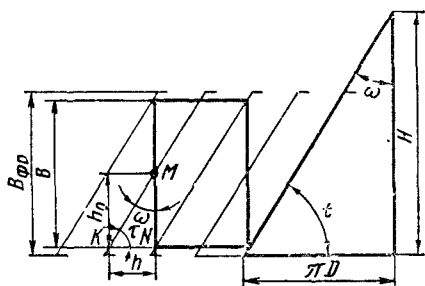


Рис. 241. Развертка поверхности резания при работе цилиндрической фрезой с винтовым зубом

Равномерное фрезерование при определенных условиях можно получить лишь при работе с винтовым зубом, у которой режущая кромка каждого зуба постепенно входит в заготовку, а затем постепенно выходит из нее (см. рис. 238, б), что менее резко изменяет площадь поперечного сечения среза и силы, а следовательно, обеспечивается более спокойная работа.

Площадь поперечного сечения среза можно считать постоянной в случае, когда ширина фрезеруемой поверхности равна осевому шагу фрезы  $h_0$  или кратна ему в целых числах (рис. 241), т. е.

$$B = \kappa h_0,$$

где  $\kappa$  — целое число (1, 2, 3 и т. д.);  $h_0$  — осевой шаг фрезы (расстояние между двумя соседними зубьями, измеренное в направлении оси).

Зависимость между осевым  $h_0$  и торцовым  $h$  шагами определяется из треугольника  $MNK$ :

$$h_0 = h \operatorname{ctg} \omega,$$

так как

$$h = \frac{\pi D}{z},$$

то

$$h_0 = \frac{\pi D}{z} \operatorname{ctg} \omega.$$

Шаг винтовой канавки фрезы (см. рис. 238, б и 241)

$$H = \pi D \operatorname{ctg} \omega,$$

поэтому

$$h_0 = \frac{H}{z},$$

а

$$B = \kappa h_0 = \kappa \frac{H}{z}.$$

Окончательное условие равномерного фрезерования следующее:  $\frac{Bz}{H} = \kappa$  (целое число).

#### § 4. Фрезерование против подачи и по подаче

Фрезерование может быть осуществлено при противоположных направлениях движений заготовки и фрезы (рис. 242, а) и при совпадающих направлениях (рис. 242, б). Первый метод фрезерования называется фрезерованием против подачи, или встречным фрезерованием, второй — фрезерованием по подаче, или попутным фрезерованием.

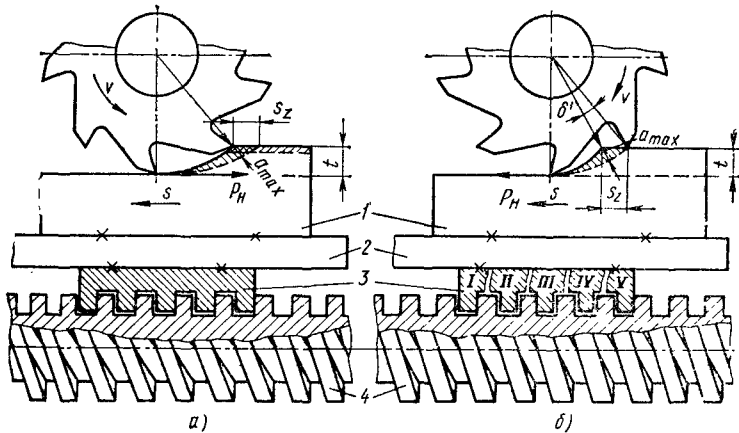


Рис. 242. Схемы фрезерования:

а — против подачи; б — по подаче: 1 — заготовка; 2 — стол станка; 3 — гайка; 4 — ходовой винт

Встречное фрезерование характеризуется тем, что нагрузка на зуб увеличивается постепенно, так как толщина среза изменяется от нуля при входе зуба до максимума при выходе зуба из обрабатываемого металла. Зуб фрезы работает из-под корки, «выламывая» корку снизу; фреза «отрывает» заготовку от стола, приподнимая также и стол станка, увеличивая тем самым зазоры между столом и направляющими станины, что при больших сечениях (больших силах) среза приводит к дрожаниям и ухудшению частоты обработанной поверхности.

При попутном фрезеровании заготовка прижимается к столу, а стол — к направляющим станины. Зуб фрезы начинает работать почти с первого момента резания с наибольшей толщиной и сразу подвергается максимальной нагрузке. При наличии у заготовки корки зуб ударяется о нее; высокая твердость и загрязненность корки приводят в этом случае к резкому снижению стойкости фрезы. Поэтому, когда заготовка имеет твердую корку, применяют встречное фрезерование, при котором вредное влияние корки сказывается в меньшей степени.

Работа из-под корки положительно характеризует встречное фрезерование. К этому же можно было бы отнести и постепенно увеличивающуюся нагрузку на зуб, если бы зуб начинал резать сразу в точке К (см. рис. 237). На участке КМ зуб подвергается сильному трению и интенсивному износу. Поэтому при отсутствии у заготовки корки стойкость фрезы при попутном фрезеровании (когда зуб начинает резать сразу) выше по сравнению со стойкостью при встречном фрезеровании; при одинаковой же стойкости попутное фрезерование позволяет работать с более высокой скоростью резания, обеспечивая наибольшую производительность. Повышение стойкости в 3 раза наблюдается при тонких стружках

( $s_z \leq 0,12$  мм/зуб), когда длина дуги скольжения  $KM$  при встречном фрезеровании (см. рис. 237) будет больше.

Попутное фрезерование обеспечивает и более высокое качество (микрogeометрию) обработанной поверхности (на один-два класса выше, чем при встречном фрезеровании). Это объясняется тем, что при попутном фрезеровании обеспечивается более спокойная работа. Кроме того, при встречном фрезеровании возможно «затаскивание» стружки на обработанную поверхность (зубьями фрезы), что исключается при попутном фрезеровании. Попутное фрезерование вызывает и несколько меньший общий расход мощности (за счет уменьшения мощности, затрачиваемой на движение подачи).

Указанные положительные моменты попутного фрезерования можно получить лишь при отсутствии твердой корки, при хорошем состоянии станка и при отсутствии значительного зазора в винтовой паре (ходовой винт — маточная гайка) стола фрезерного станка. При фрезеровании против подачи (см. рис. 242, а) ходовой винт 4, вращаясь и перемещая гайку 3 (а следовательно, и стол с заготовкой) в направлении подачи, все время прижат одной и той же стороной профиля зуба гайки. Одностороннему прижиму содействует и горизонтальная сила  $P_H$ , действующая со стороны фрезы на заготовку и имеющая в этом случае направленне, обратное направлению подачи. В результате стол будет перемещаться равномерно (от равномерно вращающегося ходового винта).

При фрезеровании по подаче (рис. 242, б) ходовой винт, вращаясь, начинает перемещать гайку тогда, когда между профилями резьбы винта и гайки также односторонне будет устранен зазор (положение I). Но так как скорость вращения фрезы больше скорости подачи, то сила  $P_H$ , действующая на заготовку (в этом случае в направлении подачи) и гайку, сместит профиль резьбы гайки по отношению к профилю резьбы винта сначала в нейтральное положение II, а затем и в положение III, при котором их беззазорное соприкосновение будет уже на другой стороне. В положениях II и III винт своей резьбой не действует на резьбу гайки, и механическая подача стола прерывается. Через некоторый момент профиль резьбы все время равномерно вращающегося винта снова войдет в одностороннее рабочее беззазорное соприкосновение с гайкой (положение V, подобное положению I), и начинается перемещение гайки, стола, заготовки в направлении подачи. Чем больше общий зазор между профилем резьбы ходового винта и профилем резьбы маточной гайки, тем более неравномерно и с большими толчками будет протекать процесс резания, что может привести не к положительным, а отрицательным результатам от попутного фрезерования.

Для исключения влияния зазора в винтовой паре стола фрезерного станка применяют специальные приспособления: два ходовых винта, гидравлическую подачу стола, специальные конструкции маточных гаек и др.

## § 5. Силы, действующие на фрезу

Для прямозубой цилиндрической фрезы суммарную \* равнодействующую силу  $R$  сопротивления срезаемого слоя можно разложить на следующие силы: касательную  $P_z$  и радиальную  $P_y$  или горизонтальную  $P_H$  и вертикальную  $P_V$  (рис. 243).

Касательная (окружная) сила  $P_z$  создает момент сопротивления резанию

$$M = \frac{P_z D}{2} \text{ кгс} \cdot \text{мм}$$

\* От всех зубьев фрезы, одновременно находящихся в работе.



и изгибает оправку. Момент сопротивления  $M$  должен быть преодолен вращающим (крутящим) моментом, развиваемым электродвигателем станка. Таким образом, по силе  $P_z$  рассчитывается механизм главного движения станка и мощность электродвигателя, необходимая для резания.

Радиальная сила  $P_y$  оказывает давление на подшипники шпинделя станка и изгибает оправку. Следовательно, оправка фрезы работает на изгиб от двух сил:  $P_z$  и  $P_y$  или от их равнодействующей  $R$ . Кроме изгиба, оправка испытывает и деформации кручения от момента сопротивления резанию, а потому полный расчет оправки производится на сложное сопротивление.

По горизонтальной силе  $P_H$  (силе подачи) производится расчет механизма подачи станка, силы закрепления заготовки и деталей приспособления. Сила  $P_V$  прижимает (затягивает) фрезу к заготовке. Сила реакции  $P'_V$ , действующая на заготовку (справа от точки приложения силы  $R$ ), направлена вверх. В этом случае она является силой отрыва заготовки от стола, а так как заготовка жестко скреплена со столом, то она является и силой, стремящейся поднять стол. При попутном фрезеровании, наоборот, сила  $P_V$  будет отжимать фрезу от заготовки, а сила  $P'_V$  прижимать заготовку к столу, а стол — к направляющим станины.

При фрезеровании фрезой с винтовым зубом, кроме сил  $P_z$ ,  $P_H$  и  $P_V$  будет действовать осевая сила  $P_0$  (рис. 244, а), направление которой зависит от направления винтовой канавки фрезы, имеющей угол наклона  $\omega$ .

Из схемы на рис. 244, б следует, что

$$P_0 = P_z \operatorname{tg} \omega.$$

Как показали исследования А. М. Розенберга, вдоль зуба действует сила трения  $T$  (рис. 244, в), уменьшающая силу  $P_0$ , а потому сила

$$P_0 = 0,28P_z \operatorname{tg} \omega.$$

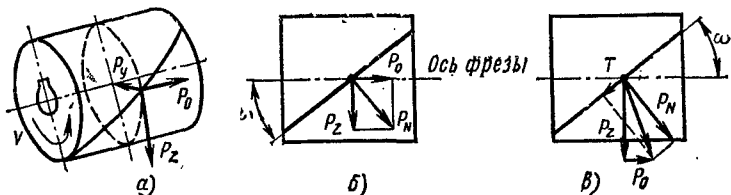


Рис. 244. Силы, действующие на цилиндрическую фрезу с винтовым зубом

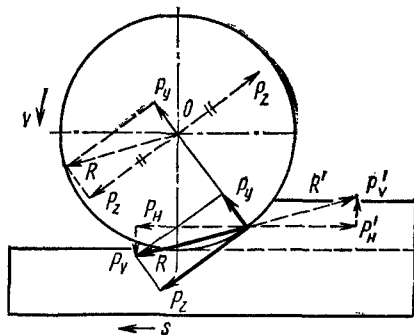


Рис. 243. Силы, действующие на цилиндрическую фрезу с прямым зубом

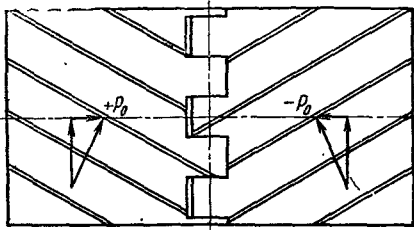


Рис. 245. Набор фрез с различным направлением винтовой канавки

В зависимости от направления винтовой канавки фрезы осевая сила  $P_0$  или сдвигает фрезу от оправки, или прижимает ее к буртику шпинделя (последнее более благоприятно). Сила  $P_0$  действует также на крепежные приспособления, ходовой винт поперечной подачи станка и его направляющие. Для ликвидации осевой силы применяют набор фрез с различным направлением винтовой канавки (рис. 245). Сила  $P_z$  может быть подсчитана по эмпирическим формулам, приводимым в справочниках по режимам резания. Но чаще в справочниках приводятся формулы для подсчета мощности  $N_{рез}$ , затрачиваемой на резание, зная которую, можно подсчитать силу

$$P_z = \frac{N_{рез} \cdot 60 \cdot 102}{v} \text{ кгс.}$$

Для цилиндрической фрезы из быстрорежущей стали Р18 (при  $\gamma = +10^\circ$ , с охлаждением) при обработке стали с  $\sigma_B = 75 \text{ кгс/мм}^2$

$$N_{рез} = 3,5 \cdot 10^{-5} D^{0,14} t^{0,86} s_z^{0,72} Bn \text{ кВт.}$$

Мощность затрачиваемая на движение подачи, не превышает 15% мощности, затрачиваемой на резание. С учетом этого полная расчетная (необходимая) мощность электродвигателя станка

$$N_m = \frac{1,15N_{рез}}{\eta}.$$

При определении сил  $P_H$  и  $P_V$  можно воспользоваться следующими соотношениями:

$$\left. \begin{aligned} P_H &= (1 + 1,2) P_z \\ P_V &= (0,2 + 0,3) P_z \end{aligned} \right\} \text{ при встречном цилиндрическом фрезеровании;}$$

$$\left. \begin{aligned} P_H &= (0,8 + 0,9) P_z \\ P_V &= (0,75 + 0,80) P_z \end{aligned} \right\} \text{ при попутном цилиндрическом фрезеровании.}$$

Зная  $P_z$ ,  $P_H$  и  $P_V$ , легко определить и силу  $P_y$

## § 6. Износ и стойкость цилиндрических фрез

Цилиндрические, концевые, шлицевые, прорезные и фасонные фрезы изнашиваются в основном по задней поверхности (рис. 246) (по передней поверхности износа почти нет). При грубой обработке за критерий износа принимается оптимальный износ, при получистовой и чистовой обработке — технический износ. При грубой обработке заготовок из стали величина допустимого износа

для цилиндрических быстрорежущих фрез  $h_3 = 0,4 \div 0,6$  мм, при полустойковой  $h_3 = 0,15 \div 0,25$  мм. При грубой обработке заготовок из чугуна  $h_3 = 0,5 \div 0,8$  мм, при полустойковой  $h_3 = 0,2 \div 0,3$  мм. Для цилиндрических фрез, оснащенных твердым сплавом,  $h_3 = 0,5 \div 0,8$  мм. Оптимальная стойкость для цилиндрических фрез из быстрорежущих сталей  $T = 120 \div 180$  мин; для цилиндрических фрез, оснащенных твердым сплавом, стойкость  $T = 180$  мин.

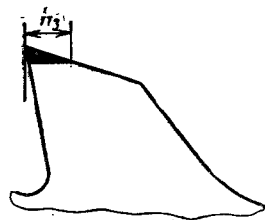


Рис. 246. Износ зуба фрезы по задней поверхности

## § 7. Скорость резания

Скорость резания, допускаемая режущими свойствами фрезы,

$$v_v = \frac{C_v D^q \omega^p}{T^m s_z^x t^y B^r z^n} K_v \text{ м/мин,}$$

где  $C_v$  — коэффициент, характеризующий обрабатываемый материал и условия обработки;  $D$  — диаметр фрезы в мм;  $T$  — стойкость фрезы в мин;  $s_z$  — подача в мм/зуб;  $t$  — глубина резания в мм;  $B$  — ширина фрезеруемой поверхности в мм;  $z$  — число зубьев фрезы;  $\omega$  — угол наклона винтовой канавки фрезы в град;  $q, p, m, x, y, r, n$  — показатели степеней;  $K_v$  — общий поправочный коэффициент на измененные условия обработки.

Скорость резания увеличивается с возрастанием диаметра фрезы и угла  $\omega$  и уменьшается с увеличением стойкости, подачи, глубины резания, ширины фрезерования и числа зубьев фрезы.

Повышение скорости резания с увеличением диаметра фрезы объясняется тем, что при прочих одинаковых условиях с увеличением  $D$  уменьшается толщина среза  $a$ , а следовательно, уменьшается и нагрузка на режущую кромку зуба фрезы. Кроме того, общее количество выделившейся теплоты в этом случае будет меньше, так как при одном и том же числе зубьев у фрезы с большим  $D$  одновременно в работе будет находиться меньшее число зубьев, снимающих в этом случае и меньшую суммарную площадь поперечного сечения среза. Наряду с меньшим тепловыделением при увеличении  $D$  усиливается теплоотвод в тело фрезы (за счет большей его массы), а также увеличивается время, в течение которого зуб проходит в воздухе, не производя при этом работы. Это способствует меньшей тепловой напряженности зуба фрезы, а следовательно, и повышению скорости резания.

При увеличении подачи  $s_z$  пропорционально возрастает и толщина среза  $a = s_z \sin \varphi$ , что приводит к увеличению силы резания, затрачиваемой работы на стружкообразование, а следовательно, и к повышению тепловыделения. В результате этого повышается термодинамическая нагрузка на единицу длины активной части режущей кромки, что и вызывает снижение стойкости фрезы или (при одной и той же стойкости) скорости резания.

При увеличении глубины резания  $t$  возрастает полный угол контакта  $\delta$  (или длина пути соприкосновения фрезы с заготовкой), что увеличивает толщину среза, время нахождения зуба под стружкой и уменьшает время «отдыха» (время прохождения зуба по воздуху). Это приводит к повышению тепловыделения и тепловой напряженности на единицу длины активной части режущей кромки, а следовательно, и к уменьшению скорости резания.

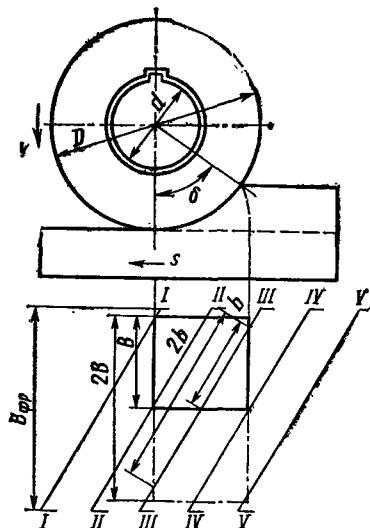


Рис. 247. Влияние ширины фрезерования на число зубьев, одновременно находящихся в работе, для фрезы с винтовым зубом

При возрастании ширины фрезеруемой поверхности  $B$  увеличивается число зубьев, одновременно находящихся в работе, и длина режущей кромки зуба, принимающая участие в стружкообразовании. Так, при ширине  $B$  (рис. 247) в работе находилось бы максимум четыре зуба, а при ширине  $2B$  — пять зубьев. Если же представленную картину рассматривать как последовательные положения одного и того же зуба, то при ширине  $B$  после положения  $IV$  зуб не производил бы уже резания и «отдыхал», при ширине же  $2B$  он еще продолжает работать, и лишь положение  $V$  будет соответствовать его выходу из заготовки. Кроме того, при максимальной длине соприкосновения зуба с заготовкой (положение  $III$ ) эта длина (ширина среза) в первом случае равна  $b$ , а во втором случае  $2b$ . Это приводит к большему общему тепловыделению, большей тепловой напряженности на единицу длины режущей кромки и соответствующему снижению скорости резания.

При увеличении числа зубьев фрезы  $z$  возрастает (при прочих одинаковых условиях) суммарная длина активной части режущих кромок (число зубьев, одновременно находящихся в работе), увеличивается суммарная площадь поперечного сечения среза

и соответственно этому общее количество выделений теплоты. Кроме того, сам зуб становится менее массивным (при одном и том же  $D$ ), что также содействует повышению температуры нагрева мелкого зуба по сравнению с крупным, а следовательно, и снижению его стойкости или допускаемой скорости резания.

Увеличение угла наклона винтовой канавки  $\omega$  приводит к увеличению стойкости или (при одинаковой стойкости) скорости резания. При увеличении угла  $\omega$  от  $20$  до  $60^\circ$  стойкость фрезы возрастает в 3—5 раз, причем наиболее сильно при  $\omega = 30 \div 60^\circ$ , а также обработке заготовок из твердых и жаропрочных сталей. Повышение скорости резания с увеличением угла  $\omega$  объясняется в основном тем, что при этом улучшается отвод стружки и повышается равномерность фрезерования (так как увеличивается число зубьев, одновременно находящихся в работе).

Скорость резания при работе цилиндрическими фрезами из быстрорежущей стали Р18 с углом  $\omega = 20 \div 30^\circ$ , при обработке углеродистой стали с  $\sigma_b = 75$  кгс/мм<sup>2</sup> и охлаждением при  $s_2 > 0,1$  мм/зуб

$$v_{н} = \frac{35,4D^{0,45}}{T^{0,33} s_2^{0,4} t^{0,3} B^{0,1} z^{0,1}} \text{ м/мин.}$$

Приведенная формула применена при обработке заготовки без корки из горячекатаной стали с указанной  $\sigma_b$ . При других измененных условиях необходимо ввести поправочные коэффициенты, которые в формуле на стр. 112 учтены общим поправочным коэффициентом  $K_v$ .



Торцовое фрезерование называется полным, когда ширина фрезеруемой (обработанной) поверхности  $B$  будет равна диаметру фрезы  $D$ ; полный угол контакта  $\delta$  в этом случае будет равен  $180^\circ$ . При неполном симметричном фрезеровании полный угол контакта  $\delta$  определится из треугольника  $ONM$ :

$$\sin \frac{\delta}{2} = \frac{MN}{ON} = \frac{\frac{B}{2}}{\frac{D}{2}} = \frac{B}{D}$$

Толщина среза  $a$  — величина переменная вдоль всей длины дуги контакта. На входе и выходе она равна  $a_1$ . Для произвольного положения зуба, имеющего угол контакта  $\psi$ , толщина среза определяется из треугольника  $kpn$ :

$$a = s_2 \sin \psi.$$

При  $\psi = 90^\circ$  (т. е. вдоль оси симметрии заготовки) толщина среза наибольшая:

$$a_{\max} = s_2 \sin 90^\circ = s_2.$$

При встречном несимметричном фрезеровании (когда ось фрезы не проектируется на середину ширины фрезерования; рис. 248, б) толщина среза увеличивается от нуля при входе до  $a_{\max}$  при выходе. Промежуточная толщина среза

$$a = s_2 \sin \psi.$$

При попутном несимметричном фрезеровании, когда фреза будет иметь вращение, обратное вращению, показанному на рис. 248, б, толщина среза будет изменяться от  $a_{\max}$  при входе до  $a = 0$  при выходе.

Торцовая фреза с  $\varphi = 90^\circ$  (рис. 248, а) применяется для обработки поверхности, имеющей со смежной вертикальной поверхностью угол  $90^\circ$ . При фрезеровании на проход применяются фрезы с  $\varphi < 90^\circ$  (см. рис. 235) как более производительные.

Если при  $\varphi = 90^\circ$  (рис. 248, а) максимальная толщина среза  $a_{\max} = s_2$ , то при угле  $\psi < 90^\circ$  (см. рис. 234)

$$a_{\max} = s_2 \sin \varphi.$$

Следовательно, для фрез с малым значением угла  $\varphi$  при одной и той же толщине среза  $a_{\max}$ , определяющей нагрузку на режущую кромку, подача  $s_2$  может быть значительно увеличена, что и вызовет повышение производительности. Но при малом значении угла  $\varphi$  длину режущей кромки и другие размеры фрезы необходимо увеличить. Геометрические элементы режущей части торцовых фрез приведены на стр. 246. Минутная подача и скорость резания при торцовом фрезеровании определяются по формулам, приведенным выше для цилиндрического фрезерования.

Машинное время при торцовом фрезеровании

$$T_m = \frac{l + y + \Delta}{s_m} \text{ мин.}$$



Мощность при торцовом фрезеровании углеродистой стали с  $\sigma_B = 75$  кгс/мм<sup>2</sup> фрезами с твердосплавными пластинками при  $\gamma = -10^\circ$  и  $\varphi = 60^\circ$

$$N_{\text{рез}} = 42,4 \cdot 10^{-5} t_s^{0,75} B^{1,1} n^{0,8} \frac{z}{D^{0,3}} \text{ кВт.}$$

Зная  $N_{\text{рез}}$ , можно определить необходимую мощность электродвигателя  $N_M$  и среднюю окружную силу  $P_z$ .

## § 10. Износ и стойкость торцовых фрез

При торцовом фрезеровании полный угол контакта обычно больше, чем при цилиндрическом; стружка большее время соприкасается с передней поверхностью, что и вызывает наряду с износом по задней поверхности фрезы некоторый износ и по передней поверхности. Наиболее сильно износ по передней поверхности проявляется при обработке заготовок из сталей на высоких скоростях резания при толщинах среза  $a_{\text{max}} > 0,08$  мм и при наличии отрицательного переднего угла; при обработке заготовок из чугунов и из сталей с невысокими скоростями резания и максимальными толщинами среза  $a_{\text{max}} < 0,08$  мм этот износ незначителен. Как и для фрез других видов основным и лимитирующим износом для торцовых фрез является износ по задней поверхности.

Для торцовых фрез из быстрорежущей стали средними величинами максимально допустимого износа по задней поверхности при обработке конструкционной стали и чугуна являются: 1,5—2 мм при грубой обработке; 0,3—0,5 мм при получистовой. Для торцовых фрез, оснащенных пластинками из твердых сплавов, при обработке сталей  $h_3 = 1 \div 1,2$  мм, а при обработке чугунов  $h_3 = 1,5 \div 2$  мм. Зависимость между скоростью резания и стойкостью выражается общей формулой (см. стр. 101). Для торцовых фрез с твердым сплавом Т15К6 при обработке сталей  $m = 0,2$ ; при обработке серых чугунов (сплав ВК6)  $m = 0,32$ . Для торцовых фрез из быстрорежущих сталей оптимальная стойкость  $T = 120 \div 240$  мин; для торцовых фрез с пластинками из твердых сплавов  $T = 120 \div 420$  мин.

## § 11. Скорость резания, допускаемая торцовыми фрезами

При обработке углеродистой конструкционной стали с  $\sigma_B = 75$  кгс/мм<sup>2</sup> торцовой фрезой с пластинками из твердого сплава Т15К6, имеющей угол  $\varphi = 60^\circ$ , при нормальном износе

$$v_n = \frac{332D^{0,2}}{T^{0,2} t^{0,1} s_z^{0,4} B^{0,2}} \text{ м/мин.}$$

В формуле отсутствует величина  $z$ ; это объясняется тем, что размеры зуба (и связанная с этим интенсивность тепловода от поверхностей трения) для торцовых фрез со вставными ножами при изменении числа зубьев фрезы практически остаются теми же.



При фрезеровании заготовок из стали фрезы из быстрорежущей стали применяют смазочно-охлаждающие жидкости (в основном 5%-ную эмульсию). При обработке фрезами с пластинками из твердого сплава смазочно-охлаждающие жидкости не применяют. Это вызывается тем, что при фрезеровании во время срезания стружки поверхностные слои зуба сильно нагреваются, а при выходе зуба из металла резко охлаждаются жидкостью. Такое частое и резкое изменение температуры нагрева приводит к быстрому изменению объема, местным напряжениям и появлению мелких трещин на поверхности зуба. Такие трещины ослабляют режущую кромку зуба фрезы, и вместо нормального износа, которым сопровождается процесс фрезерования при отсутствии охлаждения, начинается резкий износ с обламыванием крупных частиц по возникшим трещинам.

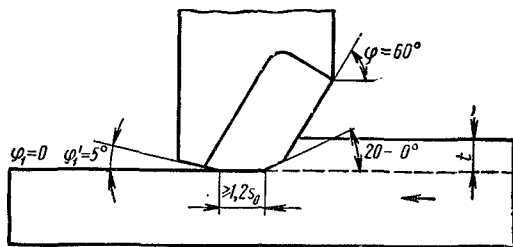


Рис. 250. Геометрические параметры зуба фрезы для обработки с увеличенными подачами

При работе твердосплавными фрезами значительное повышение стойкости (в 3—4 раза) достигается распылением масла («Индустриальное 20», 2—3 г/ч). В этом случае уменьшается трение и отсутствуют условия резкого изменения температуры нагрева твердосплавных пластинок; жидкость в виде «масляного тумана» подается в зону резания, охлаждая зуб фрезы при его выходе из заготовки. Производительность при чистовом фрезеровании может быть повышена (по машинному времени в 2 раза и более) путем увеличения подачи и применения в этом случае фрезы с дополнительной кромкой под углом  $\varphi_1 = 0$  (рис. 250).

Применение торцовых фрез с пластинками из твердых сплавов, у которых резцы (ножи) имеют угол  $\varphi_1 = 0$ , позволяет получать поверхности настолько прямолинейными и чистыми ( $\nabla 6$ — $\nabla 8$ ), что можно заменить тяжелое ручное шабрение механической обработкой не только чугунных заготовок\*, но и заготовок из стали и бронзы; производительность труда при этом повышается в 8 раз и более.

При фрезеровании заготовок из жаропрочных и нержавеющей сталей на стойкость фрезы влияют условия выхода режущей кромки из заготовки. Стойкость фрезы повышается по мере выхода режущей кромки из заготовки при меньшей (вплоть до нулевой) толщине среза, что достигается смещением фрезы относительно средней линии заготовки (рис. 251). Объясняется это тем, что вследствие высокой способности жаропрочных и нержавеющей сталей к свариванию с твердым сплавом стружка прочно приваривается к передней поверхности зуба фрезы. При врезании такого зуба в заготовку увеличивается общая разру-

\* Ручное шабрение чугунных заготовок успешно заменяется и чистовым строганием.

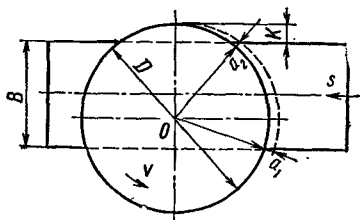


Рис. 251. Схема смещения фрезы относительно заготовки при фрезеровании жаропрочных и нержавеющей сталей

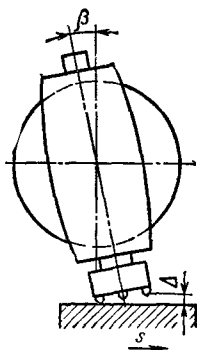


Рис. 252. Поворот шпиндельной головки вертикально-фрезерного станка

шающая (ударная) нагрузка на зуб \*, а вновь образующаяся стружка сталкивает приварившуюся стружку вместе с кусочками твердого сплава. Это вызывает более интенсивное разрушение режущей кромки и снижает стойкость.

Одним из факторов, влияющих на прочность приваривания стружки к передней поверхности зуба фрезы, является давление стружки на инструмент; чем меньше давление, тем меньше прочность приваривания. Давление зависит от толщины среза, для уменьшения которой на выходе зуба из заготовки и устанавливают фрезы со смещением ( $a_2 < a_1$ ). Чем меньше расстояние от траектории движения режущей кромки до заготовки на выходе зуба (расстояние  $K$ ), тем меньше толщина среза на выходе  $a_2$ , давление в этот момент, прочность приваривания стружки, разрушается и изнашивается зуб, тем выше стойкость, а следовательно, допустимая скорость резания и производительность. Уменьшение отношения  $\frac{K}{D}$  с 0,4 до 0,1 способствует повышению скорости резания на 40%.

Увеличенная толщина среза  $a_1$  при входе зуба, вследствие высокой пластичности жаропрочных и нержавеющей сталей, влияет на стойкость меньше; преобладающим является условие выхода зуба (толщина  $a_2$ ). Поэтому при фрезеровании жаропрочных и нержавеющей сталей цилиндрическими, дисковыми и фасонными фрезами необходимо работать по методу попутного фрезерования. Для повышения стойкости и уменьшения шероховатости обработанной поверхности при торцовом фрезеровании жаропрочных и нержавеющей сталей шпиндельную головку (рис. 252;  $\Delta \approx 0,01$  мм) необходимо повернуть.

## § 12. Назначение элементов режима резания

Глубина резания назначается в зависимости от припуска на обработку  $h$ . Припуск  $h$  целесообразно снимать за один проход, т. е.  $t = h$ . При повышенных требованиях к точности и классу шероховатости обработанной поверхности припуск снимается в два прохода: черновой и чистовой ( $t = 0,75 \div 2$  мм).

Основными факторами, ограничивающими выбор максимально возможной величины подачи при черновом фрезеровании, являются

\* Так как вместо доведенной передней поверхности зуба на срезаемый слой начинает давить поверхность приварившейся стружки,

материал заготовки, прочность материала режущей кромки фрезы, жесткость системы, размеры обрабатываемых поверхностей, прочность механизма подачи станка. При полуставом и чистовом фрезеровании основным ограничивающим фактором подачи, как и при других видах обработки, является шероховатость обработанной поверхности. Для грубой (черновой) обработки с целью повышения производительности необходимо назначать наиболее прочный твердый сплав, т. е.

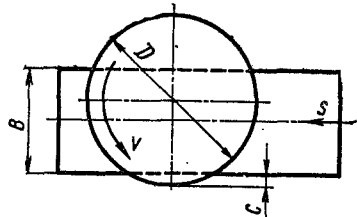


Рис. 253. Схема смещения фрезы относительно заготовки при фрезеровании конструкционных сталей

сплав, допускающий наибольшую подачу  $s_z$ . Если же по условиям работы достаточно прочными окажутся несколько твердых сплавов (например, при чистовой обработке, когда  $s_z$  должно быть относительно мало), то необходимо выбрать из них твердый сплав, допускающий наибольшую скорость резания. Подача  $s_z$  исходя из достаточной прочности твердосплавной пластинки может быть увеличена \* в 1,8—2 раза, если обеспечить наилучшие условия врезания зубьев торцовой фрезы в заготовку. К ним относятся: удаление от главной и торцовой режущих кромок в более прочное место пластинки первоначального удара зуба о заготовку; уменьшение толщины среза (площади поперечного сечения среза), приводящее к уменьшению силы удара. На соблюдение этих условий влияют как геометрические элементы режущей части зуба, так и соответствующая установка фрезы относительно заготовки. Установка фрезы относительно заготовки зависит от диаметра  $D$  фрезы и ширины  $B$  заготовки. При обработке заготовок из конструкционных углеродистых, легированных сталей и чугуна, когда  $\frac{D}{B} = 1,1 \div 1,7$ , рекомендуется устанавливать фрезу так, чтобы режущие кромки ее зубьев были смещены относительно заготовки на величину  $C = (0,03 \div 0,05)D$  (рис. 253), что наряду с повышением стойкости фрезы способствует уменьшению вибраций и получению менее шероховатой поверхности.

После назначения глубины резания и подачи при соответствующей оптимальной стойкости подсчитывается скорость резания, допускаемая режущими свойствами фрезы.

По найденной скорости подсчитывается необходимая частота вращения. Найденная частота вращения корректируется по станку и затем подсчитывается действительная скорость резания.

Минутная подача

$$S_m = s_z z n_d \text{ мм/мин.}$$

\* При жестких условиях обработки конструкционной углеродистой стали средней твердости подача  $s_z$  может быть увеличена до 1,2—1,6 мм/зуб.

Найденное  $s_m$  корректируется по данным станка  $s_{m_n}$ , и далее подсчитывается действительная подача на зуб:

$$s_{z_d} = \frac{s_{m_d}}{z n_d}.$$

При тяжелых условиях резания определяется сила подачи  $P_H$  и проверяется прочность механизма подачи станка (сила  $P_H$  должна быть меньше или, в крайнем случае, равна максимальной силе, допускаемой механизмом подачи станка).

Подсчитывается  $N_{рез}$  и проверяется достаточность мощности электродвигателя станка. Машинное время подсчитывается по соответствующим формулам. Более коротким путем назначения элементов режима резания является непосредственное использование таблиц и карт справочников с введением соответствующих поправочных коэффициентов.

## РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ФРЕЗ

## § 1. Фрезы с остроконечными зубьями

Фрезы с остроконечными зубьями затачивают в основном по задней поверхности. Преимущество остроконечных зубьев: высокая стойкость (стойкость фрез с остроконечным зубом в 1,5—3 раза выше стойкости фрез с затылованным зубом); простота изготовления (кроме фасонных фрез); повышенный класс шероховатости обработанной поверхности детали.

Остроконечная форма зуба используется в основном для фрез общего назначения. Известны три типа остроконечных зубьев. При трапециевидальной форме (рис. 254, а) зуб определяется углом  $\eta$ , канавка — углом  $\vartheta$ :

$$\vartheta = \eta + \frac{360^\circ}{z}.$$

Зубья такой формы просты в изготовлении, но зуб несколько ослаблен. Особенностью остроконечного зуба, показанного на рис. 254, б, является параболическая форма его задней поверхности. Эта форма определяется из условия равнопрочности всех сечений зуба на изгиб. Если передний угол  $\gamma$  не равен нулю, то профиль зуба описывается дугой окружности.

Наибольшее распространение получил зуб третьего типа (рис. 254, в), спинка которого образуется путем двойного фрезерования, что обеспечивает получение формы зуба, близкой к равнопрочной параболической. Определение угла  $\vartheta$  производится так же, как и для зуба первой формы; затем строится второй угол  $\gamma_1$ , обычно равный 60—65°, и радиус закругления  $r$ .

## § 2. Цилиндрические фрезы с остроконечными зубьями

Фрезы диаметром 60—90 мм применяются в основном при глубине резания до 5 мм, диаметром 90—110 мм — при глубине резания до 8 мм, диаметром 110—150 мм — при глубине резания до 12 мм. Ширина фрезы должна быть несколько больше (на 2—5 мм) ширины обрабатываемой поверхности.

От диаметра фрезы зависит отвод теплоты, толщина стружки, число зубьев, форма зубьев и диаметр отверстия. Большой диаметр фрезы позволяет применить более жесткую оправку, лучше разместить зубья и канавки фрезы и увеличить число зубьев, улучшить

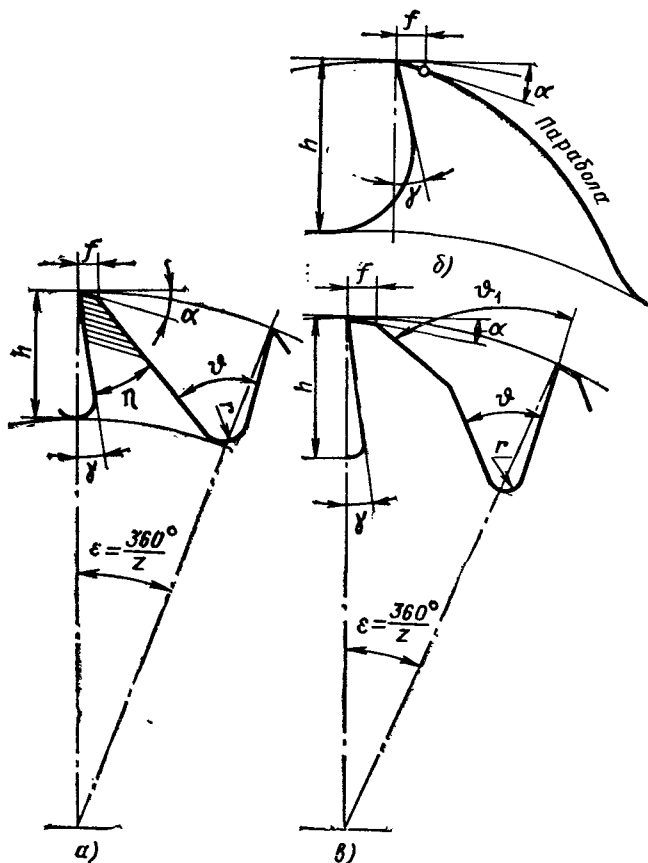


Рис. 254. Типы остроконечных зубьев:

*a* — трапецидальная форма зуба; *б* — параболическая форма зуба; *в* — с двойной спинкой зуба

отвод теплоты и повысить минутную подачу, хотя и вызывает повышенный расход металла и энергии на фрезерование.

Если обозначить диаметр сверления под оправку  $d$ , толщину тела фрезы  $m$  и высоту зуба  $H$  (рис. 255), то диаметр фрезы

$$D = d + 2m + 2H.$$

Диаметр оправки  $d$  можно рассчитать исходя из сил, действующих на фрезу. Однако расчет диаметра оправки на прочность производится редко; обычно при конструировании фрез для определения диаметра оправки используют указанные ниже рекомендации, учитывающие также необходимую жесткость оправок и стандартный размерный ряд диаметров фрез и оправок (табл. 24). Диаметр цилиндрической фрезы приблизительно в 2,5—3 раза больше диаметра оправки. Когда несколько фрез устанавливают на одну длину

Диаметры оправок в зависимости от диаметра фрез в мм

Диаметр			Диаметр		
цельных фрез	сборных фрез	оправки	цельных фрез	сборных фрез	оправки
40	—	16	100	125	40
50	—	22	—	160	50
63	80	27	—	200	60
80	100	32			

ную оправку (комплект), рекомендуется максимально увеличивать диаметр оправки, с тем чтобы сохранить ее жесткость.

В зависимости от назначения фрезы разделяются на крупнозубые, т. е. фрезы с большим шагом и небольшим числом зубьев, и мелкозубые, т. е. фрезы с малым шагом и большим числом зубьев. У фрез с большим шагом зуб получается более прочным. Крупный зуб лучше отводит теплоту от режущей кромки, допускает большее число переточек, и впадины между зубьями имеют большую вместимость для стружки. Но к недостаткам фрез с крупным прямым зубом следует отнести менее плавную работу. По этим соображениям применяют фрезы с крупными зубьями при черновом фрезеровании, а фрезы с мелкими зубьями — только при чистовом.

Число зубьев фрез

$$z = m \sqrt{D},$$

где  $m$  — коэффициент, зависящий от условий работы и конструкции фрезы. Значения коэффициента  $m$  приведены ниже.

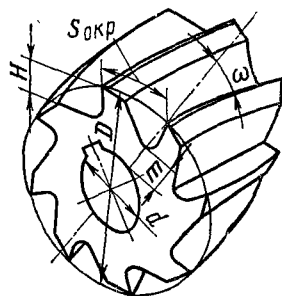


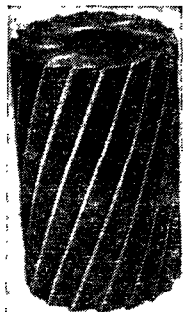
Рис. 255. Основные конструктивные размеры цилиндрической фрезы

#### Фрезы цилиндрические

Цельные:		$m$
крупнозубые с $\omega$ до $30^\circ$	.....	1,05
мелкозубые с $\omega = 15 + 20^\circ$	.....	2
Сборные:		
мелкозубые с $\omega = 20^\circ$	.....	0,9
крупнозубые с $\omega = 45^\circ$	.....	0,8

Цилиндрические фрезы с мелкими зубьями (рис. 256) применяются для чистовых и получистовых работ. Они не пригодны для обдирочных работ, так как имеют небольшой шаг зубьев и, следовательно, небольшой объем канавки для помещения стружки. Угол  $\omega = 30 \div 35^\circ$ . Число зубьев 10—18.

Рис. 256. Цилиндрические фрезы с винтовыми мелкими зубьями



Цилиндрические фрезы с крупным зубом имеют меньшее число зубьев (6—12) и угол  $\omega = 40^\circ$ . Диаметр, длина и диаметр отверстий такие же, как у фрез с мелким зубом. При угле  $\omega = 30^\circ \div 40^\circ$  осевая сила достигает значительной величины. Влияние осевой силы можно исключить применением сдвоенных фрез. Рекомендуется также неравномерная разбивка окружного шага зубьев.

Сдвоенные (составные) фрезы (рис. 257) могут работать только в комплекте; они имеют правые и левые винтовые канавки. Несмотря на большой угол наклона ( $\omega$  до  $55^\circ$ ), осевые силы правой и левой фрез во время работы уравниваются, так как они направлены в разные стороны. В комплект входят две фрезы — правая и левая; в месте стыка фрез предусматривается перекрытие режущих кромок одной фрезы режущими кромками другой. Для этой цели на торце каждой фрезы делаются выступы и впадины. Выступы одной фрезы входят во впадины другой фрезы, и таким образом осуществляется перекрытие. Для того чтобы выступы приходились против соответствующих впадин, необходимо строго выдерживать угол  $\epsilon_d$ , под которым должна располагаться шпоночная канавка относительно зубьев. Число зубьев выбирается для таких фрез небольшим (4—6). Профиль криволинейного зуба соответствует второй форме (см. рис. 254, б); высота зуба  $H = (0,15 \div 0,5) s_{\text{окр}}$ . Угол зуба  $\eta = 50^\circ \div 52^\circ$  (в нормальном сечении). Угол рабочей фрезы  $\vartheta$  принимается от  $75^\circ$  до  $60^\circ$ , в зависимости от диаметра фрезы. Радиус закругления дна канавки  $r = 3,5 \div 4$  мм устраняет образование трещин при закалке.

Цилиндрические фрезы, начиная от диаметра 100 мм и выше, обычно изготовляют сборной конструкции; это позволяет умень-

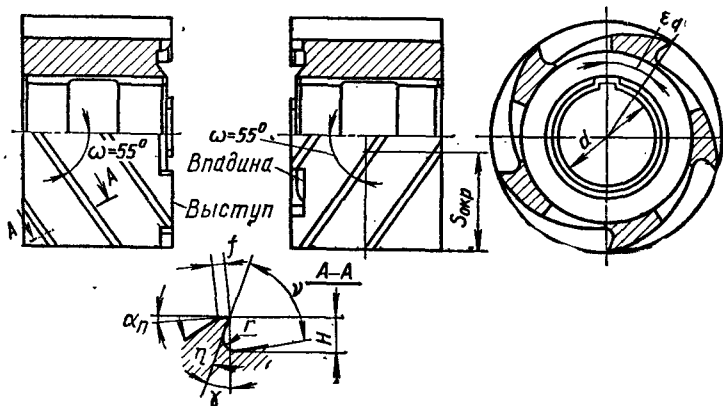


Рис. 257. Сдвоенные правые и левые цилиндрические фрезы



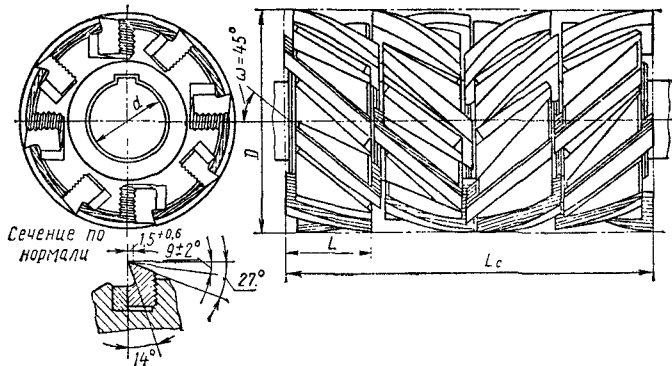


Рис. 258. Цилиндрическая фреза со вставными зубьями с углом  $\omega = 45^\circ$  (конструкция завода «Фрезер»)

шить расход дорогостоящей быстрорежущей стали, повысить срок службы корпуса фрезы и облегчить термическую обработку. Общий недостаток сборных конструкций — повышенная трудоемкость изготовления по сравнению с цельными и, кроме того, меньшая жесткость.

Сборная конструкция цилиндрической фрезы завода «Фрезер» показана на рис. 258. В корпусе фрезы имеется паз клиновидной формы; одна стенка паза снабжена продольными рифлениями. В паз вставляется плоский нож, имеющий рифленую опорную поверхность. Нож закрепляется в пазу корпуса главным клином с углом  $3^\circ$ . При переточке нож может быть переставлен на одно или несколько рифлений, в результате диаметр фрезы сохраняется.

У фрез с углом  $\omega = 20^\circ$  возникает сравнительно небольшая осевая сила, поэтому при эксплуатации можно устанавливать одну фрезу. У фрез с углом наклона  $\omega = 45^\circ$  возникают значительные осевые силы. Для уравнивания осевых сил используется комплект фрез.

Для фрез как с углом  $\omega = 20^\circ$ , так и с углом  $\omega = 45^\circ$ , предназначенных для обработки заготовок из стали средней твердости, передний угол  $\gamma$  в сечении нормальном режущей кромке зуба принимается  $14-16^\circ$ ; задний угол  $\alpha_n$  в том же сечении принимается равным  $9-11^\circ$ . При заточке фрезы допускается ленточка по цилиндру до  $0,1$  мм. Корпуса фрез изготавливают из стали 40X, ножи — из быстрорежущей стали.

Цилиндрические фрезы, оснащенные твердыми сплавами, до последнего времени не получили широкого применения из-за трудностей изготовления. Однако применение их показало хорошие результаты, особенно на специальных горизонтально-фрезерных станках, а также при обработке заготовок из жаропрочных и нержавеющей сталей и сплавов.

В Советском Союзе разработана конструкция и технология производства винтовых твердосплавных пластинок (автор Н. А. Розно). По сравнению с быстрорежущими фрезами приме-

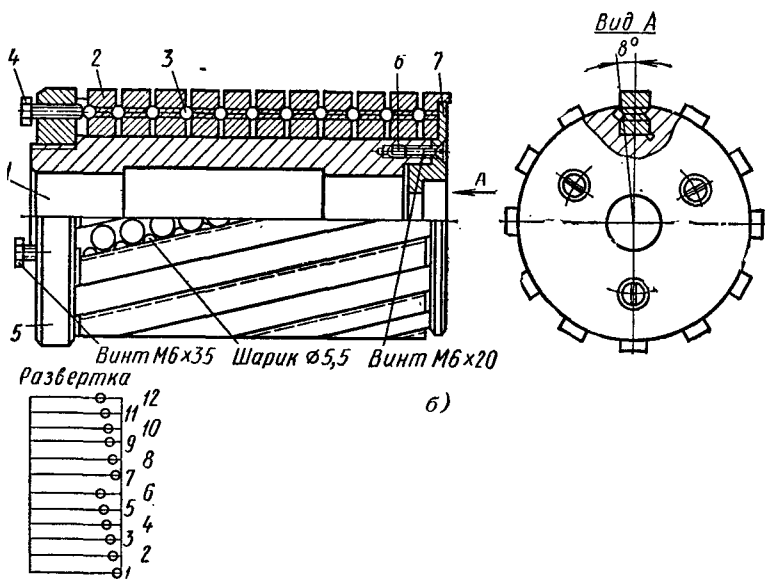
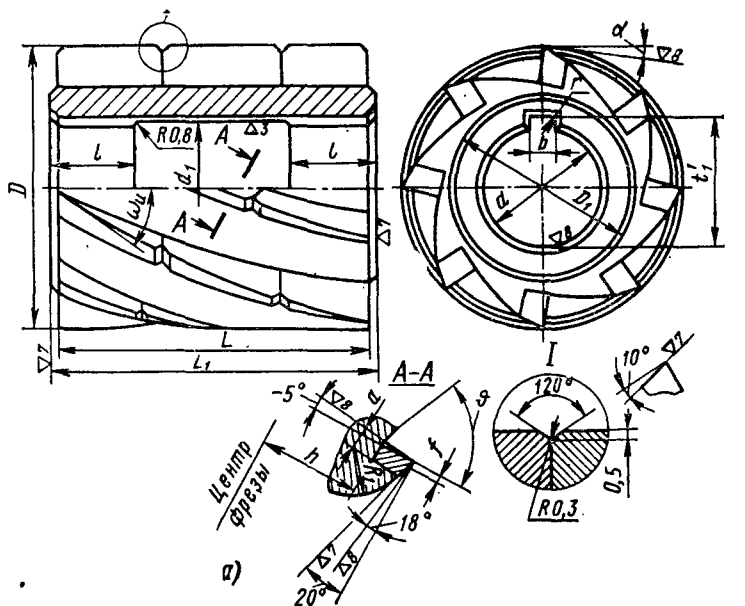


Рис. 259. Цилиндрические фрезы:

а — с винтовыми твердосплавными пластинками; б — с механическим креплением цилиндрических твердосплавных столбиков

нение цилиндрических фрез, оснащенных винтовыми пластинками из твердых сплавов (рис. 259, а) Т5К10, Т15К6, ВК8 и др., обеспечивает повышение производительности в 3—5 раз с одновременным повышением стойкости от 2 до 5 раз. Пластинки должны быть припаяны так, чтобы на стыке они были расположены в шахматном порядке, т. е. перекрывали друг друга при работе фрезы. Фрезы изготавливают диаметром 63, 80, 100 и 125 мм с углом  $\omega = 24 \div 30^\circ$ .

Во ВНИИ разработана конструкция цилиндрической фрезы с механическим креплением круглых столбиков из твердого сплава (рис. 259, б), предназначенная для фрезерования широких поверхностей чугунных деталей при снятии больших припусков и стальных деталей, имеющих небольшие припуски. В винтовых канавках корпуса 1 фрезы закреплены цилиндрические столбики 2 из твердого сплава с помощью шариков 3 и винтов 4, проходящих через кольцо 5. На торце корпуса винтами 6 закреплен фланец 7. Фланец обеспечивает осевое смещение столбиков, расположенных в смежных канавках, относительно друг друга.

### § 3. Торцовые фрезы с остроконечными зубьями

Большинство работ по фрезерованию поверхностей выполняется торцовыми фрезами. Фреза (см. рис. 234) предназначена для обработки поверхностей, а также пазов, и имеет, кроме торцовых кромок, длинные режущие кромки, расположенные на цилиндрической части. Фрезы с мелким зубом (тип I) дают чистую поверхность и служат для чистовых и получистовых работ. Число зубьев  $z$  фрез с мелкими зубьями принято по формуле  $z = 2\sqrt{D}$ . Диаметр фрезы  $D$ , диаметр отверстия  $d$  и ширина фрезы определены стандартом.

Геометрические параметры рекомендуются следующие: передний угол  $\gamma = 12^\circ$ , задний угол  $\alpha = 14^\circ$ ; у торцовых фрез с мелким зубом  $\omega = 25 \div 30^\circ$ , у фрез с крупным зубом  $\omega = 35 \div 40^\circ$ .

Для грубых обдирочных работ могут быть применены торцовые фрезы с крупным зубом. Число зубьев фрезы рекомендуется принимать по формуле  $z = 1,2\sqrt{D}$ . Изготавливать подобные фрезы большого диаметра целиком из быстрорежущей стали нецелесообразно из-за большого расхода материала; их следует изготавливать сборными.

Конструкция сборной фрезы с клиновидными рифлеными ножами из быстрорежущей стали показана на рис. 260. Фрезы этой конструкции получили наибольшее распространение; их диаметр 80—250 мм. Корпус фрезы из конструкционной стали снабжен клиновидными пазами с углом  $5^\circ$ . На задней стенке нанесены рифления, направленные вдоль паза. Нож забивается в клиновидный паз и удерживается в корпусе возникающими силами трения. После переточки диаметр фрезы можно восстановить перестановкой ножей на следующее рифление.

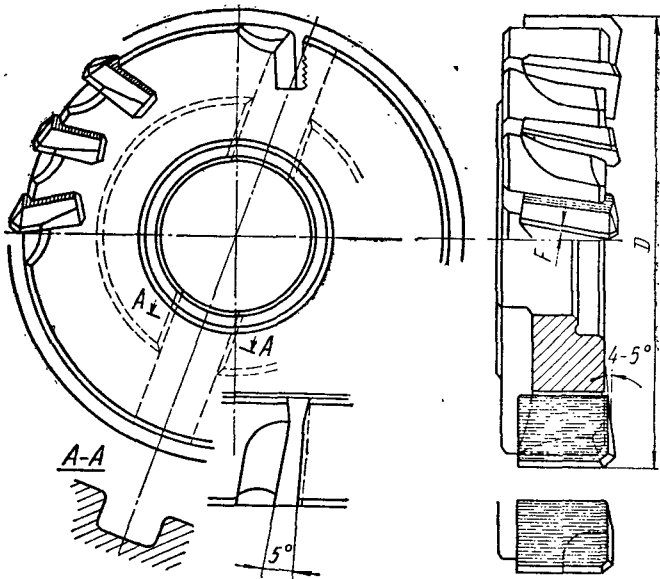


Рис. 260. Торцовая фреза с клиновидными рифлеными ножами

В фрезе, изображенной на рис. 261, клиновидный нож и паз в корпусе имеют два угла: продольный угол  $5^\circ$  и угол  $2^\circ 30'$ , т. е. паз в корпусе расширяется по направлению ко дну. Угол  $2^\circ 30'$  позволяет дополнительно выдвинуть нож из корпуса при перестановке ножей на следующее рифление. Если нож, имеющий один угол  $5^\circ$ , переставить на одно рифление, то он займет положение II (рис. 261, заштриховано); вылет его из корпуса не изменится. Если нож и паз имеют двойной угол (угол  $5^\circ$  и угол  $2^\circ 30'$ ), то при перестановке на одно рифление нож в корпусе займет положение III, и вылет его из корпуса увеличится. На рис. 262, б показана сборная фреза с клиновидными рифлеными ножами, аналогичная фрезе со вставными ножами из быстрорежущей стали. Такие фрезы применяются преимущественно для обработки заготовок из чугуна и поэтому,

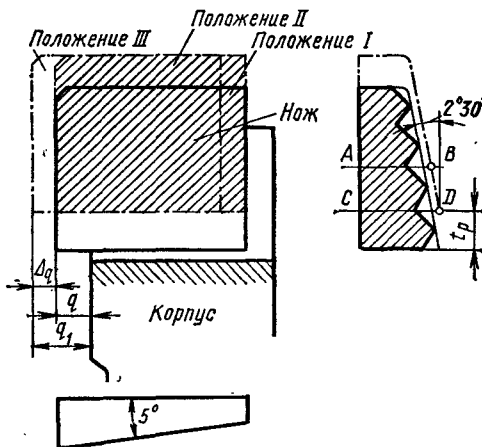


Рис. 261. Схема расположения ножа с двойным углом клина

вылет его из корпуса не изменится. Если нож и паз имеют двойной угол (угол  $5^\circ$  и угол  $2^\circ 30'$ ), то при перестановке на одно рифление нож в корпусе займет положение III, и вылет его из корпуса увеличится. На рис. 262, б показана сборная фреза с клиновидными рифлеными ножами, аналогичная фрезе со вставными ножами из быстрорежущей стали. Такие фрезы применяются преимущественно для обработки заготовок из чугуна и поэтому,

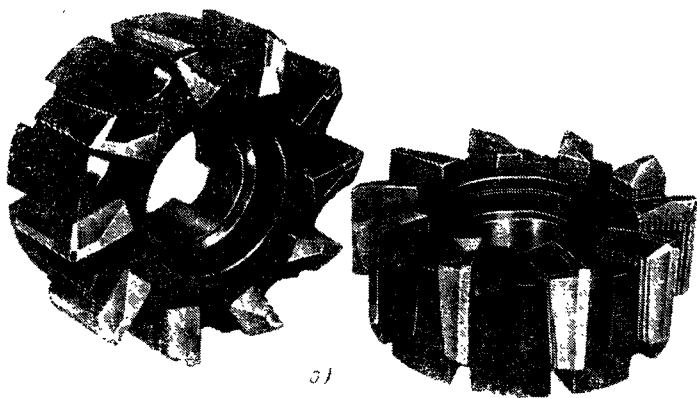
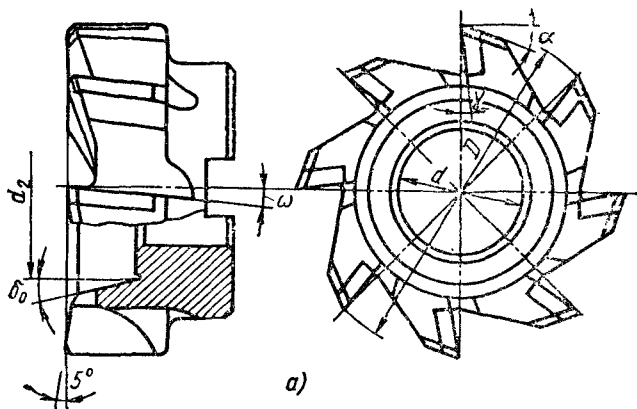


Рис. 262. Фрезы торцовые:

*а* — с напаянными пластинками из твердого сплава; *б* — со вставными ножами, оснащенными твердым сплавом

они оснащены твердым сплавом ВК8. Геометрические элементы режущей части фрезы: передний угол  $\gamma = 8^\circ$ ; угол  $\omega = 0^\circ$ ; угол в плане главной режущей кромки  $\phi = 90^\circ$ ; угол в плане переходной кромки  $\phi_0 = 45^\circ$ ; угол в плане вспомогательной кромки  $\phi_1 = 5^\circ$ . Ножи и пазы имеют двойной угол клина  $5^\circ$  и  $2^\circ 30'$ . Число зубьев  $z$  фрез приведено в табл. 25.

Торцовая сборная фреза, предназначенная для скоростного фрезерования стали, показана на рис. 263. Фрезы изготавливаются диаметром 100—630 мм с  $z = 8 \div 30$ . Ножи 2 имеют трапециевидное поперечное сечение. Они крепятся в клиновидном пазу корпуса 1 гладкими клиньями 3 с углом  $5^\circ$ . Трапециевидная форма придана ножам для того, чтобы возникающие при работе фрезы радиальные силы не вырывали нож из паза корпуса фрезы. Как ножи, так и пазы в корпусе имеют гладкие стенки, без рифлений.

Основные размеры торцовых фрез в мм

$D$	$d$	$B$	$z$	$D$	$d$	$B$	
80	27	34	10	315	Исполнение I, $d = 128,57$ , исполнение II, $d = 221,44$	66	24
100	32	38	10	400		66	28
125	40	38	14	500		71	34
160	50	42	16	630		71	40
200	50	42	20				
250	50	42	24				

При конструировании сборных фрез необходимо обеспечить хорошую и быструю установку ножей в корпусе, с тем чтобы при заточке ножей снимался по возможности меньший слой твердого сплава. В отдельных конструкциях обеспечивается заточка ножей перед сборкой их в корпусе. Такую заточку допускают, например, торцовые фрезы конструкции ВНИИ (рис. 264). В корпусе  $1$  нож  $2$  устанавливают относительно точно выполненных двух стенок паза, а с помощью торцового винта  $3$  и установочного кольца  $4$  фиксируют его вылет.

Имеются конструкции фрез с механическим креплением пластин из твердого сплава. У торцовых фрез конструкции ВНИИ (рис. 265) твердосплавная многогранная или круглая сменная

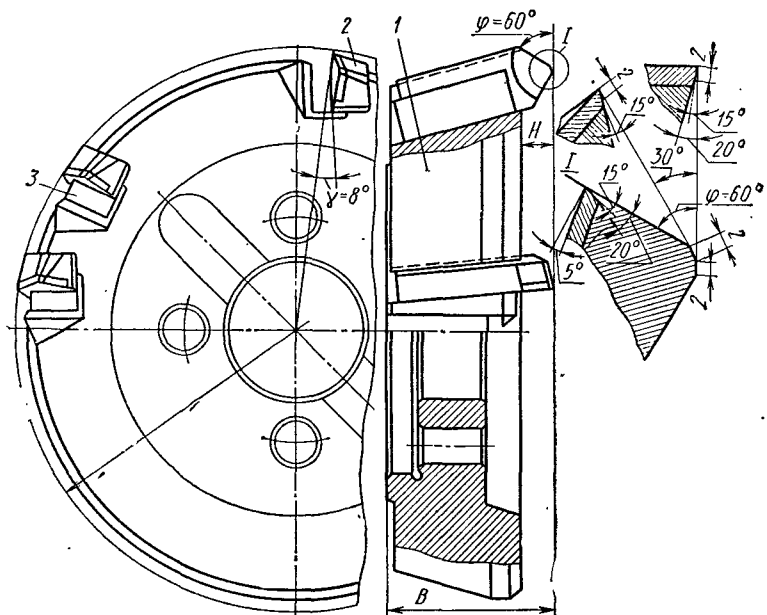


Рис. 263. Торцовая фреза для обработки стали (приведенная форма заточки соответствует обработке чугуна с  $HV\ 180-300$  или стали с  $\sigma_b < 80\text{ кгс/мм}^2$ )

пластинка 4 надевается на штифт 7 державки ножа 3. Пластины закрепляются болтами 5, которые при завертывании перемещают в осевом направлении державки ножи. Последние через штифты прижимают пластинки к базовому кольцевому желобу корпуса 1. Для удобства сборки предусмотрена пружина 6, которая, упираясь в кольцо 2, предварительно поджимает пластинки к базовому кольцевому желобу корпуса. Фрезы с круглыми пластинками применяют при  $t < 3 \div 4$  мм; с шестигранными — при  $t = 3 \div 6$  мм; с пятигранными — при  $t = 5 \div 8$  мм; с четырехгранными — при  $t < 13$  мм; с ромбическими — при  $t \leq 10$  мм.

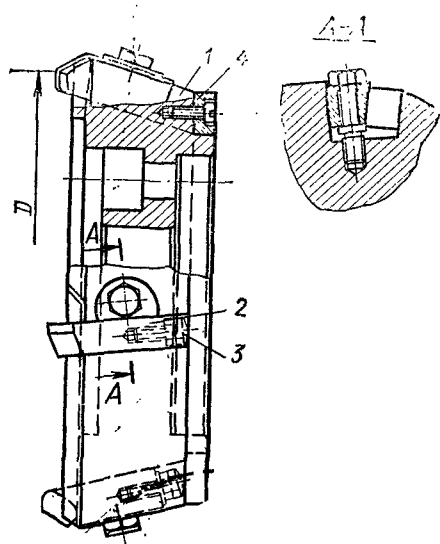


Рис. 264. Торцовая фреза конструкции ВНИИ с заточкой ножей вне корпуса

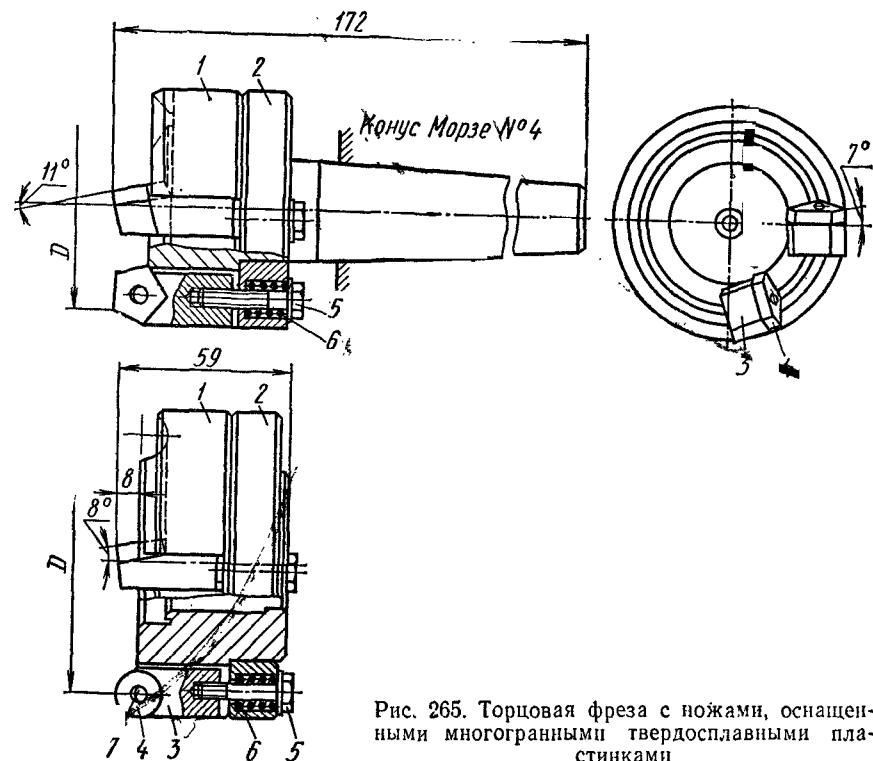


Рис. 265. Торцовая фреза с ножами, оснащенными многогранными твердосплавными пластинками

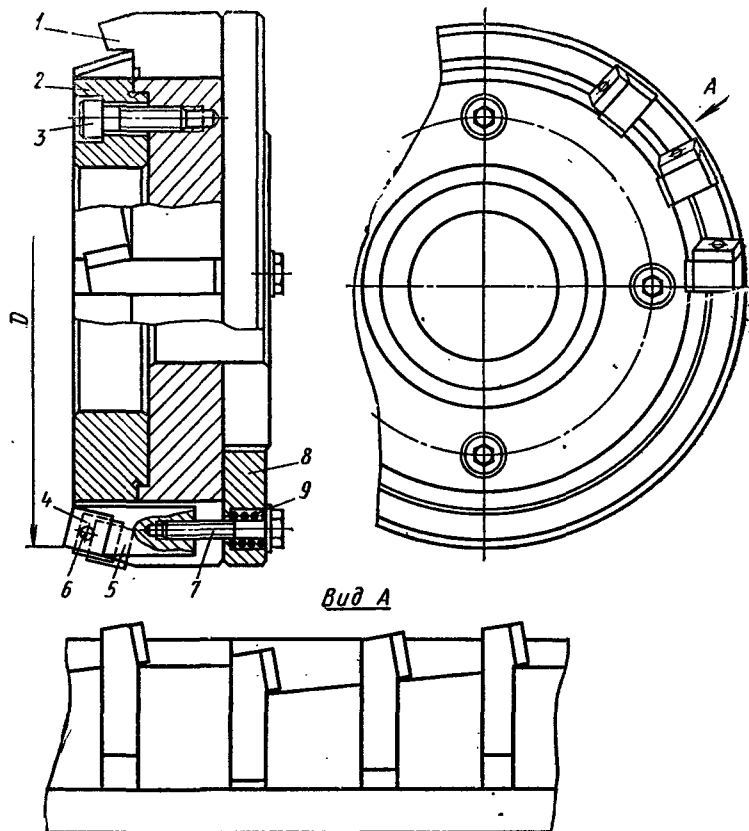


Рис. 266. Двухступенчатые торцовые фрезы

Фрезы торцовые двухступенчатые (рис. 266) предназначены для снятия больших припусков ( $t$  до 20—22 мм) и фрезерования широких поверхностей. Ступенчатая схема резания обеспечивает уменьшение расхода мощности, динамических ударов и вибраций, а также улучшение схода стружки. В корпус 1 фрезы вставляется кольцо 2, фиксируемое винтами 3. Четырехгранная пластинка 4 из твердого сплава прижимается к базам корпуса с помощью державки 5 и запрессованного в нее штифта 6. Пластинка прижимается путем заворачивания винта 7 через кольцо 8. Для удобства сборки применяются пружины 9. Ступенчатые фрезы предназначены для обработки заготовок из стали (пластинки из твердого сплава Т5К10) и чугуна (пластинки из твердого сплава ВК8).

#### § 4. Дисковые фрезы с остроконечными зубьями

Дисковые фрезы предназначены для фрезерования различных пазов и высмоков. На рис. 267 показаны основные типы цельных



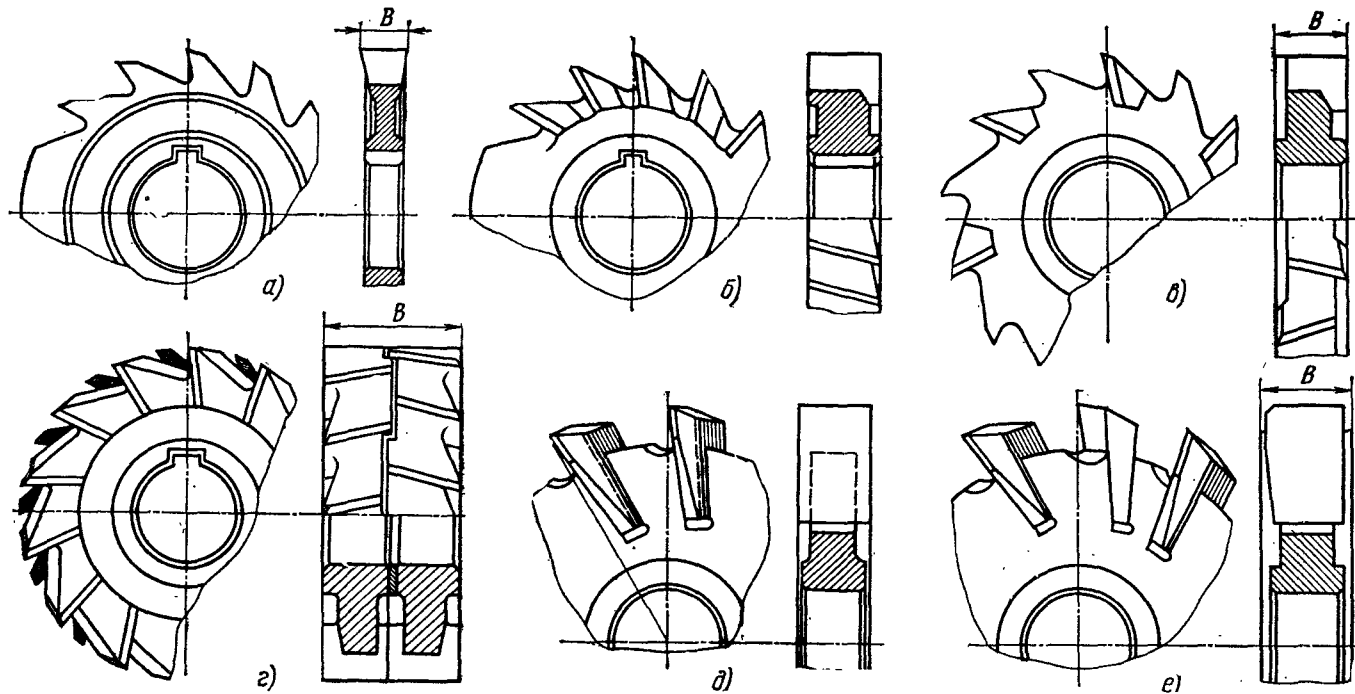


Рис. 267. Типы дисковых фрез:

*a* — пазовая; *б* — двусторонняя; *в* — пазовая с разнонаправленными зубьями; *г* — сдвоенная пазовая фреза; *д* — трехсторонняя со вставными ножами; *е* — двусторонняя со вставными ножами

дисковых фрез. Дисковые пазовые фрезы (рис. 267, а) снабжены зубьями только на цилиндрической части и представляют собой как бы неширокие цилиндрические фрезы с прямыми зубьями. С целью уменьшения трения по торцам ширина фрез у периферии делается больше, чем в центральной части у ступицы. Такие дисковые фрезы изготовляют шириной 5—16 мм. Более тонкие фрезы шириной 0,2—5 мм называются прорезными (шлицевыми).

У дисковых двух- и трехсторонних фрез (рис. 267, е, д) зубья расположены не только на цилиндрической поверхности, но и на одной или обеих торцевых поверхностях.

Дисковые фрезы могут быть изготовлены с мелким и с крупным зубом. Первые предназначены для обработки неглубоких выемок и чистовых работ, вторые — для обработки более глубоких выемок. Поэтому у вторых зуб приходится делать крупнее, а стружечную канавку больше для большего количества стружки.

Условия резания торцевыми кромками хуже, так как небольшая глубина канавки у торца (канавки большой глубины при узкой фрезе допустить нельзя) не позволяет заточить достаточные задний и передний углы. Более производительны дисковые фрезы с разнонаправленными зубьями (рис. 267, в). Такие фрезы позволяют получить хорошие условия резания как на цилиндрической поверхности, так и на торцевой за счет наклона зуба. При переточках ширина фрезы уменьшается быстро, поэтому в тех случаях, когда ширина фрезы должна сохраняться, применяют дисковые фрезы (рис. 267, г), состоящие из двух половин, между которыми закладывается тонкое кольцо. Регулируя толщину кольца, можно изменять ширину паза или выемки. В месте стыка должно быть обеспечено перекрытие режущих кромок, для чего применяют замок, имеющий выступы и впадины на фрезе.

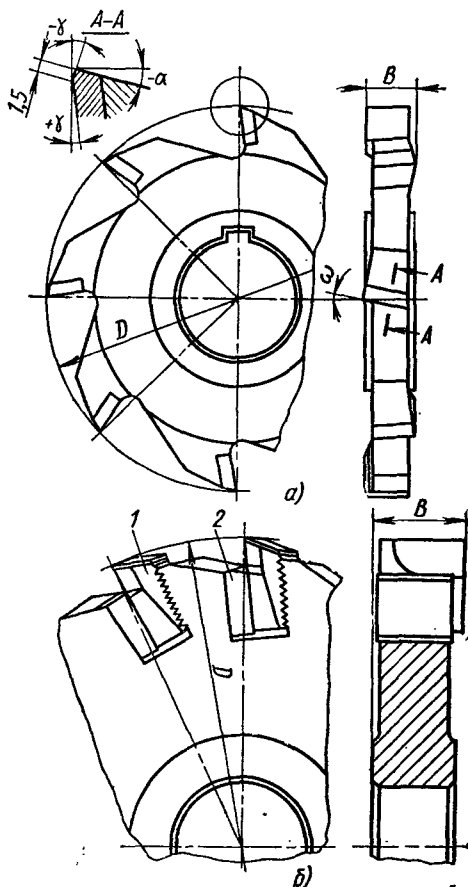


Рис. 268. Дисковая трехсторонняя фреза: а — с папаянными пластинками из твердого сплава; б — с ножами, оснащенными твердосплавными пластинками

Для экономии быстрорежущей стали дисковые фрезы изготовляют сборными. На рис. 267, *д* и *е* показаны сборные фрезы с клиновидными рифлеными ножами из быстрорежущей стали. Такие фрезы распространены наиболее широко. Ножи клиновидной формы с рифлениями забивают в клиновые пазы в корпусе; рифления расположены радиально. При пересточке ширина фрезы уменьшается, что компенсируется соответствующей перестановкой ножей на другие рифления.

Дисковая трехсторонняя фреза с пластинками из твердого сплава, припаянными к корпусу, показана на рис. 268, *а*. Такие фрезы предназначены для обработки заготовок из чугуна, стали и других материалов. Но при самой незначительной трещине хотя бы в одной из пластин приходится переделывать всю фрезу. Поэтому дисковые фрезы рекомендуется изготовлять сборными со вставными ножами (рис. 268, *б*). Нож 1 плоский, с одной стороны имеет рифления. Пазы в корпусе клиновидные, с одной стороны также снабжены рифлениями, идущими вдоль паза в осевом направлении. Для закрепления ножа в корпусе имеются гладкие клинья 2 с углом  $3-5^\circ$ , которые забивают в радиальном направлении. При расчете толщины ножа с припаянной пластинкой из твердого сплава следует толщину тела ножа брать в 3—3,5 раза больше толщины пластины. Ножи в корпусе крепятся и другими способами: коническими штифтами, клиновидными сухарями, поперечными клиньями и клиньями с винтами. Но эти крепления не имеют особых преимуществ перед креплением радиальными клиньями.

Угловые фрезы предназначены для фрезерования канавок в инструменте или для фрезерования различных пазов. Число зубьев принимается  $z = (2,8 \div 2,5) \sqrt{D}$ , причем больший коэффициент берется для фрез меньших размеров, меньший коэффициент — для фрез больших размеров. Зубья угловых фрез расположены на конических поверхностях, поэтому они имеют неравномерную высоту. Длина зубьев и их форма зависят от угла  $\theta$ . Фрезы с большими углами получаются значительно лучше, так как тело фрез остается достаточно прочным.

## § 5. Пилы

Пила для холодной распиловки металла представляет собой острозаточенную фрезу. Пилы небольшого диаметра могут быть изготовлены в виде цельного диска, у которого имеется ряд зубьев, расположенных на периферии. Для уменьшения трения пилы о стенки пропила толщина диска должна уменьшаться по направлению от периферии к центру. Каждый зуб пилы представляет собой отдельный резец, который снимает стружку. Объем стружки пропорционален пути, проходимому этим резцом. При большом диаметре пилы объем стружки, снимаемый одним зубом, благодаря большой длине дуги соприкосновения может быть значительным. Стружечное пространство должно быть достаточным для помещения этой стружки. В зависимости от свойств

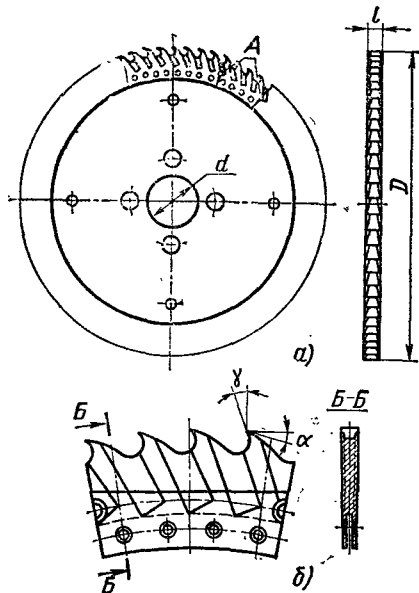


Рис. 269. Дисковые сегментные пилы:  
 а — пила в сборе; б — сегмент

обрабатываемого материала и от режимов резания форма и размеры снимаемой стружки могут быть различными; поэтому число зубьев и форма впадины зуба должны быть определены с учетом условий работы пилы.

Круглые пилы диаметром более 250 мм делают сборными (рис. 269). Наибольшее распространение получили сборные пилы с приклепанными сегментами (рис. 269, а). Корпус пилы выполнен в виде диска, на периферии которого имеется тонкий кольцевой выступ. По всей окружности к диску прикреплены заклепками сегменты из быстрорежущей стали. Сегмент имеет узкий паз, которым он надевается на кольцевой выступ диска пилы и закрепляется на этом кольцевом выступе заклепками. Кроме заклепок, скрепляющих сегмент с диском,

два смежных сегмента скрепляются между собой заклепкой А, которая вставляется и заклепывается в месте стыка двух сегментов.

По числу зубьев пилы делятся на мелкозубые, среднезубые и крупнозубые. Первая группа пил предназначена для обработки материалов повышенной твердости; пилы этой группы имеют восемь зубьев на сегменте. Вторая группа пил предназначена для обработки материалов средней твердости; у пил этой группы шесть зубьев на сегменте. Третья группа пил предназначена для распиловки мягких материалов; у пил этой группы минимальное количество зубьев (четыре зуба на сегменте); межзубое пространство имеет большую вместимость. На рис. 269, б показан отдельный сегмент крупнозубой дисковой пилы. Режущая часть сегмента снабжена четырьмя крупными зубьями.

В зависимости от свойств материала заготовки рекомендуются следующие углы заточки зуба круглых пил:

Материал заготовки	$\gamma^\circ$	$\alpha^\circ$
Сталь с $\sigma_B$ в кгс/мм <sup>2</sup> :		
до 50	18—22	14—16
до 75	15—20	10—12
св. 75 и		
легированная сталь	10—15	8—10
Латунь	0—8	8—10
Чугун	18—22	14—16

Бесконечные ленточные пилы позволяют резко уменьшить ширину пропила; такие пилы работают на специальных ленточно-пильных станках. Для заточки диск пилы устанавливают на оправку заточного станка (рис. 270). Шлифовальный круг закрепляется на шпинделе станка, расположенного на вертикальных салазках. Станок имеет полуавтоматический цикл работы. Вращение пилы связано с перемещением вертикальных салазок станка. Таким образом, профиль зуба пилы получается в результате вращения пилы и поступательного движения вертикальных салазок.

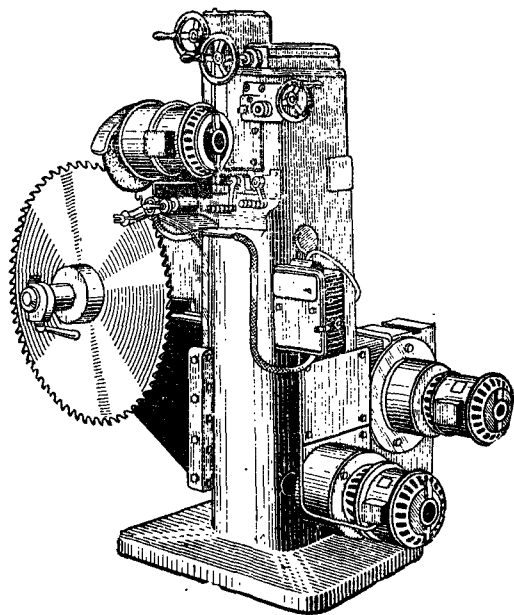


Рис. 270. Схема заточки дисковых пил на станке

После заточки одной впадины и зуба храповой механизм станка поворачивает диск пилы на следующую впадину. На таком станке для разрезаемого материала можно получить требуемую геометрию зуба пилы.

## § 6. Концевые фрезы с остроконечными зубьями

Концевые фрезы с остроконечными зубьями имеют в отличие от торцовых и цилиндрических фрез конический или цилиндрический хвостовик (рис. 271). Зубья на цилиндрической части рассчитывают так же, как зубья цилиндрических фрез; зубья на торцовой части — аналогично зубьям на торцовой части у торцовых фрез.

Концевые фрезы выпускаются (по предложению поваторов В. Я. Карасева, Е. И. Савича, И. Л. Леонова) двух типов: с нормальным зубом, когда число зубьев  $z = \sqrt{D}$ , а угол  $\omega = 30^\circ$ , и с крупным зубом, когда число зубьев  $z \approx 0,6 \sqrt{D}$ , а угол  $\omega = 45^\circ$ . Окружной шаг от зуба к зубу у таких фрез переменный с целью уменьшения вибрации; например, если фреза имеет три зуба, то углы между зубьями будут не  $120^\circ$ , а  $110$ ,  $123$  и  $127^\circ$ . Фрезы с цилиндрическим хвостовиком имеют  $D = 3 \div 20$  мм и  $l = 2 \div 45$  мм, а с коническим хвостовиком  $D = 14 \div 50$  мм и  $l = 32 \div 70$  мм.

Концевые фрезы большого диаметра можно делать сборными со вставными ножами. Концевые фрезы могут иметь также кони-

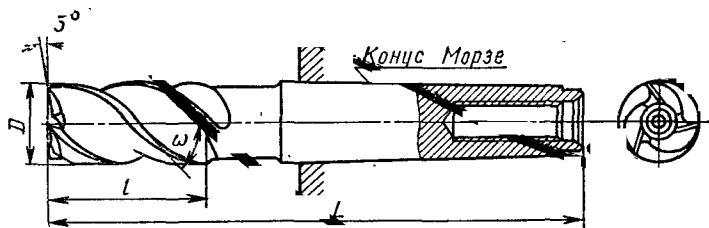


Рис. 271. Концевая фреза с крупным зубом

ческую форму и закругленную вершину. Такие фрезы применяют на копировально-фрезерных станках; они называются копирными. При изготовлении конических копирных фрез возникают затруднения с изготовлением зубьев, расположенных на конической части. Концевую часть копирных фрез конструируют таким образом, чтобы свести к центру четыре, в крайнем случае два зуба; остальные зубья до центра не доходят. Концевые фрезы диаметром 16 мм и выше оснащают пластинками из твердого сплава (рис. 272); эти пластинки делают винтовыми.

У концевых фрез малых диаметров режущую часть делают целиком из твердого сплава.

Концевые цельные твердосплавные фрезы с вышлифованными канавками (рис. 273) изготавливают диаметром  $D = 2 \div 10$  мм. Общая длина  $L = 26 \div 50$  мм, длина винтовой канавки  $l = 6 \div 20$  мм; диаметр хвостовика  $d = 2 \div 10$  мм; угол подъема винтовых канавок  $\omega = 30^\circ$ . Материал фрез — твердый сплав ВК6М, ВК10М, ВК8. Концевые фрезы изготавливают шлифованием: диаметром 2—5 мм из гладких цилиндрических стержней, а диаметром 6—10 мм — из пластифицированных заготовок. Стойкость концевых твердосплавных фрез в 10—12 раз выше стойкости фрез из стали Р18.

## § 7. Фасонные фрезы с остроконечными зубьями

Фасонные фрезы изготавливают с затылованными и остроконечными зубьями. На рис. 274 показана наиболее распространенная фасонная фреза с остроконечными зубьями для фрезерования канавок сверл; профиль фрезы выпуклый. Число зубьев определяется в зависимости от назначения фасонной фрезы:

$$z = m \sqrt{D}, \text{ где } m = 1,5 \div 2.$$

Профиль зуба трапецидальной формы (см. рис. 254, а). Угол рабочей фрезы для фрезерования канавок  $\theta = 50 \div 60^\circ$ . Основным в конструкции фасонной фрезы является обеспечение одинаковой фаски  $f$  на задней поверхности по всему профилю зуба фрезы.

Заточка фасонных фрез с остроконечными зубьями производится на специальных приспособлениях (рис. 275). Эти приспособления имеют плоскую опорную линейку, по которой обкатывается (со

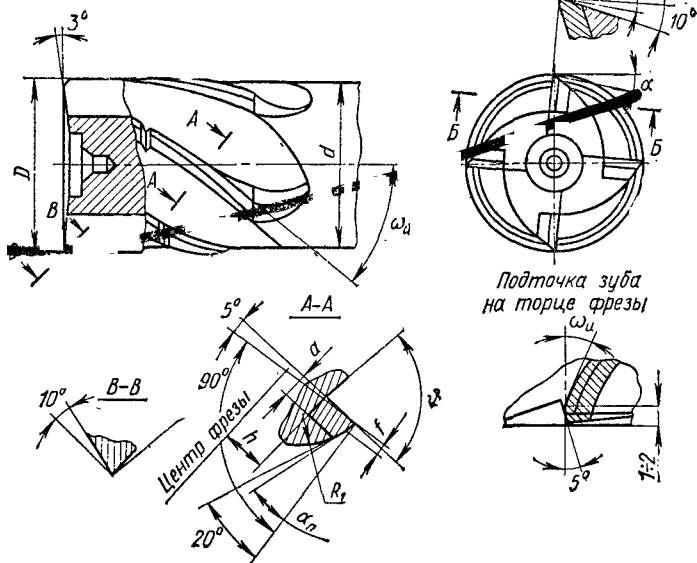


Рис. 272. Концевая фреза с винтовыми пластинками

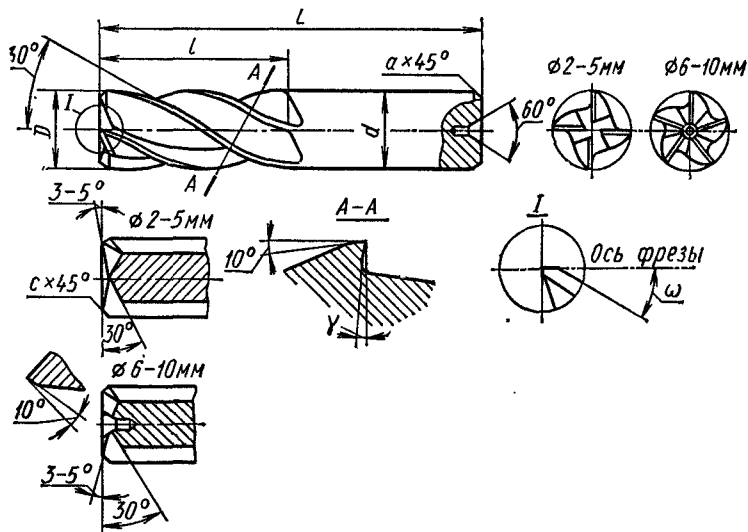


Рис. 273. Цельнотвердосплавная концевая фреза с вышлифованными канавками

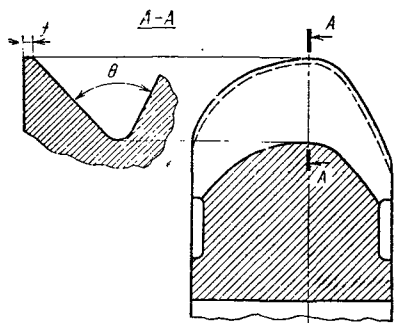


Рис. 274. Фаска в различных сечениях фасонной фрезы

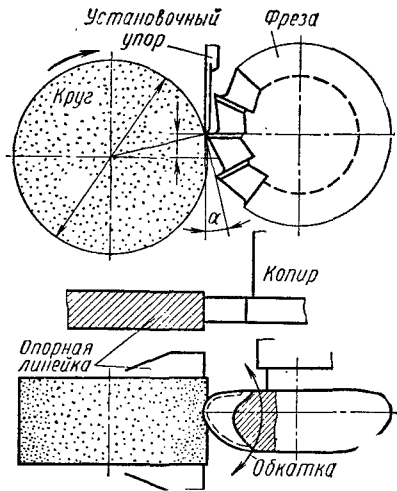


Рис. 275. Схема заточки фасонной фрезы с остроконечным зубом

скольжением или без скольжения) копир, имеющий форму профиля фрезы. С копиром жестко связана затачиваемая фреза. При качении копира по линейке шлифовальный круг будет затачивать на зубе фрезы профиль, совпадающий с профилем копира. Задний угол на фрезе может быть получен путем смещения центра шлифовального круга относительно центра детали на величину

$$H = \frac{D_{кр}}{2} \sin \alpha,$$

где  $D_{кр}$  — диаметр шлифовального круга;  $\alpha$  — задний угол фрезы в нормальном сечении.

### § 8. Фрезы с затылованными зубьями

Затылованные зубья проектируют в основном у фрез, предназначенных для обработки фасонных поверхностей. Основная особенность затылованных зубьев заключается в том, что при переточках по передней поверхности профиль фрезы сохраняется до полного износа.

Для затылования фрез используют только архимедову спираль. На рис. 276 показаны схема затылования зуба по архимедовой спирали и применяемый при этом кулачок. По мере равномерного вращения заготовки затыловочный резец равномерно поступательно продвигается по направлению к центру детали. Величина затылования характеризует продвижение затыловочного резца. Зная задний угол, диаметр и число зубьев затылуемой фрезы, можно определить величину затылования.

У затылованного зуба задняя поверхность ограничена архимедовой спиралью. Если показанный на рис. 276 криволинейный тре-



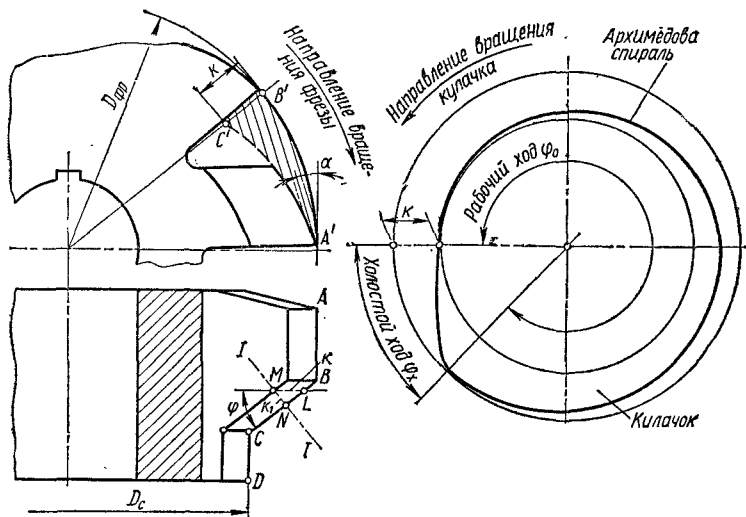


Рис. 276. Схема затылования зуба фрезы и задние углы на различных участках профиля зуба

угольник  $A'B'C'$  развернуть на плоскость, то получим катет  $A'B' = \frac{\pi D_{фр}}{z}$  и катет  $B'C' = K$ .

Зная угол  $\alpha$ , можно определить

$$K = A'B' \operatorname{tg} \alpha$$

или

$$K = \frac{\pi D_{фр}}{z} \operatorname{tg} \alpha.$$

Это основные формулы для определения необходимой величины затылования  $K$ .

Определим, какие задние углы имеют затылованный зуб фрезы в отдельных звеньях. Если участок профиля  $AB$  расположен параллельно оси фрезы по всей длине участка, то задний угол будет постоянным:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{Kz}{\pi D_{фр}},$$

так как на этом участке ни  $K$ , ни  $D_{фр}$ , ни  $z$  не меняются.

Участок  $BC$  расположен наклонно под углом  $\phi$ . Задний угол, измеренный в плоскости, перпендикулярной к оси, будет на этом участке изменяться, поскольку диаметр  $D_{фр}$  постепенно уменьшается до величины  $D_c$ . Так как  $D_{фр} > D_c$ , то в точке  $C$  задний угол будет больше, чем в точке  $B$ .

Можно определить угол  $\alpha_x$  в нормальном сечении  $I-I$ . Для этого, построив треугольник  $MNL$  с катетом  $K_1$  и гипотенузой  $K$ , определим

$$K \sin \phi = K_1,$$

но

$$K = \frac{\pi D_{фр}}{z} \operatorname{tg} \alpha$$

$$K_1 = \frac{\pi D_x}{2} \operatorname{tg} \alpha_x.$$

Следовательно,

$$\operatorname{tg} \alpha_x = \operatorname{tg} \alpha \sin \varphi \frac{D_{\text{фр}}}{D_x}.$$

Если принять во внимание радиус, на котором расположена рассматриваемая точка, то для любой точки фрезы задний угол в сечении, нормальном к режущей кромке, будет

$$\operatorname{tg} \alpha_x = \frac{R}{r_x} \operatorname{tg} \alpha \sin \varphi,$$

где  $R$  — наружный радиус фрезы;  $r_x$  — радиус в рассматриваемой точке режущей кромки.

Косое затылование — это затылование, при котором затыловочный резец движется не перпендикулярно к оси фрезы, а под углом к ней. На рис. 277 показана схема установки суппорта затыловочного станка при косом затыловании (под углом к оси фрезы).

Катет  $K_1$  представляет собой величину перемещения точки  $D$  в плоскости, перпендикулярной к оси, а катет  $K_2$  — в плоскости, параллельной оси; определим угол наклона  $\tau$  суппорта к оси фрезы:

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{K_2}{K_1}.$$

Необходимая для подбора кулачка величина затылования

$$K = \sqrt{K_1^2 + K_2^2}.$$

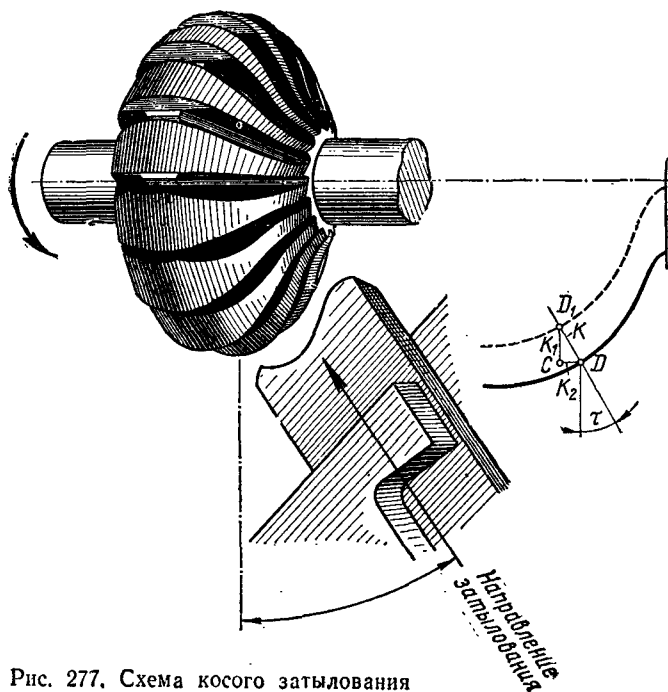


Рис. 277. Схема косого затылования

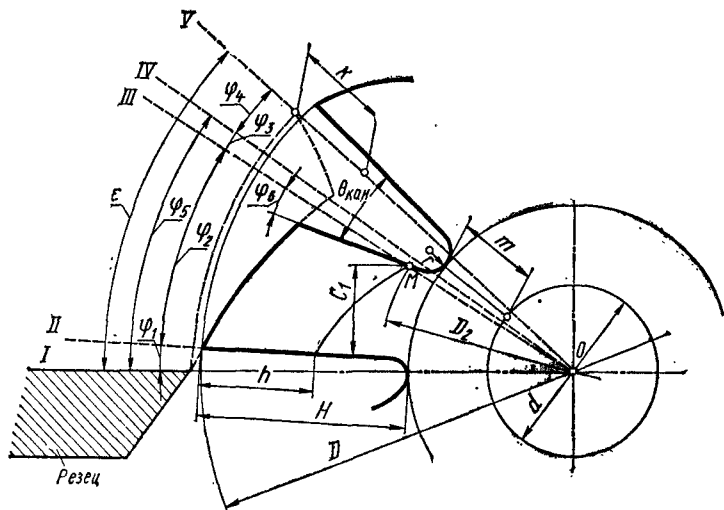


Рис. 278. Конструктивные элементы фасонной затылованной фрезы

Полученную величину  $K$  следует округлить до ближайшего существующего в наборе кулачка. Можно также определить величину  $K$ , зная одну из величин  $K_1$  или  $K_2$  и угол  $\tau$ :

$$K = \frac{K_1}{\cos \tau} = \frac{K_2}{\sin \tau}$$

На рис. 278 схематично показаны элементы фасонной затылованной фрезы, которые приходится определять. Для упрощения расчета передний угол  $\gamma = 0$  (передняя поверхность направлена радиально).

Диаметр фрезы

$$D = 2H + d + 2m,$$

где  $H$  — глубина канавок;  $d$  — диаметр отверстия;  $m$  — толщина тела фрезы, которая принимается равной  $(0,5 \div 0,3)d$ .

Глубина канавки

$$H = h + K + r,$$

где  $h$  — высота затылуемого профиля;  $K$  — величина затылования;  $r$  — радиус дна канавки, который равен 1—5 мм в зависимости от диаметра фрез.

Высота  $h$  принимается на 1—5 мм больше высоты профиля детали, чем обеспечивается запас по высоте профиля при фрезеровании деталей с повышенным припуском.

Конструктор вначале приблизительно задается диаметром фрезы и диаметром отверстия, затем производит расчет элементов зуба и вычерчивает зуб фрезы и только тогда определяет окончательно глубину канавки, число зубьев и диаметр фрезы. После предварительного определения диаметра фрезы, диаметра отверстия,

числа зубьев и величины затылования окончательно определяют элементы зуба. На рис. 278 показан затылованный зуб фрезы со всеми элементами.

Штриховой линией показана траектория движения резца относительно зуба фрезы. Если из центра фрезы провести лучи, соответствующие определенным положениям резца, то луч *I* будет соответствовать начальному положению резца, луч *II* — моменту соприкосновения затыловочного резца с зубом фрезы, луч *III* — моменту схода резца с затылуемой поверхности, луч *IV* — моменту начала обратного отвода резца, луч *V* — концу обратного хода резца и началу подхода к следующему зубу. Обозначив углы между лучами  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  и  $\varphi_4$ , определим угол рабочего хода:

$$\varphi_5 = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3.$$

Зная углы  $\varepsilon$  и  $\varphi_4$ , а также задавшись углами  $\varphi_1$  и  $\varphi_3$ , можно определить угол

$$\varphi_2 = \varepsilon - \varphi_4 - \varphi_1 - \varphi_3.$$

Угол  $\varphi_2$  дает возможность найти ширину  $C_1$  зуба у основания:

$$C_1 = \left( \frac{D}{2} - K \frac{\varphi_2}{\varepsilon} - h \right) \sin \varphi_2.$$

Для определения положения точки *M* необходимо знать диаметр  $D_2$ :

$$D_2 = D - \frac{2K\varphi_2}{\varepsilon} - 2h.$$

Найденное положение точки *M*, определяемое величинами  $C_1$  и  $D_2$ , позволяет вычислить радиус *r* закругления дна канавки.

Затылованный зуб у цилиндрических фрез встречается значительно реже, чем остроконечный. Однако при выполнении тяжелых обдирочных работ применяют фрезы с затылованными зубьями. Эти фрезы (рис. 279) получили название «кукурузных», потому что стружкоразделительные канавки особой формы, которыми снабжены их зубья, внешне напоминают початок кукурузы. На рис. 280 изображена пазовая затылованная фреза. Зуб затылуют только по наружному диаметру; боковые стороны зуба шлифованы. Для уменьшения трения боковых сторон зуба о стенки паза при фрезеровании делают выемки с обеих сторон и оставляют у вершин зуба только узкие ленточки шириной 1,5 мм.

## § 9. Заточка фрез

Для заточки фрез применяют универсально-заточные станки или в отдельных случаях (заточка крупных торцовых фрез) специальные станки. При заточке фрез с остроконечными зубьями по задней поверхности необходимо установить фрезу так, чтобы можно было подвести зуб фрезы к шлифовальному кругу (рис. 281, а). Заточка производится торцом шлифовального круга чашечной формы. Зуб фрезы должен быть расположен относительно круга так, чтобы можно было получить требуемый задний угол

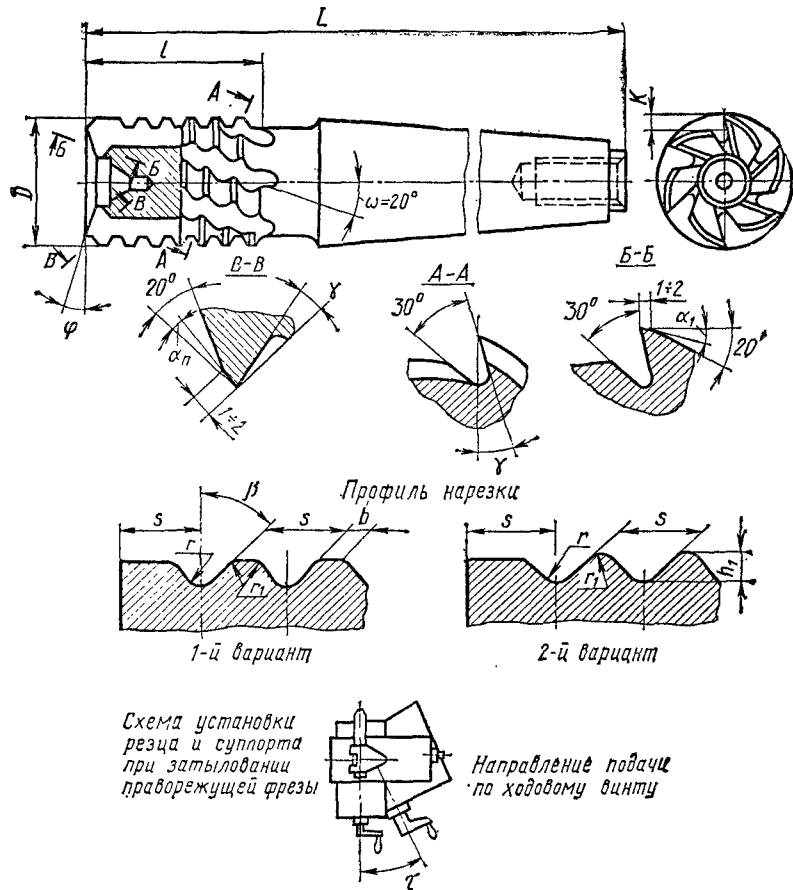


Рис. 279. Цилиндрическая фреза с затылованными зубьями («кукурузная»)

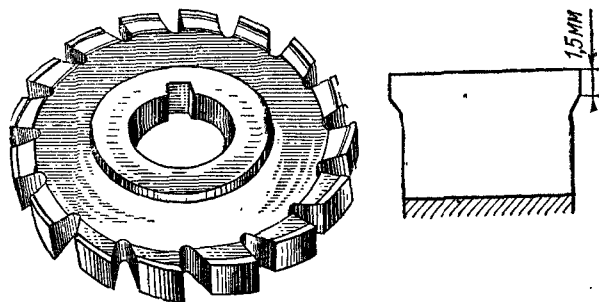
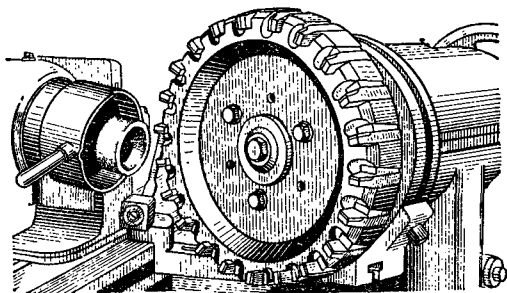
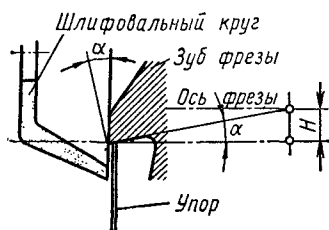


Рис. 280. Пазовая затылованная фреза



а)



б)

Рис. 281. Схема заточки фрез по задней поверхности

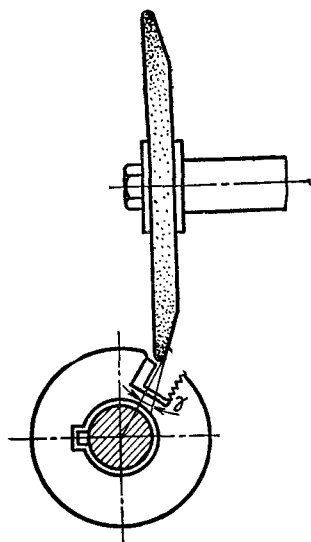


Рис. 282. Схема заточки фрез по передней поверхности

(рис. 281, б). Зуб передней поверхностью опирается на неподвижный упор. Величина понижения

$$H = \frac{D}{2} \sin \alpha,$$

где  $D$  — диаметр фрезы.

Переточка фрез с остроконечным зубом по передней поверхности производится редко, но при изготовлении фрез переднюю поверхность затачивают раньше задней с таким расчетом, чтобы не оставалось заусенцев, получающихся в результате заточки по передней поверхности. На рис. 282 приведена схема установки шлифовального круга относительно оси фрезы. Требуемый передний угол  $\gamma$  получается смещением оси фрезы относительно рабочей поверхности шлифовального круга.

Заточка фрез с затылованными зубьями несколько отличается от заточки фрез с остроконечными зубьями. Так как фрезы с затылованными зубьями должны затачиваться и перетачиваться по передней поверхности, то заточка их по сравнению с заточкой фрез с остроконечными зубьями несколько проще. Фреза должна быть установлена на оправке (в центрах) заточного станка или на специальном приспособлении.

## ЗУБОНАРЕЗАНИЕ

## § 1. Основные положения

Профиль зубьев зубчатого колеса образуется путем удаления материала впадины режущими инструментами при фрезеровании, строгании, долблении, протягивании, шевинговании и шлифовании. Фрезерование осуществляется профильными, дисковыми или пальцевыми фрезами, цилиндрическими или коническими червячными фрезами; торцовыми зуборезными головками с резцами для черновой и чистовой обработки конических зубчатых колес. Стругание осуществляется резцами с прямолинейной режущей кромкой на специальных зубострогальных станках, предназначенных для обработки конических колес. Долбление производится на зубодолбежных станках многолезвийным режущим инструментом — долбяком. Протягивание производится с помощью специального инструмента и как способ образования зубьев колес применяется редко. Шевингование — процесс чистовой обработки зубчатых колес инструментом в виде зубчатого колеса с зубьями, снабженными по профилю мелкими режущими зубцами. Шлифование используется как процесс чистовой обработки зуба, а в отдельных случаях, при мелких модулях, — для образования зуба в целой заготовке.

Нарезание зубьев осуществляется: 1) методом копирования, когда форма режущей кромки фасонного инструмента соответствует форме впадины зуба колеса (так работают дисковые, пальцевые модульные фрезы, зубодолбежные головки); 2) методом обкатки, когда поверхность зуба получается в результате обработки инструментом, режущие кромки которого представляют собой профиль сопряженной рейки или профиль зуба сопряженного колеса, и во время обработки инструмент с заготовкой образует сопряженную (правильно зацепляющуюся) зубчатую пару.

По методу обкатки работают червячные фрезы, долбяки, гребенки, шеверы и др.

Дисковая модульная фреза (рис. 283, а) представляет собой фасонную фрезу с затылованными зубьями, профиль зуба которой повторяет профиль впадины нарезаемого колеса. Обработка зубчатого колеса производится с применением делительной головки на горизонтально-фрезерном станке. Применение дисковых фрез ограничено, так как точность зубчатых колес при нарезании дисковыми модульными фрезами получается невысокой (9—10-я степень точности),

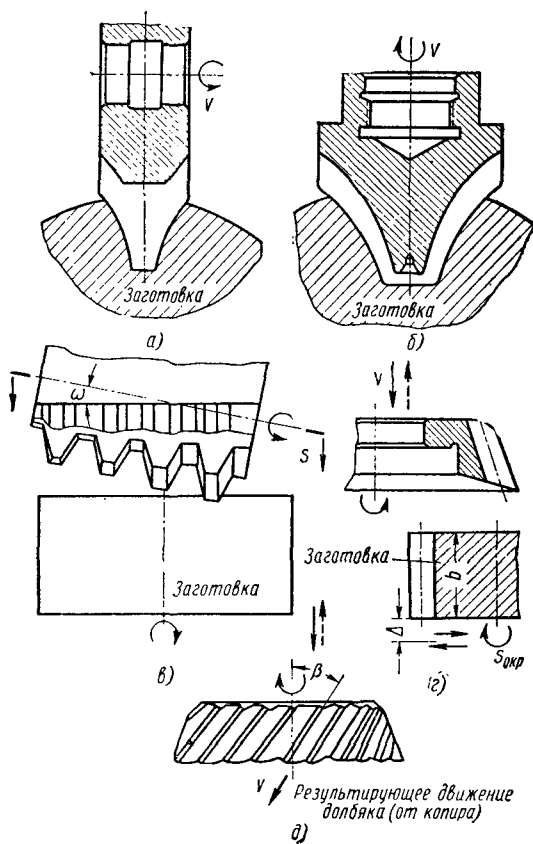


Рис. 283. Схема работы зуборезных инструментов:

а — дисковой модульной фрезы; б — пальцевой модульной фрезы; в — червячной фрезы; г — зуборезного прямозубого долбяка; д — зуборезного косозубого долбяка

Пальцевая зуборезная фреза (рис. 283, б) применяется в тяжелом машиностроении для фрезерования профилей косозубых и прямозубых колес крупного модуля, в том числе и шевронных колес (с двойным шевроном).

Профиль инструмента, работающего по методу обкатки, не зависит от числа зубьев нарезаемого колеса, поэтому одной и той же червячной фрезой или гребенкой можно нарезать зубчатые колеса с любым числом зубьев\*. Точность колеса, получающаяся при обкатке, значительно выше точности зубчатых колес, получаемых по методу копирования, что объясняется прежде всего непрерывностью процесса обката. При этом процессе (за редким исключением) не требуется производить отдельного деления, что сокращает холостые движения, и поэтому он

производительнее метода копирования\*\*. Из инструментов для обработки цилиндрических зубчатых колес, работающих по методу обкатки, наибольшее применение получили червячные зуборезные фрезы, зуборезные долбяки и шеверы.

Червячная фреза, кроме обработки цилиндрических колес с прямыми и косыми зубьями, применяется также для обработки червячных колес и конических колес с криволинейными зубьями (в последнем случае специальные конические фрезы). На рис. 283, в показана схема процесса обработки червячной фрезой

\* В отдельных случаях при методе обкатки одним инструментом нарезается группа колес одного модуля, несколько ограниченная (например, при шевинговании).

\*\* При контурном зубодолблении метод копирования более производительен, чем все основные методы обкатки.



цилиндрического колеса. В процессе обработки фреза вращается (главное движение) и перемещается вдоль оси заготовки (движение подачи). Заготовка, будучи кинематически связанная с фрезой, также должна вращаться. При установке червячной фрезы на станке она поворачивается на угол  $\omega$  при обработке колес с прямыми зубьями, на угол  $\omega \pm \beta$  при обработке косозубых цилиндрических колес; знаки плюс и минус определяют направление наклона зубьев колеса. Насадные червячные фрезы для обработки цилиндрических колес изготавливают с затылованными (реже с острозатылованными) зубьями.

Зуборезный долбяк (рис. 283, з) — режущий инструмент, выполненный в виде зубчатого цилиндрического колеса и снабженный режущими кромками. Долбяки применяют для предварительного и чистового (окончательного) нарезания зубчатых колес (чаще для последнего). Зубчатое колесо обрабатывается долбяком на зубодолбежном станке. Долбяк и заготовка кинематически обкатываются по начальным окружностям без скольжения. Кроме движения обката, долбяк имеет возвратно-поступательное движение вдоль оси заготовки — главное движение резания.

Стружка срезается при движении долбяка вниз; при обратном ходе (чтобы избежать во время этого хода трения зубьев долбяка о поверхность зубьев нарезаемого колеса) заготовка в конце каждого рабочего хода долбяка должна отходить от него на небольшую величину; в начале рабочего хода она вновь подходит к долбяку. Долбяк должен быть подведен в радиальном направлении на глубину впадины зуба нарезаемого колеса (в случае нарезания с одного прохода). При нарезании зубчатых колес в два или три прохода величина радиального перемещения долбяка будет составлять часть от общей глубины впадины зуба нарезаемого колеса. Долбяками можно обрабатывать не только прямозубые колеса внешнего или внутреннего зацепления, но и колеса с винтовыми зубьями внешнего и внутреннего зацепления, колеса-блоки и колеса с уступами. При применении долбяков можно обеспечить 6—7-ю степень точности колес.

Долбяк для нарезания колеса с винтовыми (косыми) зубьями представляет собой также зубчатое колесо, но только с винтовым направлением зубьев. Долбяк, закрепленный на штосселе зубодолбежного станка (рис. 283, д), движется возвратно-поступательно, и, кроме того, для обеспечения винтового движения на станке устанавливается специальный копир, который придает штосселю вращательное движение дополнительно к поступательному движению вдоль оси.

Таким образом, с помощью копира и обеспечивается винтовое главное движение долбяка.

У зуборезных инструментов геометрические параметры (передние и задние углы) при затылованных зубьях принимаются не только из условий обеспечения оптимальных условий производительного резания, а также из условий сохранения формы профиля при переточках.

Величины передних и задних углов для зуборезных инструментов с затылованными зубьями приведены в табл. 26. Затылование

Таблица 26

Значения передних и задних углов режущей части зуборезных инструментов

Инструмент	Обработка	Угол при вершине зуба		Задний угол на боковых сторонах $\alpha_x$
		Передний $\gamma_b$	Задний $\alpha_b$	
Дисковая модульная фреза	Чистовая	0	10—12	3° 20'—4°
	Черновая	8—10	10—15	3° 20'—5°
Пальцевая модульная фреза	Чистовая	0	5—15	5—15
	Черновая	5—10	5—15	5—15
Червячная фреза	Чистовая	0	10—12	3° 20'—4°
	Черновая	5—10	10—15	3° 20'—5°
Зуборезный долбяк	Чистовая	5	6	2
	Черновая	5—10	12	4

профиля при достаточных задних углах у вершин зубьев не позволяет обеспечить достаточные задние углы на боковых сторонах профиля. Поэтому для улучшения геометрии инструмента конструкторы стремятся применять, где это возможно, острозаточенные зубья. Передние углы зуборезного инструмента, особенно чистового, также малы или равны нулю (в целях упрощения профилирования инструмента).

## § 2. Режим резания

Обработка цилиндрических колес червячной фрезой. Скорость резания  $v$  определяется, как при обычном цилиндрическом фрезеровании (см. стр. 259). Подача задается перемещением фрезы в миллиметрах за один оборот заготовки  $s_0$ . Чтобы проанализировать влияние числа заходов фрезы на производительность, следует подсчитать подачу на один оборот фрезы. Подача за один оборот фрезы

$$s_{\phi} = s_0 \frac{K}{z} \text{ мм/об,}$$

где  $K$  — число заходов червячной фрезы;  $z$  — число зубьев нарезаемого колеса.

При увеличении числа заходов  $K$  возрастает подача на один оборот фрезы.

Средние величины рекомендуемых подач при предварительном нарезании прямозубых колес

$$s_0 = \frac{C_s z^{0,14}}{m^{0,25}} \text{ мм/об,}$$

где  $C_s$  — коэффициент, зависящий от обрабатываемого металла; для углеродистой стали с  $\sigma_B = 70 \div 85$  кгс/мм<sup>2</sup>  $C_s = 2,65$ ; для хромистой и хромоникелевой стали с  $\sigma_B = 75 \div 90$  кгс/мм<sup>2</sup>  $C_s = 2,0$  и для чугуна с  $HВ 160-180$   $C_s = 3,7$ ;  $z$  — число зубьев нарезаемого колеса;  $m$  — модуль нарезаемого колеса в мм.

При фрезеровании колес с винтовым зубом подача

$$s_0 = \frac{C_s z^{0,14}}{m^{0,25}} \cos \beta \text{ мм/об,}$$

где  $\beta$  — угол наклона зуба колеса.

При чистовом нарезании зубчатых колес червячной фрезой подача  $s_0$  принимается в пределах 0,3—2 мм/об, в зависимости от модуля колеса\*.

Глубина резания  $t$  при зубофрезеровании равна глубине впадины зубьев нарезаемого колеса, если колесо нарезается за один проход. Когда число проходов увеличивается, то глубина резания за каждый проход соответственно изменяется. Например, при двух проходах общая глубина резания  $t = 2,2m$  разбивается на  $t_{\text{пр}} = 1,4m$  при черновой обработке и  $t_{\text{ок}} = 0,8m$  при чистовой.

Мощность, потребная на нарезание зубьев,

$$N_{\text{рез}} = C_N \cdot 10^3 \cdot s_0^y \cdot m^x \cdot D_e^p \cdot N^q \cdot z^r \cdot v^k \text{ кВт,}$$

где  $C_N$  — коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала;  $s_0$  — подача на один оборот заготовки в мм;  $m$  — модуль нарезаемого колеса в мм;  $D_e$  — наружный диаметр фрезы в мм;  $z$  — число зубьев нарезаемого колеса;  $v$  — скорость резания в м/мин.

Подсчитанные по указанной зависимости значения мощности приводятся в соответствующих картах нормативов режимов резания.

Машинное время при обработке цилиндрических колес червячной фрезой

$$T_m = \frac{Lz}{ns_0 k} i \text{ мин;}$$

здесь  $n$  — частота вращения фрезы в об/мин;  $k$  — число заходов фрезы;  $i$  — число проходов; зубчатые колеса средних размеров фрезеруются за один проход; в этом случае  $i = 1$ .

Путь фрезы в направлении подачи при осевом врезании

$$L = qb + y + \Delta,$$

где  $b$  — ширина венца нарезаемого колеса в мм;  $q$  — количество колес, одновременно обрабатываемых на станке.

Величина врезания

$$y = \frac{\sqrt{t(D-t)}}{\cos \omega},$$

\* Подачу  $s_0$  следует выбирать по нормативам,

где  $t$  — глубина резания в мм;  $D$  — диаметр фрезы в мм;  $\omega$  — угол установки фрезы на станке (при нарезании прямозубого колеса).

При нарезании косозубого колеса в формулу вместо  $\cos \omega$  подставляется  $\cos(\omega \pm \beta)$ , где  $\beta$  — угол наклона зубьев.

Для повышения производительности зубофрезерования (до 15%) можно применять радиальное врезание. При радиальном врезании процесс резания также протекает с более равномерной загрузкой станка и инструмента, что способствует, по данным ЭНИМСа, меньшему износу отдельных частей станка и повышению стойкости червячной фрезы. Величина поперечной подачи  $s'$  во время радиального врезания применяется от 0,5 до 0,75 $s$ .

**Зубодолбление.** Скорость резания при зубодолблении линейная. Скорость поступательного движения при рабочем ходе

$$v = \frac{nL(1+p)}{1000} \text{ м/мин;}$$

здесь  $p$  — отношение скорости  $v_p$  рабочего хода долбяка к скорости  $v_x$  холостого хода;  $n$  — число двойных ходов долбяка в минуту;  $L$  — длина хода долбяка;

$$L = y + b + \Delta,$$

где  $b$  — ширина венца нарезаемого зуба в мм (см. рис. 285);  $y = 3 \div 5$  мм — величина врезания;  $\Delta = 2 \div 3$  мм — перебег.

Подача  $s$  при зубодолблении представляет собой длину дуги, измеренную по начальной окружности нарезаемого колеса (долбяка), отнесенную к одному двойному ходу долбяка и называемую круговой подачей (или подачей обкатки); она обозначается  $s$  мм/дв.ход. Величину технологически допустимой подачи выбирают в зависимости от заданного качества поверхности и требуемой точности, обрабатываемого материала, модуля нарезаемого колеса и мощности станка.

Глубина резания  $t$  при работе в один проход равна глубине впадины зуба колеса. Когда зубодолбление производится в несколько проходов, глубина резания соответственно распределяется между проходами (и это следует учитывать).

Мощность, затрачиваемая при зубодолблении,

$$N = C_N \cdot 10^{-4} s^y n^x m^z z^q N_V^k N \text{ кВт.}$$

Машинное время при зубодолблении за один проход

$$T_m = \frac{\pi m z}{n s} + \frac{t}{n s_1},$$

где  $m$  — модуль нарезаемого колеса в мм;  $z$  — число зубьев нарезаемого колеса;  $n$  — число двойных ходов долбяка в минуту;  $s$  — круговая подача в мм/дв.ход;  $t$  — глубина резания в мм;  $s_1$  — радиальная подача при врезании на полную глубину резания в мм за один двойной ход долбяка; обычно принимается равной  $(0.1 \div 0.3)s$  мм/дв.ход.

### § 3. Износ, стойкость и скорость резания зуборезного инструмента

Зуборезный инструмент работает в зоне сравнительно тонких стружек, поэтому зуб изнашивается в основном по задней поверхности и неравномерно, а так как при работе должен быть сохранен профиль, то и средние значения допустимого износа по задней поверхности обычно небольшие. На рис. 284 показана схема износа зубьев зуборезных инструментов. Износ неравномерный; наибольший износ у уголков зуба, который и принимается за лимитирующий (табл. 27). Период стойкости червячных фрез из быстрорежу-

Таблица 27

Значения допустимого износа зуборезных инструментов

Инструмент	Обработка	Допустимый износ по задней поверхности в мм (у вершины зуба)
Дисковая модульная фреза	Чистовая	0,2—0,4
	Черновая	0,8—1,2
Червячная фреза	Чистовая	0,2—0,4
	Черновая	0,5—0,8
Дисковый долбяк	Чистовая	0,06—0,12
	Черновая	0,8—1,0

щей стали принимается по нормативам от 55 до 360 мин; инструмент сложный, и стоимость переточки высокая. Допустимая скорость резания при заданных величинах подачи и период стойкости определяются или по справочным таблицам режимов резания, или по формулам. При обработке зубчатых колес червячными фрезами и долбяками скорость резания

$$v_H = \frac{C_v}{T^{m_1} s^{y_v} m^{x_v}} K_v \text{ м/мин};$$

например, при черновом нарезании зубчатых колес  $m = 1,5 \div 6$  мм из стали 45 ( $HV 207$ );  $C_v = 312$ ;  $y_v = 0,5$ ;  $x_v = 0$ ;  $m_1 = 0,33$ .

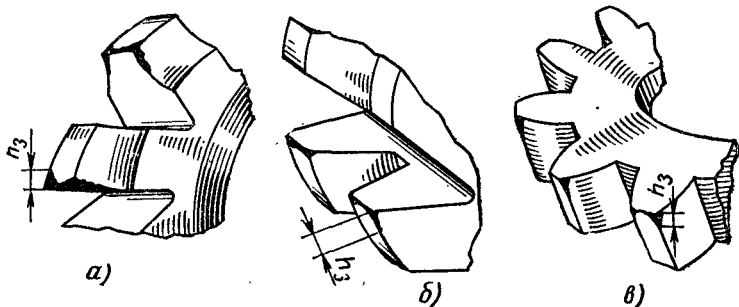


Рис. 284. Износ по задней поверхности зуба:

а — дисковой модульной фрезы; б — червячной фрезы; в — долбяка

Порядок выбора элементов резания следующий. Вначале определяют технологическую подачу (подсчитывают по формулам или берут из таблиц справочников). Затем подсчитывают скорость резания, допускаемую режущими свойствами инструмента. По принятой скорости резания в случае работы червячной фрезой определяют частоту вращения фрезы, а в случае применения зуборезного долбяка подсчитывают число двойных ходов долбяка в минуту. Затем, по кинематическим данным паспорта станков, корректируют частоту вращения или число двойных ходов и подсчитывают действительную скорость резания. Для проверки подсчитывают мощность, необходимую для резания, и соответствующую мощность электродвигателя станка.

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ЗУБОРЕЗНОГО ИНСТРУМЕНТА,  
РАБОТАЮЩЕГО ПО МЕТОДУ КОПИРОВАНИЯ

§ 1. Дискосые модульные фрезы

Пальцевые и дискосые модульные фрезы — фасонные фрезы с затылованными зубьями; их основные элементы определяются по зависимости для фасонных фрез с затылованными зубьями. Высота  $h$  затылуемого профиля (см. рис. 278) модульных фрез определяется размерами впадины зубьев колеса. Профиль зуба дискосой модульной фрезы для фрезерования цилиндрических колес с прямым зубом в точности соответствует профилю впадины колеса (рис. 285), состоящего из рабочего участка — зуба  $BE$  (отрезка эволь-

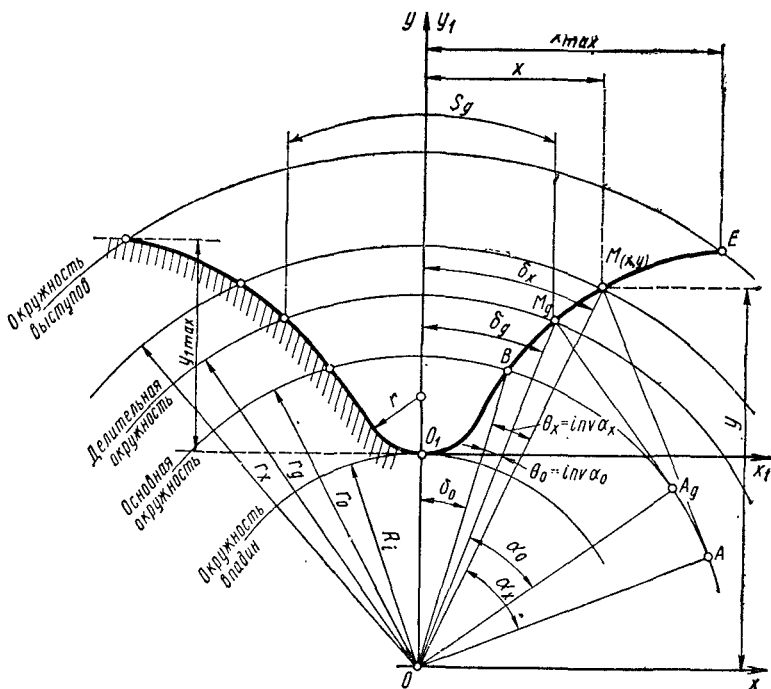


Рис. 285. Профиль дискосой модульной фрезы (для прямозубого колеса)

венты) и нерабочего участка — зуба  $O_1B$ ; ограниченного переходной кривой.

Для расчета координат точек эвольвентного участка зуба поместим начало координат в центр зубчатого колеса. Ось  $OY$  совместим с осью симметрии профиля впадины. Координаты  $x$  и  $y$  любой точки  $M$  профиля фрезы определяются по формулам

$$x = r_x \sin \delta_x; \quad y = r_x \cos \delta_x,$$

но угол  $\delta_x$  определится как сумма двух углов:

$$\delta_x = \delta_0 + \theta_x.$$

Угол  $\theta_x$  находится из условия образования эвольвенты как развертки круга, при котором длина отрезка  $MA$  должна быть равна длине соответствующей дуги  $BA$ , т. е.  $MA = BA$ , но

$$\text{tg } \alpha_x = \frac{\overline{MA}}{r_0}; \quad \widehat{BA} = r_0(\alpha_x + \theta_x) \text{ (углы в радианах);}$$

тогда

$$\text{tg } \alpha_x = \frac{r_0(\alpha_x + \theta_x)}{r_0} = \alpha_x + \theta_x$$

или

$$\theta_x = \text{tg } \alpha_x - \alpha_x$$

Выражение  $\text{tg } \alpha_x - \alpha_x$  обозначается  $\text{inv } \alpha_x$  и называется инволютой. Инволюта для углов  $\alpha_x$  приводится в таблицах в радианах.

Таким образом, подставив в формулу выражение  $\theta_x$ , получим

$$\delta_x = \delta_0 + \text{inv } \alpha_x.$$

Координаты  $x$  и  $y$  любой точки эвольвенты можно определить, решив уравнения

$$x = r_x \sin \delta_x; \quad y = r_x \cos \delta_x.$$

Задаемся рядом значений  $r_x$ , и для расчета соответствующих углов  $\alpha_x$  используем зависимость

$$\cos \alpha_x = \frac{r_0}{r_x}.$$

Радиус основной окружности

$$r_0 = \frac{mz}{2} \cos \alpha_0.$$

Поскольку при определении профиля зуба фрезы необходимо найти координаты ряда точек, а расчеты трудоемкие, то были разработаны таблицы, по которым можно просто и быстро найти координаты точек профиля фрез для нормального зацепления с углом  $20^\circ$ .

В расчеты, связанные с определением профиля различных колес одного и того же модуля, входит число зубьев колеса: поэтому каждый профиль впадины образуется своей фрезой. Однако применять для обработки большое количество фрез дорого, поэтому с известной погрешностью можно применять одну и ту же фрезу для нарезания колес одного модуля с ближайшим числом зубьев. Неточности профиля, получающиеся при этом, принимаются в пределах до-



пусков колес. Для нарезания зубьев неточных колес (особенно с небольшими модулями) числа зубьев нарезаемых колес от 12 и до бесконечности (число зубьев рейки можно считать равным бесконечности) разбиты на восемь групп.

Фреза определенного номера нарезает колеса со следующим числом зубьев.

Номер фрезы	1	2	3	4	5	6	7	8
Число зубьев	12—13	14—16	17—20	21—25	26—34	35—54	55—134	135 и более

Набор из восьми фрез называется основным набором и применяется для нарезания колес  $m < 8$ . Для  $m$  до 16 мм разбивают все числа зубьев не на 8, а на 15 номеров, а для колес с крупными модулями — даже на 26 номеров. Расчет координат профиля фрезы, нарезающей зубчатые колеса с определенным пределом чисел зубьев, производят по наименьшему числу зубьев; например, профиль фрезы № 6 должен быть рассчитан по впадине шестерни, имеющей 35 зубьев.

Рассчитывать профиль по максимальному числу зубьев 54 нельзя, так как ошибки в зацеплении могут привести к заклиниванию зубьев сопрягающихся колес; при расчете по минимальному числу зубьев заклинивание исключено.

Практически бывает трудно изготовить точный шаблон по координатам, и тогда заменяют эвольвентный профиль дугами окружности. Однако при такой замене расчетом должны быть проверены получающиеся неточности, которые должны укладываться в допустимые отклонения профиля зубчатых колес.

Для определения всего профиля дисковой модульной фрезы следует найти координаты точек не только эвольвентного участка профиля, но и переходной кривой  $O_1B$  (см. рис. 285). Переходную кривую заменяют сопряженным дугой окружности и отрезка прямой линии.

Полный профиль дисковых модульных фрез приведен на рис. 286. *Тип I* соответствует форме профиля для фрез № 1—2. В этом случае профиль образуется эвольвентным участком  $CE$ , участком прямой линии  $CB$  и дугой окружности  $AB$ . *Тип II* соответствует форме профиля для фрез № 3—7; профиль состоит из эволь-

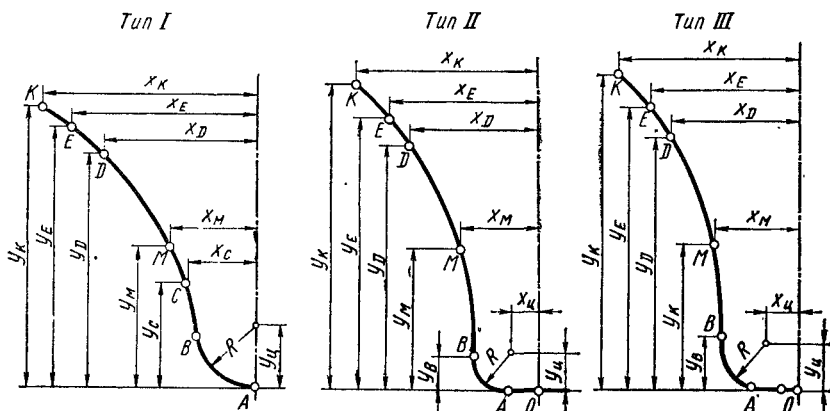


Рис. 286. Профиль дисковых модульных фрез:

тип I — фрезы № 1—2; тип II — фрезы № 3—7; тип III — фрезы свыше № 7

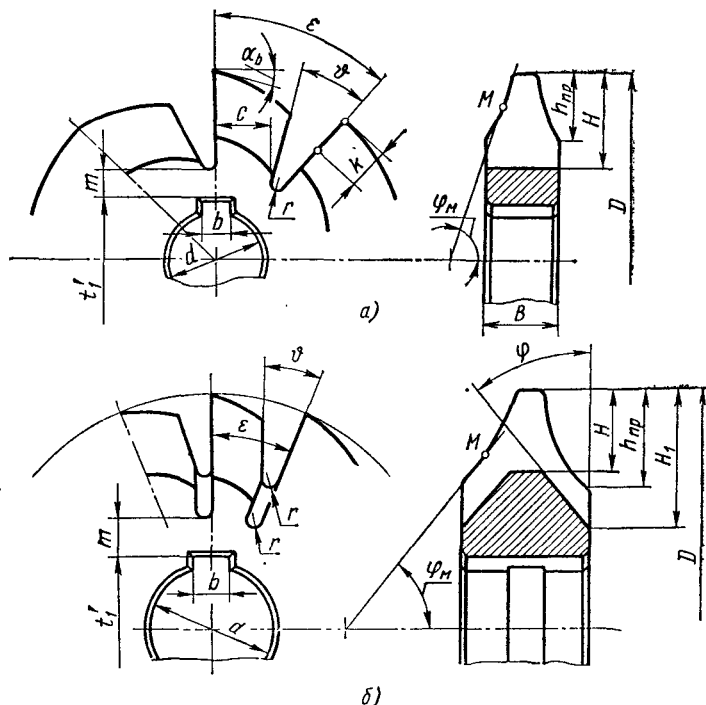


Рис. 287. Основные конструктивные элементы дисковой модульной фрезы:

а — без подфрезерования канавки; б — с подфрезерованием канавки

вентного участка  $BE$ , дуги окружности  $BA$ , прямолинейного участка  $AO$ . *Тип III* соответствует форме профиля фрез свыше № 7. Профиль состоит из эвольвентного участка  $EM$ , прямолинейных участков  $MB$  и  $AO$  и дуги окружности  $BA$ . Рекомендуемые координаты переходных участков приводятся в соответствующих нормалах.

Дисковые модульные фрезы делятся на черновые (для предварительной прорезки зуба) и чистовые (для окончательной обработки впадины зуба). Черновые фрезы для улучшения условий резания проектируются с передним углом  $8-10^\circ$ , так как неточности профиля не имеют значения при черновой обработке впадины.

Чистовые фрезы предназначены для снятия небольшого припуска, но у этих фрез должен быть точный профиль, поэтому передний угол  $\gamma$  приходится делать равным нулю и затачивать зуб по передней поверхности радиально.

Конструктивные элементы дисковой модульной фрезы (рис. 287) — наружный диаметр  $D$ , диаметр отверстия  $d$  и число зубьев  $z$  — следует выбирать по ГОСТ 10996—64 (табл. 28).

Величина затылования

$$K = \frac{\pi D}{z} \operatorname{tg} \alpha_b;$$

Основные размеры дисковых модульных фрез

$m$ в мм	$D$ в мм	$d$ в мм	$z$	$m$ в мм	$D$ в мм	$d$ в мм	$z$
1—1,25	50	16	14	5	100	32	11
1,5—1,75	55	22	14	5,5	100	32	11
2,0—2,25	63	22	14	6—7	110	32	11
2,5—2,75	70	22	12	8	125	32	11
3—3,75	80	27	12	9	125	32	10
4,0—4,5	90	27	11	10	140	32	10

ее округляют до значения имеющихся затыловочных кулачков (обычно целые числа). Угол  $\alpha_b$  принимают таким, чтобы обеспечить на боковых сторонах профиля углы  $\alpha_x$  не менее  $3^\circ$ :

$$\operatorname{tg} \alpha_b = \frac{\operatorname{tg} \alpha_x}{\sin \varphi_m}.$$

Угол  $\varphi_m$  для любой точки расположен между касательной к профилю в этой точке и осью фрезы.

Конструкция зубьев дисковой зуборезной фрезы показана на рис. 287. Высота зуба

$$H \approx h_{\text{пр}} + K + r \text{ мм (рис. 287, а);}$$

ориентировочно  $H \approx h_{\text{пр}}$  (рис. 287, б).

Высота профиля  $h_{\text{пр}}$  определяется после расчета и построения профиля фрезы. Угол  $\vartheta$  и радиус  $r$  впадины находятся по тем же формулам, что и для затылования фасонных фрез. Ширина фрезы  $B = 2x_k$  определяется при расчете координат  $x_k$  профиля фрезы (см. рис. 286).

После расчета элементов конструкции фрезы рекомендуется вычерчивание производить в масштабе. При этом должны соблюдаться следующие соотношения: толщина тела фрезы в самом опасном сечении над шпонкой должна быть не менее  $0,35d$  (где  $d$  — диаметр отверстия фрезы); ширина  $C$  зуба у основания должна быть не менее  $0,75H$ .

Для нарезания зубчатых колес с мелкими модулями (от 0,2 до 1 мм), кроме мелко модульных быстрорежущих, применяют цельнотвердосплавные дисковые модульные фрезы.

Для чернового и чистового нарезаний реек и цилиндрических прямозубых колес 9-й степени точности ( $m = 6 \div 30$  мм) во ВНИИ разработаны сборные дисковые зуборезные острозаточенные фрезы (рис. 288). Фреза состоит из корпуса 1, колец 2, вставных ножей 3, прокладок 4, винтов 5 и контрвинтов 6. Фрезы для нарезания реек имеют по два ножа в каждом пазу корпуса. По сравнению с цельными дисковыми зуборезными фрезами данная конструкция имеет

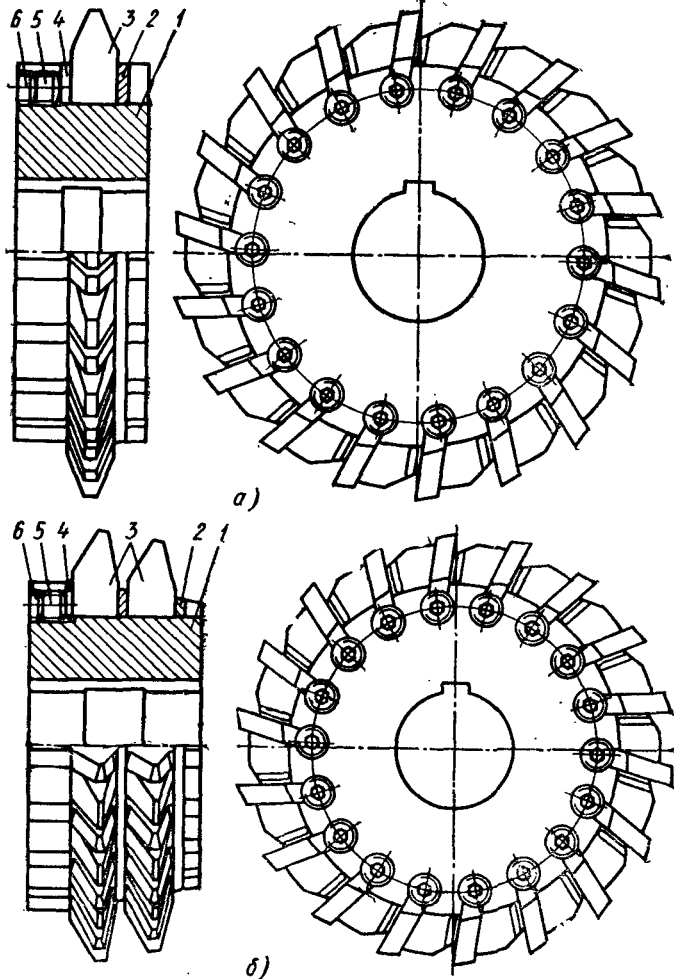


Рис. 288. Сборные дисковые зуборезные модульные остро-заточенные фрезы:

а — для цилиндрических колес; б — для реек

ряд преимуществ, в том числе повышенную стойкость (в 2—3 раза) и экономию быстрорежущей стали.

## § 2. Пальцевые модульные фрезы

Пальцевые модульные фрезы применяют для фрезерования профиля прямозубых и косозубых зубчатых колес крупного модуля ( $m \geq 10$  мм), когда нельзя нарезать колесо червячной фрезой (например, двушворновые колеса). На рис. 289 показаны пальцевые зуборезные черновые и чистовые фрезы.

Чистовая пальцевая фреза изготавливается с углом  $\gamma = 0$ , т. е. с радиальной передней поверхностью. Профиль зуба такой фрезы в осевом сечении должен в точности соответствовать профилю впадины колеса, если обрабатываемое зубчатое цилиндрическое колесо имеет прямые зубья. Если чистовая фреза предназначена для фрезерования шевронных или косозубых колес, то ее профиль несколько отличается от профиля впадины. Черновая пальцевая модульная фреза для обеспечения оптимальных условий резания конструируется с передним углом  $\gamma$  до  $8^\circ$ ; она имеет также канавки для разделения стружки. Черновые и чистовые фрезы изготавливаются с затылованным, но могут изготавливаться и с остроконечным зубом; тогда необходимо затачивать их по профилю.

Черновые и чистовые фрезы могут быть сборными, со вставными или с приваренными ножами.

Пальцевые зуборезные фрезы наворачиваются на оправки. Распространены две конструкции центрирования и крепления пальцевых фрез на оправке: с внутренней цилиндрической выточкой (тип *a*) и с наружной цилиндрической проточкой (тип *б*). У фрез типа *a* (наиболее распространенные) посадочными местами являются торец и отверстие (рис. 289), а внутренняя резьба нарезается со значительным зазором и не направляет, а только обеспечивает крепление фрезы. При закреплении фрезы на оправке пользуются гаечным ключом.

Профиль фрез для нарезания прямозубых колес рассчитывается по формулам, приведенным на стр. 304. Для фрез, которыми нарезают косозубые и шевронные колеса, производят более сложный расчет, так как пальцевая зуборезная фреза во впадине колеса должна обрабатывать винтовые боковые поверхности зуба колеса и каждая точка фрезы соприкасается с винтовой эвольвентной боковой поверхностью зуба в разных плоскостях.

Наружный диаметр фрезы  $D$  определяется с запасом 3—10 мм по сравнению с максимальной абсциссой  $x_{\max}$  профиля (см. рис. 285), т. е.

$$D = 2x_{\max} + (3 \div 10) \text{ мм.}$$

Длина режущей части  $l_p$  принимается в зависимости от максимальной глубины  $y_{\max}$  профиля с запасом 3—10 мм:

$$l_p = y_{\max} + (3 \div 10) \text{ мм}$$

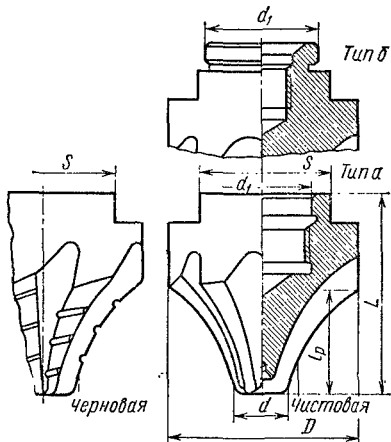


Рис. 289. Пальцевые модульные фрезы

Общая длина фрезы  $L = (1,9 \div 2) l_p$ .

Диаметр посадочного отверстия  $d_1$ , диаметр резьбы и остальные элементы посадочного отверстия могут быть приняты по нормалам.

Для нормальной работы фрезы важно иметь канавки для стружки достаточных размеров. Зубья желательно разместить у тонкого конца фрезы так, чтобы сохранить прочность зуба и иметь канавки достаточной глубины. При большой разнице между  $D$  и  $d$  с целью увеличения объема канавок для выхода стружки часто приходится зубья у торцевой части фрезы срезать через один. Угол впадины стружечных канавок принимают обычно в пределах  $45-60^\circ$ . Число зубьев чистовых фрез рекомендуется принимать четным. На рис. 289 показана черновая пальцевая модульная фреза с большим объемом канавок для стружки и со стружкоделительными канавками.

Пальцевые фрезы можно затыловать в радиальном и осевом направлениях, а также под углом (рис. 290).

При радиальном затыловании (рис. 290, а) измеренная по нормали к профилю величина  $K_1$  во всех точках профиля будет переменной; при переточках резко изменяется диаметр фрезы, что приводит к искажению профиля впадины, потому что радиальное затылование пригодно только для черновых фрез.

При осевом затыловании (рис. 290, б) задний угол более постоянен, так как величина  $K_1$  в различных точках в радиальном направлении изменяется так, что частично компенсирует изменение диаметра.

Однако при осевом затыловании в точках, где линия профиля параллельна оси фрезы или наклонена к ней под малым углом, получается слишком малая величина заднего угла.

При затыловании под углом  $\tau = 10 \div 15^\circ$  к оси фрезы (рис. 290, в) задний угол  $\alpha$  остается почти постоянным, так как изменение величины  $K_1$  затылования компенсирует изменение диаметра, и затылование пригодно для чистовых фрез.

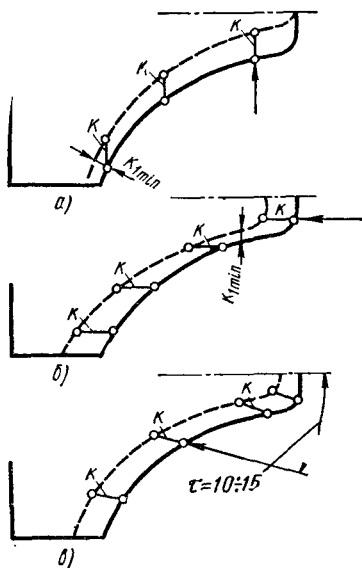


Рис. 290. Схема затылования пальцевых фрез:  
а — радиальное; б — осевое; в — затылование под углом

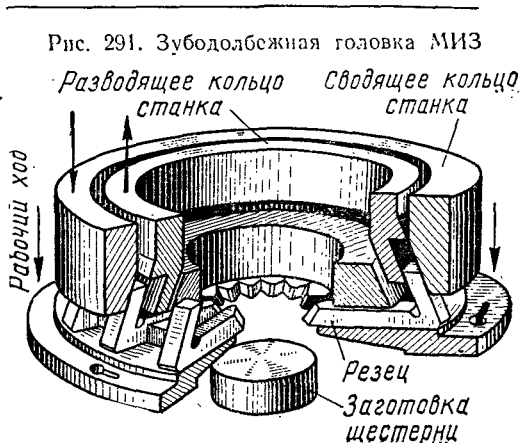


Рис. 291. Зубодолбежная головка МИЗ

Разводящее кольцо станка      Сводящее кольцо станка  
Рабочий ход  
Резец  
Заготовка шестерни

### § 3. Зубодолбежные головки

Разновидностью зуборезного инструмента, работающего по методу копирования, являются специальные зуборезные головки для контурного зубодолбления (рис. 291). Фасонные резцы, укрепленные в головке, производят одновременное долбление всех впадин заготовки, т. е. количество резцов соответствует количеству впадин нарезаемого колеса. Каждый резец обрабатывает только одну впадину и при холостом ходе (стрелка вверх) разводящее кольцо сводит их снова. За несколько двойных ходов резцы углубляются в заготовку на полную глубину зуба нарезаемого колеса. Производительность станка с головкой в несколько раз превышает производительность обычного зубодолбежного или соответствующего зубофрезерного станка. Применение головки оправдывается только при массовом производстве зубчатых колес одного модуля и числа зубьев. После такой обработки зубчатых колес применяют чистовую обработку шевером.

При расчете профиля резцов головки вначале определяют координаты профиля впадины в торцовом сечении колеса, а затем координаты профиля пересчитывают как и для призматических фасонных резцов.

ВНИИ предложена модернизированная конструкция зубодолбежной головки, в которой используются быстросменные регулируемые резцы более простых конструкций, что удешевляет эксплуатацию головки.

**РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ЗУБОРЕЗНОГО ИНСТРУМЕНТА.  
РАБОТАЮЩЕГО ПО МЕТОДУ ОБКАТКИ**

**§ 1. Червячные зуборезные фрезы**

Боковая поверхность витка червяка является винтовой поверхностью, образующейся в результате винтового движения отрезка прямой линии. На рис. 292, а показана винтовая поверхность, которая образуется, если прямую  $AB$ , проходящую через ось червяка и наклоненную под некоторым углом к оси, вращать вокруг оси и одновременно (за каждый оборот) перемещать равномерно вдоль оси. Червяк, боковые поверхности которого образованы таким образом, называется архимедовым червяком; признаком его является образующая прямая линия, проходящая через ось червяка. В сечении боковой поверхности червяка плоскостью, перпендикулярной к оси, получается архимедова спираль. Поверхностью червяка может быть и винтовая поверхность, образованная при движении прямой линии  $AB$ , не проходящей через ось червяка (рис. 292, б).

Представим себе некоторый цилиндр радиусом  $r_0$ ; линию  $AB$  направим по касательной к поверхности цилиндра. Угол наклона  $\tau_1$  этой линии относительно плоскости, перпендикулярной к оси цилиндра, возьмем равным углу подъема  $\omega_0$  винтовой линии на цилиндре радиусом  $r_0$ . В результате винтового движения линии  $AB$  получается винтовая поверхность, которая называется эвольвентной винтовой поверхностью, потому что в сечении плоскостью, перпендикулярной к оси, получается эвольвента. Цилиндр радиусом  $r_0$  называется основным цилиндром винтовой эвольвентной поверхности.

Третья винтовая поверхность, показанная на рис. 292, в, имеет прямолинейный профиль в нормальном сечении витка (или впадины) с углом подъема  $\tau_d$  витка к оси на делительном цилиндре. В сечении плоскостью, перпендикулярной к оси, третий тип червяка дает удлиненную эвольвенту.

Червячная фреза представляет собой тот же червяк, но в отличие от последнего фреза имеет режущие кромки. Червячные фрезы, как и червяки, также могут быть трех типов: архимедовы (с прямолинейным профилем в осевом сечении), эвольвентные и фрезы с прямолинейным профилем в нормальном сечении (по вит-

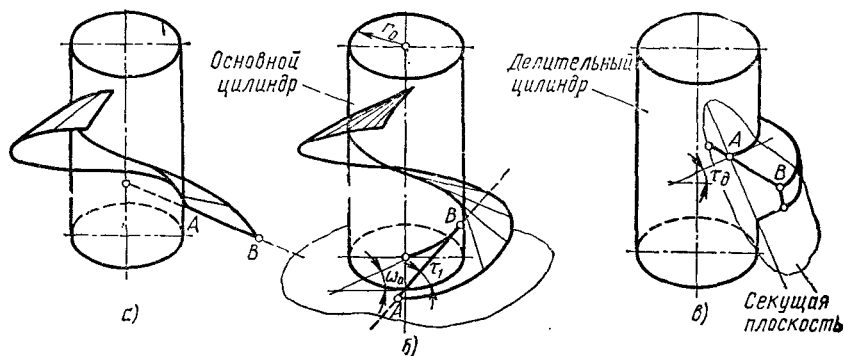


Рис. 292. Винтовые поверхности



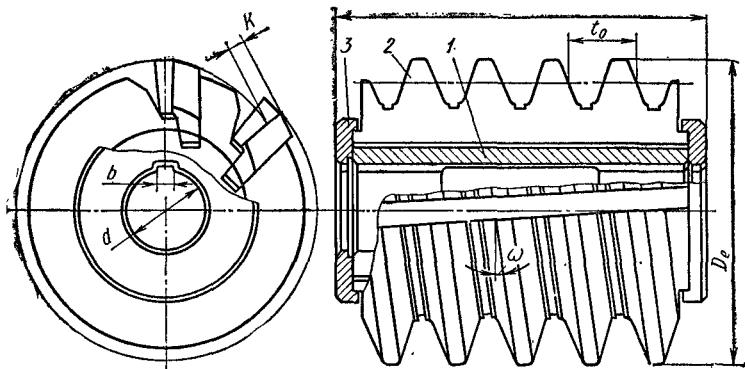


Рис. 293. Червячные фрезы со вставными гребенками конструкции завода «Фрезер»

ку или впадине)\*. Архимедовы и эвольвентные червячные фрезы изготовляют в основном для фрезерования червячных колес, причем первые из них — архимедовы червячные фрезы — получили большее распространение, так как их проще изготовлять, чем эвольвентные фрезы.

Червячные фрезы с прямолинейным профилем в нормальном сечении получили широкое распространение для фрезерования цилиндрических колес с прямыми и винтовыми зубьями, и до настоящего времени они являются основным типом фрез для фрезерования цилиндрических колес. Наряду с этим для фрезерования цилиндрических колес находят применение архимедовы червячные фрезы с прямолинейным профилем в осевом сечении и даже с прямой канавкой. Кроме указанных типов цилиндрических червяков и червячных фрез, применяются конические червяки и конические червячные фрезы, глобоидальные червяки (образованные не на прямом цилиндре, а на глобоиде) и глобоидальные фрезы для их изготовления.

Черновые червячные фрезы делают пониженной точности, часто с нешлифованным профилем зуба. Для повышения производительности черновые фрезы иногда делают двухзаходными. При увеличении числа заходов фрезы в определенное число раз во столько же раз должна увеличиваться частота вращения нарезаемого колеса. Однако повышение производительности при применении двухзаходных фрез сравнительно невелико (до 20%), так как с увеличением угла наклона канавок резко ухудшаются условия резания на боковых сторонах профиля и приходится снижать подачу. Применение трехзаходных фрез совершенно не оправдывается.

Чистовые червячные фрезы, как правило, изготовляют однозаходными, с прямолинейным профилем в нормальном или осевом сечениях. Чистовые фрезы изготовляют трех типов и четырех классов точности: тип I — цельные прецизионные класса точности AA; тип II — цельные общего назначения классов точности A, B и C; тип III — сборные классов точности A, B и C. Фрезы класса AA используют для нарезания колес 7-й степени точности, класса A — 8-й степени, класса B — 9-й степени и класса C — 10-й степени точности.

\* Применяются также и червячные фрезы, в основу которых положены другие, так называемые нелинейчатые поверхности.

Особо точные (прецизионные) червячные фрезы отличаются от чистовых тщательностью выполнения, жесткими допусками и увеличенным диаметром (увеличение диаметра приводит к повышению точности профиля фрезы).

Сборные червячные фрезы со вставными гребенчатыми ножами изготавливают для экономии инструментального материала. Корпус этих фрез из конструкционной стали, а гребенчатые ножи — из быстрорежущей стали или твердого сплава. Имеется много конструкций сборных червячных фрез. Фреза со вставными гребенками крупного модуля ( $m = 10 \div 36$  мм) показана на рис. 293. В корпусе 1 фрезы из конструкционной стали (рекомендуется применение хромистой стали 40Х), профрезерованы клиновидные пазы, сужающиеся к центру (уклон 1 : 10). В пазы запрессованы гребенчатые ножи 2 из быстрорежущей стали. На обоих торцах фрезы проточены буртики, причем концы запрессованных ножей выступают с обеих сторон корпуса и протачиваются совместно с корпусом. На эти буртики насаживаются нагретые кольца 3 (до 300°С). Остывая, кольца сжимаются и охватывают буртики с гребенчатыми ножами. После остывания получается монолитная, очень прочная конструкция; фреза по прочности не отличается от цельной фрезы. Эта конструкция дает надежное, хорошее крепление, но не позволяет производить смену ножей.

В целях создания рациональных задних углов на боковых режущих кромках (до 10°) ВНИИ предложена конструкция червячной сборной фрезы с острозаточенными зубьями (рис. 294). В корпус 1 фрезы вставляются комплекты зубьев 2, которые, с одной стороны, плотно прижимаются к сухарям 3, привернутым винтами 4, с другой стороны, крепятся зажимными винтами 5. Режущие зубья отдельно от корпуса шлифуются в специальных приспособлениях. При этом образуются плоские (или близкие к плоским) задние поверхности. Увеличенные задние углы способствуют повышению

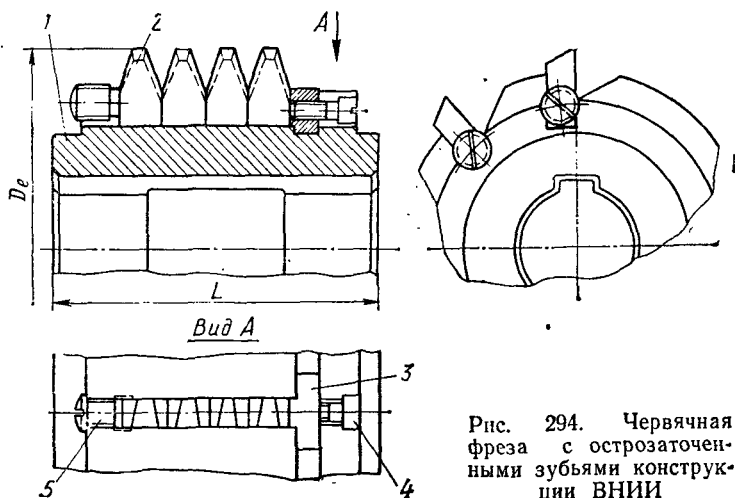


Рис. 294. Червячная фреза с острозаточенными зубьями конструкции ВНИИ

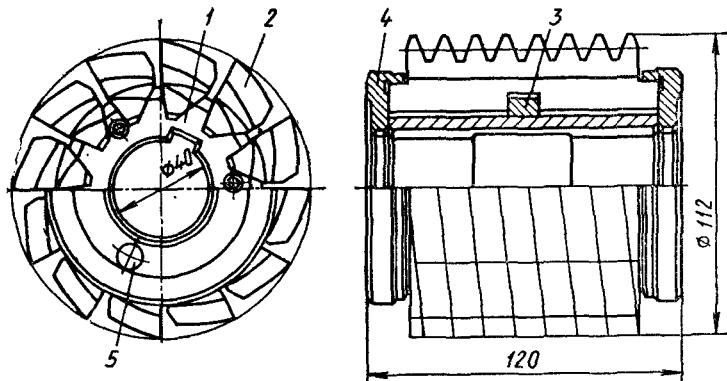


Рис. 295. Сборная незатылованная червячная фреза с поворотными рейками

стойкости данных фрез по сравнению с обычными фрезами. Фрезы допускают до 15 переточек, после чего может быть поставлен новый комплект зубьев. Применяются также фрезы для предварительного нарезания зубьев под шевингование с большими подачами (до 10 мм/об).

Сборная червячная фреза с поворотными рейками предназначенная для нарезания цилиндрических зубчатых колес 8-й степени точности, представлена на рис. 295. Фреза состоит из корпуса 1 с пазами трапецевидной формы, комплекта зубчатых реек 2, полукольцевой шпонки 3 и крышек 4, напрессованных на выступы реек. Крышки закрепляются винтами 5. Трапецевидная форма паза корпуса и оснований реек позволяет устанавливать зубчатые рейки в корпусе как в технологическое, так и рабочее положение. Для обеспечения требуемых задних углов рейки устанавливаются в пазах корпуса с поворотом на  $180^\circ$  по сравнению с их рабочим положением. При этом боковые зубья реек должны лежать на винтовой, а вершины — на цилиндрической поверхностях. Благодаря такой установке отпадает необходимость в затыловании зубьев, которое заменяется шлифованием на резьбо- или червячношлифовальных станках. В результате обеспечиваются повышенные задние углы и увеличивается количество допустимых переточек, что приводит к повышению производительности обработки зубьев на 20—30% по сравнению с затылованными фрезами. Схема червячной чистовой однозаходной насадной фрезы со всеми конструктивными элементами и профиль ее зуба в нормальном сечении приведены на рис. 296.

Профиль фрезы в нормальном сечении должен соответствовать рабочему контуру рейки, которой производится обкатка нарезаемого колеса. Модуль  $m$  является исходной величиной при проектировании червячной фрезы. Если фреза предназначена для нарезания цилиндрических колес с прямыми зубьями, модуль будет соответствовать модулю колеса в торцовом сечении. Если фреза предназ-

начена для цилиндрического колеса с косыми зубьями, модуль принимается равным модулю зубчатого колеса в нормальном сечении.

Угол профиля  $\alpha_n$  в нормальном сечении может быть принят равным углу  $\alpha_0$  зацепления колеса. Теоретические расчеты показывают, что точность фрез увеличивается, если принимать скорректированный угол. В. А. Шишков предлагает угол  $\alpha_n$  корректировать в зависимости от угла  $\tau$  подъема витков червяка на делительном цилиндре (для  $\alpha_0 = 20^\circ$ ) (табл. 29). Высота головки зуба  $h_1$  фрезы опре-

Таблица 29

Угол профиля  $\alpha_n$

Угол подъема витков червяка на делительном цилиндре	Корректированный угол $\alpha_n$	Угол подъема витков червяка на делительном цилиндре	Корректированный угол $\alpha_n$	Угол подъема витков червяка на делительном цилиндре	Корректированный угол $\alpha_n$
$2^\circ$	$20^\circ$	$4^\circ 30'$	$19^\circ 58'$	$6^\circ$	$19^\circ 56'$
$3^\circ$	$19^\circ 59'$	$5^\circ$	$19^\circ 57' 30''$	$6^\circ 30'$	$19^\circ 55'$
$4^\circ$	$19^\circ 58' 30''$	$5^\circ 30'$	$19^\circ 56' 30''$	$7^\circ$	$19^\circ 54'$

деляется по формуле  $h_1 = 1,25m$ , т. е. берется равной высоте ножки зубчатого колеса. Высота ножки зуба  $h_2$  фрезы принимается (с учетом зазора между наружным диаметром заготовки и впадиной червячной фрезы) равной  $1,25m$ . Полная высота зуба  $h = h_1 + h_2$ ,

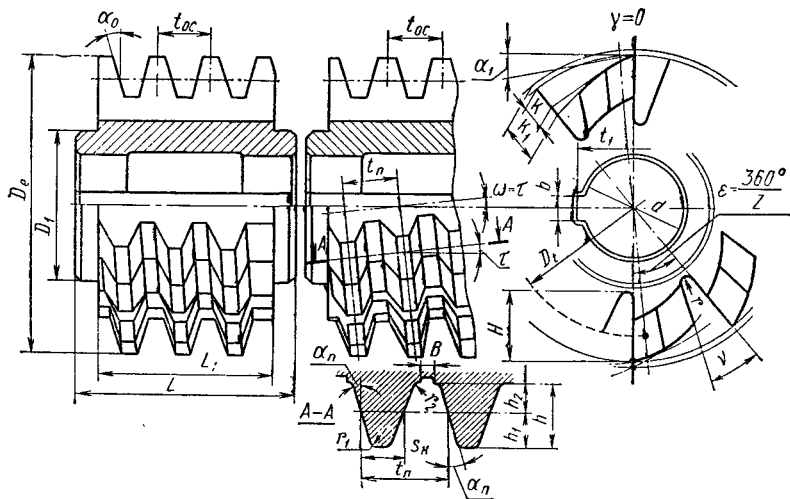


Рис. 296. Конструктивные элементы червячных фрез:

$t_n$  — шаг профиля зуба в нормальном сечении;  $t_{oc}$  — шаг профиля в осевом сечении;  $\alpha_n$  — угол профиля в нормальном сечении;  $S_n$  — толщина зуба в нормальном сечении;  $h$  — высота зуба;  $h_1$  и  $h_2$  — соответственно высота головки и ножки зуба;  $D_e$  — наружный диаметр фрезы;  $d$  — диаметр отверстия фрезы;  $D_f$  — расчетный диаметр делительного цилиндра;  $\omega$  — угол наклона винтовых канавок (обычно равен углу подъема витков червяка  $\tau$  на делительном цилиндре);  $S_k$  — шаг винтовых канавок;  $\nu$  — угол канавочной фрезы;  $r$  — радиус закругления впадины;  $H$  — глубина канавки;  $\alpha_1$  — задний угол;  $\nu$  — передний угол;  $K$  и  $K_1$  — величина затылования;  $D_1$  — диаметр буртиков

таким образом, для нормального ( $\alpha = 20^\circ$ ) зацепления по стандарту равна  $2,5m$ . Шаг  $t_n$  должен быть равен шагу нарезаемого колеса при нарезании колес с прямыми зубьями; для колес с косыми зубьями шаг  $t_n$  должен быть равен шагу колеса в нормальном сечении. Толщина зуба в нормальном сечении  $S_n = \frac{t_n}{2}$ . Зуб червячной фрезы имеет закругления у вершины и впадины: радиус у вершины  $r_1 = (0,25 \div 0,3)m$ , радиус у впадины  $r_2 = (0,2 \div 0,3)m$ . Если профиль должен быть фланкированным, то даются соответствующие элементы фланкирования. Таким образом определяются все элементы стандартного ( $\alpha = 20^\circ$ ) профиля в нормальном сечении. Если зубчатое колесо имеет специальный или скорректированный профиль, то соответственно должны быть взяты другие элементы профиля; эти элементы обычно указываются в рабочем чертеже зубчатого колеса.

Существует два принципиально различных метода профилирования и измерения профиля фрез: в нормальном сечении (как было описано выше) и в осевом сечении. Более точно можно спрофилировать фрезу, измеряя профиль в осевом сечении. Чем больше наружный диаметр фрезы  $D_e$ , тем меньше будут сказываться ошибки профилирования, тем больше можно принять диаметр оправки и меньше вибрации при нарезании. Но увеличение диаметра фрезы приводит к излишнему расходу быстрорежущей стали и (при одинаковой скорости резания) снижает производительность фрезы. Для червячных фрез наружный диаметр принимают по ГОСТу.

Наружный диаметр  $D_e$ , диаметр отверстия  $d$  и число зубьев  $z$  выбирают по табл. 30, где приведены значения наружного диамет-

Таблица 30  
Основные размеры червячных зуборезных фрез

Модуль в мм	Цельные фрезы						Фрезы сборные общего назначения		
	прецизионные			общего назначения			$D_e$ в мм	$d$ в мм	$z$
	$D_e$ в мм	$d$ в мм	$z$	$D_e$ в мм	$d$ в мм	$z$			
1—1,25	70	32	16	63	27	12	—	—	—
1,5—1,75	80	40	16	63	27	12	—	—	—
2—2,25	90	40	14	70	27	12	—	—	—
2,5—2,75	100	40	14	80	32	10	—	—	—
3—3,75	112	40	14	90	32	10	—	—	—
4—4,5	125	50	14	100	32	10	—	—	—
5—5,5	140	50	14	112	40	10	—	—	—
6—7	160	60	12	125	40	9	—	—	—
8	180	60	12	140	40	9	—	—	—
9	200	60	12	140	40	9	—	—	—
10	225	60	12	160	50	9	180	40	8
11	—	—	—	160	50	9	180	40	8
12—14	—	—	—	180	50	9	200	50	8
16—18	—	—	—	—	—	—	225	50	8
20	—	—	—	—	—	—	250	60	8

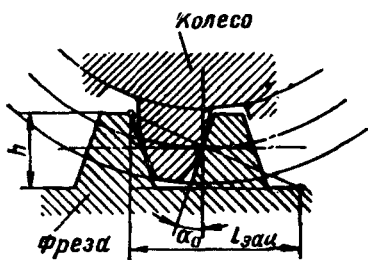


Рис. 297. Линия зацепления колеса с рейкой и ее проекция на начальную прямую

Части фрезы положено следующее соображение: длина рабочей части фрезы должна быть не меньше длины проекции линии зацепления на начальную прямую рейки. Проекция линии зацепления рейки (рис. 297)

$$l_{\text{зац}} = h \operatorname{ctg} \alpha_0.$$

Фреза может быть переставлена после небольшого притупления вдоль оси минимум на один шаг. Кроме того, один крайний виток фрезы не может участвовать в работе. Итак, минимальная длина фрезы составит  $L = h \operatorname{ctg} 20^\circ + t$ . Подставив значение  $\operatorname{ctg} 20^\circ$  и округляя, получим  $L_{\text{min}} = 10m$ , т. е. длина рабочей части фрезы должна быть не менее  $10m$ . Чем больше длина рабочей части, тем больше перестановок можно делать, поэтому у фрез мелких модулей длина  $L_1$  делается больше  $L_{\text{min}}$ , а у фрез крупных модулей она близка к минимуму.

Задние углы фрезы по вершине и боковым профилям различны. Задний угол по боковой стороне профиля в нормальном сечении к режущей кромке можно определить по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_x = \operatorname{tg} \alpha_1 \sin \varphi,$$

где  $\varphi$  — угол наклона режущей кромки к торцовой плоскости фрезы.

Для червячной фрезы угол  $\varphi$  является углом зацепления  $\alpha_0$ . Следовательно, задний угол  $\alpha_x$  у червячной фрезы в нормальном сечении может быть определен по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_x = \operatorname{tg} \alpha_1 \sin \alpha_0.$$

Приняв минимальный задний угол  $\alpha_x = 4^\circ$ , получим необходимый задний угол  $\alpha_1 = 11 \div 12^\circ$  (при  $\alpha_0 = 20^\circ$ ).

Исходя из значения угла  $\alpha_1$ , рассчитывается величина затылования

$$K = \frac{\pi D}{z} \operatorname{tg} \alpha_1.$$

Если фрезы с нешлифованным профилем, то затылование производят резцом; у фрез со шлифованным профилем для обеспечения выхода шлифовального круга делают двойное затылование. Величина второго затылования  $K_1 = (1,2 \div 1,7)K$ .

Рассмотрим червячную фрезу. В основу ее конструкции положен червяк, и  $D_t$  является диаметром делительного цилиндра этого червяка (см. рис. 296). Но новая и переточенная фрезы имеют различный наружный диаметр. Следовательно, новая и переточенная фрезы будут иметь разные диаметры  $D_{t1}$  и  $D_{t2}$  делительной окружности.

Для расчета фрезы принимают некоторый средний делительный диаметр

$$D_t = D_e - 2h_1 - 0,3K,$$

Угол  $\tau$  подъема винтовой линии на делительном цилиндре может быть рассчитан по формуле

$$\sin \tau = \frac{t_n}{\pi D_t} = \frac{\pi m}{\pi D_t} = \frac{m}{D_t},$$

где  $m$  — модуль зубчатого колеса.

У червячных фрез с целью обеспечения одинаковых передних углов и одинаковых условий резания на обеих сторонах зуба междузубные канавки делают с углом наклона, равным углу подъема винтовой линии, т. е. направление канавок принимают нормальным к направлению червяка.

Направление винтовых канавок обратно направлению нарезки червяка: если червяк правый, канавки левые, и наоборот. Шаг винтовых канавок (часто его называют также «ход винтовых канавок»)

$$S_k = \frac{\pi D_t}{\operatorname{tg} \omega}.$$

Винтовые канавки при небольших углах  $\tau$  (не превышающих  $5^\circ$ ) можно заменять прямыми стружечными канавками ( $\omega = 0^\circ$ ), направленными вдоль оси фрезы. У таких фрез профиль измеряется по передней поверхности вдоль оси фрезы. Угол профиля при  $20^\circ$  зацепления корректируется по формуле

$$\operatorname{ctg} \alpha = \operatorname{ctg} 20^\circ \cos \tau.$$

Фрезы с винтовыми и прямыми канавками на зубофрезерном станке устанавливаются под углом  $\tau$ . Поэтому фрезы всегда должны иметь клеймение с указанием расчетного угла  $\tau$ . На чертеже фрезы должен быть указан шаг профиля зуба в осевом сечении (необходимый при изготовлении фрезы)

$$t_{oc} = \frac{t_n}{\cos \tau}.$$

Элементы канавки и угол  $\vartheta$  канавочной фрезы лучше определять после прочерчивания зуба фрезы. Глубина канавки  $H = h + K + z$ . Угол  $\vartheta$  канавочной фрезы принимается равным  $22\text{--}25^\circ$ . Фрезы классов А и В и более точные изготавливают из быстрорежущей стали Р18 или из стали с кобальтом, хорошо прокованной.

В связи с развитием скоростных методов обработки продолжают научно-исследовательские работы по созданию червячных

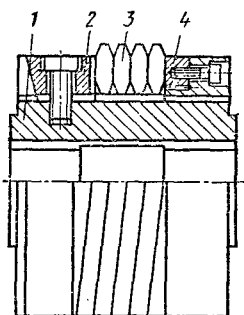


Рис. 298. Червячная фреза с твердосплавными поворотными зубьями (пластинками)

фрез, оснащенных твердыми сплавами. Применение таких фрез может дать большой производственный эффект. Разработана червячная фреза с цельными твердосплавными гребенками, закрепляемыми клиньями и кольцами. В конструкции фрезы ВНИИ (см. рис. 294) используются вставные острозаточенные зубья, оснащенные пластинками из твердого сплава, которые закрепляются в корпусе.

На базе этой конструкции в Киевском институте сверхтвердых материалов была создана червячная фреза с твердосплавными поворотными зубьями (рис. 298), с модулем до 4 мм. Зубья 3 фрезы устанавливаются в корпусе 1 с отрицательным передним углом  $15^\circ$  и закрепляются с помощью зажимных элементов 2 и 4. Принятая форма зубьев обеспечивает четырехкратное использование их режущих кромок.

В приборостроении нашли применение цельные твердосплавные фрезы мелких модулей ( $m = 0,1 \div 1,0$  мм) из твердых сплавов ВК6М, ВК8М и ВК10М. По техническим условиям ГОСТ 10331—63 червячные твердосплавные цельные фрезы изготовляют модулей 0,5—1,0 мм (твердый сплав ВК6М) класса точности АА. Разработан также отраслевой стандарт ОСТ 2-20—71 на фрезы червячные чистовые мелко модульные из твердого сплава колеса ААА для обработки цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем 5-й и 6-й степеней точности.

## § 2. Червячные фрезы для обработки цилиндрических колес передач Новикова

Зубчатые передачи с высокой несущей способностью разработаны в СССР д-ром техн. наук М. Л. Новиковым. Передача (рис. 299) представляет собой выпукло-вогнутое кругловинтовое зацепление с начальным касанием в точке или по линии, расположенной в торцовом сечении колес. Передача Новикова между параллельными осями может быть только косозубой или шевронной с углом  $\beta_d = 15 \div 30^\circ$ . Выпуклый зуб делается на шестерне (с меньшим числом зубьев), вогнутый — на колесе (с большим числом зубьев). При расчетах определяется нормальный модуль колес  $m_n$ . Для нарезания могут быть использованы почти все инструменты, применяемые для обработки зубьев эвольвентных передач; однако чаще применяют червячные фрезы.

Профиль зубьев передач Новикова должен иметь круговую форму в торцовом сечении колеса. Следовательно, профиль зубьев инструмента должен иметь круговую форму в осевом сечении фрезы. Для такого профилирования инструмента необходимо изготовлять специальные фрезы.

Принято профиль зубьев инструмента очерчивать по дуге окружности в нормальном сечении зубьев, с учетом, что после первоначальной приработки колес зацепление выправляет все неточности, связанные с приближенным профилированием фрезы.

Червячные чистовые однозаходные фрезы для обработки зубчатых цилиндрических колес передач Новикова с двумя линиями за-



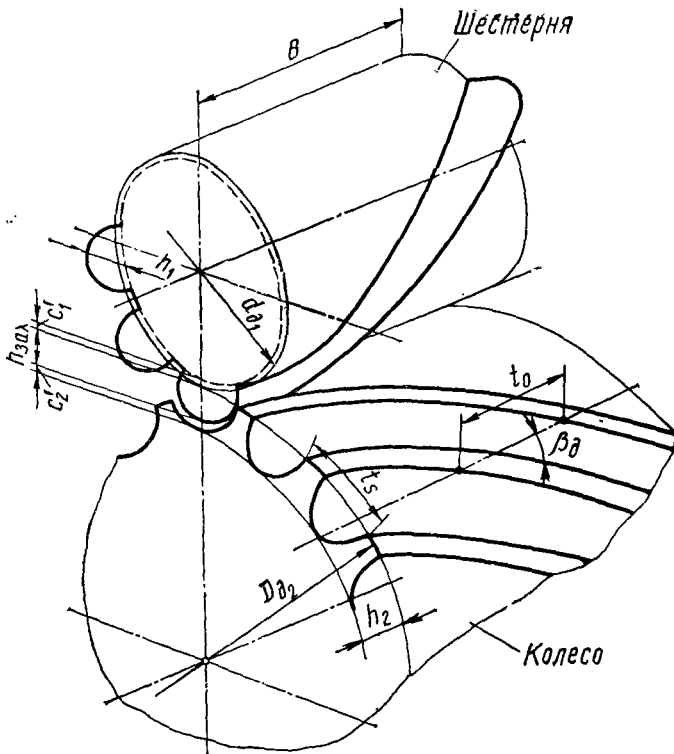


Рис. 299. Схема передачи Новикова:

$$\beta_d = 15 \div 25^\circ; \quad \frac{B}{r} = 1,2 + 1,4; \quad t_s = \frac{\pi m_n}{\cos \beta_d}$$

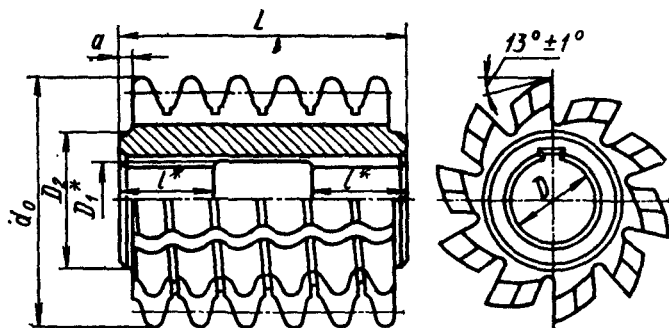


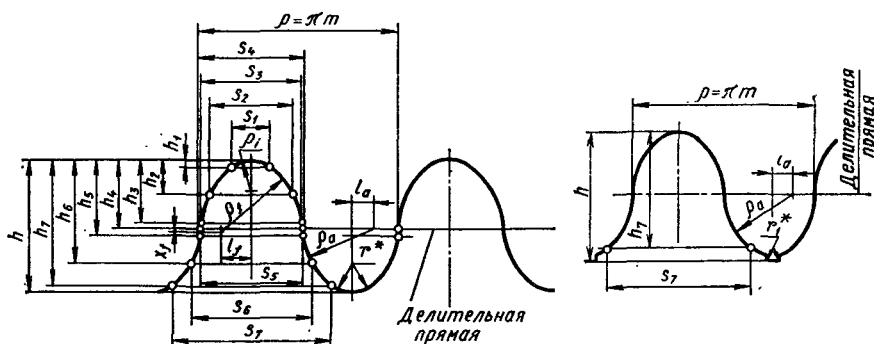
Рис. 300. Червячная фреза для обработки колес передач Новикова

Основные размеры червячных фрез для зубчатых цилиндрических колес передач Новикова, в мм

$m$	$d_0$	$L$	$D$	$m_n$	$d_0$	$L$	$D$
1,6—2	70	63	27	6,3	125	112	40
2,5	80	70	32	8	140	125	40
3,15	90	80	32	10	160	140	50
4	100	90	32	12,5	180	160	50
5	125	112	40	16	225	200	60

Таблица 32

Размеры (в мм) профиля зубьев червячных чистовых однозаходных фрез для зубчатых колес передач Новикова (в нормальном сечении)



$m$	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16
$\rho_f$	2,091	2,614	3,267	4,117	5,160	6,450	8,127	10,160	12,700	15,625	20,000
$l_f$	0,808	1,011	1,263	1,592	1,960	2,450	3,087	3,797	4,746	5,710	7,309
$x_f$	0,116	0,145	0,182	0,229	0,254	0,318	0,400	0,436	0,545	0,568	0,726
$\rho_a$	1,835	2,294	2,857	3,613	4,600	5,750	7,245	9,200	11,500	14,375	18,400
$l_a$	0,628	0,785	0,982	1,237	1,571	1,963	2,474	3,142	3,927	4,909	6,283
$\rho_i$	0,836	1,045	1,306	1,646	2,086	2,608	3,286	4,054	5,068	6,223	7,966
$h$	3,3	4,1	5,1	6,6	8,4	10,5	13,1	17,6	21,5	26,5	33,4
$h_1$	0,199	0,246	0,307	0,386	0,479	0,599	0,759	0,879	1,099	1,279	1,637
$s_1$	1,077	1,346	1,682	2,120	2,660	3,325	4,190	5,042	6,303	7,559	9,675
$h_2$	0,847	1,059	1,323	1,667	2,112	2,640	3,326	4,223	5,279	6,599	8,447
$s_2$	2,110	2,637	3,296	4,153	5,279	6,595	8,309	10,511	13,139	16,424	21,023
$h_3$	1,499	1,874	2,342	2,950	3,766	4,708	5,932	7,354	9,193	11,362	14,544
$s_3$	2,523	3,154	3,942	4,967	6,308	7,885	9,936	12,509	15,636	19,481	24,935
$h_4$	1,680	2,100	2,625	3,307	4,200	5,250	6,615	8,400	10,500	13,125	16,800
$s_4$	2,575	3,219	4,024	5,070	6,325	8,031	10,120	12,817	16,021	20,012	25,616
$h_5$	1,941	2,426	3,033	3,821	4,813	6,017	7,581	9,741	12,177	15,269	19,544
$s_5$	2,651	3,312	4,141	5,217	6,590	8,238	10,379	13,213	16,516	20,659	26,443
$h_6$	2,513	3,141	3,927	4,947	6,288	7,860	9,904	12,577	15,721	19,651	25,153
$s_6$	3,013	3,766	4,708	5,932	7,510	9,388	11,829	15,022	18,777	23,427	30,042
$h_7$	3,120	3,900	4,875	6,142	7,800	9,750	12,285	15,600	19,500	24,375	31,200
$s_7$	3,972	4,964	6,205	7,818	9,980	12,476	15,720	19,962	24,952	31,190	39,923

цепления изготовляют по ГОСТ 16771—71 классов точности А и В. Основные размеры фрез (рис. 300) представлены в табл. 31. Размеры профиля зубьев фрез в нормальном сечении приведены в табл. 32.

### § 3. Червячные фрезы для обработки червячных колес

У червячных фрез для обработки цилиндрических колес габаритные размеры фрезы выбирают из условий точности профиля, прочности фрезы и т. д. Таким образом, диаметр и угол наклона (подъема) витков фрезы не зависят от конструкции зубчатого колеса. Фреза для обработки червячных колес должна быть конической червяка, поэтому диаметр фрезы, шаг и угол наклона (подъема) витков должны соответствовать тем же элементам червяка. Для червячной передачи могут быть приняты все три типа червяков (архимедов, эвольвентный и с прямолинейным профилем в нормальном сечении). Выбор типа червячной фрезы зависит от типа червяка, принятого в червячной передаче.

Различают два способа обработки червячных колес — фрезерование с радиальной (рис. 301, а) и тангенциальной подачами (рис. 301, б). В первом случае фреза углубляется в заготовку в радиальном направлении путем постепенного сближения осей детали и фрезы. Во втором случае расстояние  $A$  между осями червячного колеса и фрезы остается постоянным, а фреза имеет поступательное движение вдоль своей оси. Фрезы, предназначенные для тангенциальной подачи, снабжают заборным конусом. Второй способ фрезерования является более точным, поэтому первый способ (радиальной подачи) применяется только в тех случаях, когда на станке нельзя сообщить фрезе тангенциальную подачу.

Фрезы для червячных колес выполняют как насадными, так и хвостовыми (это зависит от диаметра и модуля червяка). Хвостовые фрезы применяются лишь в тех случаях, когда нельзя сделать отверстие во фрезе. Чистовые фрезы срезают тонкие стружки, образуя профиль червячного колеса. Такие фрезы применяют для окончательной обработки червячных колес, сцепляющихся с эвольвентным червяком (см. рис. 316, в).

Фреза, предназначенная для работы с тангенциальной подачей, изображена на рис. 302. На заборном конусе фрезы расположены зубья, имеющие затылование по конусу. Червячные однозубые фрезы-летучки (рис. 303) имеют один режущий зуб 1, выполненный по профилю рейки и вставленный в оправку 2. Фреза проста в изготовлении, но ма-

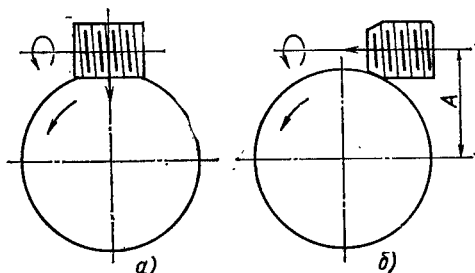
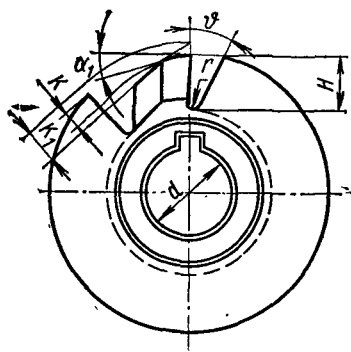


Рис. 301. Схемы нарезания червячных колес:

а — с радиальной подачей; б — с тангенциальной подачей



Профиль зуба в осевом сечении

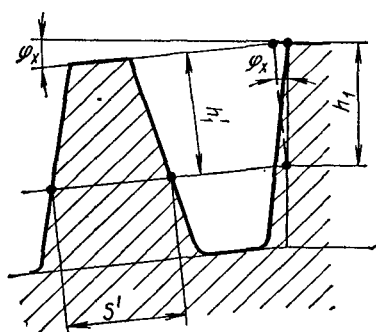
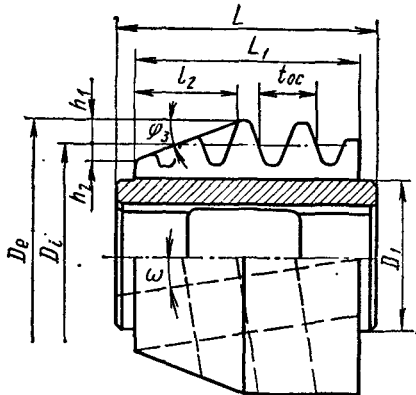


Рис. 302. Червячная архимедова фреза

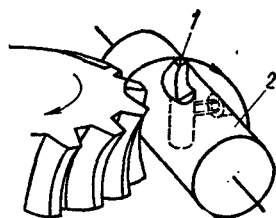


Рис. 303. Червячная однозубая фреза-летучка

лопроизводительна и поэтому применяется в том случае, когда требуется нарезать одно или несколько червячных колес, а обычную червячную фрезу изготовить сложно.

Широкое распространение получили червячные фрезы, в основу конструкции которых положена архимедова винтовая поверхность (вследствие простоты изготовления точного архимедова червяка). Исходными данными для проектирования этих фрез являются модуль  $m$ ; число заходов червяка  $n$ ; средний диаметр червяка  $D_{cp}$ ; угол зацепления  $\alpha_0$ ; максимальное число зубьев червячного колеса; высота ножки зуба червячного колеса  $h_2''$  и червяка  $h_1''$ .

Делительный диаметр  $D_t$  определяют следующим образом. Известен средний диаметр  $D_{cp}$  червяка. Фреза должна перетачиваться, поэтому диаметр  $D_t$  должен быть больше среднего диаметра  $D_{cp}$  червяка на величину запаса на переточки. Этот запас устанавливается до  $(0,1 \div 0,05)m$ , т. е.  $D_t = D_{cp} + (0,1 \div 0,05)m$  (чем больше модуль, тем меньше относительный запас).

Угол наклона канавок на расчетном диаметре определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{mn}{D_t},$$

где  $m$  — модуль;  $n$  — число заходов червяка.

Высота головки зуба  $h_1$  фрезы должна быть равна высоте  $h_2''$  ножки зуба червячного колеса. Высота ножки зуба  $h_2$  фрезы должна быть равна высоте  $h_1''$  ножки червяка. Полная высота профиля  $h = h_1 + h_2$ .

Осевой шаг  $t_{oc}$  должен соответствовать осевому шагу червяка:

$$t_{oc} = \pi m.$$

Если червяк многозаходный, то осевой ход будет равен осевому шагу, умноженному на число заходов, т. е.

$$t = \pi mn = t_{oc} n.$$

Радиусы закругления головки  $r_1$  и ножки  $r_2$  зуба фрезы принимаются по профилю исходной рейки для червячной передачи (профиль исходной рейки должен быть задан при проектировании).

Наружный диаметр фрезы должен складываться из делительного диаметра и двух высот головки:

$$D_e = D_t + 2h_1.$$

Задний угол  $\alpha_1$  на вершине зубьев находим исходя из минимального угла  $\alpha_x$  в нормальном сечении:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{\operatorname{tg} \alpha_x}{\sin \alpha_0}.$$

Число междузубных канавок

$$z = \frac{2\pi}{\arccos\left(1 - \frac{4,4m}{D}\right)}.$$

После предварительного расчета следует вычертить зуб фрезы и убедиться в правильности принятого числа зубьев.

Шаг винтовых канавок  $S_k$  определяется так же, как у червячных фрез для цилиндрических колес:

$$S_k = \pi D_t \operatorname{ctg} \omega.$$

Углом  $\vartheta$  канавочной фрезы вначале задаются, а затем проверяют его пробным вычерчиванием впадин. Обычно угол  $\vartheta$  колеблется в пределах 22—30°.

Величина затылования

$$K = \frac{\pi D_e}{z} \operatorname{tg} \alpha_1,$$

где  $\alpha_1 = 8 \div 12^\circ$ .

Если профиль фрез шлифуется, то следует делать двойное затылование:  $K_1 = (1,2 \div 1,3)K$ .

## Глубина канавки

$$H = h + \frac{K + K_1}{2} + (0,5 + 1,0) \text{ мм.}$$

Радиус закругления  $r$  дна канавки фрезы задается из конструктивных соображений. Для расчетов

$$r = \frac{\pi(D_e - 2H)}{10z}.$$

Угол  $\varphi_x$  наклона верхних участков профиля к оси фрезы рассматриваем в осевом сечении. Прежде чем определить угол  $\varphi_x$ , рассмотрим, какие особенности вносит затылование в построение профиля зуба в осевом сечении.

Схема затылования боковых сторон профиля зубьев червячной фрезы приведена на рис. 304. Резец, начинающий затылование первого зуба в точке  $D_1$  при вращении фрезы и перемещении затыловочного суппорта, должен за один оборот фрезы занять положение, показанное штриховой линией. При этом точка  $D_1$  переместится в точку  $D_2$ . Скующая плоскость, проходящая через ось фрезы, показана на рис. 304, а. Так как каждый зуб фрезы должен быть затылован по архимедовой спирали, то благодаря наличию винтовых канавок с углом  $\omega$  точка  $D_2$  располагается ближе к оси фрезы, чем точка  $D_1$ . Следовательно, каждый зуб фрезы будет находиться в разных стадиях затылования, и в сечении осевой плоскости вершины зубьев будут наклонены под углом  $\varphi_x$  к оси фрезы.

Угол  $\varphi_x$  определим по формуле

$$\operatorname{tg} \varphi_x = \frac{Kz}{S_k}.$$

где  $S_k$  — шаг канавок фрезы;  $K$  — величина затылования фрезы;  $z$  — число зубьев фрезы.

Углы профиля  $\alpha_{\text{пр}}$  и  $\alpha_{\text{лев}}$  (с правой и левой стороны) определяются следующим образом. На рис. 304, б сплошными линиями показана сторона профиля червяка с углом  $\alpha_0$ . Когда площадки зубьев будут наклонены под углом  $\varphi_x$ , исчезнет и весь профиль. Точка  $A$  переместится в положение  $A'$ ; точка  $B$  — в положение  $B'$ , но осевой шаг  $t_{oc}$  как в первом, так и во втором случае останется постоянным.

Для правой стороны профиля

$$A'C = CO - A'O; \quad CO = \frac{t_{oc}}{2} \operatorname{ctg} \alpha_0;$$

$$A'O = \frac{t_{oc}}{2} \operatorname{tg} \varphi_x; \quad A'C = \frac{t_{oc}}{2} \operatorname{ctg} \alpha_{\text{пр}}.$$

Подставив найденные длины отрезков, находим

$$\frac{t_{oc}}{2} \operatorname{ctg} \alpha_{\text{пр}} = \frac{t_{oc}}{2} \operatorname{ctg} \alpha_0 - \frac{t_{oc}}{2} \operatorname{tg} \varphi_x.$$

После сокращения получим

$$\operatorname{ctg} \alpha_{\text{пр}} = \operatorname{ctg} \alpha_0 - \operatorname{tg} \varphi_x.$$

Для левой стороны профиля

$$\operatorname{ctg} \alpha_{\text{лев}} = \operatorname{ctg} \alpha_0 + \operatorname{tg} \varphi_x.$$

По этим формулам определяются углы  $\alpha_{\text{пр}}$  и  $\alpha_{\text{лев}}$ . Эти углы должны быть проставлены на чертеже осевого сечения затылованного зуба.

Высота головки зуба в осевом сечении

$$h'_1 = h_1 \cos \varphi_x.$$

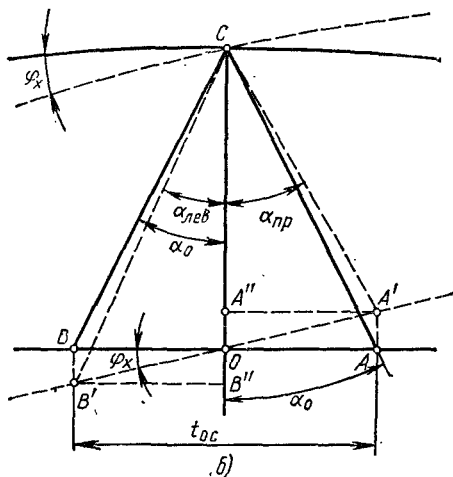
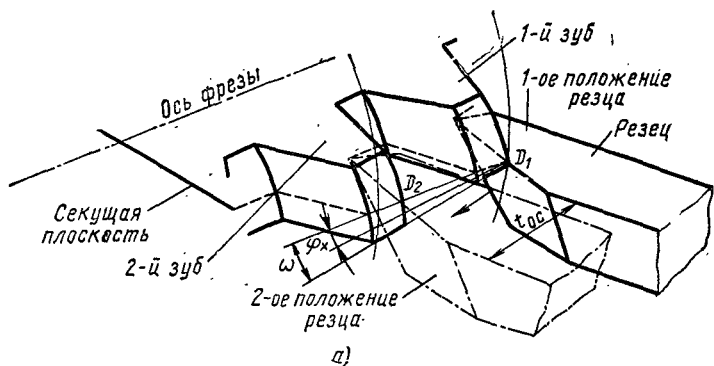


Рис. 304. Схема затылования боковых сторон профиля червячной фрезы

Толщина зуба на начальном диаметре

$$S' = \frac{t_{oc}}{2 \cos \varphi_x} = \frac{\pi m}{2 \cos \varphi_x}.$$

Угол  $\varphi_3$  заборного конуса фрезы находится по формуле

$$\cos \varphi_3 = \frac{\sqrt{m^2 + 4R^2} - m}{2R},$$

где  $m$  — модуль;  $R$  — наружный радиус червячного конуса.

Длина заборного конуса

$$l_2 = h_1 \operatorname{ctg} \varphi_3.$$

Длина рабочей части фрезы

$$L_1 = l_2 + h \operatorname{ctg} \alpha_0 + t_{oc}.$$

Остальные элементы фрезы (общая длина, тип крепления, номер конуса и т. п.) должны быть увязаны со шпинделем зубофрезерного станка, на котором производится работа. Рекомендуется при этом вычертить в масштабе два положения заготовки (в начале и в конце нарезания), вычертить фрезу и графически определить все остальные ее элементы.

#### § 4. Протягивание зубьев колес дисковыми протяжками

Основным технологическим процессом обработки цилиндрических зубчатых колес в настоящее время является нарезание зубьев червячной фрезой с последующим шевингованием. Однако производительность зубофрезерования в 3—4 раза меньше, чем производительность протягивания. Стремясь повысить производительность зубообработки применительно к массовому производству зубчатых колес, был разработан способ кругодиагонального протягивания зубьев цилиндрических колес.

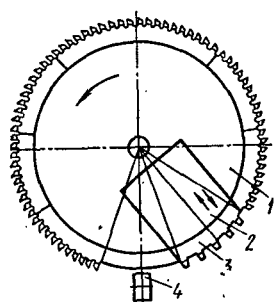


Рис. 305. Кругодиагональная протяжка

Кругодиагональная протяжка (рис. 305) имеет две группы режущих зубьев: первая группа в виде сегментов расположена на диске 1 и предназначена для чернового нарезания зубьев по методу кругового протягивания; вторая группа в виде сегмента 3, закрепленного на ползуне 2, предназначена для чистового нарезания зубьев по методу кругодиагонального протягивания. Такой инструмент назван автором фрезопротяжкой.

При кругодиагональном протягивании нарезаемое колесо 4 неподвижно, а каждая точка зуба инструмента перемещается по прямой (или близкой к прямой) линии, параллельной оси нарезаемого колеса. Это движение получается в результате суммирования вращательного движения дисковой протяжки и поступательного перемещения ползуна 2. После обработки одной впадины зуба колеса (т. е. за один неполный оборот инструмента) заготовка поворачивается для обработки следующей впадины, для чего существует на инструменте участок, не занятый режущими зубьями. Производительность кругодиагональной протяжки в 5—6 раз выше, чем производительность зубофрезерования червячной фрезой.

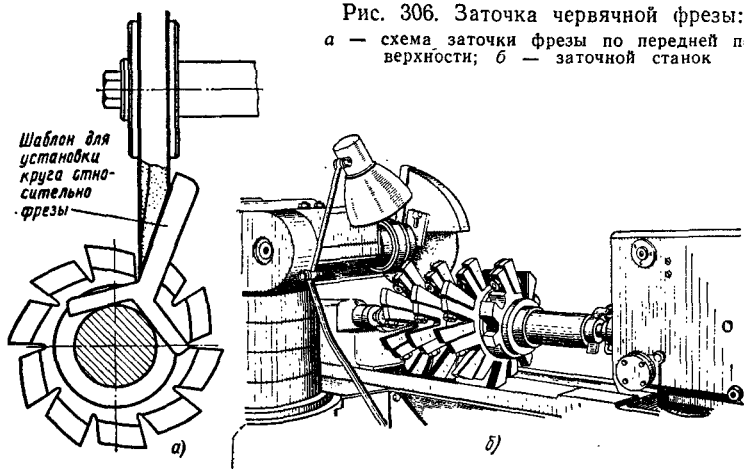
#### § 5. Заточка червячных зуборезных фрез

Червячные зуборезные фрезы (кроме сборных острозаточенных) изготавливают с затылованными зубьями, поэтому заточка их должна производиться по передней поверхности зуба. Заточка червячных фрез — ответственная операция и должна производиться способами, обеспечивающими получение заданной геометрии режущей части фрезы.

Принципиальная схема заточки показана на рис. 306, а. Заточка должна производиться конической стороной тарельчатого круга,



Рис. 306. Заточка червячной фрезы:  
 а — схема заточки фрезы по передней поверхности; б — заточной станок



так как при заточке плоской стороной круга получается «развал» канавки. Если форма круга коническая, то касание круга передней винтовой поверхности происходит по линии и канавка фрезы получается по винтовой поверхности без «развала». Поскольку передняя поверхность зуба фрезы является винтовой с определенным шагом  $S_K$ , то при заточке должно быть обеспечено относительное перемещение круга по этой винтовой поверхности с тем же шагом  $S_K$ .

## § 6. Долбяки

Долбяки предназначены для обработки прямозубых колес, а также косозубых и шевронных колес. По конструкции долбяки делятся на дисковые (рис. 307, а); хвостовые (рис. 307, б); чашечные (рис. 307, в); втулочные (рис. 307, г); сборные с привернутыми зубьями (рис. 307, д) и комбинированные.

Дисковый долбяк для обработки прямозубых колес приведен на рис. 308. Долбяк имеет внешнюю 1 и внутреннюю 2 опорные поверхности, переднюю поверхность 3, скос или фаску 4, режущую часть с зубьями 5, отверстие 6 для крепления долбяка, хвостовик (только у хвостового долбяка), крепежную резьбу (только у втулочного долбяка), шейку (только у хвостовых и втулочных долбяков). К элементам долбяка, которые определяются расчетом, относятся: модуль  $m$ ; угол зацепления  $\alpha_d$  (на делительной окружности долбяка); число зубьев долбяка  $z$ ; расстояние  $a$  до расчетного сечения; задний угол  $\alpha_b$  на вершинах зубьев; диаметр  $d$  отверстия; ширина  $b$  ступицы; передний угол  $\gamma$ .

Долбяк представляет собой зубчатое колесо, но в отличие от последнего он имеет задний угол  $\alpha_b$ , и поэтому диаметры долбяка в сечениях на различном расстоянии от торца различны. В расчетном (теоретическом) сечении II—II:  $D_t$  — диаметр делительной окружности;  $D_e$  — диаметр окружности выступов;  $D_i$  — диаметр окружности впадин;  $S_d$  — толщина зуба по дуге делительной окруж-



ности. Размеры нового долбяка в сечении  $I—I$  обозначаются так же, но с добавлением штриха; например, диаметр окружности выступов обозначается  $D'_e$  и т. д.

В любом сечении профиль зуба эвольвентного долбяка должен быть очерчен по эвольвенте. Для расчета долбяка принимается определенное сечение  $II—II$ , отстоящее от торца на расстоянии  $a$ . В этом сечении элементы долбяка соответствуют элементам зуба колеса. Но долбяк по мере затупления его кромок необходимо перетачивать по передней поверхности, а эвольвентный профиль не должен изменяться в любом его сечении. Неизменность эвольвентного профиля долбяка достигается, когда боковые поверхности зубьев долбяка будут представлять собой винтовые эвольвентные поверхности. Если в сечении  $II—II$  долбяк соответствует колесу и эвольвента профиля зуба его образована от определенной основной окружности  $D_0$ , то переточенный долбяк в сечении  $III—III$  должен также иметь эвольвентный профиль зуба, причем во избежание искажений эвольвента должна быть образована от той же основной окружности  $D_0$ . Чтобы выдержать это условие, зуб в сечении  $III—III$  должен быть тоньше зуба в сечении  $II—II$ .

В сечении  $II—II$  шаг по делительной окружности долбяка равен шагу обрабатываемого зубчатого колеса, т. е.  $t = \pi m$ . Диаметр основной окружности эвольвенты

$$D_0 = D_t \cos \alpha_d,$$

где  $D_t$  — диаметр начальной (делительной) окружности долбяка;  $\alpha_d$  — угол зацепления долбяка (равен углу зацепления колеса).

Толщина зуба  $S_d$ , измеренная по дуге делительной окружности, в сечении  $II—II$  будет такая же, как и у зубчатого колеса:

$$S_d = \frac{t}{2} = \frac{\pi m}{2}.$$

Сечение  $I—I$  отстоит от сечения  $II—II$  на величину  $a$ , и благодаря наличию заднего угла  $\alpha_b$  долбяк приобретает коническую форму. Это равносильно тому, что в сечении  $I—I$  исходный контур образующей рейки смещен на величину  $x$ , т. е. в сечении  $I—I$  колесо будет скорректированным.

Величина смещения

$$x = \xi_n m.$$

Если построить прямоугольный треугольник  $ABC$  (см. рис. 308), в котором гипотенуза  $BC$  параллельна задней поверхности долбяка, катет  $AB = x$ , а катет  $AC = a$ , то можно определить (пренебрегая при этом наличием угла  $\gamma = 5^\circ$ ) величину

$$a = \frac{x}{\operatorname{tg} \alpha_b} = \frac{\xi_n m}{\operatorname{tg} \alpha_b}.$$

На рис. 308 показана развертка сечения зуба долбяка по делительному цилиндру. Определим толщину  $S'_d$  долбяка по дуге дели-

тельной окружности, измеренную в плоскости передней поверхности (сечение I—I):

$$S'_d = S_d + 2a \operatorname{tg} \alpha_x,$$

но

$$S_d = \frac{\pi m}{2}; \quad a = \frac{\xi_n m}{\operatorname{tg} \alpha_b}.$$

Угол  $\alpha_x$  бокового зазора можно определить, зная задний угол  $\alpha_b$  по вершинам зубьев долбяка и угол зацепления  $\alpha_0$ , по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_x = \operatorname{tg} \alpha_b \operatorname{tg} \alpha_0.$$

После подстановки получим

$$S'_d = \frac{\pi m}{2} + \frac{2\xi_n m}{\operatorname{tg} \alpha_b} \operatorname{tg} \alpha_b \operatorname{tg} \alpha_0,$$

или, окончательно,

$$S'_d = \frac{\pi m}{2} + \frac{2\xi_n m}{\operatorname{tg} \alpha_b} \operatorname{tg} \alpha_b \operatorname{tg} \alpha_0,$$

где  $\xi_n$  — коэффициент смещения;  $m$  — модуль.

Диаметр делительной окружности  $D_t$  долбяка необходимо делать возможно меньшим, так как чем меньше этот диаметр, тем меньше вылет режущих кромок относительно оси штосселя, тем более жестко и устойчиво будет закреплен долбяк.

Получили распространение чистовые зуборезные долбяки со следующими размерами делительного диаметра: 25, 38, 50, 75, 100, 125, 160 и 200 мм. Существуют долбяки и с большим делительным диаметром, но для применения таких долбяков необходимы крупные станки. Если, например, выбирается долбяк с номинальным делительным диаметром 75 мм и необходимо нарезать колесо с модулем, равным 2, то придется пересчитать делительный диаметр и принять долбяк с делительным диаметром, равным  $D_t = mz = 2 \cdot 38 = 76$  мм, и с числом зубьев, равным 38. Наметив делительный диаметр  $D_t$  долбяка, определим расстояние  $a$  от передней поверхности долбяка до исходного сечения. Поскольку долбяк можно рассматривать в исходном сечении как корригированное зубчатое колесо, то расстояние

$$a = \frac{\xi_n \operatorname{шах} m}{\operatorname{tg} \alpha_b},$$

где  $\alpha_b$  — задний угол на вершине долбяка; он принимается обычно  $6^\circ$  при  $20^\circ$ -ном зацеплении.

По исследованиям д-ра техн. наук В. М. Матюшина, задний угол  $\alpha_b$  следует увеличить до  $9^\circ$ , а передний угол  $\gamma$  увеличить до  $12$ — $17^\circ$ , тогда стойкость долбяков возрастает. Максимальный коэффициент смещения можно определить, зная минимально допустимую толщину  $S_e$  зуба долбяка на окружности выступов. Если толщина зуба на окружности выступов будет меньше допустимой величины, то долбяк быстро притупится, так как зуб будет слишком тонкий. Поэтому ста-

раются выбирать такой коэффициент смещения  $\xi_{и}$ , который позволяет получить еще достаточную толщину зуба  $S'_e$  на окружности выступов в сечении  $I-I$ .

По данным МИЗа, допустимые минимальные значения толщины зуба  $S'_e$  в зависимости от модуля  $m$  долбяка следующие:

$m$ в мм	$S'_e$ в мм
1—1,5	$(0,40 \pm 0,41)m$
1,75—2,75	$(0,40 \pm 0,31)m$
3,00—4,0	$(0,30 \pm 0,25)m$
4,25—6,0	$(0,25 \pm 0,20)m$
6,5—8,0	$(0,20 \pm 0,10)m$

Толщина зуба по окружности выступов

$$S'_e = D_e \left( \frac{S_d}{mz} + \frac{2\xi_{и} \operatorname{tg} \alpha_0}{z} + \operatorname{inv} \alpha_0 - \operatorname{inv} \alpha_e \right),$$

где  $\alpha_e$  — угол давления эвольвенты у вершины зуба.

Задавшись допустимой величиной толщины вершины зуба в сечении  $II-II$ , можно определить по приведенной выше формуле значение максимально допустимого коэффициента смещения  $\xi_{и \max}$ . Определив максимальный коэффициент смещения, можно определить расстояние  $a$ . Если смещение  $\xi_{и \max}$  очень большое, появляется опасность подрезания долбяком зубьев колеса. В зависимости от числа зубьев нарезаемого колеса подрезание происходит при различных значениях  $\xi_{и \max}$ . На рис. 309 приведены кривые, по которым можно определить, будет ли происходить подрезание при соответствующем коэффициенте  $\xi_{и \max}$  смещения исходного контура. Например, для числа зубьев долбяка  $z_{и} = 19$  и коэффициента смещения исходного контура  $\xi_{и \max} = 0,158$  находим  $z_{к} = 65$ . Это значение  $z_{к}$  будет максимальным числом зубьев колеса, которое еще может быть обработано данным долбяком. Если обрабатывать данным долбяком колесо с числом зубьев больше 65, то у колеса будет происходить подрезание.

Для вычерчивания долбяка необходимо определить еще ряд конструктивных элементов. К ним относятся диаметр  $d$  отверстия, глубина  $t$  выточки, общая толщина  $B$  долбяка. Эти элементы следует выбирать по ГОСТу. В рабочем чертеже долбяка, кроме

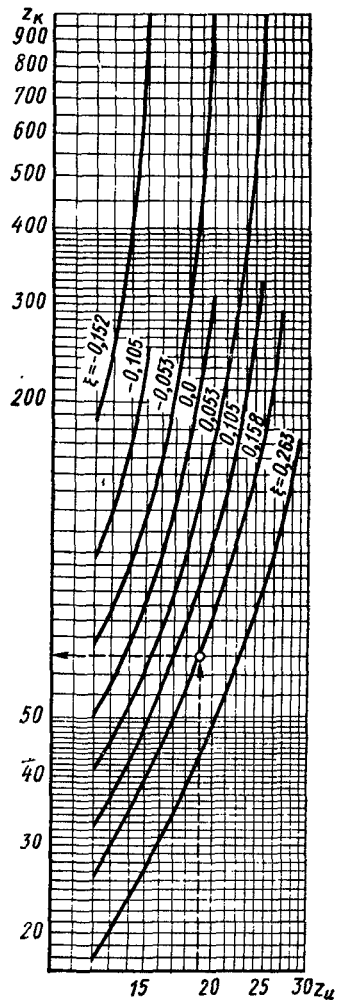


Рис. 309. Минимальное число зубьев колес, свободных от подрезания, в зависимости от  $\xi$

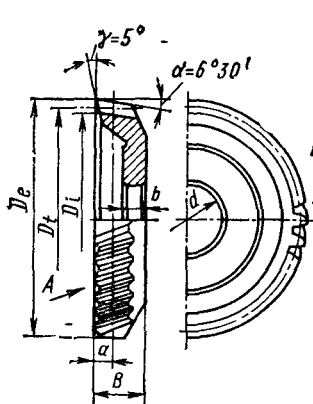


Рис. 310. Долбяк для косозубых колес

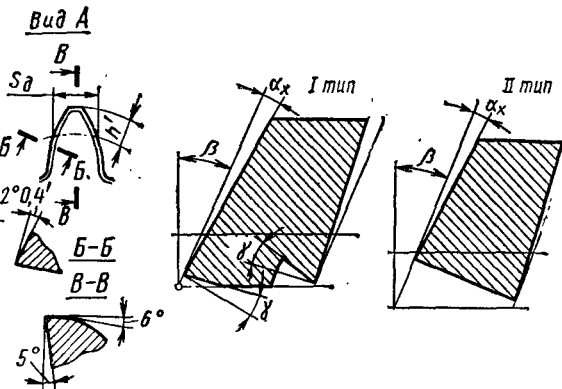


Рис. 311. Форма заточки долбяков для косозубых колес

рассчитанных элементов, должны быть приведены элементы, по которым контролируют долбяк. Толщина зуба долбяка в торцовом сечении по делительной окружности обозначена на рис. 308 через  $S'_d$ ; она определяется по формуле, приведенной на стр. 332. Эта толщина зуба долбяка должна быть проставлена в чертеже долбяка (для контроля зуба при изготовлении долбяка).

Диаметр окружности выступов (в сечении I—I)

$$D'_e = D_t + 2h' + 2C + 2x,$$

где  $h'$  — высота головки зуба колеса (в расчетном сечении);  $C$  — радиальный зазор (в расчетном сечении);  $x$  — смещение исходного контура.

Высота зуба (в сечении I—I)

$$h'_{\text{перед}} = \frac{D_e - D_f}{2}.$$

Для обработки косозубых колес применяют косозубые долбяки с углом наклона зубьев  $\beta = 15$  и  $23^\circ$ .

Долбяк для косозубых колес (рис. 310), аналогично долбяку для колес с прямыми зубьями, имеет передний и задний углы. Существует две конструкции долбяков для косозубых колес, которые отличаются формой зуба (рис. 311). У долбяков I типа для улучшения условий резания передняя поверхность затачивается с правой стороны и притупляется — с левой. Долбяк II типа затачивается в плоскости, нормальной винтовой линии производящей поверхности. Это нормальное сечение называется исходным нормальным сечением. Передняя поверхность зуба долбяка в данном случае затачивается отдельно у каждого зуба, и углы резания делаются на обеих сторо-

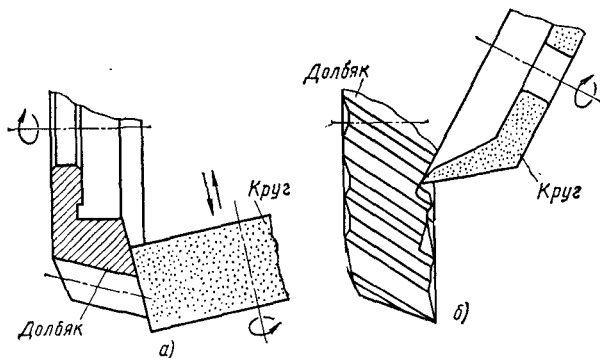


Рис. 312. Схема заточки дискового долбьяка по передней поверхности:

*a* — прямоугольного; *б* — косозубого

нах зуба одинаковые. Если колесо, для которого рассчитывается долбьяк, имеет определенный модуль  $m_n$  в нормальном сечении, то необходимо этот модуль пересчитать на модуль  $m_t$  в торцовом сечении:

$$m_t = \frac{m_n}{\cos \beta}.$$

После определения  $m_t$  можно рассчитать долбьяк (по торцовому модулю) по тем же формулам, которые были приведены для прямоугольного долбьяка.

Зуборезные долбьяки средних модулей с напаянными твердосплавными пластинками из сплавов ВК15, ВК12Та, ТТ7К12 или в виде зубчатого твердосплавного венца используются при нарезании колес из легированных сталей (12ХНЗА, 38ХМЮА и др.) при получистовой и чистой обработке. При этом достигается повышение производительности процесса зубодолбления в 3—4 раза по сравнению с долбьяками из стали Р18 за счет повышения скорости резания до 50 м/мин.

Долбьяк затачивают по передней поверхности. Схема установки долбьяка относительно шлифовального круга показана на рис. 312, *a*. Заточка производится на универсальном круглошлифовальном или на плоскошлифовальном станке с круглым патроном и горизонтальной осью вращения патрона.

Для получения качественной передней поверхности долбьяка шлифовальный круг должен, кроме вращения вокруг своей оси, иметь также возвратно-поступательное движение в направлении, показанном стрелками. Передний угол  $\gamma$  принимается равным  $5^\circ$  у чистовых и  $10^\circ$  у черновых долбьяков. Долбьяки для шевронных и косозубых колес затачиваются так, чтобы каждый зуб долбьяка имел одинаковый узел заострения на обеих сторонах, например, как показано на рис. 312, *б*.

## § 7. Резцы и резцовые головки для нарезания конических колес

Для обработки конических колес применяют зубострогальные резцы (для прямозубых конических колес) и резцовые головки (для конических колес с криволинейными зубьями).

Схема обработки прямозубого конического колеса строгальными резцами на специальном зубострогальном станке показана на рис. 313. Зуб нарезаемого колеса обрабатывается двумя резцами. Люлька, в которой помещаются резцы, представляет собой некоторую часть плоского (воображаемого) колеса, а попарно движущиеся резцы представляют собой как бы впадину зуба этого колеса. Резцы движутся возвратно-поступательно (по стрелке  $v$ ), и каждый из них обрабатывает одну сторону зуба колеса; движение резцов совершается попеременно. Если один из резцов движется по направлению к точке  $A$ , другой резец в это время движется в обратном направлении. Плоское колесо и обрабатываемая заготовка связаны между собой кинематически и обкатываются без скольжения по начальной плоскости и начальному конусу. В результате этого обкаточного движения прямолинейная кромка резца обрабатывает боковую поверхность зуба колеса.

Зубострогальный резец представлен на рис. 314. Этот резец снабжен отверстиями с резьбой для крепления его на держателе зубострогального станка. Рабочая часть резца представляет собой поверхность, срезанную под углом  $\alpha_0$ . При работе, для того чтобы создать задний угол, резец устанавливается на специальной откидной державке (см. рис. 313), которая для устранения трения откидыва-

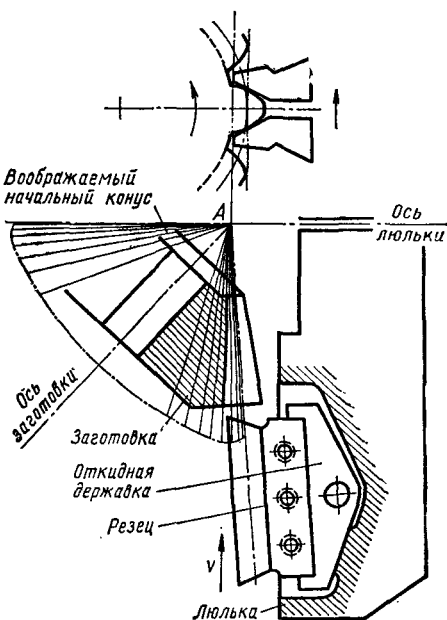


Рис. 313. Схема обработки прямозубых конических колес на зубострогальном станке

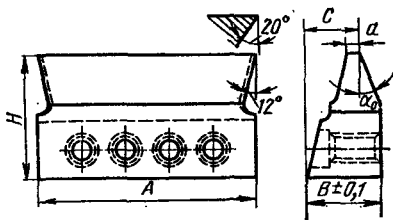


Рис. 314. Резец для зубострогального станка



ется при обратном ходе. Передний угол на резце получается благодаря заточке передней поверхности под углами 12 и 20°. В зависимости от размера зубострогального станка применяются резцы различных размеров.

Резцовые головки применяются для нарезания конических зубчатых колес с криволинейными зубьями на специальных зуборезных станках (рис. 315). Резцовая головка представляет собой отдельный криволинейный зуб плоского колеса. Это колесо обкатывается по начальному конусу нарезаемого колеса, в то же время резцовая головка вращается вокруг своей оси по стрелке  $u$  и резцы вырезают материал из впадин колеса. Резцовая головка выполняется в виде диска, в который вставлены по периферии отдельные резцы. Половина этих резцов обрабатывает профиль одной стороны зуба, другая половина — профиль другой стороны зуба колеса. Для чистового зубонарезания используют резцовые головки с твердосплавными резцами, что позволяет увеличить скорость резания до 110—170 м/мин.

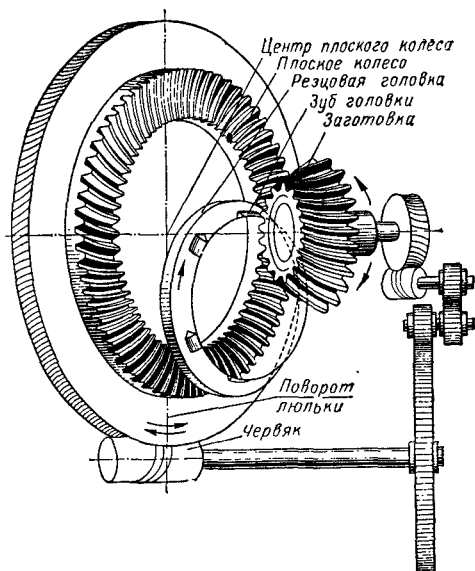


Рис. 315. Схема обработки конических колес с круговыми зубьями

## § 8. Шеверы

Шеверами называют инструменты, предназначенные для окончательной обработки боковых сторон зуба колес путем срезания тонких стружек. Этот процесс напоминает скобление или шабрение. Шевингование производится на специальных станках. Шевер представляет собой закаленное зубчатое колесо (дисковый шевер; рис. 316, а), или закаленную зубчатую рейку (шевер-рейка; рис. 316, б), или закаленный червяк с насечкой (червячный шевер; рис. 316, в).

Дисковый шевер, представляющий собой корригированное зубчатое колесо, зубья которого снабжены канавками, образующими режущие кромки, вращается вокруг оси  $OO$  (рис. 317), наклоненной к оси заготовки на некоторый угол  $\theta$ . При сближении осей шевера, имеющего косые зубья, и заготовки, имеющей прямые зубья, получается зубчатое зацепление шевера и заготовки. Если отметить точку на профиле зуба шевера, лежащую на оси  $OO$ , и соответствующую ей точку на профиле зуба колеса, то при повороте шевера и колеса на некоторый угол при взаимном зацеплении их точка, лежа-

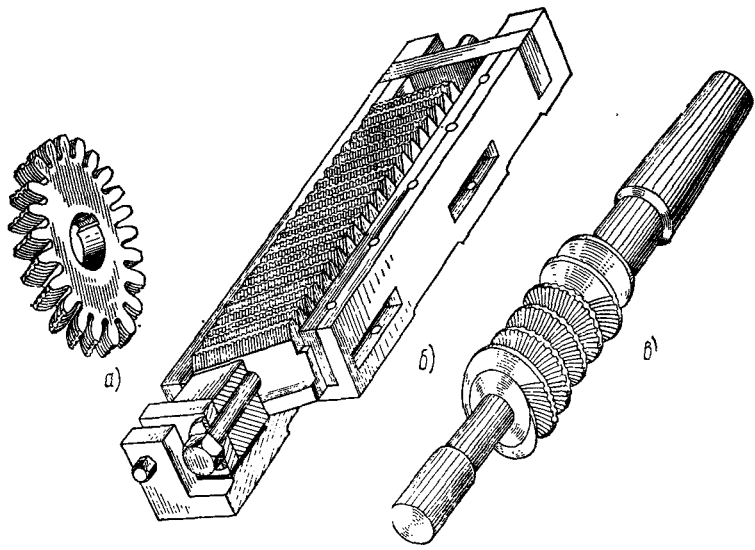


Рис. 316. Типы шевров:  
 а — дисковый; б — шевер-рейка; в — червячный шевер

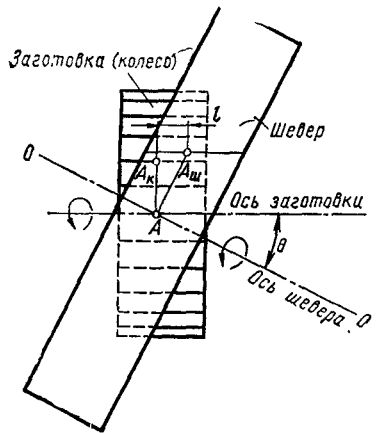


Рис. 317. Схема шевингования дисковым шевром

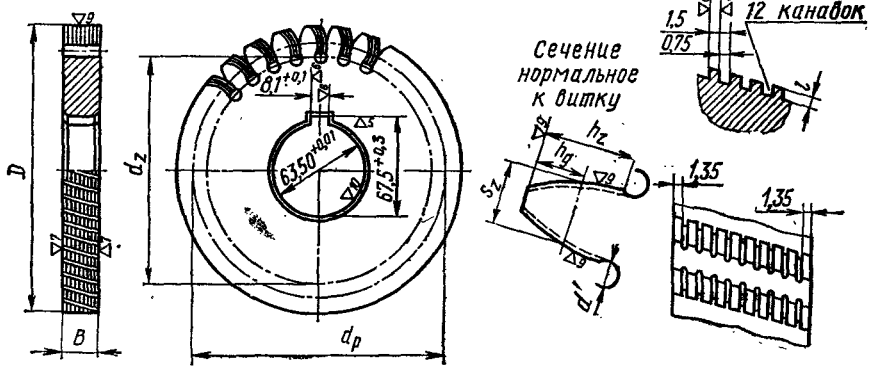


Рис. 318. Дисковый шевер для прямозубых колес

щая на профиле шевера, из положения  $A$  переместится в положение  $A_{ш}$ ; точка  $A$ , лежащая на профиле зуба колеса, переместится при этом в положение  $A_{к}$ . Точки  $A_{ш}$  и  $A_{к}$  разойдутся на некоторое расстояние  $l$ . Поскольку в процессе зацепления шевера и колеса будет происходить то же самое с каждой точкой профиля, то возникает некоторое скольжение профиля зуба шевера относительно профиля колеса. Скорость этого скольжения и является скоростью резания при шевинговании. Эта скорость переменна, и абсолютная величина ее зависит от угла скрещивания осей заготовки и шевера. Обычно этот угол скрещивания осей  $\theta$  выбирают в пределах  $10\text{—}15^\circ$ . Для того чтобы получить относительное скольжение при обработке прямозубых колес, необходимо делать шевер с косыми зубьями, а при обработке косозубых колес — шевер с прямыми зубьями. Дисковый шевер для нарезания прямозубых колес с углом зацепления  $20^\circ$  показан на рис. 318. Дисковые шеверы благодаря их небольшим размерам получили более широкое распространение, чем остальные виды шеверов. Шеверы изготавливаются для шевингования колес с модулем до 8 мм (и выше в отдельных случаях).

У шевера-рейки зацепление обеспечивается не между двумя колесами, а между рейкой и колесом. Однако шевер-рейка из-за сложности изготовления не находит применения. Червячный шевер, представляющий собой червяк с мелкими насеченными зубьями, работает как червячная фреза, с той лишь разницей, что стружка из-за большого числа часто расположенных зубьев может быть очень мелкой, и поэтому поверхность обрабатываемого червячного колеса получается менее шероховатой.

**РЕЗЬБОНАРЕЗАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ  
РЕЗЬБОНАРЕЗНОГО ИНСТРУМЕНТА**

**§ 1. Общие сведения**

Резьбу получают тремя основными методами: 1) нарезанием режущим инструментом, изготовленным из инструментальных, быстрорежущих сталей и твердых сплавов; к этим инструментам относятся резьбовые резцы и гребенки, метчики, резьбонарезные плашки, резьбонарезные самооткрывающиеся головки, резьбовые фрезы и обкаточные резцы; 2) шлифованием мелкозернистыми резьбошлифовальными кругами — однониточными и многониточными; 3) накатыванием (метод пластических деформаций) накатными роликами

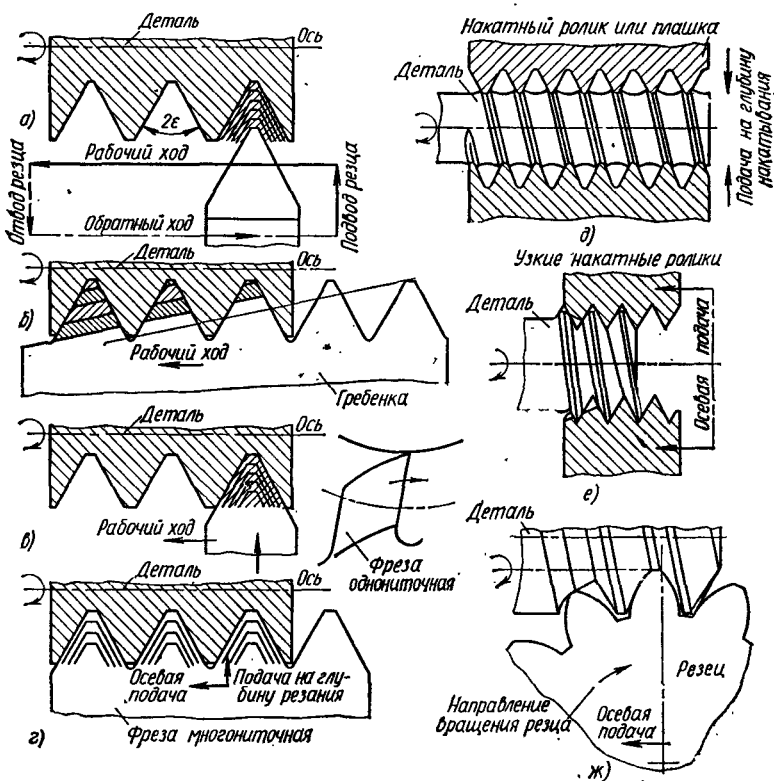


Рис. 319. Схема получения резьбы различными инструментами

ми, плоскими накатными плашками, а также головками с узкими накатными роликами (с продольным перемещением головки или заготовки).

Резьбу образуют путем: а) многопроходного нарезания односторонним инструментом (рис. 319, а) — резец стержневой, призматический или круглый, односторонний шлифовальный круг; б) однопроходного\* нарезания многониточным инструментом (рис. 319, б) — гребенка, круглая плашка, метчик, резьбонарезная головка, многониточный шлифовальный круг; в) однопроходного фрезерования вращающимся инструментом (рис. 319, в) — резьбовая односторонняя фреза, вихревая головка с твердосплавными резцами; г) фрезерования вращающейся многониточной фрезой, ширина которой больше длины нарезаемой резьбы (рис. 319, г); д) — накатывания резьбы широкими роликами или плашками (рис. 319, д); е) однопроходного накатывания узкими роликами с осевой подачей (рис. 319, е); ж) однопроходного обкатывания обкаточным резцом (рис. 319, ж).

Процесс получения резьб часто разделяется на черновые и чистовые переходы или операции. При черновом нарезании с большими сечениями среза происходит интенсивный нагрев заготовки. Поэтому целесообразно производить чистовое нарезание с меньшими сечениями среза для обеспечения точного шага и профиля резьбы. Особенно важно разделять нарезание на черновое и чистовое при обработке длинных резьб (например, ходовых винтов). Нарезание резьбы многониточным инструментом за один или два прохода во всех случаях должно приводить к повышению производительности по сравнению с нарезанием односторонним инструментом за несколько проходов. Однако этот вывод справедлив только при одинаковых скоростях резания.

Высокопроизводительное многопроходное нарезание резьбы осуществляется односторонними твердосплавными резцами, так как при нарезании твердосплавными резцами можно использовать высокие скорости резания (до 120—150 м/мин по сравнению с 5—8 м/мин при нарезании быстрорежущими гребенками).

## § 2. Резьбовые резцы и гребенки

Резьбовые резцы служат для нарезания наружной и внутренней резьбы. Они делятся на стержневые односторонние и гребенчатые; призматические односторонние и гребенчатые; круглые (дисковые), также односторонние и гребенчатые. На рис. 320 показан стержневой односторонний резец.

Представим себе резьбовой резец в работе при нарезании правой резьбы (рис. 321). Боковая поверхность резьбы является винтовой поверхностью с шагом  $S$ . Отметим на одной из режущих кромок точку  $A$  (на наружном диаметре резьбы). В нерабочем поло-

---

\* Один проход инструмента не всегда достаточен, но при многониточном инструменте требуется меньше проходов.

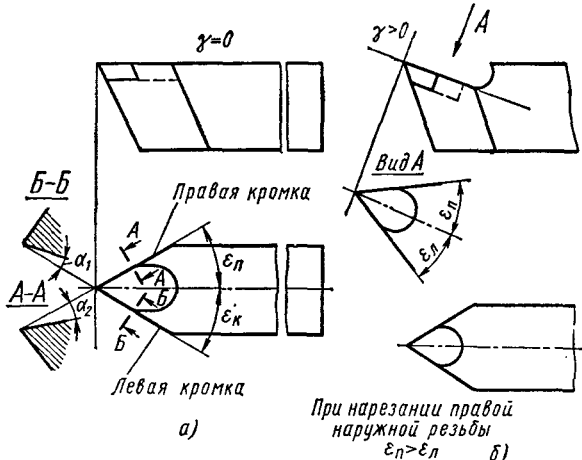


Рис. 320. Резьбовые стержневые однониточные резцы: а — с передним углом, равным нулю; б — с передним углом больше нуля

жени (см. рис. 320) задний угол  $\alpha_1$  резца в сечении, нормальном режущей кромке, одинаков для всех точек режущей кромки. На рис. 321 задний угол  $\alpha_{1A}$  в точке  $A$  показан в сечении  $AB$ , параллельном оси заготовки. В процессе работы (в том же сечении) действительный задний угол  $\alpha_d$  определится как разность углов  $\alpha_{1A} - \omega_A$  (угол  $\omega_A$  — угол подъема резьбы в точке  $A$ ).

Обычно угол подъема резьбы при расчетах условно принимают на среднем диаметре и обозначают его через  $\omega$ ; тогда

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{S}{\pi d_{\text{ср}}}$$

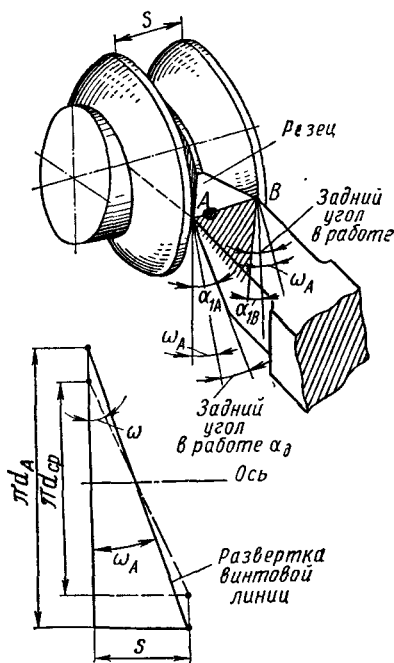


Рис. 321. Схемы нарезания резьбы однониточным резцом

Таким образом, при нарезании правой резьбы на левой режущей кромке резца действительный задний угол уменьшается на величину  $\omega_A$ , а на правой кромке (точка  $B$ ) увеличивается на ту же величину.

Задние углы режущих кромок резца в нормальном сечении в процессе резания могут быть подсчитаны по следующим формулам:

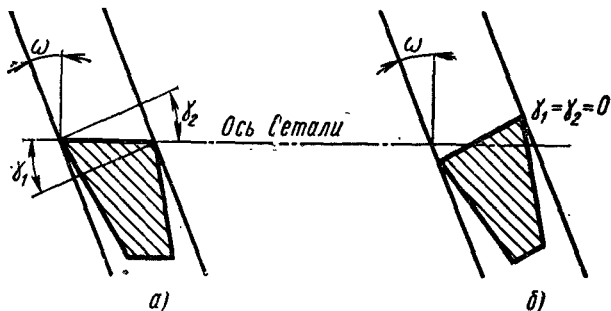


Рис. 322. Способы установки реза при нарезании трапецидальной резьбы:

*а* — передняя поверхность реза параллельна оси детали; *б* — передняя поверхность реза перпендикулярна витку

для левой режущей кромки (см. рис. 320) задний угол

$$\alpha_{д.л} = \alpha_1 - \mu;$$

для правой режущей кромки

$$\alpha_{д.п} = \alpha_2 + \mu.$$

Угол  $\mu$  в сечениях можно определить по формуле \*

$$\operatorname{tg} \mu = \operatorname{tg} \omega \cos \varepsilon,$$

где  $\varepsilon$  — половина угла профиля резьбы.

Для треугольных резьб с углом профиля  $2\varepsilon = 55 \div 60^\circ$  и углом подъема  $\omega = 3 \div 4^\circ$  влияние угла  $\mu$  не учитывают и делают резцы с одинаковыми задними углами на правой и левой сторонах. Для трапецидальной резьбы угол  $\mu$  получается уже большой и должен учитываться при назначении задних углов реза.

Передний угол  $\gamma$  резьбового реза в зависимости от материала заготовки может быть принят аналогично углу фасонных резцов. При нарезании трапецидальной резьбы установка передней поверхности реза параллельно оси (рис. 322, *а*) позволяет получить точный профиль резьбы винта. Угол профиля резьбы (если передний угол  $\gamma = 0$ ) получается таким же, как и угол профиля реза. Однако ухудшение условий резания на кромке с отрицательным передним углом  $\gamma_1$  (а при очень большом угле подъема  $\omega$  резьбы и ослабление кромки с углом  $\gamma_2$ ) заставляет применять этот способ только при чистовом нарезании с небольшими сечениями стружки.

Установка передней поверхности реза перпендикулярно витку резьбы (рис. 322, *б*) при черновом нарезании позволяет уравнивать условия резания на обеих сторонах профиля. Но для обеспечения точного прямолинейного профиля резьбы необходимо придать режущей кромке реза криволинейную форму.

Заслуживают внимания предложения новаторов по улучшению конструкций резьбовых резцов и методов резьбонарезания. Так, то-

\* Допускается, что угол  $\omega$  одинаков по всей длине режущей кромки.

кари-новаторы Ю. Диков и Н. Чикирев разработали метод скоростного нарезания трапецидальных резьб. Черновой резец (рис. 323) для нарезания трапецидальной резьбы имеет общий угол профиля  $50^\circ$  и уголки его закруглены; передний угол  $\gamma = 0$ , задний угол  $\alpha = 2 + 3^\circ$  (с целью повышения прочности резца). Чистовой резец имеет угол профиля, равный углу профиля окончательно нарезанной резьбы (в данном случае  $40^\circ$ ). При обработке заготовки из стали со скоростью резания 155—450 м/мин резцами такой конструкции, оснащенными твердым сплавом Т15К6, время на обработку по отдельным деталям сократилось с 3 ч до 3 мин.

Призматический резьбовой резец (рис. 324) при использовании закрепляют в специальной державке, часто — пружинной. Задний угол резца получается вследствие его наклона в державке. Передний угол  $\gamma$  принимают в зависимости от обрабатываемого материала. Призматические резцы можно применять только при небольших углах подъема резьбы, так как у этих резцов нельзя принимать разные задние углы на боковых сторонах профиля. Чаще используют круглые резьбовые резцы. Изготовление круглого резца проще призматического, профиль его может быть шлифован на резьбошлифовальном станке. Круглые резцы для наружной резьбы выполняют насадными. Резец устанавливается в державку; для предохранения от проворачивания он снабжен зубцами на одном или обоих торцах (аналогично круглым фасонным резцам).

Для получения заднего угла  $\alpha$  ( $10$ — $12^\circ$ ) центр резца должен быть расположен выше центра заготовки на величину

$$h_p = R \sin(\alpha + \gamma).$$

У чистовых резьбовых резцов передний угол  $\gamma = 0^\circ$  (с целью уменьшения искажения профиля резьбы). Однако круглый резец не обеспечивает получения точного прямолинейного профиля резьбы даже при переднем угле  $\gamma = 0^\circ$ . Для расчета профиля круглого резьбового резца можно использовать способ расчета фасонных круглых резцов по точкам.

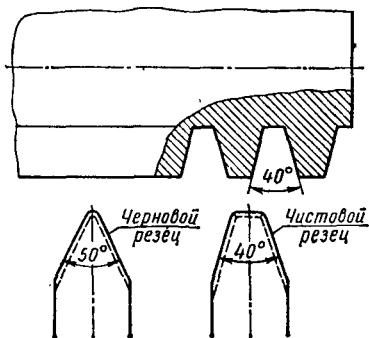


Рис. 323. Схема нарезания резьбы по методу Ю. Дикова и Н. Чикирева

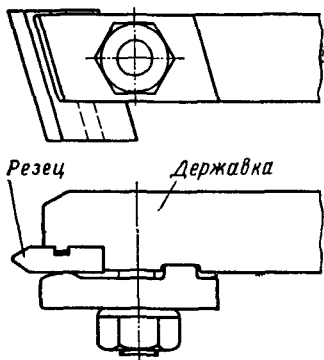


Рис. 324. Резьбовой призматический резец



Многониточчные резцы называют гребенками. Гребенки бывают плоские (рис. 325, а); призматические (рис. 325, б) и круглые с кольцевой или винтовой нарезкой (рис. 325, в). Режущая (заборная) часть гребенки срезается под углом  $\varphi$ , образуя заборный конус. Благодаря этому нагрузка распределяется между двумя или тремя зубьями гребенки, что позволяет значительно уменьшить число проходов при нарезании. Калибрующая часть (длиной 4—6 витков) предназначена для зачистки резьбы.

Стержневые и призматические гребенки из-за трудности изготовления не получили широкого распространения. Распространены круглые гребенки, которые имеют несколько кольцевых или винтовых витков. Гребенки с кольцевыми витками несложны в изготовлении, но они могут применяться только в тех случаях, когда резьба на детали имеет небольшой угол подъема  $\omega$ . Резьбовые круглые гребенки, у которых витки расположены по винтовой линии, могут применяться и при больших углах  $\omega$ .

При нарезании внутренней резьбы направление резьбы гребенки должно совпадать с направлением резьбы заготовки. При нарезании наружной резьбы направление резьбы гребенки должно быть обратным направлению резьбы заготовки. У гребенок, предназначенных для нарезания внутренней резьбы, диаметр должен быть меньше диаметра нарезаемой резьбы (иначе невозможно будет вывести гребенку из отверстия), а шаг резьбы одинаков; поэтому при нарезании внутренних резьб угол подъема резьбы гребенки всегда будет немного больше угла подъема нарезаемой резьбы.

При нарезании наружной резьбы для сохранения угла подъема следует делать резьбу у гребенки многозаходной. В этом случае диаметр гребенки должен быть больше диаметра резьбы в  $n$  раз, т. е.

$$D_{\text{ср}} = d_{\text{ср}} n,$$

где  $D_{\text{ср}}$  — средний диаметр гребенки;  $d_{\text{ср}}$  — средний диаметр резьбы заготовки;  $n$  — число заходов резьбы гребенки (целое число).

Назначение элементов режима резания при работе резьбовыми резцами сводится в основном к определению числа проходов, скорости резания (частоты вращения заготовки) и к подсчету машинного времени.

Машинное время при работе резьбовыми резцами

$$T_{\text{м}} = \frac{l+y}{nP} i \text{ мин.}$$

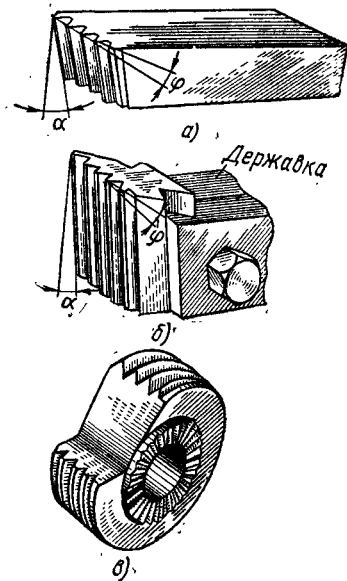


Рис. 325. Резьбовые гребенки: а — плоская (стержневая); б — призматическая; в — круглая

где  $l$  — длина нарезаемой резьбы в мм;  $y = (2 \div 3)P$  — величина врезания в мм;  $P$  — шаг нарезаемой резьбы в мм;  $n$  — частота вращения заготовки в об/мин;  $i$  — число проходов резца, необходимое для нарезания резьбы полной глубины.

### § 3. Метчики

Метчиком нарезают внутреннюю резьбу. Он представляет собой винт, снабженный продольными прямыми или винтовыми канавками, образующими режущие кромки. Метчик работает при двух одновременных движениях: вращательном (метчика или заготовки) и поступательном (вдоль оси метчика). Метчики можно подразделить на следующие основные типы: ручные, гаечные, машинные, плашечные, калибровочные, регулируемые и самооткрывающиеся.

Метчик показан на рис. 326. Рабочая часть, т. е. вся нарезанная часть метчика, делится на заборную и калибрующую. Заборной (или режущей) частью называется передняя конусная часть метчика, на долю которой приходится черновое нарезание резьбы. Калибрующая часть метчика служит для зачистки резьбы. Хвостовая часть метчика представляет собой стержень для закрепления метчика в патроне или воротке; квадрат служит для передачи крутящего момента.

К элементам, определяющим конструкцию метчика, относятся канавки для размещения стружки, режущие перья, сердцевина (внутренняя часть тела метчика). К геометрическим элементам относятся передний угол  $\gamma$ , задний угол  $\alpha$ , угол наклона конуса забор-

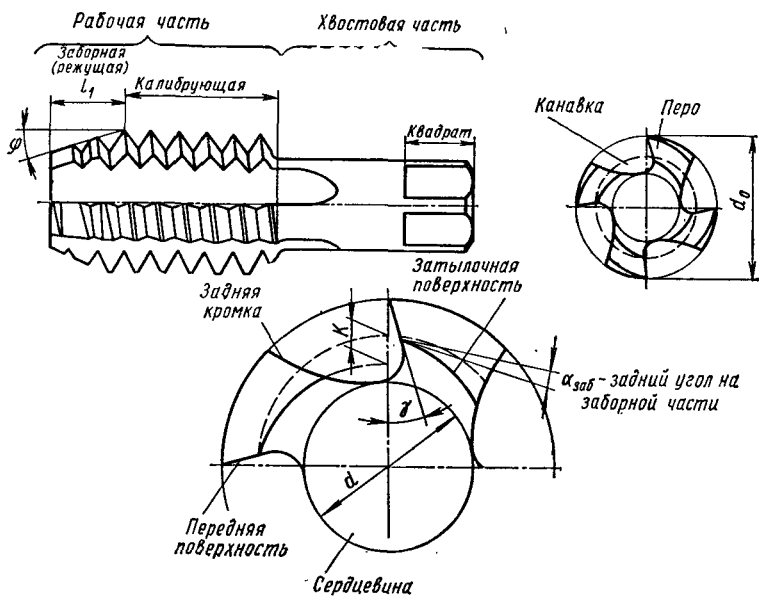
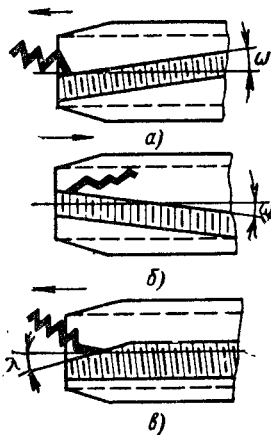


Рис. 326. Конструктивные элементы метчика

Рис. 327. Схема схода стружки в зависимости от направления канавок метчика:

*a* — винтовая канавка с левым направлением; *б* — винтовая канавка с правым направлением; *в* — прямая канавка с подточкой на режущей части



пой (или режущей) части  $\varphi$  и угол наклона винтовых канавок  $\omega$  (на рис. 326 канавки прямые, параллельные оси; угол  $\omega = 0$ ).

В зависимости от рода обрабатываемого материала передний угол  $\gamma = 5 \div 30^\circ$ . У метчиков, предназначенных для обработки стали средней твердости,  $\gamma = 10^\circ$ ; для обработки чугуна  $\gamma = 5^\circ$ . Задний угол на заборной части метчика получается затылованием резьбы только по вершинам. У ручных нешлифованных метчиков  $\alpha = 4 \div 8^\circ$ , а у гаечных метчиков со шлифованной резьбой  $\alpha = 8 \div 12^\circ$ .

На калибрующей части и боковых сторонах пера задний угол чаще равен нулю, и лишь у метчиков со шлифованной резьбой его получают затылованием на резьбошлифовальном станке; величина затылования незначительна (0,2—0,3 мм по ширине пера), однако и это приводит к резкому уменьшению трения и облегчению работы. Для уменьшения трения резьбовую часть метчика изготовляют с обратным конусом, т. е. наружный и внутренний диаметры резьбы уменьшаются к хвостовику метчика на 100 мм длины: на 0,05—0,10 мм для метчиков со шлифованным профилем, а также для метчиков, резьбы которых образованы накатыванием; на 0,08—0,12 мм для метчиков с нешлифованным профилем.

При обработке заготовок из особо вязких и прочных материалов (жаропрочных и нержавеющей сталей и сплавов, низкоуглеродистых вязких сталей и т. д.) необходимо стремиться уменьшить площадь соприкосновения резьбы метчика с заготовкой. Это достигается увеличением обратной конусности метчика до 0,2 мм, а также уменьшением ширины пера. Меньшее трение получается при обработке метчиком с прерывистой резьбой (см. рис. 331, б); у такого метчика на калибрующей части срезается зуб через один в шахматном порядке, а потому он сложнее в изготовлении.

Метчики изготовляют в основном с прямыми, а иногда с винтовыми канавками. Направлением винтовых канавок можно регулировать направление схода стружки. На рис. 327 показаны метчики с различным направлением винтовых канавок. При направлении канавок, как показано на рис. 327, *a*, стружка сходит вперед, что целесообразно при нарезании резьбы в сквозных отверстиях. При обратном направлении канавок (рис. 327, *б*) стружка сходит назад, что применимо при нарезании резьбы в глухих отверстиях. У метчика с прямой канавкой можно заставить стружку также идти вперед (в отверстие); это достигается заточкой скоса под углом  $\lambda$  (рис. 327, *в*).

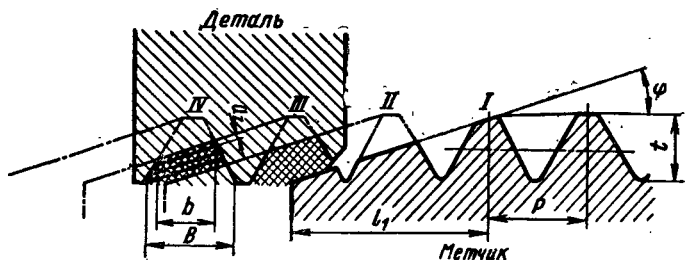


Рис. 328. Схема нарезания резьбы метчиком

При нарезании резьбы вручную вся работа распределяется между двумя или тремя метчиками (применяется комплект метчиков). Полный профиль резьбы имеет только чистовой метчик. Черновой и средний метчики имеют меньшие наружные диаметры. Различна и длина заборной части каждого метчика; у чернового метчика она наибольшая ( $4P$ ), у чистового — наименьшая ( $1,5 \div 2P$ ). Наиболее распространенным является такое распределение работы, при котором 50—60% приходится на черновой метчик, 28—30% на средний и 16—10% на чистовой. Материалом для изготовления метчиков служит быстрорежущая, инструментальная углеродистая сталь У10А.

Толщина среза  $a_z$ , приходящаяся на каждый зуб-резец, определяется исходя из глубины  $t$  профиля резьбы и из числа  $K$  зубьев-резов на заборной части метчика.

На рис. 328 перекрестной штриховкой показана часть впадины резьбы, которая обработана за один (первый) оборот метчика; толщина среза  $a_z$ , снимаемая каждым пером,

$$a_z = \frac{t}{zK}$$

В свою очередь,

$$K = \frac{l_{заб}}{P}$$

тогда

$$a_z = \frac{tP}{zl_{заб}} = \frac{P}{z} \operatorname{tg} \varphi$$

Отношение

$$\sigma = \frac{a_z}{P}$$

служит характеристикой конструкции метчика.

При шлифованной резьбе у гаечных метчиков  $\sigma = 0,012 \div 0,02$ ; у плашечных метчиков  $\sigma = 0,03 \div 0,04$ ; у машинно-ручных метчи-

\* Для простоты принято измерять  $a_z$  в направлении, перпендикулярном к оси метчика.

ков  $\sigma = 0,06 \div 0,1$ . Ширина среза  $b$  для остроугольной и трапециевидной резьбы — величина переменная. Площадь поперечного сечения среза, приходящаяся на каждый зуб,  $f = a_2 b$  мм.

Суммарная площадь поперечного сечения среза для треугольной резьбы

$$F = \frac{Bt}{2} \text{ мм}^2,$$

где  $B$  — ширина основания профиля резьбы;  $t$  — глубина профиля резьбы.

При большом количестве канавок метчик снимает тонкие стружки; при этом возрастают удельная сила резания и крутящий момент. Вместе с тем при увеличении количества канавок получается более чистая резьба. Обычно принимают числа канавок, указанные в табл. 33. Если метчиком нарезают резьбу в отверстиях, в котором

Таблица 33

Число канавок метчика

Метчик	Наружный диаметр $d_0$ метчика в мм				
	2—6	8—14	16—24	27—36	39—52
Ручной, гаечный, машинный: для метрической или дюймовой резьбы . . . . .	3	3	3—4	4	4—6
для трубной резьбы . . . . .	—	3—4	6	6	6
Калибровочный . . . . .	3	4	6	6	6—8

имеются выемки или пазы (примером может служить нарезание резьбы плашки плашечным метчиком), то число канавок надо брать не кратным числу этих пазов, так как иначе перья метчика могут заскакивать в пазы. Для производительной работы метчика необходимо, чтобы профиль канавок обеспечивал достаточное пространство для помещения стружки (не ослабляя прочности метчика) и чтобы при вывертывании метчика задняя поверхность зуба не портила резьбы.

На рис. 329 показаны типы профилей стружечных канавок. Тип  $A$  (рис. 329,  $a$ ) — канавка обработана полукруглой фрезой (профиль однорадиусный). При вывертывании метчика задняя сторона пера может срезать стружку и испортить резьбу. Профиль этого типа используется для ручных калибровочных метчиков. Внешний угол  $\eta$  задней кромки должен быть близок  $90^\circ$ . Профиль типа  $B$  (рис. 329,  $b$ ) можно рекомендовать для гаечных метчиков, которые не приходится вывинчивать из нарезанного отверстия. Лучшим следует считать профиль типа  $B$  (рис. 329,  $b$ ). Передняя поверхность прямолинейная; в достаточной степени обеспечивается постоянство переднего угла на калибрующей и на заборной частях. Общий угол профиля канавки принимается  $46—47^\circ$ . Ширина пера и диаметр сердцевинки принимаются в пределах (по данным завода «Фрезер»): для трехканавочных метчиков ширина пера  $b \approx 0,34d_0$ , диаметр

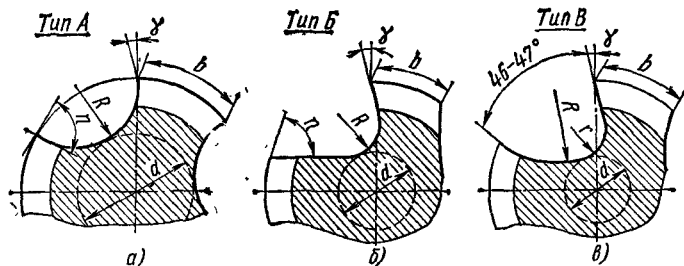


Рис. 329. Типы профилей стружечных канавок метчиков: а — однорядусный; б — с прямолинейной передней поверхностью и спилкой; в — с прямолинейной передней поверхностью и радиусной спилкой

сердцевины  $d \approx 0,44d_0$ ; для четырехканавочных метчиков  $b \approx \approx 0,28d_0$ ,  $d \approx 0,5d_0$  ( $d_0$  — наружный диаметр метчика). Этот профиль используется как для ручных, так и для гаечных метчиков.

По точности изготовления различают метчики: 1) машинно-ручные и гаечные с шлифованной резьбой (из стали Р18), повышенной С и обычной D точности; 2) ручные с нешлифованной резьбой (из стали У12) двух степеней точности: обычной Е и пониженной Н.

При нарезании метчиками точности С в условиях правильной эксплуатации можно получить резьбу 1-го класса точности, метчиками точности D и, частично, точности Е — резьбу 2-го класса и метчиками точности Н — резьбу 3-го класса:

Допуски на основные элементы резьбы метчиков диаметром 1—52 мм (для метрической резьбы) следующие. Для степени точности С допуск на половину угла профиля резьбы составляет от  $\pm 55$  до  $\pm 15$  мин (большее значение для меньших диаметров метчиков), допуск на шаг (на длине резьбы 25 мм) от  $\pm 8$  до  $\pm 10$  мкм. Для метчиков точности D допуск на половину угла профиля резьбы составляет от  $\pm 55$  до  $\pm 15$  мин, допуск на шаг (на длине резьбы 25 мм) от  $\pm 12$  до  $\pm 15$  мкм. Для метчиков точности Е допуск на половину угла профиля резьбы составляет от  $\pm 85$  до  $\pm 20$  мин, допуск на шаг (на длине резьбы 10 мм) от  $\pm 40$  до  $\pm 30$  мкм.

Наружный диаметр

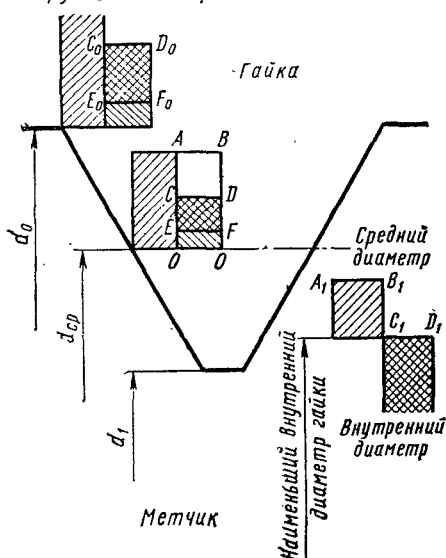


Рис. 330. Схема расположения полей допусков на гайку и метчик

Поля допусков на средний, наружный и внутренний диаметры метчика показаны на рис. 330. Погрешность среднего диаметра метчика определяется тремя элементами: погрешностью шага, угла профиля и среднего диаметра. Средний диаметр нарезанной резьбы всегда будет больше, чем средний диаметр метчика, так как диаметр отверстия увеличивается. Поэтому отклонение среднего диаметра устанавливается с учетом увеличения диаметра отверстия и запаса на износ. Верхнее отклонение CD среднего диаметра метчика лежит на величину этого увеличения. Нижнее

отклонение  $EF$  метчика должно быть выше нижнего отклонения  $OO$  гайки на величину запаса на износ. Поле допуска по среднему диаметру метчика устанавливается в зависимости от степени точности.

Верхнее отклонение наружного диаметра в гайке не устанавливается. В стандарте верхнее  $C_0D_0$  и нижнее  $E_0F_0$  отклонения наружного диаметра метчика приняты в таких пределах, чтобы ширина площадки по наружному диаметру метчика была равна примерно 60% ширины площадки теоретического профиля.

Допуски на внутренний диаметр метчика не устанавливаются; необходимо только, чтобы верхнее отклонение внутреннего диаметра  $C_1D_1$  было не выше наименьшего внутреннего диаметра гайки. Поля допуска гайки заштрихованы одинарной штриховкой, поля допуска метчика — перекрестной.

Для резьбы с шагом до 3 мм включительно *ручные* метчики изготавливают комплектом из 2 шт., для резьбы с шагом свыше 3 мм — комплектом из 3 шт.

У бесканавочных метчиков режущие перья образуются короткими канавками, прорезанными у переднего конца метчика (рис. 331, а). Эти метчики обеспечивают чистую резьбу, особенно при нарезании заготовок из мягких материалов (стали, цветных и легких металлов), и обеспечивают хороший отвод стружки в сквозном отверстии.

*Машинно-ручные* метчики отличаются от ручных формой хвостовой части, а также повышенными требованиями в отношении допусков на диаметр хвостовика, соосности его с резьбовой частью и стойкости рабочей части метчика. Машинно-ручные метчики изготавливают как одинарными, так и комплектными (из 2 шт.). Метчик имеет хвостовик с квадратом. Кольцевая выточка на хвостовике служит для предохранения метчика от выпадения из патрона. Метчики, предназначенные для нарезания резьбы в несквозных глухих отверстиях, имеют короткую заборную часть (три шага резьбы).

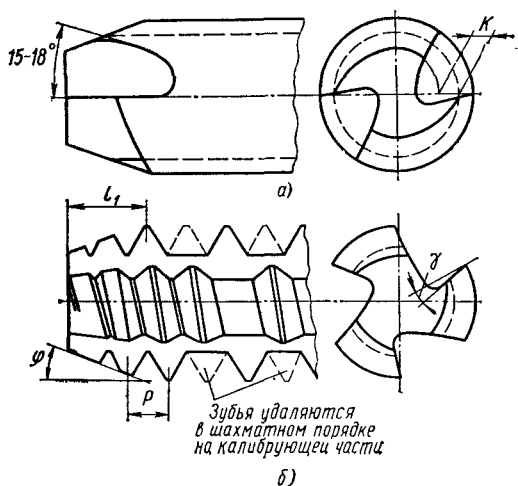


Рис. 331. Метчики со специальной геометрией:

а — бесканавочные; б — с расположением зубьев в шахматном порядке

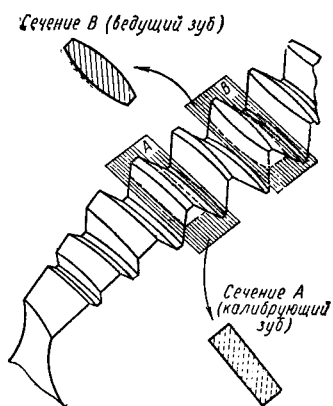


Рис. 332. Метчик с бочкообразными зубьями на калибрующей части

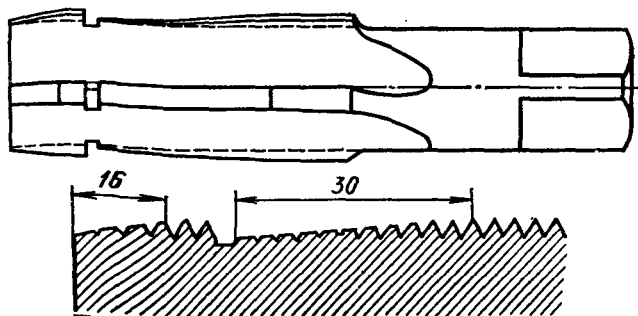


Рис. 333. Гаечный метчик с двойной (ступенчатой) заборной частью

Метчики, предназначенные для нарезания резьбы в сквозных отверстиях, делают с более длинной заборной частью (до шести шагов резьбы). При нарезании трапецидальной резьбы приходится снимать большое количество материала, поэтому для уменьшения нагрузки необходимо увеличивать число метчиков в комплекте до 5 шт. и более.

Калибровочные метчики снимают небольшой припуск, поэтому заборная часть метчика делается короткой (от одного до двух шагов резьбы); форма канавок обычно симметричная, угловая или полукруглая; число канавок больше, чем у обычного метчика. Длина рабочей части метчика составляет около 15—20 витков резьбы.

Исследования по нарезанию точных резьб машинными метчиками показали, что для увеличения надежности базирования зубьев метчика в витках резьбы необходимо исключить контакт острых кромок метчика (его калибрующей части) с обрабатываемой резьбой. Этим требованиям отвечает метчик, имеющий бочкообразные зубья на калибрующей части (рис. 332), в результате чего обеспечивается нарезание резьб 1-го класса и тугих.

Разработана конструкция крупных метчиков с двойной (ступенчатой) заборной частью (рис. 333). Такое выполнение заборной части метчика позволяет увеличить перепад их средних диаметров,

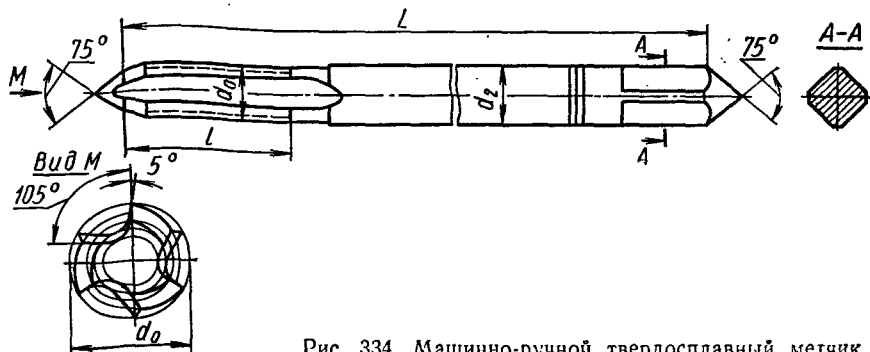
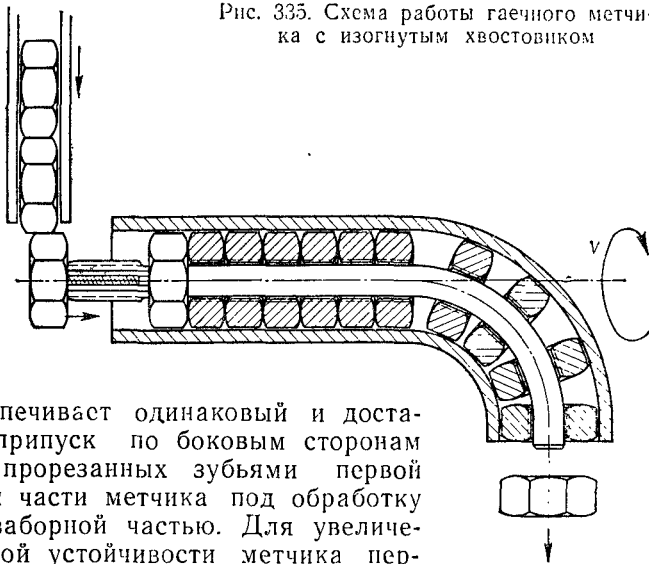


Рис. 334. Машинно-ручной твердосплавный метчик



Рис. 335. Схема работы гаечного метчика с изогнутым хвостовиком



что обеспечивает одинаковый и достаточный припуск по боковым сторонам впадин, прорезанных зубьями первой заборной части метчика под обработку второй заборной частью. Для увеличения осевой устойчивости метчика первая режущая часть не затылуется, а вторая затылуется по профилю резьбы.

Машинно-ручные метчики М2—М6 из твердого сплава (рис. 334) делаются цельными с вышлифованными канавками; М10—М16 — составными, с цельнотвердосплавной рабочей частью и стальным хвостовиком, соединенных пайкой; метчики свыше М16 изготавливают составными со стальным корпусом и пластинками из твердого сплава или сборными с механическим креплением пластинок из твердого сплава. Метчики предназначены для обработки заготовок из чугуна, закаленных сталей, высокопрочных материалов.

*Гаечные метчики* разделяют на простые с коротким и длинным и с изогнутым хвостовиком. Хвостовик гаечных метчиков желательно делать возможно длиннее, так как нарезанные метчиком гайки одна за другой нанизываются на хвостовике. Станок останавливают для снятия гаек только после заполнения ими всего хвостовика; чем длиннее хвостовик, тем реже придется останавливать станок. На специальных гайкорезных автоматах применяют гаечные метчики с изогнутым хвостовиком. При работе на станке такие метчики вращаются и непрерывно нарезают гайки, поступающие из магазина (рис. 335). Эти метчики не требуют периодического снятия гаек с хвостовика, так как последние продвигаются по хвостовику непрерывно. Для передачи крутящего момента хвостовик изогнут.

*Метчики для нарезания конических резьб*, ввертываясь в гайку, режут не только заборной, но и калибрующей частью, и поэтому всегда есть опасность защемления метчика, особенно в конце нарезания. Этот недостаток может быть полностью устранен только при сборном метчике, гребенки которого должны перемещаться при нарезании вдоль образующей конической резьбы. Однако невозможность изготовления сборного метчика для нарезания резьб диамет-

ром меньше 30 мм заставляет использовать цельные конические метчики. Они применяются как при ручной работе, так и на станке со специальным патроном, который при увеличении крутящего момента выше нормального автоматически выключается.

*Сборные метчики* делаются трех типов: 1) нерегулируемые, в которых из быстрорежущей стали выполняются только перья, закрепляющиеся в корпусе метчика; 2) регулируемые, в корпус которых вставлены передвижные плашки-перья, устанавливаемые на заданный размер резьбы; необходимость вывертывания метчика из отверстия при нарезании резьбы в глухих отверстиях — недостаток сборного нерегулируемого и регулируемого метчиков; этот недостаток устранен у самооткрывающихся метчиков; 3) самооткрывающиеся (рис. 336) для нарезания конической резьбы в муфтах диаметром от 1½ до 4". Метчики имеют патрон *A* и головку *B*. В патроне размещен механизм, служащий для открывания и закрывания метчика. Для каждого размера резьбы имеется сменная головка, в пазы которой вставляются плашки. Скользящая муфта 2 кольцом 3 упирается в торец нарезаемой заготовки. Корпус патрона 1, соединенный с головкой *B*, продолжает движение внутрь муфты. Поперечный клин 4, входящий в паз корпуса патрона, одним концом скользит по направляющей 5 и благодаря наклону этой направляющей перемещается в поперечном направлении; своим скосом он перемещает влево сердечник 6, соединенный винтом 7 с крестовиной 8, и медленно сводит плашки 9. Движение поперечного клина строго согласовано с конусностью нарезаемой резьбы. После нарезания сердечник 6 соскакивает с выступа поперечного клина 4 и под действием пружин 10 быстро перемещается влево вместе с крестовиной; плашки сразу сходятся к центру, и патрон может быть извлечен из нарезанного отверстия. После нарезания плашки вновь разводятся рукояткой 11. Для крупных муфт (диаметром от 4" и выше) применяются патроны, плашки которых выполнены в виде круглых торецков.

Для нарезания гаек с длинной резьбой при сравнительно малом ее диаметре, а также гаек с многозаходной трапецеидальной, ленточной или метрической резьбой токарем-новатором Б. Ф. Даниловым был разработан новый инструмент — метчик-протяжка. Метчик-протяжка (рис. 337) имеет хвостовик 1, расположенный впереди режущей части 2. Последняя выполнена в виде конической резьбы, т. е. каждый последующий зуб имеет определенный подъем, как у протяжки. В конце режущей части помещается калибрующая часть 3. На рабочей части прорезаны винтовые стружечные канавки, направление которых обратно направлению витков резьбы. Угол наклона винтовых канавок выбирают в соответствии с углом наклона резьбы и ее направления.

Для нарезания резьбы (рис. 338) расточенную по внутреннему диаметру заготовку 1 надевают на хвостовик метчика-протяжки 2. Хвостовик вставляют в отверстие державки, установленной и закрепленной в резцедержателе 3 токарного станка, и крепят клином 4. Перед этим отверстие державки устанавливают по линии

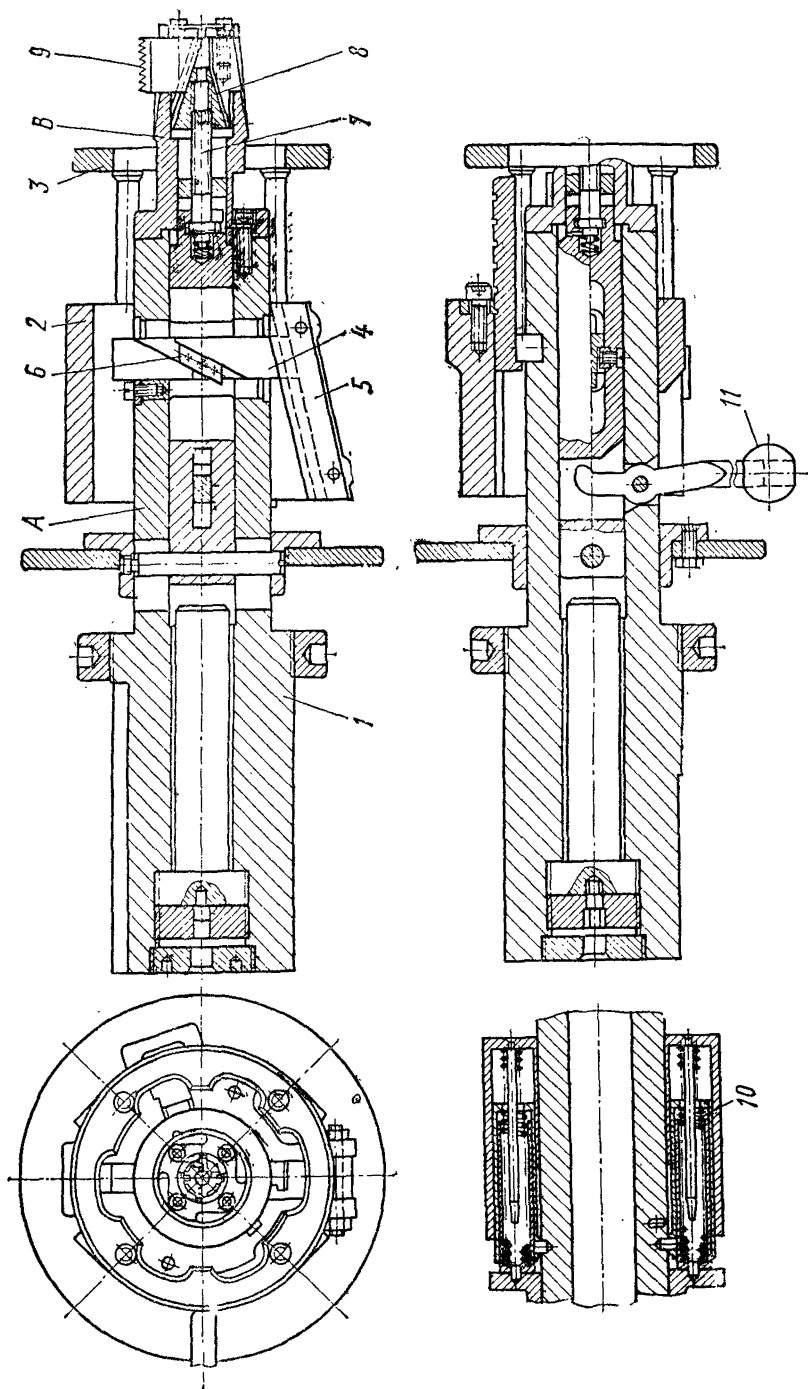


Рис. 336. Самооткрывающийся метчик для конических резьб

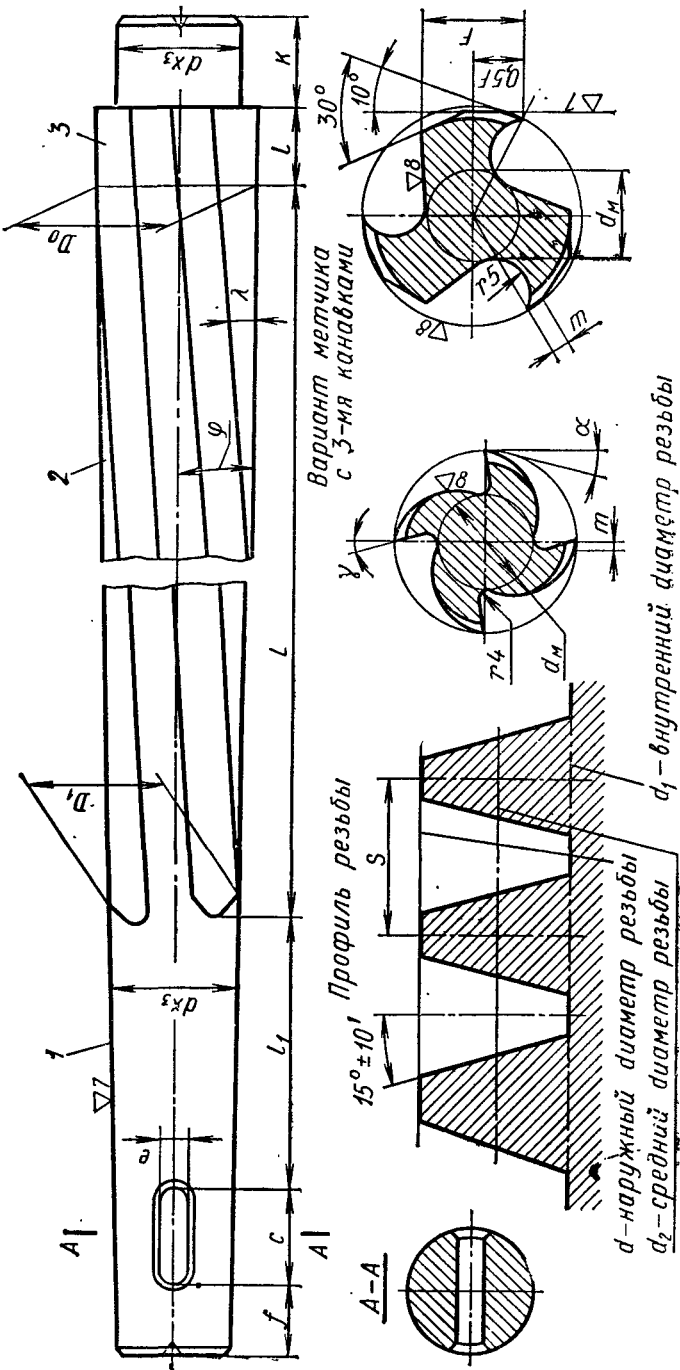


Рис. 337. Метчик-протяжка

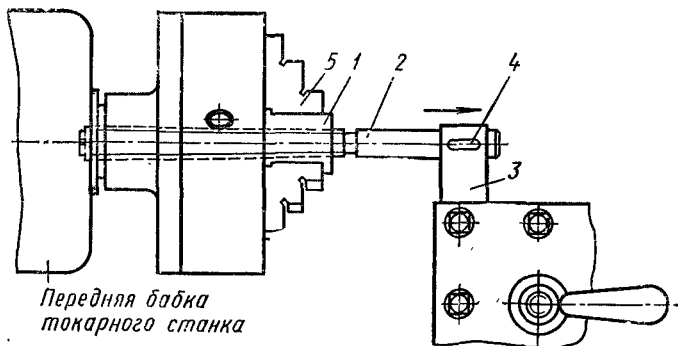


Рис. 338. Схема нарезания резьбы метчиком-протяжкой

центров станка. После закрепления заготовки в патроне станка 5 осуществляется нарезание резьбы при вращении детали и продольной подаче (слева направо) метчика-протяжки от ходового винта станка, равной шагу нарезаемой резьбы. Производительность при нарезании двух-трехзаходных гаек с трапецидальной резьбой увеличивается в 5—10 раз по сравнению с многопроходной обработкой резьбовым резцом. Метчики для холодного выдавливания внутренних резьб (рис. 339) имеют рабочую часть в виде граненого винта (в поперечном сечении профиль в виде криволинейного треугольника при  $z = 3$  или четырехугольника при  $z = 4$ ). Форма поперечного сечения выдавливающего метчика получается затылованием на резьбошлифовальном станке с помощью специально рассчитанного кулачка. Такой инструмент используется при образовании внутренних резьб в заготовках из цветных металлов и сплавов.

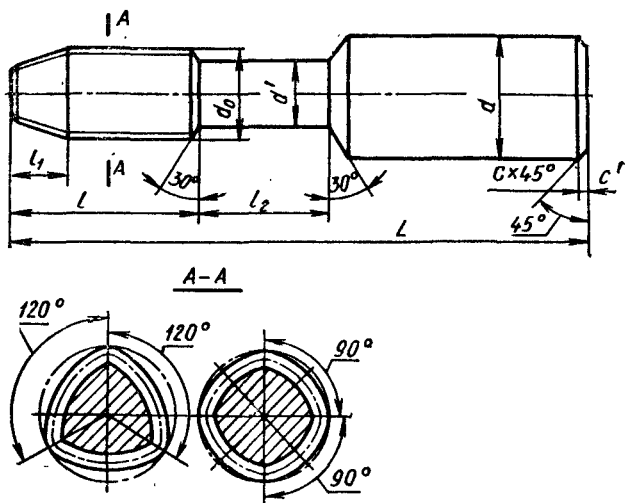


Рис. 339. Метчик для холодного выдавливания внутренней резьбы

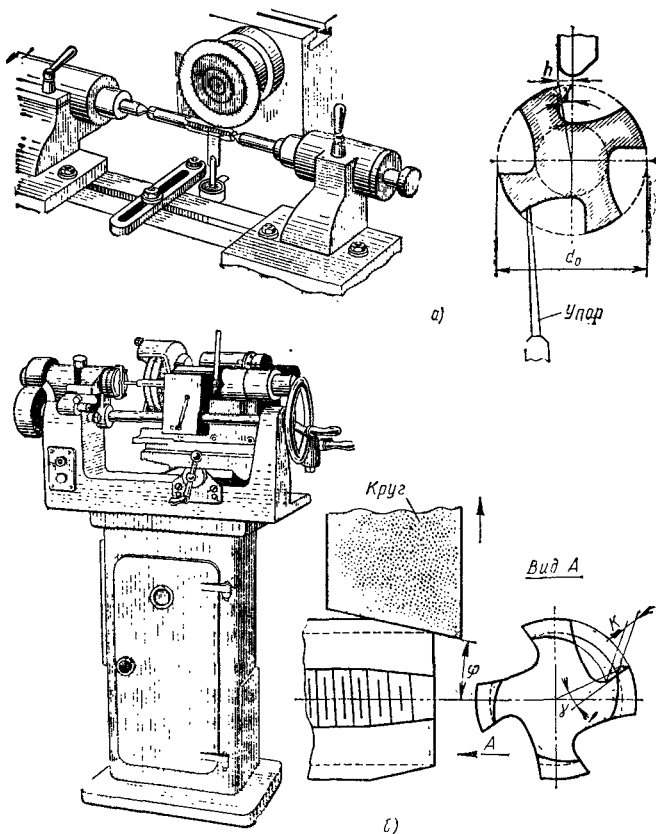


Рис. 340. Схема заточки метчика:

*a* — по передней поверхности; *б* — по задней поверхности

Для заточки по передней поверхности метчик закрепляют в центрах (рис. 340, *a*) и подводят к тарельчатому или дисковому кругу. Для обеспечения переднего угла  $\gamma$  необходимо расположить торцовую поверхность круга относительно центров со смещением, равным  $h \approx \frac{d_0}{2} \sin \gamma$ . Заточку по заборной части производят на специальных станках или приспособлениях.

Метчик устанавливают в центрах станка (рис. 340, *б*); квадрат метчика закрепляют в специальном поводковом патроне. Имеющийся на станке маховичок поворачивают от руки; он приводит во вращение шпиндель с закрепленным в центрах метчиком. При вращении шпинделя вращается кулачок, который приближает шпиндель вместе с задней бабкой к широкому шлифовальному кругу. Ширина круга больше длины заборной части метчика. Каждое перо метчика шлифуется по архимедовой спирали. Величина затылования  $K$  устанавливается путем изменения величины качания шпинделя метчи-

Рис. 341. Изменение момента при нарезании резьбы в сквозном отверстии:

*a* — длина заборной части больше глубины резьбы; *б* — длина заборной части меньше глубины резьбы (по Л. А. Рождественскому)

ка. Существуют приспособления для универсально-заточного или круглошлифовальных станков, на которых можно затачивать метчики по заборной части. У сборных метчиков заточка режущих плашек и гребенок производится в разобранном виде в специальных приспособлениях.

Момент  $M$  от сил сопротивления резанию (который должен быть преодолен крутящим моментом станка) по мере входа метчика в отверстие заготовки будет постепенно возрастать (линия  $AB$  на рис. 341) и, если длина отверстия больше длины заборной части метчика, останется затем величиной постоянной (линия  $BC$  на рис. 341, б). По мере выхода метчика из отверстия момент будет уменьшаться по кривой  $CD$ . Если же длина заборной части метчика  $l_1$  больше длины (глубины) отверстия ( $l_1 > l$ ), то после достижения наибольшего значения (точка  $B$ ) момент будет постепенно уменьшаться (линия  $BC$ ), а после подхода калибрующей части метчика к отверстию начнет уменьшаться резко (по кривой  $CD$ ). Из-за трения на калибрующей части метчика момент в точке  $D$  может не быть равным нулю.

Применение смазочно-охлаждающих жидкостей при резбонарезании облегчает процесс стружкообразования, уменьшает трение, износ метчика, повышает его стойкость и улучшает качество обработанной поверхности. При работе метчиком применяют в основном сульфозрезол и эмульсии (при нарезании резьбы в стальных заготовках), керосин (при нарезании резьбы в заготовках из серого чугуна) и эмульсии (при нарезании резьбы в заготовках из ковкого чугуна).

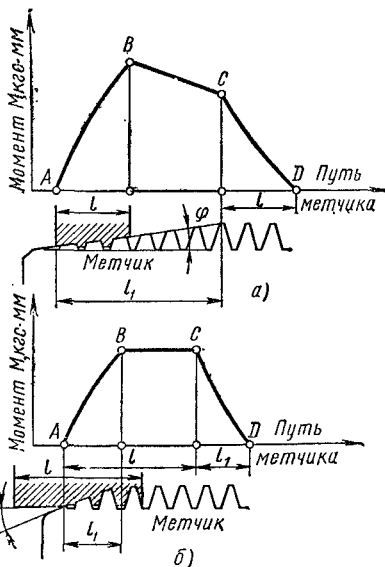
При работе гаечными метчиками (когда  $l_1 > l$ ) момент

$$M = C_M d_0^{1,25} P^{0,9} \operatorname{tg} \varphi^{0,65} z^{0,2} l^{0,85} \text{ кгс} \cdot \text{мм.}$$

При нарезании метрической резьбы в заготовках из углеродистой стали 10 и 20  $C_M = 31$ , из сталей 35 и 45  $C_M = 24$ . При нарезании метрической резьбы машинными метчиками ( $l_1 < l$ )

$$M = C_M \frac{d_0^{1,25} P^{1,75} z^{0,2}}{\operatorname{tg} \varphi^{0,2}} \text{ кгс} \cdot \text{мм.}$$

При нарезании резьбы в заготовках из сталей 10 и 20  $C_M = 20$ , из сталей 35 и 45  $C_M = 15$ .



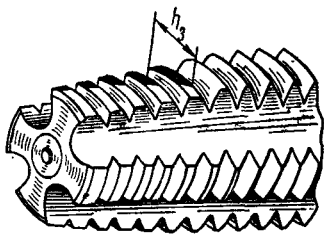


Рис. 342. Износ метчика

Формулы даны для метчиков с шлифованным профилем, передним углом  $\gamma = 10^\circ$ , при применении смазочно-охлаждающей жидкости (сульфофрезоло или эмульсии), для острого метчика. Для метчиков с нешлифованной резьбой моменты будут больше в 1,25 раза, а для затупленных метчиков — в 1,5 раза. Зная величину момента  $M$ , можно при данной частоте вращения определить и мощность, затрачиваемую на резание.

Износ метчиков протекает по задней поверхности зубьев заборной части (рис. 342). За критерий износа принимается технологический критерий. Для машинных метчиков при нарезании ими резьбы в стальных заготовках допустимая величина износа  $h_3 = 0,125 d_0$  мм; в чугунных заготовках  $h_3 = 0,07 d_0$  мм. Для гаечных метчиков допустимая величина износа  $h_3 = 0,05 d_0$  мм. Средний период стойкости для машинных метчиков 60—90 мин, для гаечных 120—150 мин.

Скорость резания, допускаемая режущими свойствами метчика из стали Р18, может быть подсчитана по приведенным ниже формулам. При нарезании метрической резьбы машинным метчиком в заготовке из серого чугуна с  $HB 180—200$ , с охлаждением керосином

$$v = \frac{6,2d_0^{1,2}}{T^{0,6}P^{0,9}} \text{ м/мин.}$$

Если серый чугун твердостью  $HB < 180$ , то необходимо ввести поправочный коэффициент 1,43, а если твердостью  $HB > 200$ , то поправочный коэффициент равен 0,7.

При нарезании метрической резьбы гаечным метчиком в заготовке из стали с  $\sigma_B = 50 \div 70$  кгс/мм<sup>2</sup> с охлаждением сульфозолом

$$v = \frac{53d_0^{1,2}}{T^{0,9}P^{0,5}} \text{ м/мин.}$$

Если  $\sigma_B = 40 \div 50$  кгс/мм<sup>2</sup>, то необходимо ввести поправочный коэффициент 0,7; для конструкционных легированных сталей твердостью  $HB < 200$  этот коэффициент равен 0,9, а твердостью  $HB 200—300$  коэффициент равен 0,8.

При нарезании метрической резьбы в заготовке из жаропрочной стали 12Х18Н9Т в сквозном отверстии

$$v = \frac{3,8d_0^{1,5}}{T^{0,9}};$$

в глухом отверстии

$$v = \frac{8d_0^{0,7}}{T^{0,5}}.$$



Практически для определения скорости резания при работе метчиками пользуются нормативами режимов резания.

Машинное время при работе метчиком:

а) при нарезании резьбы в сквозных отверстиях

$$T_m = \left( \frac{l+l_1+y}{nP} + \frac{l+l_1+y}{n_0P} \right) i \text{ мин};$$

б) при нарезании резьбы в глухих отверстиях

$$T_m = \left( \frac{l}{nP} + \frac{t}{n_0P} \right) i \text{ мин},$$

где  $l$  — длина (глубина) отверстия в мм;  $l_1$  — длина заборной части метчика в мм;  $y = (2 \div 3)P$  — величина перебегов в мм;  $n$  — частота вращения метчика (заготовки) во время рабочего хода в об/мин;  $P$  — шаг нарезаемой резьбы в мм;  $n_0$  — частота вращения метчика (заготовки) в об/мин при обратном ходе (вывертывании);  $i$  — число метчиков в комплекте.

#### § 4. Плашки

Плашка во внутренней полости имеет нарезку и при наворачивании на деталь нарезает наружную резьбу обычно за один проход. Существует несколько видов плашек: резьбонарезные цельные и разрезные, которые могут быть круглые, квадратные и шестигранные (рис. 343, а—в); трубчатые резьбонарезные (рис. 343, г); к слесарным клуппам. Работа плашки аналогична работе метчика,

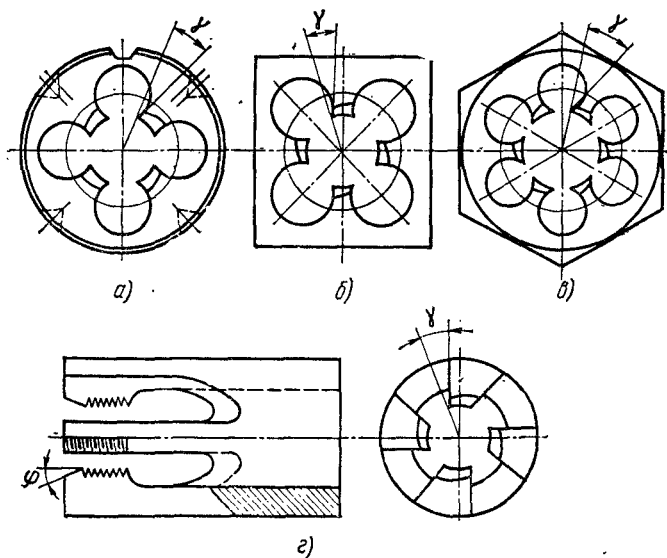


Рис. 343. Типы резьбонарезных плашек:  
а — круглая; б — квадратная; в — шестигранная; г —  
трубчатая



нормальном образующей заборного конуса, определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \gamma_N = \operatorname{tg} \gamma \cos \varphi.$$

В зависимости от материала заготовки можно рекомендовать следующие значения переднего угла: для твердых материалов  $\gamma = 10 \div 12^\circ$ ; для средней твердости  $\gamma = 15 \div 20^\circ$ ; для мягких  $\gamma = 20 \div 25^\circ$ . Для стандартных плашек принимается среднее значение переднего угла  $\gamma = 15 \div 20^\circ$ .

На рис. 345 показаны две формы передней поверхности: криволинейная форма передней поверхности плашки образована поверхностью просверленного стружечного отверстия. Для образования передней поверхности прямой формы после сверления стружечного отверстия необходимо удалить перемычку; это делается путем пропиловки стружечного отверстия напильником.

В точках, лежащих у внутреннего диаметра резьбы, передний угол  $\gamma = 15 \div 20^\circ$ ; в точках, расположенных на наружном диаметре резьбы, передний угол  $\gamma$  уменьшается, причем это уменьшение более резко у плашки с криволинейной передней поверхностью.

При определении числа стружечных отверстий следует помнить, что при определенном угле  $\varphi$  заборного конуса толщина стружки  $a_2$  зависит от числа перьев (аналогично метчику, см. рис. 328):

$$a_2 = \frac{P}{z} \operatorname{tg} \varphi.$$

Рекомендуется следующее число стружечных отверстий в зависимости от диаметра резьбы плашек.

Диаметр резьбы в мм . . . . .	1—5	5,5—16	18—27	30—33	36—48	52—61
Число отверстий . . . . .	3	4	5	6	7	8

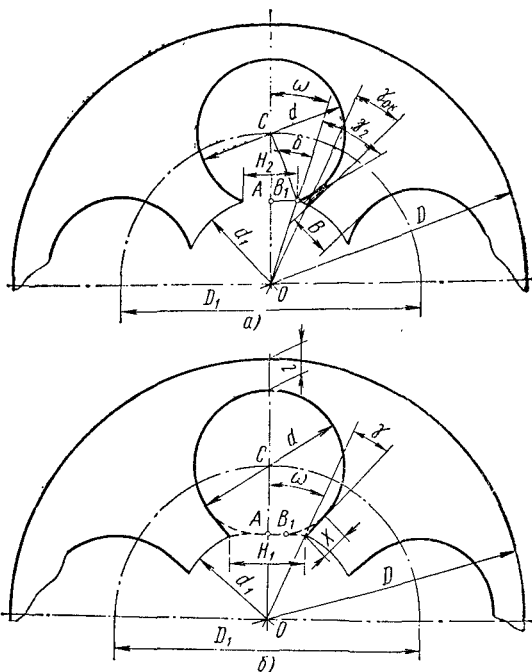


Рис. 345. Схема определения диаметров  $d$  и  $D_1$  у круглых плашек:

$a$  — с криволинейной передней поверхностью;  $b$  — с прямой передней поверхностью

Зная число стружечных отверстий, можно определить ширину пера  $B$  и ширину просвета  $H_1$ . Они связаны между собой, так как в сумме образуют зуб и канавку для выхода стружки. Практически установлено, что  $B = (0,8 \div 1,0)H_1$ .

В практике конструирования плашек чаще определяют диаметр стружечных отверстий и диаметр их расположения графическим путем. Плашку вычерчивают в масштабе и, задаваясь наружным диаметром  $D$ , углом  $\gamma$ , шириной просвета  $H_1$ , внутренним диаметром резьбы  $d_1$  и числом отверстий  $z$ , определяют  $d$  и  $D_1$ .

Для решения задачи необходимо выбрать форму передней поверхности. На рис. 345, а показана плашка с криволинейной формой передней поверхности. Из треугольника  $AOB_1$  определим угол  $\omega$ :

$$\sin \omega = \frac{2H_2}{2d_1} = \frac{H_2}{d_1}.$$

Угол  $ACB_1$  будет равен  $\delta - \omega$ . Из треугольника  $ACB_1$

$$\frac{d}{2} = \frac{H_2}{2\sin(\delta - \omega)}$$

или

$$d = \frac{H_2}{\sin(\delta - \omega)} = \frac{d_1 \sin \omega}{\sin(\delta - \omega)}.$$

В этой формуле угол  $\delta = 90 - \gamma_2$ . Из треугольника  $OCB_1$

$$\overline{OC} = \overline{AO} + \overline{CA} = \frac{D_1}{2};$$

$$\overline{AO} = \frac{d_1}{2} \cos \omega; \quad \overline{CA} = \frac{d}{2} \cos(\delta - \omega).$$

После подстановки значения  $d$  получим

$$\overline{CA} = \frac{d_1 \sin \omega}{2\sin(\delta - \omega)} \cos(\delta - \omega) = \frac{d_1 \sin \omega}{2} \operatorname{ctg}(\delta - \omega);$$

затем определим

$$\frac{D_1}{2} = \overline{AO} + \overline{CA} = \frac{d_1}{2} \cos \omega + \frac{d_1}{2} \sin \omega \operatorname{ctg}(\delta - \omega) = \frac{d_1}{2} [\cos \omega + \sin \omega \operatorname{ctg}(\delta - \omega)].$$

Полученные значения  $d$  и  $D_1$  следует проверить, подсчитав толщину перемычки  $e$ :

$$e = \frac{D}{2} - \frac{D_1}{2} - \frac{d}{2}.$$

Для сохранения прочности плашки необходимо, чтобы величина  $e$  была не меньше  $(0,15 \div 0,12)D$  для плашек с тремя-пятью стружечными отверстиями и не меньше  $(0,1 \div 0,09)D$  для плашек с шестью-восемью отверстиями.

Расчетную ширину просвета  $H_2$  и расчетный угол  $\gamma_2$  следует брать с учетом снимаемого (при заточке) слоя. Рекомендуется принимать этот слой от 0,2 (при диаметре резьбы до 6—8 мм) до 0,4 мм (при диаметре резьбы 10—20 мм); на рис. 345, а слой, подлежащий снятию, показан штриховкой.

У плашек с прямолинейной поверхностью расчет диаметров  $d$  и  $D_1$  (см. рис. 345, б) производится по формулам (по Г. И. Грановскому)

$$\frac{d}{2} = \frac{\frac{d_1}{2} \sin \omega + x \sin(\omega + \gamma)}{\cos(\omega + \gamma)};$$

$$\frac{D_1}{2} = \frac{d_1}{2} \cos \omega + x \cos(\omega + \gamma) + \frac{d}{2} \sin(\omega + \gamma),$$

где  $x = (1,2 \div 1,5)P$ .

Длина заборной части плашки (см. рис. 344)

$$l_1 = (t + a_1) \operatorname{ctg} \varphi,$$

где  $t$  — высота резьбы;  $a_1 = 0,15 \div 0,4$  мм.

У стандартных плашек угол  $\varphi = 20^\circ$ . Для нарезания резьбы в заготовке из твердого материала рекомендуется угол  $\varphi$  уменьшить до  $15^\circ$ .

Обычно у плашек заборный конус делается с обеих сторон; тогда общая высота плашки

$$H = 2l_1 + l_2.$$

Длина  $l_2$  калибрующей части обычно принимается от трех до шести шагов резьбы.

На заборной части плашки обязательно должен быть предусмотрен задний угол. Для этой цели заборная часть плашки затыляется на специальных станках. Задний угол  $\alpha$  плашки измеряется в плоскости, перпендикулярной к оси плашки; для расчетов принимают  $\alpha = 6^\circ$ .

Величина затылования (см. рис. 344)

$$K = \frac{\pi d_1}{z} \operatorname{tg} \alpha.$$

На сход стружки влияет угол  $\lambda$  наклона режущей кромки относительно оси. На рис. 346 показано перо плашки с углом  $\lambda$ , равным

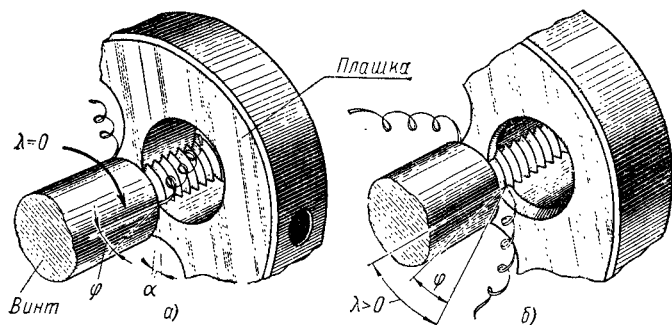


Рис. 346. Влияние угла  $\lambda$  на направление схода стружки:

а — угол  $\lambda = 0^\circ$ ; б — угол  $\lambda > 0^\circ$

нулю, и с углом больше нуля. Если в первом случае стружка остается в отверстии, то во втором случае плашка направляет стружку вперед.

Круглая плашка вставляется в гнездо плашкодержателей или воротка. Гнезда с углом  $60^\circ$  (см. рис. 344) служат для закрепления плашки в воротке. Два других гнезда с углом  $90^\circ$ , в которые упираются регулировочные винты, смещаются относительно оси на величину  $c$ , для того чтобы винты могли сжать плашку. Между последними гнездами профрезерован паз шириной  $b$ . Узким шлифовальным кругом можно разрезать тонкую перемычку  $e_1$ . Разрезанная плашка допускает регулировку диаметра нарезаемой резьбы. Закрепление плашки на станке должно быть нежестким. При установке плашки в качающемся плашкодержателе неточности установки и несовпадение осей плашки и заготовки не влияют на точность резьбы, так как за счет пружин плашка может установиться во время нарезания точно по оси нарезаемого болта. Обычно на чертеже плашки нет допусков на резьбу, но проставлены размеры резьбы метчиков.

Плашки с косо просверленными отверстиями направляют стружку вперед, облегчая ее отвод и тем самым улучшая условия резания. Шестигранные или квадратные плашки удобны при монтажных работах, так как позволяют нарезать резьбу с применением гаечного ключа. На автоматах находят применение также трубчатые плашки (см. рис. 343, *г*), которые по сравнению с обычными плашками меньше засоряются стружкой. Трубчатые плашки, так же как и обычные круглые, вследствие деформации резьбы при термической обработке не могут обеспечивать особо точную резьбу. Для нарезания крупных резьб вручную в несколько проходов используют раздвижные плашки, к которым относятся плашки для слесарных клуппов, плашки для трубных клуппов и регулируемые плашки. Путем регулирования таких плашек в процессе нарезания резьбы можно изменять диаметр нарезаемой резьбы и, таким образом, производить нарезание в несколько проходов.

Заточка круглых плашек производится по передней поверхности перьев и по затылочной поверхности заборной части плашки. Для заточки плашек по передней поверхности (рис. 347, *а*) выпускаются специальные станки. Вертикальный шпиндель с закрепленным в нем маленьким шлифовальным кругом вращается в шариковых подшипниках с частотой 15 000 об/мин. Плашка устанавливается на столике и вручную прижимается к нему. Шлифовальный круг вводится в отверстие плашки и получает прямолинейное и возвратно-поступательное движение вверх и вниз вдоль оси шпинделя круга. На рис. 347, *б* показана схема заточки плашки по задней поверхности. Плашка зажимается в цанговый патрон и при вращении шпинделя станка совершает вместе с ним затыловочные движения благодаря сменному кулачку, число выступов которого соответствует числу перьев затылуемой плашки, а форма выступов — форме кривой затылования. На суппорте станка укреплен шпиндель с небольшим шлифовальным кругом, который подводится

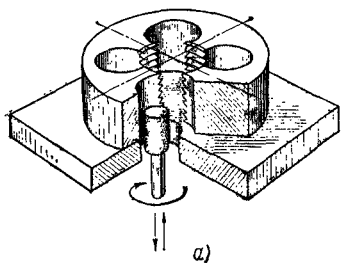
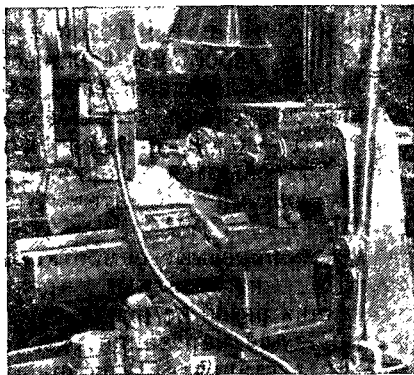


Рис. 347. Схема заточки круглой плашки:

*a* — по передней поверхности; *b* — по задней поверхности



к плашке и затылует заднюю поверхность заборного конуса с установленной величиной затылования  $K$ .

### § 5. Резьбонарезные головки

Резьбонарезные головки можно разделить на две основные группы: самооткрывающиеся и регулируемые. Особенностью самооткрывающихся головок является развод плашек после нарезания резьбы, что исключает необходимость обратного свинчивания головки с нарезанной детали и повышает производительность станка при нарезании резьбы.

Резьбонарезные регулируемые головки обеспечивают только установку и закрепление плашек, а также регулирование их; открывания головки и отвода плашек по окончании нарезания они не обеспечивают; распространение получили головки первой группы (самооткрывающиеся).

В зависимости от расположения и конструкции плашек существует три типа самооткрывающихся головок.

Головки с плоскими радиальными плашками (рис. 348, *a*) не-

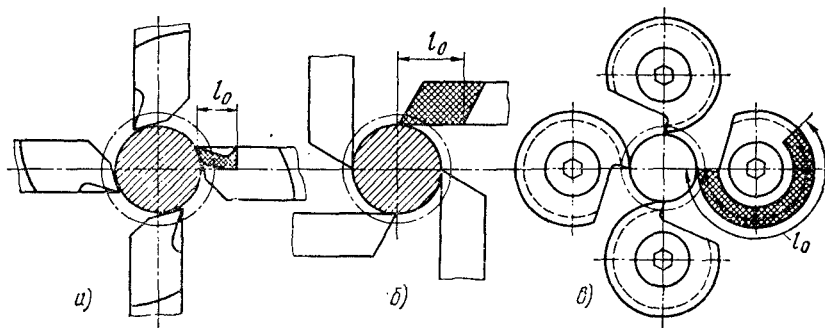


Рис. 348. Типы винторезных головок:

*a* — с плоскими радиальными плашками; *b* — с плоскими тангенциальными плашками; *в* — с круглыми гребенками (максимальный слой для переточки отмечен перекрестной штриховкой)

сколько проще в изготовлении, но плашки к таким головкам допускают небольшое количество переточек. Головки с тангенциальными плашками (рис. 348, б) благодаря значительной длине плашек допускают большое количество переточек (заштрихованная часть — слой, предназначенный для переточки), но все более и более вытесняются головками с круглыми гребенками (рис. 348, в), допускающими значительно большее количество возможных переточек.

Резьбонарезные самооткрывающиеся головки с круглыми гребенками изготавливают трех типов: 1) невращающиеся — для нарезания резьб на револьверных и токарных станках; 2) вращающиеся — для нарезания резьб на автоматах, сверлильных и болторезных станках; 3) невращающиеся — к автоматам типа 1124, 1136. В зависимости от размеров нарезаемых резьб головки обозначаются номерами 1К, 2К, 3К и 4К и т. д.

У резьбонарезной головки с круглыми гребенками (рис. 349) невращающегося типа четыре круглые гребенки 1 с кольцевой резьбой, укрепленные винтами 2 на специальных кулачках 3, сближаются к центру или разводятся посредством нажимного кольца 4. Поступательное движение кольца вдоль оси головки благодаря уступу кулачков 3 (рис. 349, внизу слева) позволяет сводить их к центру и разводить в конце нарезания резьбы. Поворот кольца (показан на схеме стрелками С) позволяет точно регулировать диаметр нарезаемого болта площадками, скошенными под углом  $\varphi$ .

На рис. 349 головка изображена в закрытом положении, плашки сведены, и головка движется вместе с суппортом. Как только суппорт остановится, вместе с ним остановится и хвостовик 5. Плашкодержатель 6 при этом продолжает движение вперед (на величину зазора  $\Delta$ ), сжимая пружины 7 кольцом 8, привернутым винтами 9; нажимное кольцо 4 останавливается, так как упирается в выступ А на хвостовике; при этом происходит «вытягивание» плашкодержателя из кольца 4. Как только плашкодержатель вместе с кулачками выйдет на величину  $l$ , кулачки 3, раздвигаясь под действием пружин 10, нажимающих на штифты 11 и шпильки 12, своими скосами В отбросят нажимное кольцо назад (вправо), и головка раскроется. Для закрытия головки необходимо рукоятку 13, на которую нажимает пружина 14, повернуть и кольцо 4 возвратит в первоначальное положение. Кольцо 4 заставит кулачки, скользя по скосам В, сойтись к центру. Режущие гребенки 1 установлены на кулачках 3 (см. рис. 349 внизу слева). Определенное положение гребенки на кулачке фиксируется с помощью цилиндрического выступа (пуговки) кулачка. Между кулачком и гребенкой устанавливается двухвенцовая звездочка 15. Одним зубчатым венцом звездочка входит в кулачок, а другим — в гребенку. Гребенка закрепляется на кулачке винтом 2. Звездочка имеет неодинаковое число зубьев на обоих венцах; венеч, закладываемый в кулачок, имеет число зубьев на один меньше, чем венеч, закладываемый в гребенку.

Если повернуть звездочку относительно кулачка на один зуб вправо, в относительно плашки — на один зуб влево, то общий поворот плашки относительно кулачка (для головки 2К)

$$M = \frac{1}{z} - \frac{1}{z_1} = \frac{1}{19} - \frac{1}{20} = \frac{20 - 19}{380} = \frac{1}{380} \text{ окружности.}$$

Размеры кулачков и гребенок для резьб нельзя выбирать произвольно, так как каждая резьба имеет определенный диаметр и шаг, а следовательно, и угол подъема  $\varphi$ . Длину гребенки выбирают с таким расчетом, чтобы длины калибрующей и заборной частей вместе составляли не менее семи-восьми шагов резьбы. Угол  $\varphi$  заборной части гребенки принимается равным  $20^\circ$ .

Задний угол  $\alpha$  обеспечивается расположением центра гребенки выше центра заготовки на величину  $q$  (для головок 1К и 2К  $q = 1,5$  мм). На рис. 349 показано расположение гребенки относительно заготовки в сечении, проходящем через



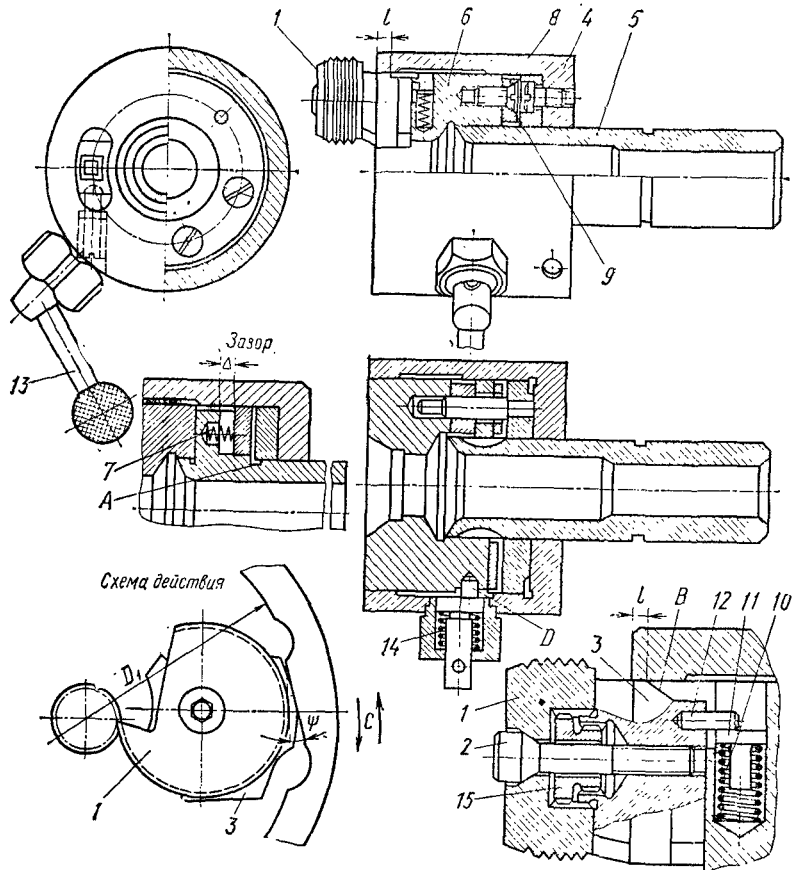


Рис. 349. Резьбонарезная неврращающаяся головка с круглыми гребенками

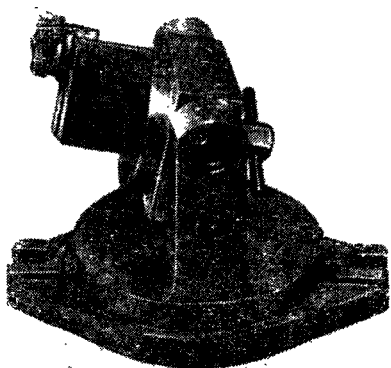


Рис. 350. Приспособление для заточки гребенок по передней поверхности

первый калибрующий зуб плашки. Задний угол  $\alpha$  в этом сечении может быть определен по формуле

$$\sin \alpha = \frac{2(q-a)}{D}$$

где  $a$  — смещение вершины режущей части гребенки.

Гребенки для лучшего отвода стружки и обеспечения работы самозатягива-  
нием имеют наклон передней поверхности к оси под углом  $\lambda$ . При установке греб-  
бенки на кулачок к углу  $\lambda$  прибавляется угол  $\omega$ , и получается угол  $\lambda_1 = \omega + \lambda$ .  
Углы  $\gamma$  и  $\lambda_1$  и смещение  $a$  приведены в табл. 34.

Таблица 34

Углы  $\gamma$  и  $\lambda_1$  и смещение  $a$  (по данным завода «Фрезер»)

Материал заготовки	Перед- ний угол $\gamma^\circ$	Величина $a$ в мм при диаметре $D$ резьбы в мм						Угол $\lambda_1$
		До 8	8—10	11—14	16—20	22—27	30—42	
Алюминий, твердая медь, низкоуглеродистая конст- рукционная сталь	25	0,03	0,08	0,10	0,15	0,2	0,25	$7^\circ$
Хромоникелевые, молибде- новые, хромованадиевые стали	20	0,01	0,05	0,07	0,12	0,17	0,21	$6^\circ 30'$
Чугун	10							
Мягкое железо	20	0,1	0,12	0,14	0,20	0,25	0,30	$6^\circ 30'$

Гребенки затачивают только в собранном виде. Для установки кулачков вместе с гребенками на заточной станок предусмотрено специальное приспособление (рис. 350). Необходимо, чтобы углы  $\gamma$  и  $\lambda_1$  и смещение  $a$  были одинаковы у всех гребенок. Для проверки правильности заточки гребенок применяется приспособление (рис. 351), которое имеет два микрометра: микрометр  $A$  упирается в наружную поверхность гребенки, а микрометр  $B$  — в переднюю поверхность. Измерение должно производиться на уровне первого витка калибрующей части. Кроме описанных, получили распростра-

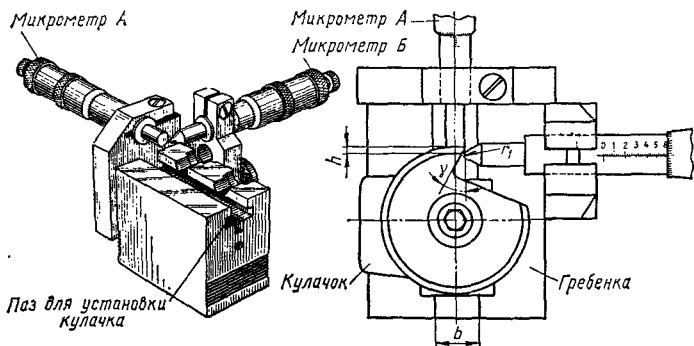


Рис. 351. Приспособление для контроля заточки круглых гребенок, собранных с кулачками

нение головки (называемые патронами) с круглыми гребенками для нарезания наружных конических резьб на трубах большого диаметра (см. стр. 397).

## § 6. Резьбовые фрезы

Резьбовые фрезы разделяются на дисковые (однониточные) и цилиндрические гребенчатые (многониточные). Дисковые резьбовые фрезы применяют при нарезании длинных резьб (в основном трапецеидального профиля) на различных ходовых винтах и червяках. Фрезерование применяется только как предварительный метод обработки резьб ходовых винтов. Чистовое нарезание резьбы обычно производится резцом или профильным шлифовальным кругом.

Применение фрез с симметричным (рис. 352, а) и несимметричным (рис. 352, б) профилем зависит от конструкции резьбофрезерного станка. Диаметр фрезы с симметричным или несимметричным профилем

$$D \approx (2h_u + l_{\min} + a_{\min}).$$

У фрезы с симметричным профилем (рис. 353, а) размер  $a_{\min}$  обусловлен необходимостью размещения в шпиндельной головке подшипников шпинделя и передающего механизма. В конструкции станка для фрез с несимметричным профилем (см. рис. 352, б) благодаря наклону шпинделя появляется возможность при тех же габаритах подшипников уменьшить размер  $a_{\min}$ , а следовательно, и диаметр фрез.

Профиль фрезы должен быть криволинейным. При небольших углах подъема резьбы (меньше  $10^\circ$ ) обычно делают фрезы с прямойлинейным профилем, но с корректированным углом  $\epsilon_1$  профиля.

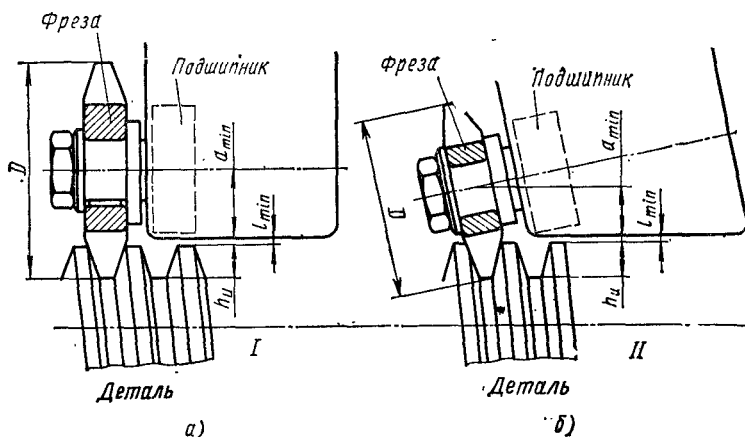


Рис. 352. Схема расчета диаметра фрезы:

а — ось шпинделя станка параллельна оси детали; б — ось шпинделя станка наклонена к оси детали

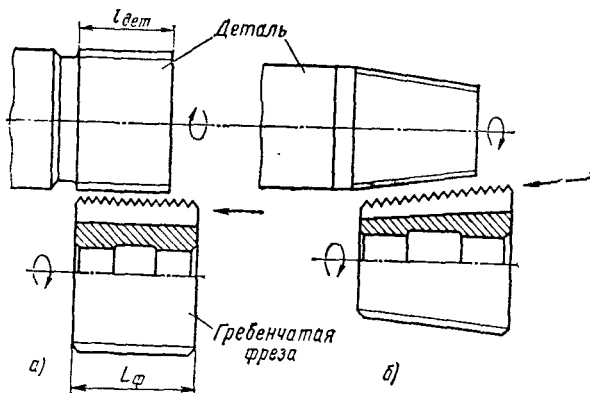


Рис. 353. Схема фрезерования резьбы многониточными (гребенчатыми) резьбовыми фрезами:  
 а — цилиндрической резьбы; б — конической резьбы

Угол профиля определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \varepsilon_1 = \operatorname{tg} \varepsilon \cos \omega,$$

где  $\omega$  — угол подъема резьбы;  $\varepsilon$  — угол профиля заготовки.

Дисковые резьбовые фрезы для трапецидальных резьб делают с остроконечными зубьями. При фрезеровании резьб небольшой длины с небольшим шагом и небольшим углом подъема резьбы применяют гребенчатые (многониточные) резьбовые фрезы. Фрезерование резьбы осуществляется за один оборот заготовки, причем для образования винтовой линии резьбы фреза перемещается за это время вдоль оси на один шаг. Резьбовые гребенчатые фрезы изготовляют насадные и концевые. На рис. 353, а показаны насадные гребенчатые фрезы с затылованными зубьями и кольцевой резьбой. Канавки фрез делают прямыми и винтовыми с небольшим углом наклона. Фрезы с винтовыми канавками работают более плавно, но изготовление их сложнее. Диаметр фрезы выбирают по ГОСТу. Длина фрезы  $L_{\phi}$  зависит от длины нарезаемой резьбы заготовки  $l_{и}$ :

$$L_{\phi} = l_{и} + (2 \div 3)P,$$

где  $P$  — шаг резьбы в мм.

Элементы затылованного зуба и канавки выбирают исходя из тех же соображений, что и для обычных затылованных фрез (см. стр. 291). Так как высота профиля метрической и дюймовой резьбы незначительна, то можно брать канавку более широкую, чем обычно. Угол  $\vartheta$  делается в пределах  $30-45^\circ$ , радиус закругления  $r = 4,5$  мм. Величину затылования  $K$  выбирают из расчета получения заднего угла в пределах  $8-12^\circ$ . Размеры профиля фрезы определяют по заданному профилю резьбы.

Вершина резьбы на фрезе изнашивается быстрее боковых сторон профиля, поэтому по вершинам дается запас на износ. Но

с увеличением этого запаса уменьшается площадка шириной  $b$  у вершины профиля резьбы, затрудняется изготовление фрезы и снижается ее стойкость. Минимальную площадку  $b$  принимают равной  $\frac{3}{4}$  площадки  $b_1$  теоретического профиля резьбы. Для удобства контроля размеры профиля резьбы задаются от линии среднего диаметра. Размеры  $h_1$  и  $h_2$  для метрической дюймовой резьбы регламентируются ГОСТом.

Резьбовые гребенчатые фрезы применяют также и для фрезерования конических резьб (рис. 353, б). Отличительными особенностями конструкции таких фрез являются винтовые канавки постоянного шага, выполненные на конической поверхности фрезы. Канавки приходится делать расширяющимися по направлению к большему диаметру фрезы.

При нарезании резьбы фреза вращается, и за каждый оборот заготовки она перемещается на один шаг по направлению образующей конуса, как показано стрелкой на рис. 353, б. Получающаяся на заготовке коническая резьба будет иметь переменный угол подъема. Разновидностью резьбовых фрез является резьбовая «вихревая» головка для нарезания резьбы методом охватывающего фрезерования. Она называется «вихревой», потому что работает с высокой скоростью. Для нарезания наружных и внутренних резьб длиной не более 30 мм применяют твердосплавные резьбовые фрезы. Для внутренних резьб у фрез диаметром 10—16 мм рабочую часть делают целиком из твердосплавной пластифицированной заготовки. Для нарезания наружных резьб фрезы изготавливают с твердосплавными пластинками, впаянными в корпус фрезы. Эти фрезы используют главным образом для обработки труднообрабатываемых сталей и сплавов, что позволяет повысить их стойкость до 10 раз по сравнению с быстрорежущими резьбовыми фрезами.

## § 7. Режим резания и мощность при фрезеровании резьбы

Скорость резания, допускаемая режущими свойствами гребенчатых многониточных фрез, изготовленных из быстрорежущей стали Р18, определяется по формулам:

при обработке заготовки из стали 45 с охлаждением эмульсией

$$v = \frac{257}{T^{0,6} s_z^{0,65} P};$$

при обработке заготовки из ковкого чугуна

$$v = \frac{24\ 500}{T s_z^{0,5} P^2};$$

при обработке без охлаждения заготовки из конструкционных углеродистых, хромистых и хромоникелевых закаленных сталей вихревой головкой с резцами из сплава Т15К6

$$v = \frac{17\ 500}{T^{0,5} P^{0,5} s_z^{0,5} \sigma_B}.$$

В этих формулах:  $T$  — стойкость в мин (30—60 мин);  $P$  — шаг нарезаемой резьбы в мм;  $s_z$  — подача на один резец в мм;  $\sigma_B$  — предел прочности стали при растяжении в кгс/мм<sup>2</sup>. Формула дана при нормативном износе  $h_3 = 0,7$  мм. При  $h_3 \approx 0,4$  мм подсчитанную скорость резания надо умножить на коэффициент 0,8, а при  $h_3 \approx 1$  мм — на коэффициент 1,3.

Подача при резьбофрезеровании определяется как длина дуги по окружности заготовки за один срез (на один зуб фрезы, на один резец вихревой головки) и обозначается  $s_z$  в мм/зуб (табл. 35).

Таблица 35

Подачи при резьбофрезеровании

Материал заготовки		Подачи в мм на резец	Материал заготовки		Подачи в мм на резец
$\sigma_B$ в кгс/мм <sup>2</sup>	HB		$\sigma_B$ в кгс/мм <sup>2</sup>	HB	
55	153—161	1—1,2	75—	210—220	0,6—0,8
65	179—192	0,8—1	85	235—250	0,4—0,6

Примечание. При фрезеровании многониточными фрезами из быстрорежущей стали стальной заготовки с  $\sigma_B = 55$  кгс/мм<sup>2</sup>  $s_z = 0,01 \div 0,02$  мм/зуб; при фрезеровании трапецидальных резьб  $s_z = 0,03 \div 0,06$  мм/зуб.

Мощность при нарезании вихревой головкой диаметром  $D_p$  резьбы на заготовках из конструкционных углеродистых, хромистых и хромоникелевых сталей

$$N_{\text{рез}} = 0,018 \frac{P s_z^{0,5} v^{0,8} z}{D_p^{0,7}} \text{ кВт};$$

при нарезании трапецидальной резьбы на заготовках из тех же сталей

$$N_{\text{рез}} = 0,0072 \frac{P^{1,75} s_z^{0,8} v^{0,8} z}{D_p^{0,7}} \text{ кВт}.$$

Формулы даны при износе  $h_3 = 0,7$  мм. При износе  $h_3 = 0,4$  мм поправочный коэффициент 0,83, а при износе  $h_3 = 1$  мм коэффициент 1,1.

## ПРОТЯГИВАНИЕ

## § 1. Общие сведения

Протяжками обрабатывают сквозные отверстия любой формы, прямые или винтовые канавки, наружные поверхности разнообразной формы, зубчатые колеса наружного и внутреннего зацепления. Протяжка — многозубый инструмент; каждый последующий зуб протяжки выше предыдущего; движение резания прямолинейное и реже — круговое (рис. 354). Протяжку закрепляют в ползуне станка и она перемещается вместе с ним. При работе круглой протяжки это перемещение осуществляется вдоль оси отверстия (рис. 354, а). Если сила прилагается к хвостовику, то корпус протяжки работает на растяжение. Если сила прилагается к задней части протяжки, то это уже прошивка, которая в отличие от протяжки работает на сжатие (рис. 354, б). Во избежание продольного изгиба прошивка должна быть короче протяжки, и ее длина обычно не превышает 15-кратного диаметра.

Несмотря на сравнительно низкие скорости резания (2—15 м/мин), применяемые при протягивании, производительность протягивания высокая, так как велика суммарная длина режущих кромок, работающих одновременно. Производительность при протягивании еще более повышается, если используются протяжные станки с непрерывным рабочим движением и автоматической загрузкой заготовок. Вследствие высокой производительности и точности обработки (3—2-й класс) протяжки получают все большее распространение в машиностроении; однако протяжки — дорогой инструмент, и их применение оправдывается в основном только при крупносерийном и массовом производстве.

Протяжки разделяют на внутренние (предназначенные для обработки отверстий) и наружные (для обработки незамкнутых поверхностей). Протяжки могут быть режущие и уплотняющие; последние не режут, а уплотняют тонкие слои металла. Уплотняющие — выглаживающие протяжки могут увеличивать отверстия на очень малую величину. На рис. 355 показаны основные типы внутренних протяжек.

Наружные протяжки подразделяются по типу обрабатываемых поверхностей на плоские, круглые и фасонные. Протяжки целесообразно изготовлять из быстрорежущих сталей. В отдельных случаях можно применять сталь ХВГ, которая мало деформируется при термической обработке, что важно при значительной длине

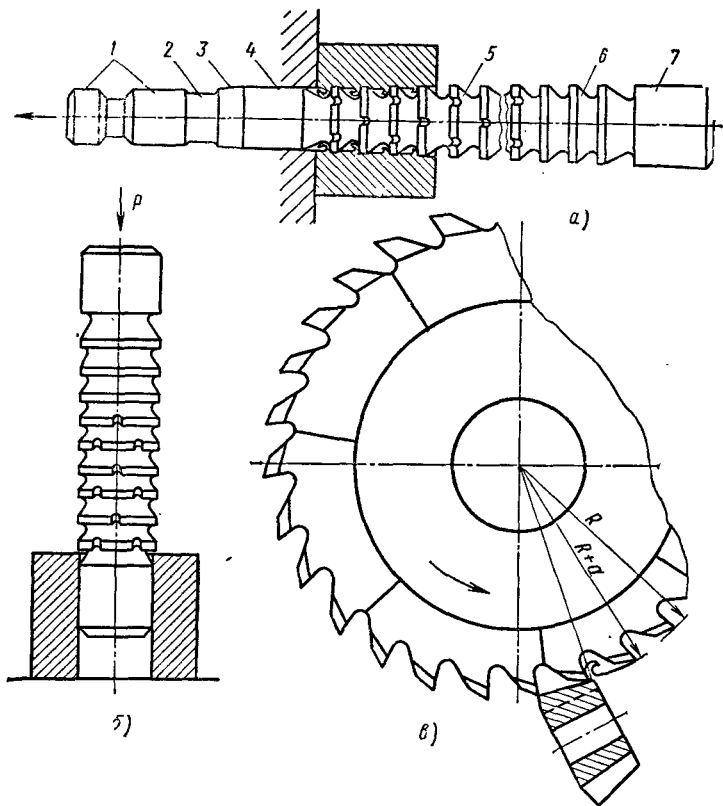


Рис. 354. Схема работы:

*a* — круглой протяжки; *б* — круглой прошивки; *в* — круговой протяжки;  
 1 — хвостовик; 2 — шейка; 3 — переходный конус; 4 — направляющая часть; 5 — режущая часть; 6 — калибрующая часть; 7 — задняя направляющая часть

протяжки. При оснащении протяжки твердым сплавом (ВК8, ВК6М) стойкость ее значительно повышается по сравнению со стойкостью протяжек из быстрорежущей стали, например при обработке чугуна. Наружные и круглые протяжки диаметром свыше 80 мм часто изготовляют сборными.

Каждая внутренняя протяжка, например круглая (рис. 355, *a*), имеет хвостовик (для закрепления протяжки в патроне протяжного станка); шейку; переходный конус; направляющую часть (для направления протяжки в начале ее работы по предварительно обработанному отверстию); режущую часть, на которой расположены зубья, срезающие основной припуск; калибрующую часть, на которой расположены зубья, калибрующие отверстие и обеспечивающие необходимый класс шероховатости поверхности; заднюю направляющую часть, служащую для удержания длинной



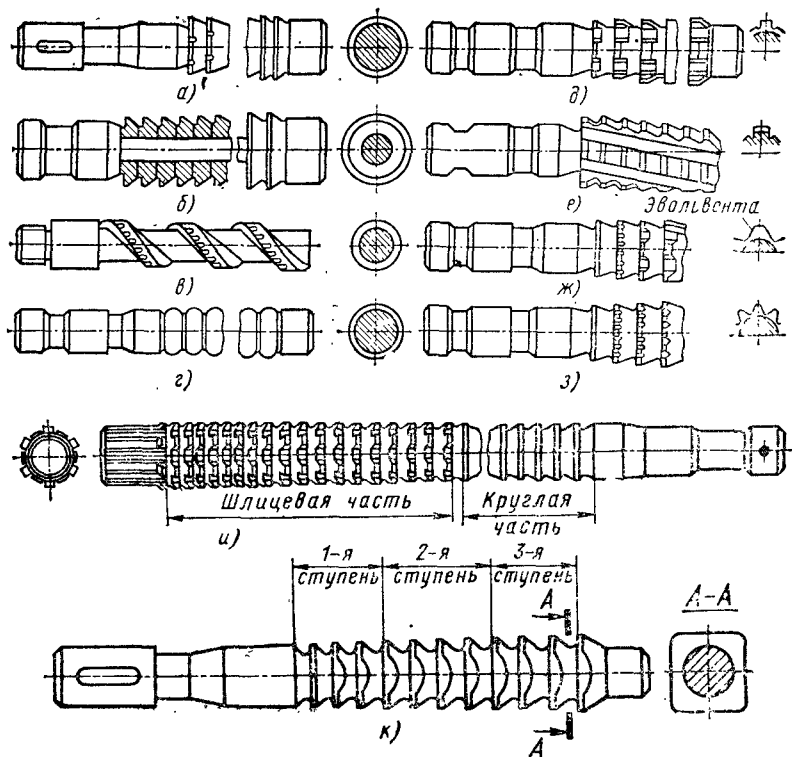


Рис. 355. Типы протяжек для отверстий:

а — круглая цельная; б — круглая сборная; в — с винтовым зубом; г — выглаживающая; д — прямошлицевая; е — спирально-шлицевая; ж — эвольвентная; з — остроугольно-шлицевая; и — комбинированная; к — квадратная

протяжки от провисания и не допускающую перекоса заготовки в конце протягивания (в момент выхода последнего зуба).

## § 2. Геометрические элементы зуба протяжки

Задний угол зубьев протяжки в сечении, совпадающем с направлением резания, выбирается независимо от материала заготовки; он должен обеспечивать хорошие условия резания, уменьшая трение задней поверхности об обработанную поверхность.

У калибрующих зубьев делается цилиндрическая ленточка шириной  $f = 0,05 \div 0,2$  мм (рис. 356, зуб 3). Значения заднего угла берутся в зависимости от вида операции (черновой или чистовой) и типа протяжек (табл. 36). Малое значение заднего угла протяжек для внутреннего протягивания объясняется тем, что при большем значении угла  $\alpha$  заточка протяжки по передней поверхности вызовет значительное изменение размеров зубьев (протяжек) в

Значения заднего угла

Тип протяжек	Задний угол $\alpha^\circ$ для зубьев			Допуск на величину заднего угла в мин для зубьев	
	черновых	чистовых	калибрующих	черновых	чистовых и калибрующих
Круглые и шлицевые . . . . .	3	2	1	+30	+15
Шпоночные . . . . .	3	2	2	+30	+30
Наружные:					
регулируемые . . . . .	3—4	3—4	3—4	+30	+30
нерегулируемые . . . . .	3—4	2	1—2	+30	+15

поперечном сечении. Вследствие этого же делается незначительным и задний угол на фаске у зубьев калибрующей части. Передний угол выбирается в зависимости от материала заготовки (табл. 37).

Таблица 37

Значения переднего угла режущей и калибрующей частей протяжки

Материал заготовки	Твердость <i>HВ</i>	Передний угол $\gamma^\circ$ для зубьев	
		черновых и переходных	чистовых и калибрующих
Сталь	$\leq 197$	16—18	5
	198—229	15	
	$> 229$	10	
Чугун:			
	$\leq 180$	10	—5
	$> 180$	5	—5
	—	10	5
	—	20	20
Алюминий и его сплавы, красная медь, баббит	—	20	20
Бронза, латунь	—	5	—10

### § 3. Элементы режима резания и среза

Определение режимов резания при протягивании сводится к назначению скорости резания, так как толщина  $a$  и ширина среза  $b$  обуславливаются элементами конструкции протяжки. *Подъемом на зуб протяжки* (рис. 356) называют разность между высотами соседних зубьев протяжки (подъем зуба равен толщине среза  $a$ ). Иногда по аналогии с подачей на зуб величину  $a$  называют «подачей на зуб». В табл. 39 (см. стр. 385) даны рекомендации по выбору подъема зуба для протяжек различных видов и конструкций.

*Ширина среза  $b$*  измеряется вдоль режущей кромки. У шпоночной протяжки — это ширина паза; в протяжках круглых, шлице-

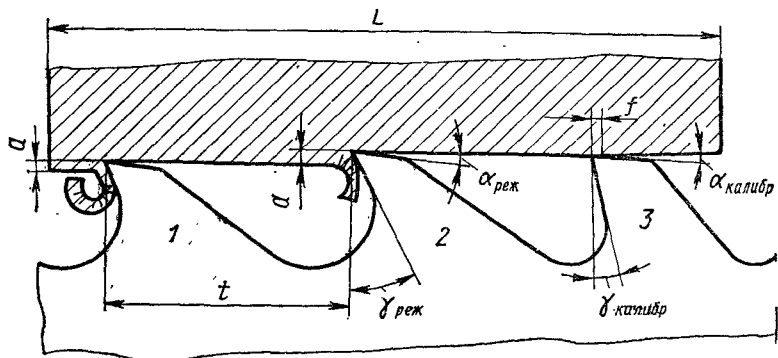


Рис. 356. Режущие (1 и 2) и калибрующие (3) зубья протяжки

вых и т. д. ширина среза будет соответственно равна длине активной части режущей кромки; для круглой протяжки — длине окружности; для шлицевой — суммарной ширине шлицев и т. д.

Площадь поперечного сечения  $f$ , приходящаяся на один зуб:

для шпоночной (одношлицевой) протяжки

$$f = ab \text{ мм};$$

для многошлицевой протяжки

$$f = abn \text{ мм};$$

для круглой протяжки

$$f = \pi D a \text{ мм},$$

где  $a$  — подъем зуба в мм;  $b$  — ширина шлица в мм;  $n$  — число шлицев;  $D$  — диаметр круглой протяжки.

Суммарная площадь поперечного сечения среза

$$F = fz_i \text{ мм},$$

где  $z_i$  — наибольшее число зубьев, одновременно находящихся в работе.

Машинное время за один проход при протягивании

$$T_m = \frac{L}{1000vq} K \text{ мин},$$

где  $L$  — длина рабочего хода протяжки в мм;  $K = 1,4 \div 1,5$  — коэффициент, учитывающий соотношение между скоростями рабочего и обратного хода;  $v$  — скорость резания в м/мин;  $q$  — количество одновременно обрабатываемых деталей.

#### § 4. Стружкообразование и силы резания

Во время стружкообразования при протягивании происходят деформации, тепловыделение, наростообразование, трение и износ

протяжки. Процесс резания при протягивании осуществляется с очень тонкими стружками, особенно при внутреннем протягивании, когда  $s_z = 0,015$  мм. При обработке заготовок из сталей получается сильно деформированная сливная стружка, при обработке заготовок из чугунов — стружка надлома.

При протягивании нужно знать форму и размеры стружки, так как от этих данных зависит правильная работа протяжки. Впадины между зубьями должны быть таких размеров и формы, чтобы в них свободно помещалась стружка. Если стружка не укладывается во впадине, происходит ее прессование, что может привести к разрыву протяжки. Часто для уменьшения ширины стружки делают стружкоразделительные канавки.

При протягивании заготовок из сталей образуется нарост (застойная зона). Чем больше толщина среза, меньше передний угол зуба протяжки и больше радиус округления режущей кромки, тем больше нарост. Нарост часто сходит под заднюю поверхность зуба протяжки и резко увеличивает шероховатость обработанной поверхности.

Протягивание осуществляется с малыми подачами  $s_z$  и малыми скоростями резания; в этом случае большее значение имеет применение смазочно-охлаждающих жидкостей. При протягивании заготовок из сталей применяют в основном сульфозфрезол (8—15 л/мин при внутреннем протягивании и 30—40 л/мин при наружном), а заготовок из нержавеющей сталей — 10%-ную эмульсию. Протягивание заготовок из серого и ковкого чугуна производится без охлаждения, а заготовок из алюминия — со смесью масла и керосина (1 : 1).

Сила резания  $P_z$  зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала, геометрических параметров зубьев протяжки, подъема зуба, числа и формы одновременно находящихся в работе зубьев.

Сила резания при протягивании

$$P_z = F \Sigma b \text{ кгс,}$$

где  $F$  — сила резания, отнесенная к 1 мм длины режущей кромки, в кгс/мм;  $\Sigma b$  — суммарная длина режущих кромок всех одновременно работающих зубьев в мм.

Сила  $F$  зависит от величины подъема зуба  $a$  и материала заготовки и приводится в соответствующей карте режимов резания.

Суммарная длина  $\Sigma b$  режущих кромок определяется по формулам:

для цилиндрических отверстий

$$\Sigma b = \frac{\pi d}{z_c} z_i;$$

для шлицевых отверстий и шпоночных пазов

$$\Sigma b = \frac{b_u n}{z_c} z_i,$$

где  $d$  — наибольший диаметр зубьев в мм;  $z_c$  — число зубьев в секции (для протяжек, работающих с обычной, не прогрессивной схемой резания,  $z_c = 1$ );  $z_i$  — наибольшее число одновременно работающих зубьев;  $b_u$  — ширина протягиваемой поверхности в мм;  $n$  — число шлицев или шпонок.

### § 5. Износ, стойкость протяжек и скорость резания

В общем случае зуб протяжки изнашивается по задней поверхности, уголкам, ленточке (у калибрующих зубьев) и передней поверхности. Наиболее характерным и чаще всего лимитирующим износом является износ по задней поверхности  $h_3$  (рис. 357). Учитывая, что протяжка в основном применяется как чистовой инструмент (однако не исключается применение протяжки в качестве черного инструмента), за критерии износа принимаем технологический износ — увеличение шероховатости поверхности, искажение геометрии или изменение размеров протягиваемых поверхностей. Максимально допустимый износ по задней поверхности зуба и уголкам стружкоразделительных канавок принимается (при обработке заготовок из стали и чугуна) в пределах: для цилиндрических протяжек до 0,2 мм, для шлицевых и шпоночных до 0,3 мм.

Средние периоды стойкости для быстрорежущих протяжек из сталей P9, P18, P6M5 рекомендуются следующие: а) для шпоночных протяжек (с шириной паза 10 мм) 120 мин при обработке заготовок из стали и 180 мин при обработке заготовок из чугуна; б) для шлицевых протяжек диаметром 32—52 мм 420 мин при обработке заготовок из стали и 600 мин при обработке заготовок из чугуна; в) для цилиндрических протяжек (диаметром 30 мм) 180 мин при обработке заготовок из стали и 270 мин при обработке заготовок из чугуна. Средние стойкости протяжек выражаются также в суммарной длине протянутых поверхностей в метрах.

Скорость резания при протягивании лимитируется не красностойкостью инструмента, а условиями получения высококачественной обработанной поверхности. Повышение скорости резания при протягивании не дает заметного увеличения производительности

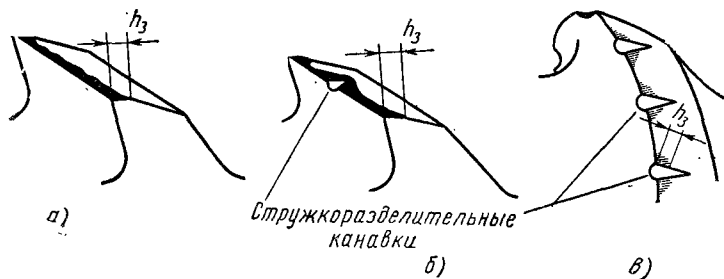


Рис. 357. Схема износа зубьев протяжки:

а — шпоночной без стружкоразделительных канавок; б — шпоночной со стружкоразделительными канавками; в — круглой со стружкоразделительными канавками

труда, так как вспомогательное время в операции протягивания имеет значительный удельный вес по сравнению с машинным временем. Скорость резания при протягивании

$$v = \frac{c_v}{T^m s_z^y} \text{ м/мин,}$$

где  $c_v$  — коэффициент, характеризующий условия обработки;  $T$  — стойкость протяжки в мин;  $m$  и  $y$  — показатели степени при стойкости и подаче, зависящие от материала заготовки, материала протяжек и других условий.

Например, при протягивании цилиндрического отверстия в заготовке из стали 35 ( $HB\ 197-269$ ) при условии получения 2-го класса точности и 6-го класса шероховатости обработанной поверхности для протяжки из быстрорежущей стали  $v = 6$  м/мин.

Мощность при протягивании

$$N_{\text{рез}} = \frac{P_z v}{60 \cdot 102} \text{ кВт,}$$

где  $P_z$  — сила резания в кгс;  $v$  — скорость резания в м/мин.

Мощность электродвигателя протяжного станка должна быть не меньше, чем требуется по формуле

$$N_d = \frac{N_{\text{рез}}}{\eta},$$

где  $\eta = 0,75 \div 0,9$  — к. п. д. станка.

Тяговая сила станка  $Q$  (должна быть несколько больше или, в крайнем случае, равна силе резания  $P_z$ ) определяется по паспорту протяжного станка.

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ПРОТЯЖЕК

§ 1. Протяжки для внутреннего протягивания

*Схема резания* — графическое изображение постепенного изменения профиля заготовки в процессе протягивания — во многом определяет конструкцию протяжки.

Схемы резания некоторых наиболее распространенных типов протяжек и отдельные слои материала, снимаемые зубьями, показаны на рис. 358. Профильная схема (рис. 358, а) характерна тем, что каждый последующий зуб протяжки снимает тонкую стружку по всей ширине обрабатываемой поверхности, например по всей ширине шлица, по всей длине окружности и т. д. Такая протяжка часто называется *одинарной* и дает значительные удельные давления резания, а следовательно, значительные силы протягивания. Генераторная схема (рис. 358, б) предусматривает снятие припуска режущими зубьями параллельными слоями на отдельных участках, и только последние зачищающие зубья снимают тонкий слой по всему профилю. Генераторная схема резко упрощает изготовление и заточку, особенно фасонных протяжек

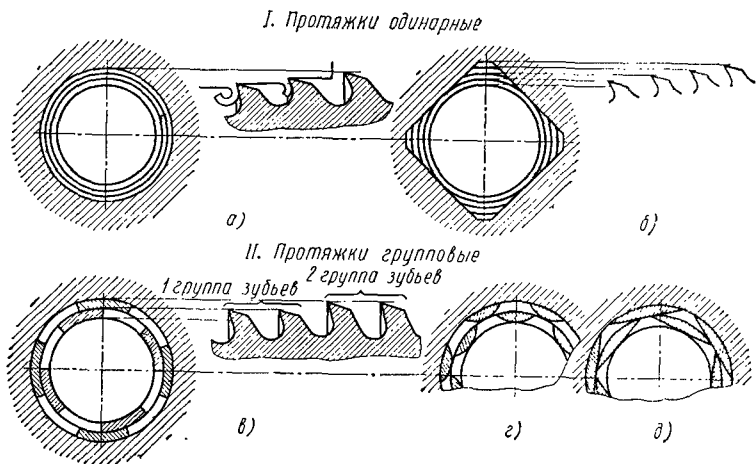


Рис. 358. Схемы резания протяжек:

а — профильная; б — генераторная; в — прогрессивная шахматная; г — прогрессивная переменного резания; д — прогрессивная многогранная

(как внутренних, так и наружных). Групповой метод (рис. 35 *д*) построения схемы резания предусматривает разделение обрезаемого слоя на небольшое количество толстых слоев. Эти слои могут сниматься с различными величинами подъема зуба. У новой прогрессивной протяжки все режущие зубья разделены на группы (два, три и т. д.) зубьев, имеющих одинаковый диаметр, увеличивающихся по ширине. Этот метод называют прогрессивным протягиванием; при этом срезаются толстые, сравнительно устойчивые стружки, и стойкость такой протяжки в среднем в 2 раза выше, чем стойкости протяжки, рассчитанной по первому методу. К недостаткам прогрессивного протягивания следует отнести более сложное изготовление протяжек.

*Под припуском* понимается общая толщина слоя металла, который следует срезать при протягивании. Величина номинального припуска для круглых отверстий, обработанных перед протягиванием сверлом или зенкером,

$$A = 0,005D + (0,1 \div 0,2)\sqrt{L},$$

где  $D$  — номинальный диаметр отверстия в мм;  $L$  — длина протягиваемого отверстия в мм.

Припуск является исходным при расчете протяжки.

Формулы для определения припуска в зависимости от формы обрабатываемого отверстия для других типов протяжек даются в соответствующих справочниках. В размер припуска должны включаться также допуск на изготовление отверстия.

Конструирование протяжки начинается с выбора схемы резания для снятия заданного припуска. Затем конструктор принимает для выбранной схемы резания соответствующие подъемы зуба исходя из условия, что режущая часть протяжки должна снять почти полностью припуск (небольшую часть его снимают зачищающие и калибрующие зубья). При выбранной схеме резания необходимо принять определенные изменения подъема зуба по группам зубьев. При прогрессивной схеме резания у протяжек величины подъема зуба  $a$  значительно увеличиваются и достигают нескольких десятков долей миллиметра (0,1—0,35) и выше. В табл. 38 даны величины (по данным ВНИИ) для внутренних протяжек с профильной и генераторной схемами резания (рис. 359, *а*).

Таблица 3

Значения подъема зуба  $a$  в мм

Протяжки	Материал заготовки			
	Сталь	Чугун	Алюминий	Бронза и латуни
Круглые . . . . .	0,015—0,03	0,03—0,1	0,02—0,05	0,05—0,1
Шлицевые . . . . .	0,025—0,08	0,04—0,1	0,02—0,1	0,05—0,1
Острошлицевые . . . . .	0,03—0,15	0,04—0,08	0,02—0,1	—
Квадратные и шестигранные . . . . .	0,015—0,08	0,08—0,15	0,02—0,1	0,05—0,1
Шпоночные . . . . .	0,05—0,20	0,06—0,20	0,05—0,08	0,08—0,1



Конструктор определяет размеры впадины и зуба протяжки в продольном сечении исходя из того, что стружка, снимаемая зубом протяжки, должна полностью остаться во впадине до конца прохода. Следовательно, площадь продольного сечения впадины должна быть больше площади продольного сечения стружки.

Между площадью впадины  $F$  и площадью продольного сечения стружки  $F_1$  можно установить следующее соотношение:

$$K = \frac{F}{F_1}.$$

Коэффициент  $K$  принимается в пределах 3—6, причем величина  $K$  принимается меньшей для хрупких материалов, дающих элементную стружку, которая занимает меньший объем во впадине, чем сливная.

Площадь продольного сечения стружки, снимаемой одним зубом протяжки,

$$F_1 = La,$$

где  $L$  — длина протягиваемой поверхности;  $a$  — подъем зуба.

Необходимая площадь сечения впадины

$$F = KF_1.$$

Для протяжек, работающих по профильной и генераторной схемам резания, часто применяется форма зубьев и впадин протяжки, изображенная на рис. 359, *б* и *в*; размеры приведены в табл. 39. По полученному значению  $F$  можно подобрать остальные размеры зуба и впадины.

Таблица 39

Размеры профиля зуба и впадины протяжки

Площадь $F$ сечения впадины в мм <sup>2</sup>	Шаг протяжки $t$ в мм	Глубина впадины $h$ в мм	Длина задней поверхности $f_1$ в мм	Радиус $r$ в мм
3,0	6	2,0	2,5	1,0
5,8	7	2,3	3,0	1,25
7,0	8	2,7	3,5	1,5
12,5	10	3,6	4,0	2,0
19,3	12	4,5	4,5	2,5
27,9	14	5,4	5,0	3,0
38,0	16	6,3	5,5	3,5
49,6	18	7,2	6,0	4,0
62,7	20	8,1	6,5	4,5

На рис. 359, *г* показана форма зубьев, рекомендуемая НИИТАвтомпром для групповых (прогрессивных) протяжек; в этом случае  $h \approx 0,4t$ ,  $r = 0,5t$ ,  $f = 0,3t$  и  $R_1 = 0,7t$ . Полученную при этом расчете форму впадины и зуба со всеми размерами следует проверить на равномерность работы.

Шаг зубьев протяжки должен быть таким, чтобы он мог обеспечивать равномерную нагрузку, а следовательно, и равномерный процесс резания. Поэтому шаг проверяют в зависимости от длины  $L$  обрабатываемой детали по эмпирическим формулам:

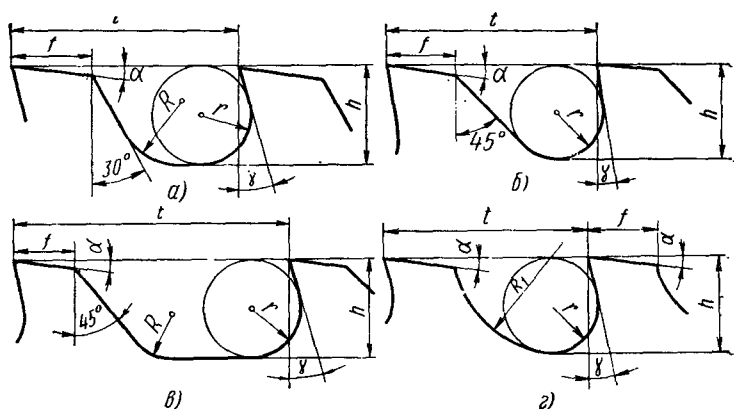


Рис. 359. Формы зубьев и впадин между зубьями протяжек

для одинарных протяжек

$$t = (1,25 \div 1,5) \sqrt{L};$$

для групповых протяжек

$$t = (1,45 \div 1,9) \sqrt{L}.$$

Число одновременно работающих зубьев для спокойной работы протяжки должно быть не менее трех; при обработке коротких заготовок допускается количество одновременно работающих зубьев до двух; очень короткие заготовки, например дисковых фрез, протягиваются пакетом по несколько штук, и шаг рассчитывается на общей длине пакета. Шаг калибрующих зубьев принимается таким же, как и у режущих зубьев, или несколько меньше (0,6—0,7 шага режущих зубьев).

*Стружкоразделительные канавки* предназначены для деления широкой стружки на отдельные части; это облегчает работу протяжки и создает лучшие условия размещения стружки во впадине зуба.

Число стружкоразделительных канавок для круглых протяжек можно принимать следующим:

Диаметр протяжек в мм	10—13	13—16	16—20	20—25
Число канавок	6	8	10	12

Для шпоночных протяжек, плоских наружных и фасонных протяжек число и размеры стружкоразделительных канавок принимаются в зависимости от конкретных условий (по справочникам).

Число режущих зубьев протяжки

$$z_p = \frac{A}{2a} + (2 \div 4),$$

где  $A$  — припуск под протягивание; например, для круглой протяжки равный разности между наибольшим допустимым диамет-

ром протянутого отверстия и диаметром предварительного отверстия;  $a$  — подъем зуба.

Число калибрующих зубьев  $z_k$  выбирается от 3 до 8, причем большее число зубьев принимается для обработки более точных отверстий. Дополнительно между режущими и калибрующими зубьями часто делают три-четыре зачищающих зуба, оставляя на их долю небольшую часть припуска.

*Хвостовик протяжки* служит для закрепления ее в патроне протяжного станка. Патроны разделяются на кулачковые, резьбовые и клиновые. Хвостовики шпоночных протяжек под кулачковые патроны, а также хвостовики для круглых протяжек (рис. 360,  $a, б$ ) под кулачковые патроны — стандартизованы. Хвостовик для крепления протяжки чекой показан на рис. 360,  $в$ ; хвостовики других типов встречаются реже.

Выбранные элементы протяжки — профиль зуба, шаг, профиль впадины, форма и размеры хвостовика и т. д. — должны быть проверены расчетом на прочность. Для расчета протяжки на прочность необходимо знать силу резания при протягивании.

Для подсчета числа одновременно работающих зубьев  $z_{max}$  необходимо знать длину  $L$  обрабатываемой заготовки. Протяжка, рассчитанная на определенную длину обрабатываемой заготовки и определенные характеристики материала, не может быть использована для обработки значительно более длинных заготовок, а также для значительно более твердых материалов:

$$z_{max} = \frac{L}{t} + 1,$$

где  $L$  — длина заготовки (в мм) или твердость в направлении протягивания при наружном протягивании;  $t$  — шаг протяжки в мм.

Число  $z_{max}$  округляют до целого числа в меньшую сторону.

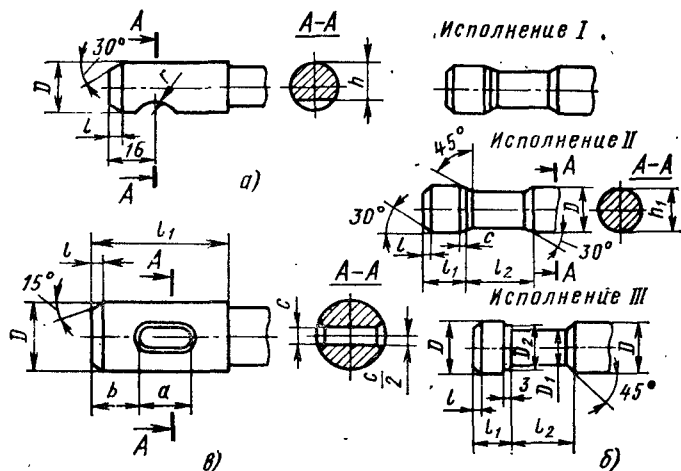


Рис. 360. Хвостовики круглых протяжек:

$a$  — под быстросменный патрон для  $D = 5 \div 11$  мм;  $б$  — под быстросменный патрон для  $D > 11$  мм;  $в$  — для крепления чекой

Зная силу протягивания  $P_z$ , можно определить напряжение в опасном сечении протяжки. Опасным сечением у протяжки может быть сечение по впадине первого режущего зуба или сечение по хвостовику. Напряжение

$$R = \frac{P_z}{F_0} \text{ кгс/мм}^2,$$

где  $P_z$  — общая сила протягивания в кгс;  $F_0$  — площадь опасного сечения в мм<sup>2</sup>.

Величина напряжения при разрыве не должна превышать следующих допускаемых для протяжки напряжений:

Протяжки	R в кгс·мм <sup>2</sup>
Круглые	25
Гранные, шлицевые, елочные, эвольвентные	20
Шпоночные	10

Результаты испытаний на Горьковском автозаводе показывают, что допускаемое напряжение для протяжек можно увеличивать до 30—40 кгс/мм<sup>2</sup>; это позволяет делать их более короткими.

В отдельных случаях производится расчет для проверки хвостовика на смятие. Допускаемое напряжение на смятие не должно превышать 60 кгс/мм<sup>2</sup>. При проверке протяжки на прочность может возникнуть необходимость нового выбора шага и других элементов протяжки; тогда производят пересчет.

После проверки протяжки на прочность, зная шаг зубьев и их число, определяют длины режущей и калибрующей частей.

Длина режущей части

$$l_p = t_p z_p;$$

длина калибрующей части

$$l_k = t_k z_k,$$

где  $t_p$  — шаг зубьев режущей части;  $t_k$  — шаг зубьев калибрующей части.

Длина хвостовика, шейки, передней и задней направляющих принимается с учетом размеров хвостовика, патрона станка, приспособления для протягивания и протягиваемой заготовки. Общая длина протяжки равняется сумме длин ее отдельных частей. Конструктор должен стремиться создать протяжку минимальной длины, так как такая протяжка экономичней. При большом припуске иногда приходится всю работу разбивать между несколькими протяжками, если одна протяжка получается слишком длинной.

Протяжки предназначены для окончательной обработки отверстий, поэтому калибрующие зубья должны обеспечивать требуемую точность поперечных размеров отверстий. При протягивании жестких толстостенных заготовок замечается увеличение диаметра отверстия на 0,02 мм; при протягивании тонкостенных заготовок наблюдается уменьшение диаметра. Величина увеличения и уменьшения диаметра может быть определена опытным путем в зависимости от толщины стенок протягиваемой заготовки.

Если нет данных о увеличении или уменьшении, то размеры калибрующих зубьев выбирают по максимальным размерам отверстия, а затем корректируют их опытным путем.

На основные поперечные размеры протяжки (диаметр, ширину, шлица и т. д.) назначают следующие допуски:

Элементы протяжки

Допустимые отклонения

Режущие зубья . . . . .	$\pm 1/5$ от подъема зубьев, но не более $\pm 0,02$ мм
Калибрующие зубья . . . . .	$-1/3$ допуска на протягиваемое отверстие, но не более отклонений скользящей посадки 2-го класса точности
Направляющие части . . . . .	Посадка $D$ для отверстий 2-го класса точности

Конструирование шлицевых протяжек для прямоугольных шлицев (см. рис. 355, *д*) аналогично конструированию круглых протяжек. Шлицевые протяжки для винтовых шлицев (см. рис. 355, *е*) отличаются тем, что зубья располагаются рядами по спирали. Междузубые канавки могут быть как кольцевые, так и винтовые. Такие шлицевые протяжки имеют сравнительно небольшое распространение.

В зависимости от формы шлицевых отверстий протяжки изготавливаются с эвольвентным профилем шлицев (рис. 355, *ж*), с угловыми или елочными шлицами (рис. 355, *з*). Метод расчета протяжек с эвольвентной формой шлица или елочными зубьями не отличается от расчета круглых протяжек.

Круглая выглаживающая протяжка (рис. 361) по конструкции отличается от режущей протяжки. Кроме режущих и калибрующих зубьев, она имеет также выглаживающие зубья, которые закруглены и при движении протяжки как бы развальцовывают обрабатываемое отверстие. На рис. 361 показана протяжка, выглаживающая часть которой выполнена насадной с отверстием; после насаживания ее она закрепляется гайкой и контргайкой. При конструировании выглаживающей протяжки необходимо правильно выбрать величину подъема на зуб; последняя колеблется от 0,01 до 0,02 мм на диаметр. При работе выглаживающей протяжки вследствие упругих деформаций диаметр обрабатываемого отверстия может получиться несколько меньшего размера. Заготовка как бы сжимается после прохода протяжки через отверстие. Это уменьшение необходимо учитывать при конструировании выглаживающей протяжки и принимать ее диаметр несколько больше диаметра обработанного отверстия. Применяются такие протяжки для обработки заготовок из мягких и вязких материалов.

К протяжкам для обработки многогранных отверстий относятся квадратные, шестигранные, прямоугольные, восьмиугольные и др. На рис. 355, *к* показана протяжка для обработки квадратного отверстия. Особенностью конструирования таких протяжек является генераторная схема резания с наличием трех-четырех ступеней по длине с различными подъемами на зуб.

Комбинированные протяжки (рис. 362) предназначены для одновременной обработки шлицевых или зубчатых отверстий. Они

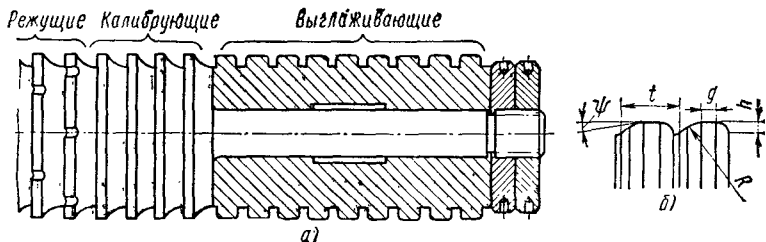


Рис. 361. Зубья выглаживающей протяжки:  
 а — профили зубьев; б — профиль выглаживающих зубьев

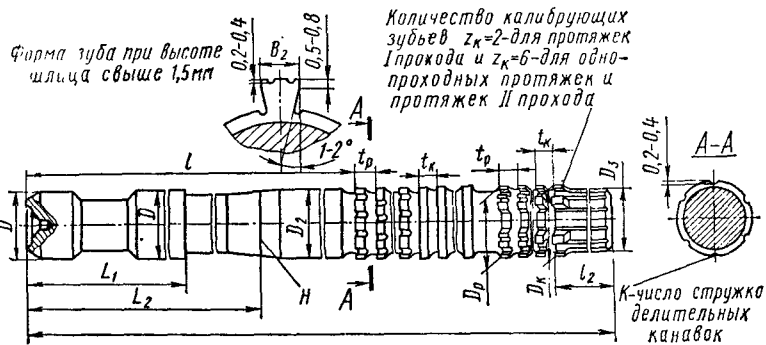


Рис. 362. Комбинированная протяжка

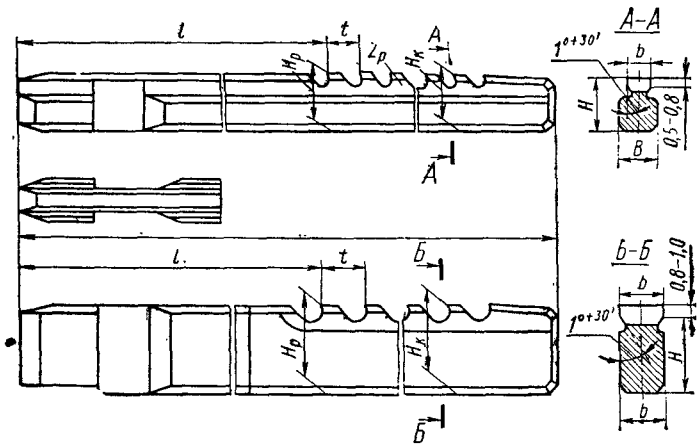


Рис. 363. Шпоночная протяжка

Рис. 364. Крепление секций наружных протяжек к корпусу: а — односторонней протяжки; б — двусторонней протяжки

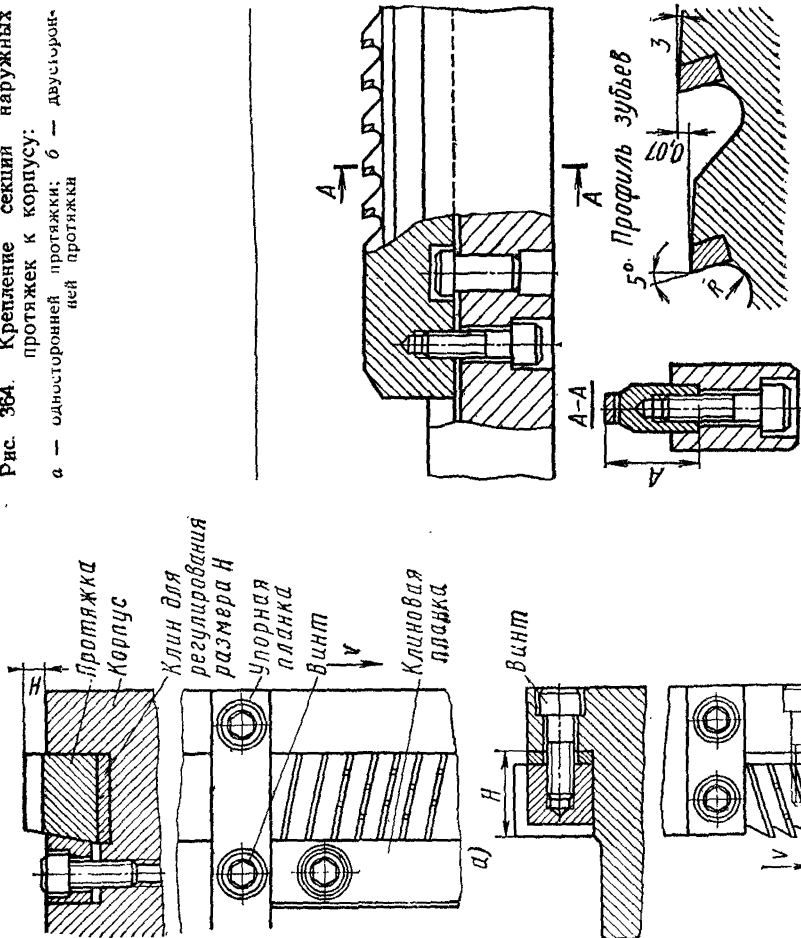


Рис. 365. Протяжка из твердого сплава для предварительной прорезки паза в дисках

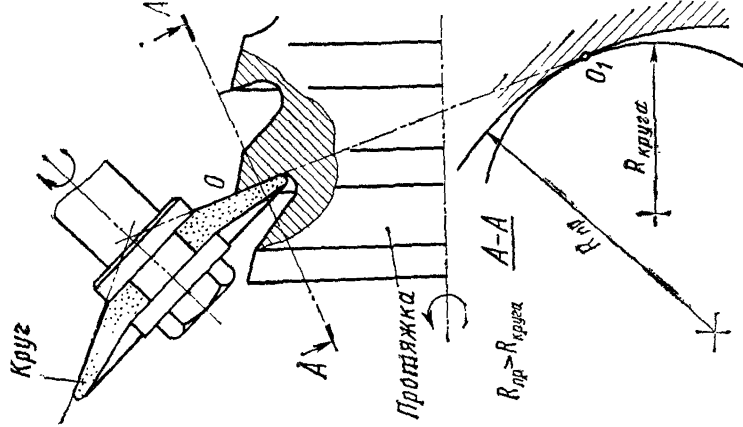


Рис. 366. Схема заточки круглой протяжки по передней поверхности

имеют две режущие части, выполненные на одном стержне. Например, комбинированная протяжка для шлицевых отверстий имеет вначале круглую часть, которая обрабатывает отверстие по внутреннему диаметру шлицев. За круглой частью следует режущая шлицевая часть; эта часть предназначена для вырезания шлицевых пазов. Круглая и шлицевая режущие части имеют несколько калибрующих зубьев. Основным преимуществом комбинированной протяжки является повышенная производительность, так как две операции совершаются за один проход.

На рис. 363 показана шпоночная протяжка. Такие протяжки предназначены для протягивания пазов под шпонку в различных отверстиях. Размеры шпоночных протяжек с хвостовиками под кулачковые патроны стандартизованы.

## § 2. Протяжки для наружного протягивания

Протяжки для наружного протягивания могут быть выполнены цельными и сборными. Если при конструировании протяжки для внутреннего протягивания конструктор не может сделать протяжку прочнее, то у протяжки для наружного протягивания можно выбрать любые габаритные размеры и создать очень прочную сборную конструкцию.

Крупные наружные протяжки изготавливают в виде отдельных секций, укрепленных на специальном корпусе. На рис. 364 показано несколько типов креплений отдельных секций протяжки на общем корпусе. Могут быть изготовлены также протяжки с отдельными вставными зубьями. Все элементы крепления протяжек, состоящих из отдельных секций, а также протяжек со вставными зубьями должны быть рассчитаны на прочность.

Если при конструировании внутренних протяжек после переточки нельзя увеличить их диаметр и приходится переводить калибрующие зубья в режущие, то наружные протяжки допускают регулирование размера за счет подкладных клиньев (рис. 364, а). При протягивании сложных и фасонных профилей заготовок из труднообрабатываемых материалов с целью повышения стойкости используют твердосплавные протяжки. При обработке небольших отверстий и пазов изготавливают цельные протяжки из твердосплавных пластифицированных заготовок. Сборные протяжки бывают с ножами, оснащенными припаянными твердосплавными пластинками, с механическим креплением твердосплавных пластинок и твердосплавными секциями, изготовленными из пластифицированных заготовок. На рис. 365 приведена протяжка, оснащенная пластинками из твердого сплава, предназначенная для предварительной прорезки пазов в дисках.

Заточка протяжек производится в основном по передней поверхности зуба, и реже протяжка перетачивается (вернее, шлифуется) по задней поверхности. На рис. 366 показана схема заточки внутренней круглой протяжки по передней поверхности зуба. Чтобы шлифованный круг не «разваливал» зуб, радиус круга должен быть меньше, чем радиус кривизны зуба в сечении  $NN$ .



## СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

## § 1. Комбинированные инструменты

Комбинированным называют инструмент, который предназначен для обработки нескольких поверхностей; в нем соединяются два или несколько инструментов одного или различных видов. Применение комбинированного инструмента позволяет совмещать несколько переходов и даже операций в одну.

Преимущества комбинированного инструмента заключаются в увеличении производительности (за счет уменьшения машинного и вспомогательного времени на обработку заготовки), удешевлении операций (за счет применения более простых станков), возможности удаления значительных припусков (за счет совмещения работы нескольких режущих кромок). Однако комбинированные инструменты дороже. Все комбинированные инструменты можно подразделить на две основные группы: 1) состоящие из инструментов одного и того же вида; 2) состоящие из инструментов разных видов.

Примером конструкции комбинированного инструмента, состоящего из инструментов одного и того же вида, может служить державка с несколькими резцами (рис. 367, а). Наружные резцы служат для обтачивания наружных ступеней заготовки; внутренние резцы растачивают внутренние ступени в отверстии заготовки. Инструменты подобного типа применяются широко и позволяют резко увеличить производительность. Если между диаметрами заготовок большая разница, то целесообразно применять резцы

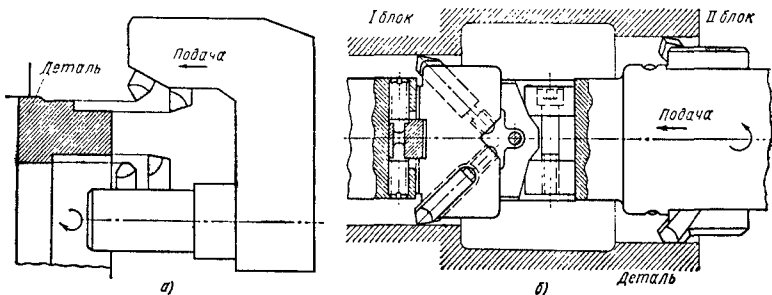


Рис. 367. Комбинированные инструменты:

- а — многоинструментная наладка (державка с несколькими резцами);  
 б — расточная оправка с расточными блоками

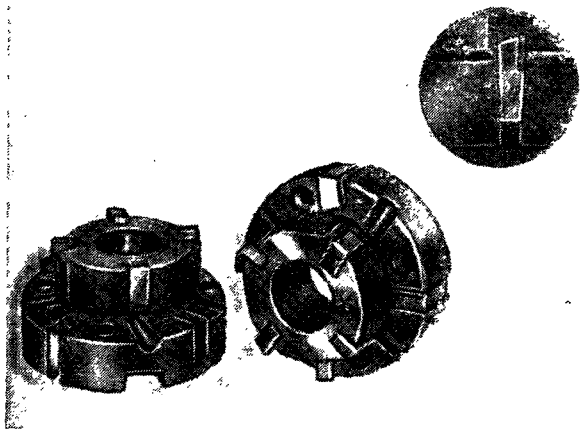


Рис. 368. Сборные двухступенчатые зенкеры со вставными ножами

из различных материалов; резцы для обработки отверстий можно изготовить из быстрорежущей стали; резцы, обрабатывающие наружную поверхность заготовки с более высокой скоростью резания, — из твердого сплава.

Распространен комбинированный инструмент для растачивания ступенчатых отверстий. В расточной оправке, имеющей сквозные пазы, укреплено несколько расточных блоков (рис. 367, б). В каждом блоке имеется два резца, регулируемых винтами по диаметру. Расточная оправка (борштанга) позволяет обработать одновременно несколько ступеней отверстия или несколько ступенчатых отверстий.

Для облегчения заточки комбинированные ступенчатые зенкеры делают составными; первая ступень зенкера выполняется в виде отдельного зенкера, снабженного коническим хвостовиком и входящего в соответствующее коническое отверстие зенкера, предназначенного для обработки второй ступени.

Получили распространение ступенчатые сборные зенкеры со вставными ножами. В конструкции, показанной на рис. 368, регулировка осуществляется перестановкой ножей на одно или несколько рифлений в радиальном направлении. Существуют конструкции, позволяющие производить более тонкую регулировку ножей зенкера. Примером комбинированного инструмента может служить набор фрез для одновременного фрезерования нескольких поверхностей (рис. 369). Для обработки торцов заготовки служат две сборные двусторонние фрезы 1 и 2 с правым и левым направлениями канавок. Для обработки полукруглой выемки служит полукруглая выпуклая фасонная фреза 3. Плоские поверхности *AB* и *CD* заготовки обрабатывают двумя дисковыми фрезами 4 и 5. Комплектные фрезы необходимо затачивать так, чтобы номиналь-

ная разница диаметров фрез, входящих в комплект, а следовательно, и размеры  $a$  и  $b$ , показанные на рис. 369, оставались постоянными после переточки комплекта по диаметру. Регулирование размеров вдоль оси оправки производится с помощью проставочных колец.

Комбинированная протяжка может обрабатывать последовательно, например своей первой ступенью, круглое отверстие, второй ступенью вырезать в этом круглом отверстии шлицы. На стр. 390 описана такая комбинированная протяжка для одновременной обработки шлицевого отверстия по внутреннему диаметру и по шлицам. Имеются также другие конструкции комбинированных инструментов этой группы.

Рассмотрим комбинированные инструменты, состоящие из инструментов разных видов. Комбинированный зенкер-сверло (рис. 370) позволяет сверлить и одновременно зенкеровать отверстие. Сверло 2 вставляется в двузубый зенкер 1 и закрепляется в корпусе 3.

Для сквозных отверстий применяется также комбинированный инструмент, совмещающий в себе сверло и развертку. Для хорошего отвода стружки и уменьшения крутящего момента сверло-развертка работает последовательно: вначале сверлится отверстие, и только тогда, когда отверстие просверлено, вступает в работу развертка; так же работает и сверло-метчик.

Комбинированный инструмент для обработки овальных отверстий в рельсах — концевая фреза-сверло, показан на рис. 371. При

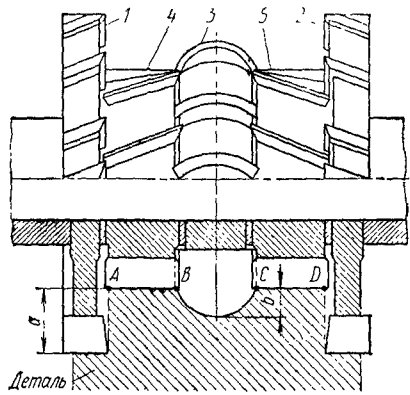


Рис. 369. Набор фрез

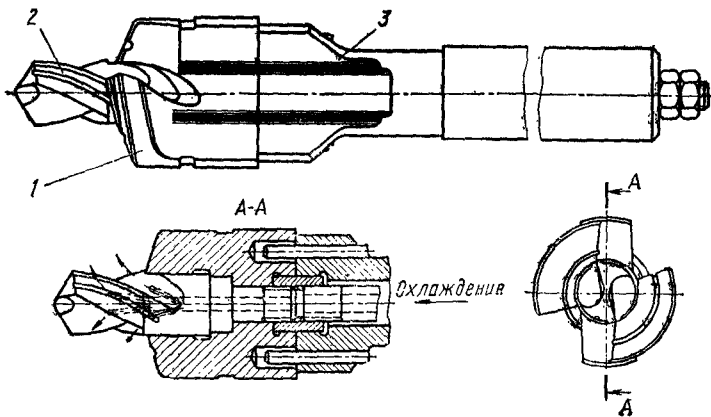


Рис. 370. Комбинированный зенкер-сверло

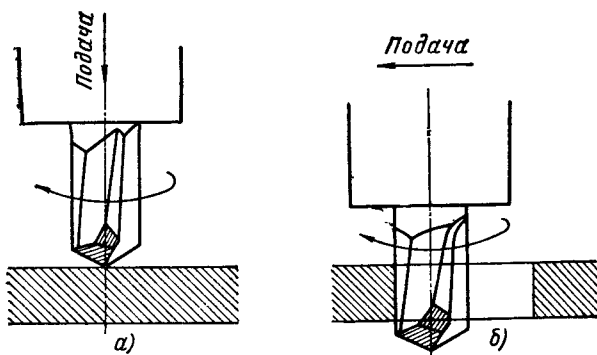


Рис. 371. Схема работы сверла-фрезы для овальных отверстий:

а — переход-сверление; б — переход-фрезерование

сверлении отверстия работают режущие кромки сверла, инструмент движется вдоль оси и вращается (рис. 371, а). После того как отверстие просверлено насквозь, переключается направление подачи стола: подача происходит уже не в вертикальном, а в горизонтальном направлении, перпендикулярном к оси сверла (рис. 371, б). С этого момента вступают в работу кромки, расположенные на цилиндрической части инструмента, и инструмент работает как фреза.

Широкое распространение получил муфторасточный комбинированный патрон (рис. 372), обеспечивающий совмещение обтачиваний торца, фасок и канавки и развертывание внутреннего конического отверстия муфты за одну операцию. Такой патрон применяется на специальных муфторасточных станках с вращающимися муфтами. При продвижении патрона в работу вступают разверточные ножи, которые предназначены для развертывания внутреннего конуса муфты. По мере продвижения разверточных ножей в глубь муфты расточные ножи начинают растачивать канавки. Последними вступают в работу торцовые ножи, предназначенные для образования внутренней и наружной фасок и подрезания торца муфты.

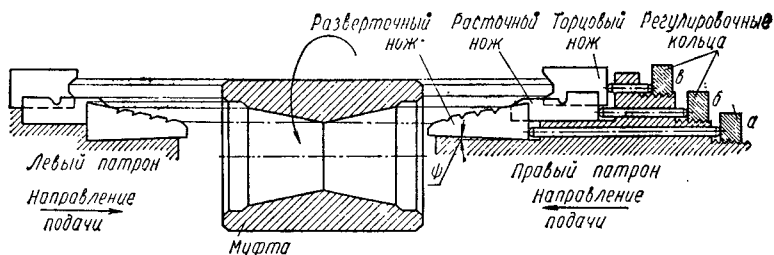


Рис. 372. Схема работы муфторасточных патронов

Расположение ножей перед обработкой муфты показано на рис. 372. В корпусе патрона просверлено большое количество отверстий, по которым охлаждающая жидкость подводится к режущим кромкам ножей. Струей охлаждающей жидкости уносится стружка.

Муфторасточной патрон позволяет производить смену ножей и их регулировку. Регулировка ножей производится кольцом *a*, которое перемещает ножи в наклонных пазах; по мере их передвижения благодаря углу  $\psi$  дна пазов увеличивается диаметр развертываемого отверстия. Для установки расточных ножей предусмотрено кольцо *b*, при повороте которого ножи перемещаются вдоль оси. Регулирующее кольцо *b* выдвигает торцовые ножи. Ножи закрепляются в определенном положении специальными зажимами.

Примером совмещения обтачивания и нарезания резьбы одним комбинированным инструментом может служить трубонарезной патрон. На рис. 373 показана схема работы патрона (завода МИЗ) для обтачивания конца трубы и нарезания резьбы. По мере продвижения патрона вдоль оси труба давит на упор, который связан с механизмом, постепенно раздвигающим кулачки с укрепленными на них гребенками. В результате двух движений — движения вдоль оси и более медленного движения в радиальном направлении кулачок головки движется по образующей конуса. Гребенка комбинированная: передняя часть ее обтачивает конец трубы по конусу, резьбовая часть нарезает на обработанной части конуса резьбу. Если, например, нарезаются резьбы с шагом 2 мм, то за один оборот гребенка продвинется вдоль оси также на 2 мм; но поскольку работа распределяется между несколькими гребенками, то становится возможным совместить нарезание резьбы с обтачиванием конца трубы. Новаторы производства часто применяют комбинированные инструменты оригинальной конструкции, позволяющие резко сократить машинное и вспомогательное время, причем хорошо продуманная конструкция комбинированного инструмента всегда повышает производительность.

При конструировании комбинированного инструмента приходится выбирать кинематическую схему резания, схему распределения нагрузки, материал, углы режущей части, схему заточки,

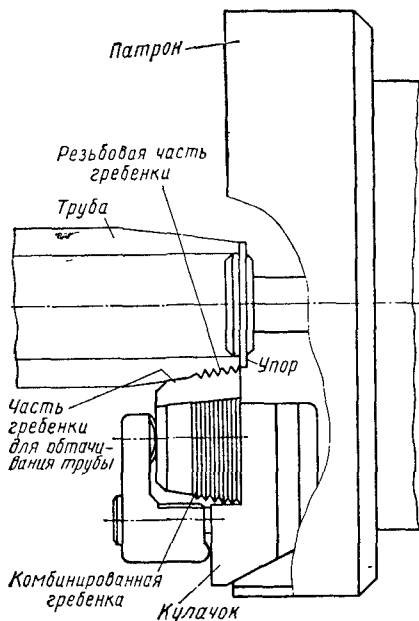


Рис. 373. Схема работы патрона

способ отвода стружки и теплоты от режущих кромок и т. д. При конструировании любого комбинированного инструмента режущие кромки должны перекрывать соответствующие обработанные участки, и схема распределения нагрузки должна быть построена с учетом этого обстоятельства.

Набор фрез для фрезерования сложной поверхности показан на рис. 369. Необходимо, чтобы в процессе работы режущие кромки инструмента перекрывали друг друга в местах стыка. Следовательно, режущие кромки дисковых фрез должны быть длиннее участка *CD* заготовки. Если не сделать такого перекрытия в местах стыка, возможна неполная обработка поверхности заготовки, появление заусенцев, защемление стружки между режущими кромками, соприкасающимися между собой.

Отвод стружки от режущих кромок инструмента приобретает важное значение, особенно при конструировании комбинированного инструмента для обработки внутренних поверхностей. В этом случае приходится учитывать не только достаточный объем канавок или каналов для выхода стружки, но и придавать определенное направление сходу стружки, избегать появления встречных, сталкивающихся стружек.

При работе зенкера-сверла (см. рис. 370) в сплошном материале от режущих кромок сверла отделяется стружка. Если происходит обработка вязкого материала, дающего сливную стружку, то отделяющаяся стружка должна завиваться в спираль и направляться к выходу из отверстия. В этом месте находится другая часть комбинированного инструмента — зенкер, от которого также отделяется стружка. Если направления отхода стружки от сверла и от зенкера совпадают, то две стружки встречаются и задерживаются их отвод из отверстия; может возникнуть спутывание и сминание их в один общий пакет, который задерживает вновь отделяющуюся стружку и приводит к поломке инструмента.

Удобным является разделение каналов (первый путь) для отвода стружки, чтобы стружка, отделяющаяся от сверла, шла по одному, а стружка, отделяющаяся от зенкера, — по другому каналу. Можно использовать один канал, но так, чтобы стружка шла по разным сторонам этого канала. В приведенном на рис. 370 примере имеется один канал, но стружка, отделяющаяся от зенкера, всегда прижимается к одной стенке, а стружка, отделяющаяся от сверла, проходит посередине канала.

Стружке можно также придать такую форму (второй путь), чтобы она легко удалялась из отверстия. Режущие кромки инструмента снабжают стружкоразделительными канавками, и широкая стружка разбивается на ряд узких полосок. Разделение стружки на более узкие и длинные полоски не приведет к желаемым результатам, так как такие стружки спутываются в клубок, и опасность поломки инструмента не устраняется. Следовательно, кроме разделения стружки на узкие полоски, следует обеспечить завивание их в короткие спирали путем заточки фаски с меньшим передним углом. На передней поверхности можно сделать лунку.

(аналогично лунке на резцах) или порожек, что также приведет к завиванию стружки. Эти мероприятия эффективны только при определенной подаче и глубине резания. Для улучшения отвода стружки используют струю жидкости. Направление ее должно выбираться таким, чтобы помогать выходу стружки из отверстия, а не забивать ее глубже.

При конструировании комбинированных инструментов часто возникает необходимость делать инструмент разъемным, из отдельных частей. На рис. 368 изображен комбинированный зенкер. Заточка такого двухступенчатого зенкера сложна, и выход шлифовального круга чрезвычайно неудобен, так как шлифовальный круг при работе будет врезаться в шейку между первой и второй ступенями зенкера. Если сделать зенкер разъемным из двух частей, то, разъединяя их, можно заточить по отдельности зенкер меньшего диаметра и зенкер большего диаметра.

Показанный на рис. 369 набор фрез мог бы быть заменен одной фасонной фрезой, если бы не сложность изготовления и заточки такой фрезы. Разделяя этот набор на отдельные фрезы, получаем инструменты простой конфигурации, поддающиеся заточке обычным способом. Все фрезы, входящие в набор, приходится затачивать с учетом необходимости сохранения определенной заданной разницы диаметров фрез. Если в обычных режущих инструментах сборной конструкции установка на размер и регулирование имеет большое значение, то в комбинированных инструментах значение регулирования резко возрастает. Можно считать не пригодной для практики такую конструкцию комбинированного инструмента, которая занимает много времени на установку и регулирование размеров.

## § 2. Инструменты для автоматизированного производства

Производительность автоматической линии или автоматического станка зависит от применяемого режущего инструмента. Последний должен удовлетворять не только обычным условиям, предъявляемым к режущему инструменту, как-то: обеспечению определенного класса шероховатости и точности обрабатываемых заготовок, необходимой стойкости и прочности, экономичности, — но также и специфическим условиям, обусловленным автоматическим оборудованием. К таким условиям относится обеспечение размерной стойкости инструмента, стабильность его работы, быстротечность и взаимозаменяемость. Указанные условия, обеспечивающие непрерывность процесса обработки и влияющие на производительность и эффективность работы автоматизированного производства (в том числе автоматических линий, станков-автоматов, станков с программным управлением, многооперационных станков), зависят от конструкции режущего инструмента.

Для обеспечения наибольшей непрерывности работы режущего инструмента в условиях автоматизированного производства необходимо исключить потери времени, складывающиеся из вре-

мени, необходимого на установку и закрепление инструмента; на настройку инструмента для получения требуемых размеров обрабатываемой заготовки как в начале, так и в процессе работы инструмента до момента снятия его на переточку; на снятие изношенного инструмента.

Учитывая специфику работы в условиях автоматизированного производства и стремясь сократить потери времени, конструкторы разработали большое количество разнообразных конструкций, в которых нашли отражение следующие идеи: а) применение взаимозаменяемого инструмента, настраиваемого на размер, что исключает потери времени на первоначальную наладку; б) использование сил резания для частичного или полного крепления инструмента, что упрощает конструкции механизма крепления инструмента, обеспечивая более высокую точность установки и, главное, сокращение времени на установку, закрепление, открепление и снятие режущей части или самого инструмента; в) встройка узлов автоматической подналадки и регулирования инструмента для компенсации систематических погрешностей размеров заготовки, что обеспечивает повышение размерной стойкости инструмента и сокращает указанные выше потери времени; г) использование принципа обновления режущих участков одной и той же кромки (прерывное или непрерывное), обновления резцов (зубьев) самих режущих инструментов.

Наряду с указанными проблемами большое значение имеет формирование и отвод стружки в условиях работы автоматического станка. В этом направлении также найдены решения, обеспечивающие нормальный стружкоотвод. Ниже приводится описание отдельных конструкций инструментов для автоматизированных производств с указанием их особенностей.

В автоматизированном производстве используется обычный стандартный инструмент (резцы, сверла, зенкеры, развертки, цевковки, фрезы, метчики и др.). Однако технические требования к инструментальным материалам и к точности изготовления — повышенные.

Для обеспечения повышенной стойкости и надежности инструмента его изготавливают из наиболее совершенных и целесообразных для конкретных условий обработки инструментальных материалов. Изготовление (и переточка) инструмента осуществляется по специальным техническим условиям, в которых предусмотрено существенное повышение точности размеров и положения режущих кромок относительно оси вращения инструмента. Однако, кроме указанных изменений, ряд стандартных инструментов имеет отличие и в конструктивном оформлении, вызванное необходимостью осуществления быстросменности и взаимозаменяемости (режущей пластинки или самого инструмента). Например, взаимозаменяемые резцы с твердосплавными многогранными и круглыми (цилиндрическими) пластинками (рис. 374, а), применяемые в автоматизированном производстве, несколько отличаются от аналогичных резцов, используемых на универсальных станках.



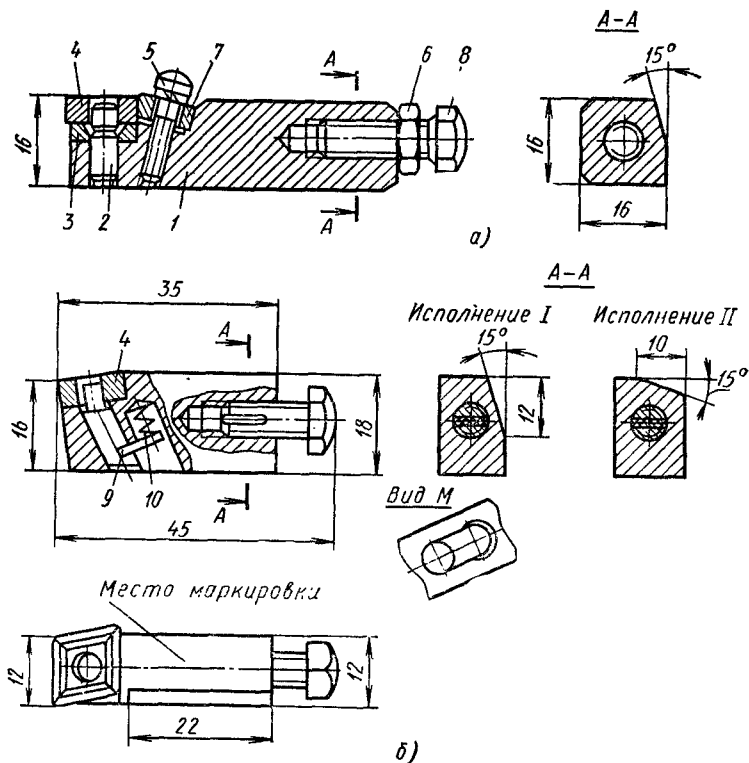


Рис. 374. Резцы для автоматизированного производства:  
 а — взаимозаменяемый резец для токарных многошпиндельных автоматов;  
 б — резец-вставка с ромбической твердосплавной пластинкой

Державка 1 (короче по длине) имеет скос под углом  $15^\circ$ , предназначенный для крепления резца на станке. Опорные поверхности державки должны быть взаимно перпендикулярны. В державку ввертывается регулировочный винт 8 (резьба по 2-му классу точности), который фиксируется в определенном положении контргайкой 6. Крепление режущей твердосплавной пластинки 4 осуществляется так же, как у стандартных резцов, предназначенных для универсальных станков, т. е. с помощью винта 5, клина 7 и штифта 2. Шероховатость поверхностей режущей пластинки не грубее 9-го, а подкладки 3 — 8-го класса.

Несколько иное крепление режущей пластинки имеют резцы-вставки, представленные на рис. 374, б. Здесь резец-вставка с ромбической твердосплавной пластинкой 4 крепится с помощью тяги, планки 9 и пружины 10.

Чтобы простой оборудования автоматических линий, связанные с заточкой затупившегося режущего инструмента, были минимальными, линии должны быть оснащены быстросменной инструмен-

тальной оснасткой. При этом быстросменным элементом может быть режущая пластинка (рис. 375, а) (многогранная неперетачиваемая твердосплавная пластинка); режцовая вставка (рис. 375, б); осевой режущий инструмент с цилиндрическим хвостовиком (рис. 375, в); удлинитель с цилиндрическим хвостовиком (рис. 375, г), в котором закреплен режущий инструмент, и т. д. Для замены режущего инструмента с помощью этих способов крепления затрачивается от 20 до 30 с на каждый инструмент. В связи с этим сверла, зенкеры, развертки, цековки и другой осевой инструмент, применяемый в автоматизированном производ-

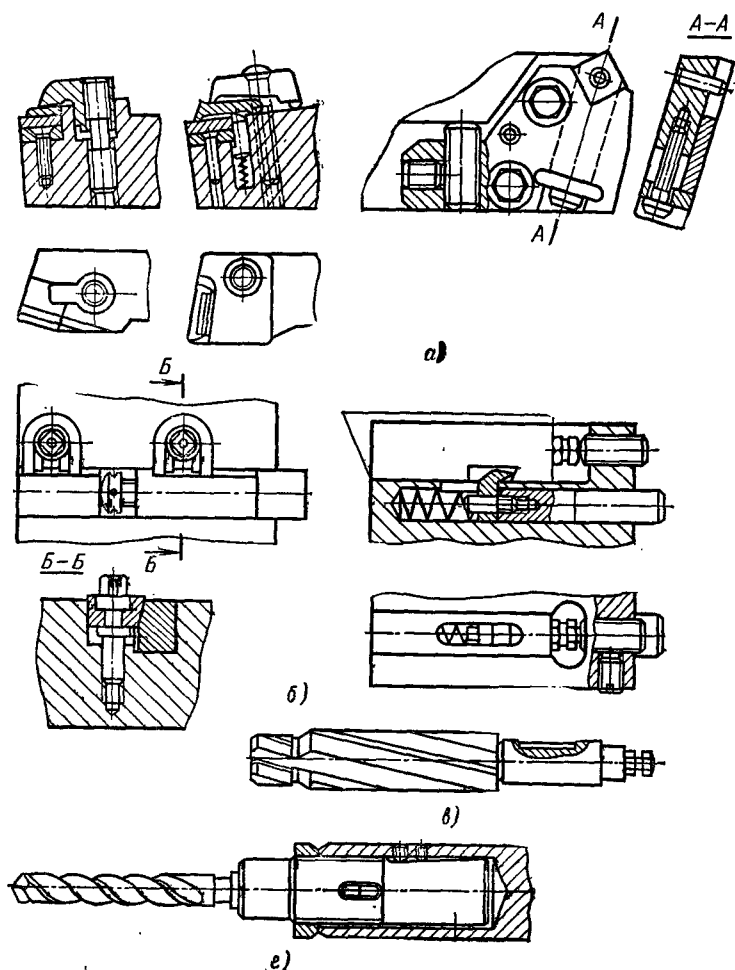


Рис. 375. Схемы быстросменного крепления:

а — режущей пластинки; б — режцовой вставки; в, г — осевого режущего инструмента

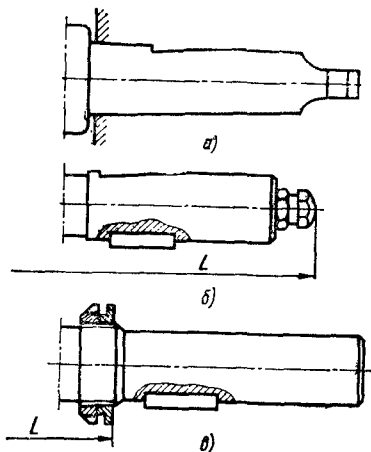


Рис. 376. Типы хвостовиков:  
 — конический с лыской для зажима;  
 б — цилиндрический с регулировочным винтом; в — цилиндрический с регулировочной гайкой и контргайкой

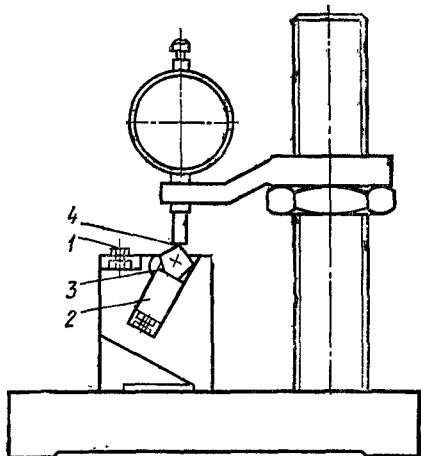


Рис. 377. Схема приспособления для предварительной настройки на размер резцовых вставок

стве, отличаются от обычного инструмента конструкцией хвостовика.

На рис. 376 показаны различные типы хвостовиков. Конический хвостовик имеет лыску для дополнительного зажима с помощью винта (рис. 376, а). Часто применяемые конструкции цилиндрических хвостовиков служат для быстрого закрепления инструмента (рис. 376, б). Регулировочный винт позволяет обеспечить настройку на длину  $L$  вне станка. Для регулирования длины инструментов в рабочем положении переднюю резьбовую часть делают с регулировочной гайкой и контргайкой (рис. 376, в).

Часто при обработке корпусных деталей в линии требуется совместить в одну операцию сверление отверстия и снятие фаски или сверление ступенчатых отверстий под головку болта. Для этой цели применяют ступенчатые сверла двух видов: переточенные из стандартных и специальные четырехленточные. Ружейными сверлами (см. стр. 216) сверлят глубокие отверстия. Для обработки ступенчатых отверстий и канавок на торцовых поверхностях используют комбинированные инструменты. Целесообразность применения сложного комбинированного инструмента в каждом отдельном случае должна быть проверена экономическим расчетом.

Для нарезания резьбы на автоматических линиях применяют метчики, резьбонарезные и резьбонакатные головки; для фрезерных операций — различные фрезы (торцовые, цилиндрические, концевые, дисковые и т. д.). Наибольшее применение на автоматических линиях обработки корпусных деталей получили торцовые фрезы сборных конструкций с ножами, оснащенными твердым сплавом. Рекомендуется снабжать торцовые фрезы одним широким зачистным ножом, выступающим на небольшую величину

(0,02—0,04 мм) относительно других ножей, что позволяет при больших минутных подачах получить высокий класс шероховатости поверхности.

Концевые фрезы для удобства смены и настройки изготавливают с цилиндрическим хвостовиком, показанным на рис. 376, б, и настраивают вне станка на нужный размер.

Настройка инструмента на нужный размер осуществляется вне станка на специальных приспособлениях. В зависимости от вида инструмента и выполняемой им операции применяют различные конструкции приспособлений для предварительной настройки. На рис. 377 приведена схема приспособления конструкции ВНИИ, предназначенного для предварительной настройки на размер регулируемых быстросменных резцовых вставок. Приспособление в виде стального кубика, на боковых сторонах которого имеются точные пазы 2 для установки в них резцовых вставок 3, устанавливают на стандартный индикаторный столик. Резцовая вставка располагается относительно измерительного наконечника индикатора 4 так же, как она устанавливается в рабочем положении на станке. Настройку индикатора на нулевой отсчет осуществляют по эталонному резцу либо по сферической головке 1 регулируемого эталонного винта. Длина резцовой вставки регулируется с помощью регулирующего винта. Точность настройки 0,02—0,03 мм.

### § 3. Методы повышения стойкости инструментов

Изготовленный из правильно подобранного инструментального материала режущий инструмент может иметь высокую или низкую стойкость, так как высокие режущие свойства инструмента обеспечивает не только материал, а также оптимальная геометрия и правильно проведенная технология обработки инструмента (термическая обработка, шлифование, заточка и т. д.), но и условия эксплуатации инструмента. После правильно проведенной термической обработки режущая кромка инструмента приобретает необходимую, характерную для данного инструментального материала твердость и износостойкость.

Существует ряд методов, позволяющих повысить стойкость режущей части инструмента (при прочих равных условиях) путем проведения дополнительных операций. К таким методам относятся: а) насыщение поверхностного слоя инструмента (цианирование, хромирование, сульфидирование); б) повышение стойкости путем улучшения структуры при термической обработке (обработка холодом, обработка паром); в) повышение качества поверхности инструмента (доводка, притирка).

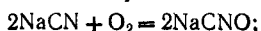
*Цианирование* — химико-термический процесс, который заключается в насыщении поверхностного слоя стали углеродом и азотом путем диффузии при определенной температуре. В зависимости от метода насыщения в промышленности различают цианирование в жидких средах, газовое цианирование и сухое цианирование

с твердым карбюризатором. В зависимости от температуры цианирование разделяется на высокотемпературное (в диапазоне 800—850°С) и низкотемпературное (в диапазоне 550—560°С).

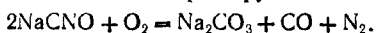
Для инструментов из быстрорежущей стали применяется только низкотемпературное цианирование полностью обработанных инструментов, так как, если термически обработанный и заточенный инструмент подвергать цианированию при температурах выше обычных температур отпуска, будет понижена твердость, что приведет не к повышению стойкости, а к резкому снижению ее.

Широкое применение на заводах имеет жидкое цианирование инструмента из быстрорежущей стали при температуре 550—560°С. Процесс насыщения стали углеродом и азотом производится в ваннах (тиглях), наполненных расплавленной солью (обычно цианистый натрий NaCN).

В процессе работы идут химические реакции окисления:



далее образовавшийся цианид NaCNO реагирует с кислородом воздуха:



Оксид углерода CO реагирует с железом, входящим в состав быстрорежущей стали, образуя карбид железа:



Выделяющийся атомарный азот также реагирует с железом и легирующими элементами, образуя нитриды. Карбиды железа и нитриды повышают твердость до HRC 68—70 и износостойкость поверхности режущей части инструмента. Время выдержки в цианистых ваннах зависит от размера и конструкции инструмента и колеблется в пределах 5—30 мин.

Цианированный инструмент имеет повышенную стойкость. Повышение стойкости — результат как повышенной твердости поверхностного слоя, так и пониженного коэффициента трения при резании, что уменьшает износ и повышает красностойкость инструмента. Рекомендуется цианирование с глубиной слоя 0,01—0,03 мм, так как при больших слоях режущая кромка инструмента получается хрупкой. Жидкому низкотемпературному цианированию подвергают протяжки, сверла, резьбовой инструмент и некоторые другие виды инструмента из быстрорежущей стали.

**Сульфидирование** — процесс насыщения поверхностных слоев металла серой. Образовавшиеся на поверхности инструмента сернистые соединения снижают коэффициент трения и повышают износостойкость инструмента. Процесс производится при температуре 550—560°С в ваннах следующего состава: 39% хлористого кальция; 25% хлористого бария и 17% хлористого натрия с добавлением сернистых соединений: 13,7% сернистого железа (в порошке); 3,4% сернистого калия и 3,4% желтой кровяной соли. Выдержка от 40 до 90 мин. По данным некоторых исследований стойкость сульфидированного инструмента в 1,5—2 раза выше.

**Хромирование** можно подвергать готовые инструменты из различных сталей — быстрорежущей, легированной или углеро-

дистой. Применяется хромирование долбяков, протяжек и некоторых других инструментов. При изготовлении инструмента применяют главным образом электролитическое хромирование в гальванических ваннах с толщиной слоя до 0,025 мм.

*Процесс обработки паром* инструментов из быстрорежущей стали заключается в предварительной промывке инструмента при температуре около 70° С следующим составом на литр раствора: 20—40 г соды  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 20—40 г каустической соды  $\text{NaOH}$  и 20—40 г тринатрийфосфата  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ; затем промытый горячей водой инструмент загружается в электропечь с герметическим затвором (можно использовать печи для отпуска инструмента). При температуре 340—380° С инструмент выдерживается в течение 15—30 мин до полного прогрева; затем печь продувается водяным паром, и при 540—560° С инструмент выдерживается в течение 30—40 мин; затем охлажденный до 50—70° С инструмент опускают в подогретое минеральное масло. После обработки паром и погружения в масло на инструменте образуется тонкая (0,05 мм) пленка окислов, а так как процесс происходит при температуре дополнительного отпуска для быстрорежущей стали, то инструмент получает повышенную среднюю стойкость (если он был правильно закален). В процессе обработки паром не могут быть устранены последствия плохой термической обработки инструмента. Повышение стойкости в 2 раза и некоторая стабилизация показателей стойкости вследствие улучшения условий отвода и уменьшения налипания стружки, например на ленточках сверл, обеспечили внедрение этого процесса в промышленность.

Для повышения стойкости режущие кромки следует *доводить*. Заточка и доводка режущих кромок, особенно алмазными кругами, позволяет повысить среднюю стойкость ряда инструментов, особенно чистовых, в 2—3 раза и более, так как улучшает качество поверхности инструмента, а следовательно, и условия работы режущей части инструмента.

Окончательно изношенный инструмент, например зенкер, развертка, резец и т. д., можно восстановить. *Методы восстановления* сборного и цельного инструмента различны. Возможность восстановления заложена в конструкциях сборных инструментов. Например, корпуса сборных фрез разверток, зенкеров и т. д. могут служить очень долго и выдерживают многократную смену изношенных ножей. Во многих случаях возможность легкого восстановления и обеспечивает целесообразность выбора сборной конструкции инструмента. Для отдельных конструкций сборного инструмента вопрос замены ножей решается по-разному. В конструкциях резцов и фрез предусматривается применение непереключаемых многогранных пластинок. Такой инструмент восстанавливается просто. Когда износились все режущие кромки пластинки, она снимается и заменяется новой. Державка служит до тех пор, пока можно на ней закреплять пластинку.

Восстановление инструмента цельной конструкции, а также инструмента с напаянными пластинками значительно сложнее и

не всегда оправдывается экономически. Инструмент можно перешлифовать на ближайший размер с соответствующим углублением стружечных канавок. Подобным путем могут восстанавливаться такие инструменты, как зенкеры, развертки, большинство видов цельных фрез. При восстановлении методом шлифования отверстие насадных инструментов остается в первоначальном виде, но может также хромироваться в размер.

Ряд инструментов можно восстановить путем отжига изношенного инструмента с последующей полной механической обработкой на новый размер. Отверстие насадного инструмента после отжига растачивается на другой размер, или в него вставляется втулка. Из поломанных быстрорежущих фрез могут быть изготовлены пластинки для напайки на резцы и т. д. Инструмент следует восстанавливать только тогда, когда это оправдывается экономически.

## ШЛИФОВАНИЕ И АБРАЗИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ

## § 1. Общие сведения

Шлифование — процесс резания металлов с помощью абразивного инструмента, режущим элементом которого являются зерна. Зерна, обладающие высокой твердостью, теплоустойчивостью и острыми кромками, соединены специальными связующими веществами в шлифовальные круги, сегменты, головки, бруски и шкурки; применяют зерна и в виде паст и порошков.

Выступающие зерна (рис. 378) абразивного материала, прочно закрепленные в шлифовальном круге связующим (цементирующим) веществом, при вращении круга с большой скоростью (до 80 м/с) срезают (царапают) слой металла с заготовки в виде очень мелкой стружки. Большое число стружек (до сотни миллионов в минуту) и их малая толщина (несколько микрон) обуславливаются малым размером самих режущих зерен-резцов и большим количеством зерен, одновременно участвующих в резании (царапании). Вследствие малого сечения среза и большой скорости резания шлифование обеспечивает высокую точность (2—1-й класс) и малую шероховатость обработанной поверхности (7—12-го класса), а поэтому этот процесс чаще является окончательной (отделочной) операцией. Однако шлифование успешно применяют и для снятия больших объемов металла, заменяя обработку заготовки резцом или фрезой.

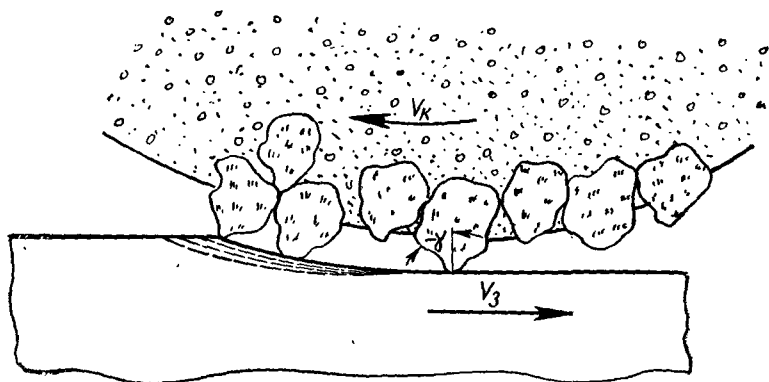


Рис. 378. Схема работы абразивных зерен



Процесс стружкообразования при шлифовании приближается к резанию, осуществляемому зубом фрезы. Несмотря на малые размеры срезаемого слоя, получаемая при шлифовании стружка имеет то же строение и вид, что и стружка, получаемая при фрезеровании. Здесь также имеют место упругое и пластическое деформирование, тепловыделение, упрочнение, износ и др. Но так как не все зерна одинаково участвуют в работе, то наряду с нормальной (мелкой) стружкой при шлифовании получается еще и металлическая пыль, которая при высокой температуре спекается.

Высокая температура при шлифовании (до 1000—1500° С) возникает в результате наличия у зерен разнообразной, неправильной геометрии режущей части (отрицательного переднего угла) и большой скорости резания. С увеличением износа зерен температура при шлифовании повышается, что может вызвать деформацию детали, прижог, структурные изменения и трещины на обработанной поверхности. Для снижения температуры при шлифовании сталей применяют обильное (10—60 л/мин) охлаждение. Смазочно-охлаждающие жидкости способствуют также удалению абразивной и металлической пыли из воздуха и очищению пор круга от продуктов отхода, повышают производительность и уменьшают шероховатость обработанной поверхности; снижается и размягчение связки круга, которое получается вследствие нагрева.

При шлифовании заготовок из сталей наибольшее распространение имеют следующие смазочно-охлаждающие жидкости: 1) 1%-ный раствор кальцинированной соды и 0,15%-ный раствор нитрита натрия; 2) 2%-ный водный раствор мыльного порошка; 3) 5—7%-ный водный раствор эмульсола; 4) 3,5%-ный водный раствор нейтрального эмульсола на основе олеиновой кислоты. При шлифовании заготовок из алюминия применяют керосин или керосин с добавкой минеральных масел. Заготовки из чугуна и меди часто шлифуют без охлаждения, но при этом желательно наличие пылеотсосов.

Наряду с общими явлениями, присущими и другим видам обработки металлов резанием, процесс шлифования имеет особенности: 1) режущая кромка шлифовального круга не сплошная, а прерывистая, так как зерна отстоят друг от друга на некотором расстоянии; 2) зерна шлифовального круга неправильной, округленной в вершинах геометрической формы, произвольно расположены в круге, что является причиной отрицательного и непостоянного значения переднего угла; 3) вследствие пирамидальной и округленной формы режущей части зерна возникает сложная зависимость между глубиной и шириной впадины, образуемой на обработанной поверхности каждым зерном-резцом; 4) в процессе работы шлифовальный круг может самозатачиваться, т. е. под действием повышенной нагрузки на затупленное зерно последнее может расколоться или чаще всего выкрошиться из связки, обнажив новые острые зерна, которые и будут продолжать резание; 5) вследствие округления вершины зерна и нулевой толщины

среза в момент, предшествующий царапанию — срезанию (т. е. при врезании), зерна подвергаются большому трению о поверхность резания, образованную впереди идущими зернами-резцами; б) процесс снятия стружки зерном происходит за короткий промежуток времени (0,0001—0,00005 с). Эти особенности делают процесс резания при шлифовании более сложным, чем при других видах обработки, и создают большие трудности как при теоретическом, так и экспериментальном его исследовании.

## § 2. Характеристика абразивного инструмента

**Абразивные материалы.** Применяющиеся в виде режущих зерен материалы делятся на две группы: естественные и искусственные. К естественным абразивным материалам относятся минералы — алмаз, корунд и наждак. Основной составляющей частью корунда и наждака является окись алюминия (глинозем); они содержат также посторонние примеси, снижающие их качество, а потому в современном машиностроении почти не применяются. К искусственным абразивным материалам относятся электрокорунд, карбид кремния, карбид бора, синтетический алмаз, эльбор\*.

Электрокорунд (искусственный корунд) является кристаллической окисью алюминия  $Al_2O_3$ , получаемой путем электроплавки бокситов, которые состоят в основном из окиси алюминия и некоторых примесей. При плавке (температура плавления 2200—2400° С) из бокситов выделяются примеси, а окись алюминия кристаллизуется. Электрокорунд обладает высокой твердостью (уступая карбиду кремния, карбиду бора, алмазу и эльбору), значительной вязкостью, выдерживает высокую температуру (до 2050° С); при его дроблении образуются острые режущие кромки. Твердость ( $HV$  1800—2700 кгс/мм<sup>2</sup>) и вязкость корунда зависят от содержания окиси алюминия. Чем больше в корунде окиси алюминия, тем больше твердость и меньше вязкость (выше хрупкость). В зависимости от содержания окиси алюминия, примесей и присадок, а также от технологии изготовления электрокорунд делится на четыре вида.

1. Нормальный электрокорунд (Э) содержит 91—96% кристаллической окиси алюминия  $Al_2O_3$ ; выпускается пяти марок — Э5, Э4, Э3, Э2К, Э2 (в марке Э5 — 95%  $Al_2O_3$ , в марке Э4 — 94%  $Al_2O_3$  и т. д.).

2. Белый электрокорунд (ЭБ) изготавливается из чистого глинозема и содержит 97—99%  $Al_2O_3$ . Имеет более высокие, чем электрокорунд Э, режущие свойства. Выпускается трех марок — Э9, Э9А и Э8, электрокорунд Э9А более качественен, чем Э9, и применяется для абразивного инструмента класса А. Электрокорунды Э и ЭБ применяют при обработке металлов и сплавов с высоким пределом прочности на разрыв (стали, ковкий чугун, мягкие бронзы).

\* См. стр. 16.

3. Монокорунд (М) содержит 97—98%  $Al_2O_3$  и до 0,9% окиси железа и получается непосредственно в виде зерен. Выпускается двух марок — М7 и М8. Имеет более высокие режущие свойства, чем Э и ЭБ, и применяется при шлифовании труднообрабатываемых легированных сталей и сплавов.

4. Легированный электрокорунд (хромистый — ЭХ и титанистый ЭТ). Легирование зерен электрокорунда окислами хрома повышает его ударную вязкость и абразивные свойства; легирование окислами титана повышает прочность зерна электрокорунда. В результате этого шлифовальные круги из легированных электрокорундов более производительны, чем из электрокорундов Э и ЭБ.

Карбид кремния (карборунд) является химическим соединением кремния и углерода ( $SiC$ ). Он получается из кварцевого песка при сплавлении его с углеродом (коксовым порошком). При нагреве в электропечах до  $1920^\circ C$  кремнезем, содержащийся в кварцевом песке, вступает во взаимодействие с углеродом, образуя при этом карбид кремния. Карбид кремния имеет высокие твердость (уступая карбиду бора, алмазу и эльбору), теплоустойчивость (до  $2050^\circ C$ ) и режущие свойства. Последнее объясняется тем, что при дроблении карбида кремния образуются острые режущие кромки. Карбид кремния выпускается двух видов: черный КЧ и зеленый КЗ; черный карбид кремния — КЧ8 ( $SiC$  — 98%) и КЧ7, зеленый карбид кремния — КЗ9 ( $SiC$  — 98,5%) и КЗ8 ( $SiC$  — 98%).

Черный карбид кремния менее качественен, чем зеленый. Зеленый карбид кремния имеет несколько большую твердость ( $HV$  до 3600 кгс/мм<sup>2</sup>) и обеспечивает большую производительность (что объясняется его более острыми режущими кромками). При его изготовлении применяется чистый кварцевый песок (с содержанием кремния выше 99%), более чистый углерод и затрачивается значительно больше электроэнергии; зеленый карбид кремния дороже черного. Карбид кремния хрупок. Поэтому его применяют при обработке материалов с малым пределом прочности на разрыв (чугуна, бронзовых и алюминиевых отливок, твердых сплавов и др.), причем зеленый карбид кремния используют в основном при заточке инструмента, оснащенного твердым сплавом. Карбид кремния применяют также и для безалмазной правки шлифовальных кругов после их затупления в процессе шлифования.

Карбид бора ( $B_4C$ ) является химическим соединением бора с углеродом. Он обладает большой твердостью, приближающейся к самому твердому материалу — алмазу, но хрупок. Карбид бора применяют для доводки твердых сплавов, при притирочных работах, требующих применения режущего инструмента высокой твердости.

Абразивные материалы дробятся в шаровых мельницах, после чего полученные зерна сортируются по размерам. Размер зерен указанных выше материалов колеблется от 3,5 до 2500 мкм. В зависимости от размера зерен устанавливаются следующие их номера (зернистость): 200, 160, 125, 100, 80, 63, 50, 40, 32, 25, 20,

является быстрое засаливание абразивного инструмента, снижающее его производительность.

Бакелитовая связка (Б1, Б2 и др.) состоит из бакелита — искусственной смолы, приготовленной из карболовой кислоты и формалина. Круги на этой связке прочны, эластичны, допускают большие окружные скорости вращения, но разрушаются от действия щелочной охлаждающей жидкости. Во избежание этого рекомендуется пропитка круга парафином. К недостаткам бакелитовой связки относится и то, что она теряет прочность при нагреве выше  $180^{\circ}\text{C}$ . Для уменьшения шероховатости обработанной поверхности абразивный инструмент на бакелитовой связке делают иногда с графитовым наполнителем.

Глифталевая связка (синтетическая смола из глицерина и фталевого ангидрида) применяется для изготовления абразивного инструмента, который необходим для доводочных и полировальных работ (шероховатость обработанной поверхности до  $\nabla 13$ ).

К неорганическим связкам относятся керамическая (К), магнезиальная (М) и силикатная (С). Керамическая связка (К0, К1, К3 и др.) получила наибольшее распространение. Она готовится из огнеупорной глины, полевого шпата, кварца, талька, мела и жидкого стекла. Основным материалом являются первые три. Связка эта огнеупорная и химически стойка, а абразивные инструменты, приготовленные на ней, обладают большой производительностью, хорошо сохраняют профиль рабочей кромки, не боятся влаги. Недостатком керамической связки является хрупкость, что делает абразивные инструменты чувствительными к ударной нагрузке. Большим достижением абразивной промышленности является изготовление и внедрение специальных высокопрочных керамических связок, позволяющих осуществлять высокопроизводительное (скоростное) шлифование (окружная скорость шлифовального круга 50 м/с и выше).

Магнезиальная (магнезит и хлористый магний) и силикатная (смесь глины, кремневой пыли и жидкого стекла) связки делают абразивный инструмент мягким, малопроизводительным, а потому применяются редко. Для изготовления алмазных и эльборовых кругов используют бакелитовые, керамические, а также металлические связки (чаще бронзу).

**Твердость абразивного инструмента.** Под твердостью абразивного инструмента подразумевается способность связки удерживать зерно в инструменте при воздействии на него внешних сил. Чем легче выкрашивается зерно из инструмента, тем мягче инструмент, и наоборот. Твердость — важная характеристика абразивного инструмента, от которой во многом зависят производительность и качество обработанной поверхности. Слишком твердый круг будет способствовать возникновению прижогов на обработанной поверхности или требовать частой правки, так как затупившиеся зерна не выкрашиваются из твердой связки. Работа затупленными зернами приводит к большей затрате мощности, к большему трению и тепловыделению, что может вызвать не

16, 12, 10, 8, 6, 5, 4, 3, М63, М50, М40, М28, М20, М14, М10, М7 и М5. Наибольший размер зерна имеет номер 200, наименьший — М5. Абразивные материалы номеров 200—16 называют шлифзерном, номеров 12—13 — шлифпорошками, номеров М40—М14 — микропорошками, М10—М5 — тонкими микропорошками. Для шлифзерна 200—16 и шлифпорошков 12—6 устанавливают метод испытания с помощью сита; для микропорошков М40—М5 — микроскопический анализ; для шлифпорошков 5—3 и микропорошков М63 и М50 — комбинированный анализ.

Зернистость алмазных (природных синтетических) порошков классифицируется по ГОСТ 9206—70. В зависимости от размера зерен, метода их получения и контроля алмазные порошки делятся на шлифпорошки и микропорошки. Размер шлифпорошков колеблется от 630 до 40 мкм (по размерам ячеек верхнего и нижнего сита в мкм), а размер микропорошков — от 60 до 1 мкм и менее (контролируется с помощью микроскопа).

Зернистость алмазных порошков обозначается дробью, в которой числитель соответствует наибольшему размеру зерен основной фракции, а знаменатель — наименьшему.

Алмазные шлифпорошки предусматриваются двух диапазонов зернистости — широкого и узкого. В широком диапазоне — пять номеров зернистости (400/250, 250/160, 160/100, 100/63, 63/40); в узком диапазоне — 12 номеров зернистости (630/500, 500/400, 400/315, 315/250, 250/200, 200/160, 160/125, 125/100, 100/80, 80/63, 63/50, 50/40).

Алмазные микропорошки по ГОСТ 9206—70 предусматриваются 11 зернистостей (60/40, 40/28, 28/20, 20/14, 14/10, 10/7, 7/5, 5/3, 3/2, 2/1, 1/0). Зернистость эльборовых зерен обозначается после буквы Л в виде дроби: Л315/250 (Л25), Л250/200 (Л20), Л200/160 (Л16), Л160/125 (Л12), Л125/100 (Л10), Л100/80 (Л8), Л80/63 (Л6), Л63/50 (Л5), Л50/40 (Л4), Л40/28 (ЛМ40), Л28/20 (ЛМ28), Л20/14 (ЛМ20), Л14/10 (ЛМ14), Л10/7 (ЛМ10), Л7/5 (ЛМ7), Л5/3 (ЛМ5), Л3/1 (ЛМ3), Л1/0 (ЛМ1).

Для соединения зерен в одно целое применяют связующие (цементирующие) вещества, так называемые связки. От связок зависит прочность удержания зерна в круге и прочность самого круга, при вращении которого возникают большие центробежные силы. Связки делятся на органические и неорганические. К органическим связкам относятся вулканитовая (В), бакелитовая (Б) и глифталевая (ГФ). Вулканитовая связка (В1, В2, В3 и др.) состоит из каучука (резины) и серы (30%). Она получается смешением размягченной бензином резины с серой. Абразивный инструмент, изготовленный на вулканитовой связке, обладает высокой прочностью, эластичностью и не боится влаги. Благодаря прочности и эластичности инструмент на такой связке может иметь малую толщину (0,5 мм) при большом диаметре (до 150 мм), что для отдельных работ важно. Шлифовальные круги на вулканитовой связке допускают большие окружные скорости (до 75 м/с) и обладают высоким полирующим действием. Недостатком этой связки

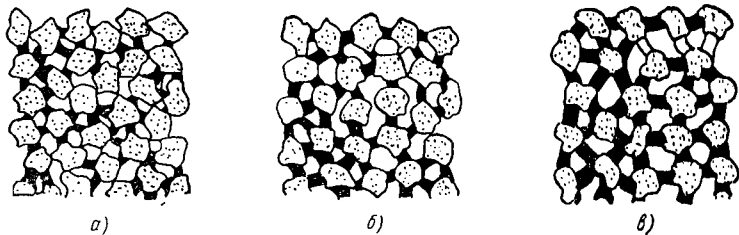


Рис. 379. Схема структур шлифовального круга:  
 а — плотная; б — среднеплотная; в — открытая

только прижоги обработанной поверхности, но и коробление детали. Слишком мягкий круг будет осыпаться, т. е. быстро изменять свою форму и размеры. Поэтому для каждого конкретного случая обработки требуется инструмент определенной твердости.

Твердость характеризуется и определяется ГОСТ 18118—72, согласно которому установлена следующая шкала твердости абразивного инструмента: М1—М3 — мягкий; СМ1 и СМ2 — среднемягкий; С1 и С2 — средний; СТ1—СТ3 — среднетвердый; Т1 и Т2 — твердый; ВТ — весьма твердый; ЧТ — чрезвычайно твердый. Цифры 1, 2 и 3 характеризуют твердость абразивного инструмента в порядке ее возрастания. Определение и контроль твердости абразивных инструментов производят двумя основными методами: 1) пескоструйным (по глубине лунки на инструменте, образованной под действием определенного объема кварцевого песка, выбрасываемого под давлением 1,5 кгс/см<sup>2</sup>); 2) вдавливанием стального шарика.

**Структура абразивного инструмента.** Кроме материала зерна, зернистости, твердости и связки, абразивный инструмент определяет еще и структура. Структура характеризует строение абразивного инструмента в зависимости от количественного соотношения между зернами, связкой и порами в единице объема.

Абразивный инструмент имеет 13 основных номеров структур (0—12), которые делятся на три группы (рис. 379): плотные (0—3), среднеплотные (4—6) и открытые (7—12). Номер структуры определяет промежутки (расстояния) между зернами: чем больше номер, тем больше промежутки. Правильный выбор структуры абразивного инструмента будет способствовать меньшему заполнению пор стружкой, а следовательно, и повышению производительности. При повышении номера структуры уменьшаются прижоги обработанной поверхности. В отдельных случаях применяют высокопористые круги (номер структуры от 13 до 18), в которых размер и количество пор увеличены.

**Маркировка абразивного инструмента.** Для конкретных условий обработки требуется абразивный инструмент с определенными физико-механическими данными. В связи с этим его маркируют с указанием полной характеристики (абразивный материал, зернист-

тость, твердость, связка, структура, форма, размер и максимальная окружная скорость).

Например, маркировка

Э950СМ1К5

ПП150×50×65

30—35 м/с

означает, что шлифовальный круг — из белого электрокорунда 9, зернистостью 50, среднемягкий 1, на керамической связке, структура № 5; форма плоская прямого профиля, с наружным диаметром 150, шириной (высотой) 50, диаметром отверстия 65 мм; окружная скорость не более 30—35 м/с.

### § 3. Форма абразивного инструмента

**Шлифовальные круги.** Основные формы шлифовальных кругов представлены на рис. 380. По ГОСТ 2424—67 предусмотрено 22 профиля шлифовальных кругов диаметром 3—1100 мм, высотой 0,18—250 мм, с диаметром отверстий 1—305 мм.

Плоские круги прямого профиля ПП применяют для круглого наружного, внутреннего и бесцентрового шлифования, для плоского шлифования периферией круга и для заточки инструмента. В последнем случае в качестве рабочей поверхности используют как торцовые поверхности, так и цилиндрическую. Плоские круги с двусторонним коническим профилем 2П применяют для шлифования зубьев шестерен и шлифования резьбы. Плоские круги с выточкой ПВ и с двусторонней выточкой ПВД характерны тем, что в выточках помещаются зажимные фланцы, которые позволяют более свободно подвести круг к обрабатываемой заготовке и совместить круглое шлифование с подрезкой торца. Круги форм ПВД применяют также при бесцентровом шлифовании (для ведущих кругов). Цилиндрические круги-чашки ЧЦ применяют для заточки инструментов и для плоского шлифования торцом, имея надежное (фланцевое) крепление к шпинделю станка. Конические круги-чашки ЧК применяют для заточки режущего инструмента и плоского шлифования. Работа ведется торцом круга, который вследствие малой поверхности легко поддается правке. Коническая форма чашки облегчает подвод затачиваемого инструмента к рабочей поверхности круга. Круги-тарелки 2Т имеют две конические поверхности (под углом  $\alpha = 25^\circ$  и  $\beta = 5^\circ$ ), что облегчает

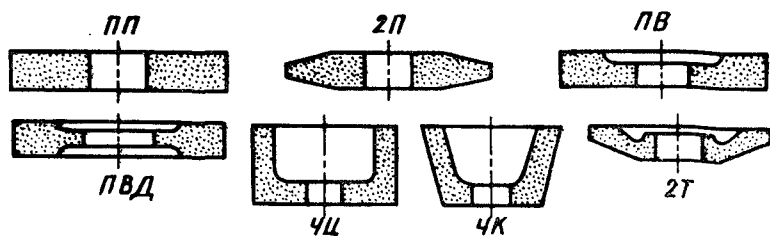


Рис. 380. Основные формы шлифовальных кругов

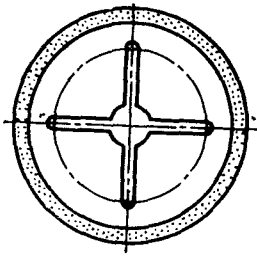


Рис. 381. Алмазный круг формы АПП

правку круга по конической поверхности, которая при заточке винтовых поверхностей режущего инструмента является рабочей поверхностью.

Абразивные инструменты (в том числе и шлифовальные круги) по ГОСТ 4785—64 изготовляют по классам А или Б. Круги класса А более качественны (выше геометрическая точность, меньше неуравновешенность, более равномерная твердость).

**Алмазные и эльборовые круги.** Алмазные круги имеют алмазоносное кольцо (толщиной 1—5 мм), закрепленное на корпусе из дуралюмина или стали (рис. 381). Концентрация алмазных зерен в единице объема алмазоносного слоя \* 50, 75, 100 и 150% (за 100%-ную концентрацию условно принято содержание 0,878 мг алмазного порошка в 1 мм<sup>3</sup> алмазоносного слоя). Плоские алмазные круги прямого профиля малых размеров (диаметром до 13 мм) делаются цельными, без металлического корпуса.

По ГОСТ 9206—70 шлифпорошки из синтетических алмазов, используемые для кругов и другого вида алмазного инструмента, выпускаются пяти марок: АСО, АСР, АСВ, АСК и АСС. По мере перехода от марки АСО к марке АСС прочность шлифпорошков на сжатие повышается; например, для зернистости 160/125 прочность зерен алмазов, указанных по порядку марок, выражается как 1 : 2; 14 : 2; 96 : 5; 35 : 10.

Шлифпорошки из природных алмазов выпускают одной марки — А. Алмазные микропорошки из синтетических алмазов выпускают двух марок — АСМ и АСН, а из природных алмазов — марок АМ и АН. Микропорошки марок АСН и АН имеют более высокую абразивную способность, чем микропорошки АСМ и АМ. Алмазные зерна имеют более острые углы между гранями, что способствует получению более качественной обработанной поверхности по сравнению с другими абразивными материалами (Э, ЭБ, ЭТ, КЧ, КЗ, ВцС).

Наряду с кругами плоского прямого профиля алмазные круги делают чашечными, тарельчатыми, специальными (профильными); по ГОСТ 16167—70 — 16181—70 выпускается 14 форм алмазных кругов различных размеров. При обозначении формы алмазных кругов впереди ставится буква А (например, АПП, АПВ, АЧК).

Алмазные круги применяют для заточки и доводки инструмента, оснащенного твердым сплавом (что по сравнению с обычной заточкой и доводкой способствует повышению стойкости инструмента в 2 раза), а также для шлифования различных заготовок из твердых сплавов, из труднообрабатываемых и неметаллических материалов.

\* Слой состоит из алмазных зерен, связки и наполнителя (твердых минералов).



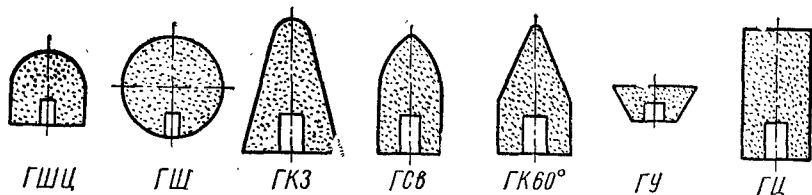


Рис. 382. Шлифовальные головки

Эльборовые круги с режущим зерном из эльбора (Л) делают подобно алмазным кругам, в виде эльборового слоя, закрепленного на металлическом корпусе. Концентрация эльборовых зерен в слое 100, 125 и 150%. По сравнению со стандартным абразивным и алмазным инструментом инструмент из эльбора имеет более высокие режущие свойства и стойкость, почти не имеет засаливания в процессе шлифования и работает с меньшим тепловыделением. Все это делает эльбор одним из самых перспективных абразивных материалов. Наибольший эффект эльборовые круги обеспечивают при шлифовании деталей из закаленных до высокой твердости ( $HRC$  60 и более) сталей и сплавов, при чистовой заточке режущего инструмента из быстрорежущих сталей, при чистовом шлифовании точных деталей из жаропрочных и нержавеющей сталей, при чистовом шлифовании профиля резьбы.

**Шлифовальные головки.** По ГОСТ 2447—64 шлифовальные головки выпускаются семи форм (рис. 382). Они применяются для внутреннего шлифования и для зачистки заготовок, когда не могут быть применены шлифовальные круги. Головки не имеют сквозных посадочных отверстий и приклеиваются к специальным шпилькам; диаметр головки 3—40 мм.

**Шлифовальные сегменты.** ГОСТ 2464—67 предусмотрены сегменты десяти различных форм; некоторые из них приведены на рис. 383; длина сегментов 60—300 мм. Сегменты применяют для плоского шлифования; шлифовальный круг в этом случае состоит из нескольких сегментов, закрепленных тем или иным способом в головке (см. рис. 389) или в патроне. К достоинствам сегментных кругов относится то, что при повреждении какого-либо сегмента не надо выбрасывать весь круг, так как поврежденный сегмент легко заменяется новым. Пространство между сегментами облег-

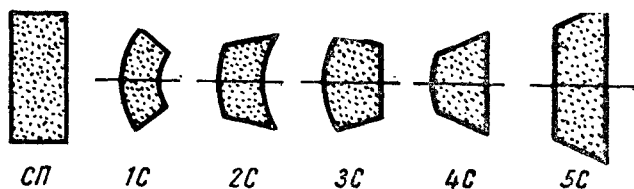


Рис. 383. Некоторые формы сечений шлифовальных сегментов



Рис. 384. Формы сечения шлифовальных брусков

чает подвод смазочно-охлаждающих жидкостей к месту резания, отвод стружки и отработавших частиц круга. Меньшая площадь соприкосновения круга с заготовкой способствует и уменьшению нагрева шлифуемой заготовки.

**Шлифовальные бруски.** По ГОСТ 2456—67 предусмотрено шесть форм сечений брусков (рис. 384). Шлифовальные бруски применяют для ручных слесарных работ, а также для хонингования и суперфиниширования (отделочных операций); в последних случаях используют бруски квадратные БК, плоские БП и специальные плоские хонинговальные БХ, которые закрепляют в специальных головках.

**Шлифовальные шкурки.** Шкурки состоят из основы (бумаги, хлопчатобумажной ткани), на которую наклеены абразивные зерна, и применяются для ручной и машинной зачистки и отделки различных деталей. Для шкурок, работающих без водного охлаждения, применяют мездровый клей; для работы с водным охлаждением шкурку (водостойкую) изготавливают на специальных лаках и смолах. Шкурки делают в виде листов и лент.

Кроме рассмотренных основных форм абразивного инструмента, абразивные зерна используют для шлифовальных дисков на фибровой основе, для бесконечных лент (на тканевой основе), для абразивных паст (когда зерна связываются маслами, воском, животными жирами, стеарином и др.). Пасты применяют для доводки (притирки) режущего инструмента и отдельных деталей машин.

#### § 4. Закрепление абразивного инструмента

Для успешной и безопасной работы шлифовальный круг должен быть прочно закреплен на шпинделе, хорошо сбалансирован, испытан на прочность (перед установкой на станок) и надежно огражден защитным кожухом. Круг должен свободно надеваться на посадочную поверхность (диаметр отверстия круга должен быть на 0,1—1,5 мм больше диаметра посадочной поверхности). Между зажимными поверхностями и кругом должны быть поставлены прокладки (резина, картон, кожа) толщиной 0,5—3 мм (в зависимости от диаметра круга).

По ГОСТ 2270—69 предусматривается семь основных методов крепления абразивного инструмента. Шлифовальные головки приклеиваются к шпильке (рис. 385). Круги малых диаметров ( $D_k$  до 70 мм) крепят винтом (рис. 386). На рис. 387, а показано крепление на шпинделе (оправке) винтом (для  $D_k$  до 100 мм), а на рис. 387, б — крепление на шпинделе фланцами (для кругов диаметром  $D_k$  до 500 мм). Крепление на переходных фланцах (рис. 388) предусматривается для  $D_k$  до 1100 мм и в том случае, когда диаметр отверстия круга больше диаметра шпинделя. Крепление сегментов в сегментной головке показано на рис. 389. Крепление на переходных фланцах наклеиванием показано на рис. 390.

Уравновешивание (балансировка) кругов производится как после их изготовления (заводом-изготовителем), так и при установке кругов на станок, особенно при креплении кругов  $D_k \geq 125$  мм на переходных фланцах. Это необхо-

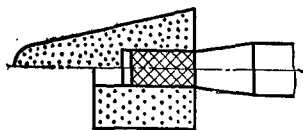


Рис. 385. Схема крепления наклеиванием

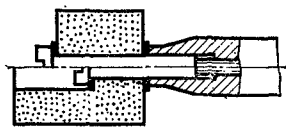


Рис. 386. Схема крепления на винте

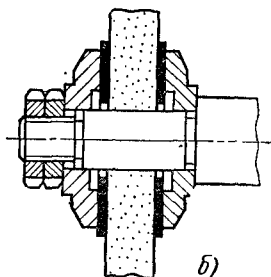
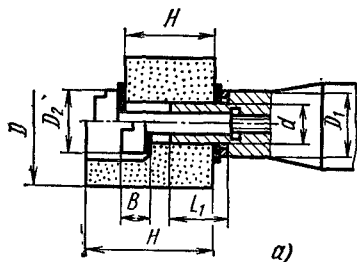


Рис. 387. Схема крепления на шпинделе:  
а — винтом; б — фланцами

димо делать потому, что при неуравновешенности круга могут возникнуть вибрации, приводящие к ухудшению качества обработанной поверхности и к усилению износа подшипников шпинделя; возрастает и опасность разрыва круга. Статическая неуравновешенность круга вызывается несовпадением его центра тяжести с осью вращения. Неуравновешенность круга на заводах-изготовителях проверяется на специальных балансировочных станках и устраняется заливкой свинца в гнезда, специально вырубленные для этого в круге. На заводе-потребителе круги уравнивают как на балансировочных приспособлениях, так и непосредственно на шлифовальном станке перемещением сухариков в специальных балансировочных фланцах. Хорошо уравновешенный круг должен иметь устойчивое равновесие при повороте и остановке его в любом положении по окружности. Круги, работающие со скоростями  $v \geq 50$  м/с, должны уравниваться после каждой их правки.

Круги испытывают на прочность на специальных станках путем вращения со скоростью, в 1,5 раза превышающей рабочую скорость, в течение определенного времени (7—10 мин).

Круг во время работы должен быть огражден защитным кожухом, сделанным из стали или ковкого чугуна. Кожух должен иметь достаточную прочность, надежное закрепление на станке и предохранять рабочего от разбрызгивания жидкости. Расположение защитного кожуха и наибольшие углы раскрытия должны соответствовать ГОСТ 3881—65 (рис. 391). При работе на обдирочных и заточных станках максимальный угол раскрытия  $90^\circ$  (рис. 391, а); если при работе на тех же станках дегаль располагается ниже оси круга — угол раскрытия  $125^\circ$  и  $65^\circ$  (рис. 391, б); при работе на круглошлифовальных и бесцентрово-

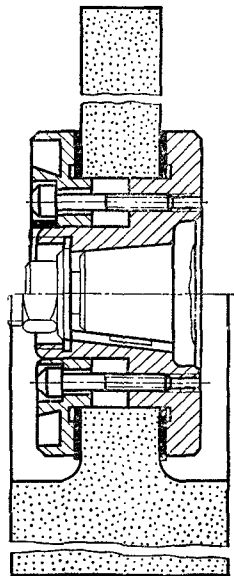


Рис. 388. Схема крепления на переходных фланцах

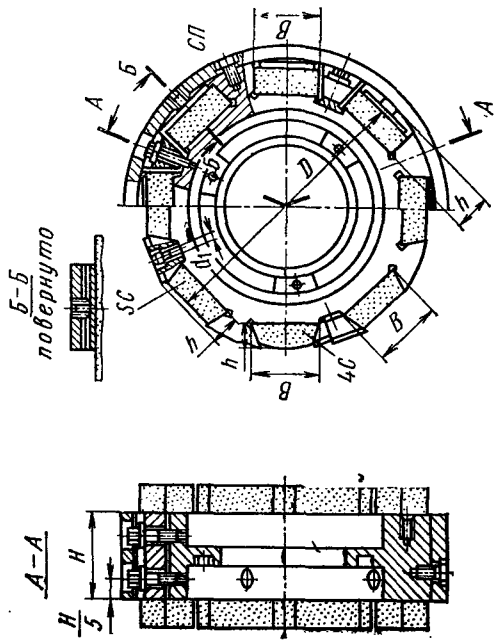


Рис. 389. Схема крепления сегментов в сегментной головке

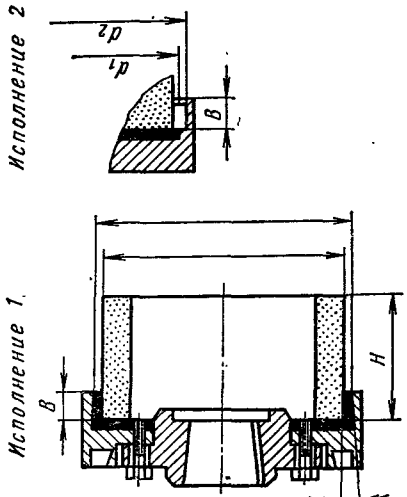


Рис. 390. Схема крепления на переходных фланцах наклеиванием

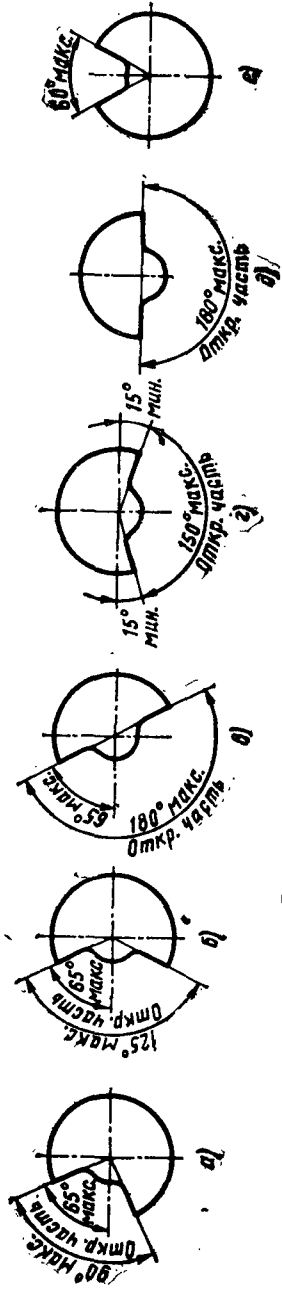


Рис. 391. Схема расположения защитного кожуха

шлифовальных станках угол  $180$  и  $65^\circ$  (рис. 391, в); при работе на плоскошлифовальных станках периферией круга — угол  $150^\circ$  и на  $15^\circ$  ниже горизонтальной оси (рис. 391, г); для переносных станков с гибким валом и для обдирочных станков с качающейся рамой угол  $180$  и  $0^\circ$  (рис. 391, д); максимальный угол раскрытия  $60^\circ$  применяется для кругов, работающих наиболее высокой своей точкой (рис. 391, е).

По ГОСТ 3881—65 зазор между новым кругом и внутренней цилиндрической поверхностью кожуха  $3$ — $25$  мм (в зависимости от диаметра круга); зазор между кругом и боковой стенкой кожуха  $10$ — $15$  мм. Край подручника, применяемого для поддержки деталей, подаваемых к кругу вручную, должен отстоять от рабочей поверхности круга не менее чем на половину толщины шлифуемой детали, но этот зазор должен быть не более  $3$  мм.

## § 5. Износ и правка абразивного инструмента

В процессе шлифования зерна абразивного инструмента (например, круга) изнашиваются, и он теряет режущую способность. На уменьшение режущей способности круга наряду с износом зерна влияет также и заполнение пространства между зернами отходами шлифования (спекшаяся металлическая пыль, продукты износа зерен и связки). Изношенный и «засаленный» круг перестает резать, и для восстановления его режущих способностей необходима его правка (заточка). Наряду с удалением затупленных зерен и отходов шлифования при правке восстанавливается и правильная геометрическая форма круга, потерянная им в результате неравномерного износа.

Так как шлифование является в основном чистовой (отделочной) операцией, то за критерий износа круга принимается технологический критерий (дробленая обработанная поверхность, прижоги обработанной поверхности, риски). За период стойкости часто принимается не время работы круга от правки до правки, а количество обработанных деталей или поверхностей.

При определенных условиях обработки может происходить «самозатачивание» шлифовальных кругов во время работы. У самозатачивающихся кругов затупившиеся абразивные зерна выравниваются из связки (или разрушаются) под действием возросшей в результате затупления нагрузки. При выпадении затупленных зерен в круге обнажаются новые, острые зерна, которые и продолжают процесс резания. Если при работе круга без самозатачивания силы резания и температура резания растут по мере увеличения времени работы (износа), то при самозатачивающемся режиме силы резания и температура колеблются в незначительных пределах в течение всего времени работы. Правка самозатачивающихся кругов делается лишь с целью придания кругу правильной формы, искаженной вследствие неравномерного износа.

Несмотря на определенные достоинства самозатачивания, оно, однако, может получиться лишь при специальном подборе характеристик круга и элементов режима обработки. Чаще это возможно при обработке твердых металлов специальными мягкими кругами при высоких элементах режима резания, характерных для

обдирочных работ. В практике чаще встречаются условия, когда шлифовальный круг по мере его затупления необходимо править принудительно. Исследованиями ВНИИАШа установлено, что для восстановления режущей способности круга достаточно удалить с затупившейся поверхности слой толщиной 0,08 мм.

Режим и способ правки влияют на качество обработанной поверхности, получаемой после шлифования заправленным кругом, так как чем меньше неровности на поверхности шлифовального круга, тем чище обработанная поверхность детали.

Существует два метода правки абразивного инструмента: алмазная и безалмазная правка. При алмазной правке в качестве правящего инструмента применяют алмаз в виде одного зерна (0,25—2 кар), закрепляемого в стальной оправке (механически, зачеканкой или пайкой), или в виде алмазно-металлических карандашей, когда несколько мелких зерен алмаза (0,003—0,3 кар) заделывают в специальный вольфрамомедноалюминиевый сплав (в форме цилиндриков). Алмазно-металлические карандаши (рис. 392) изготовляют небольших размеров

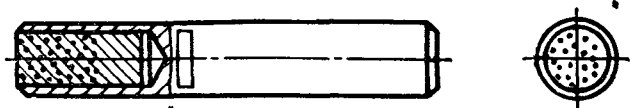


Рис. 392. Алмазно-металлические карандаши

(4—10 мм) и закрепляют в специальных оправках. На станке алмазный правящий инструмент должен устанавливаться с наклоном в сторону вращения шлифовального круга на 10—15° и так, чтобы рабочая кромка алмаза находилась на уровне оси круга или ниже ее на 1—2 мм.

Режимы правки алмазным карандашом: скорость вращения круга — максимально допустимая; продольная подача 0,05—0,4 м/мин; поперечная подача 0,005—0,03 мм/ход; число проходов: черновых 2—3, чистовых 1—2. Чем меньше величина продольной и поперечной подач, тем меньше шероховатость рабочей поверхности шлифовального круга. Кроме алмазных карандашей, для правки абразивного инструмента применяют и алмазные круги из синтетических алмазов АСС.

При безалмазной правке в качестве инструмента применяют монокристаллические твердосплавные (ВКЗМ, ВК6М) диски (рис. 393); диски из зерен твердого сплава, сцементированных латунью (рис. 394); металлические диски и звездочки (сталь

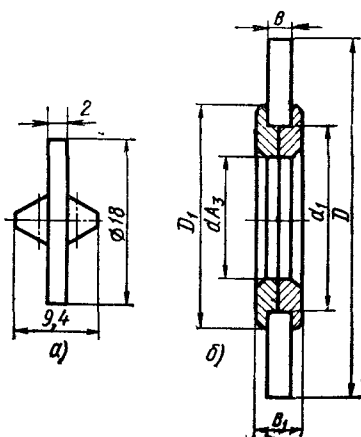
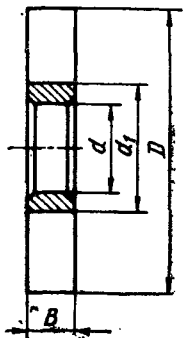


Рис. 393. Диски из твердого сплава:

*a* — цельный; *b* — сборный

Рис. 394. Диск из зерен твердого сплава



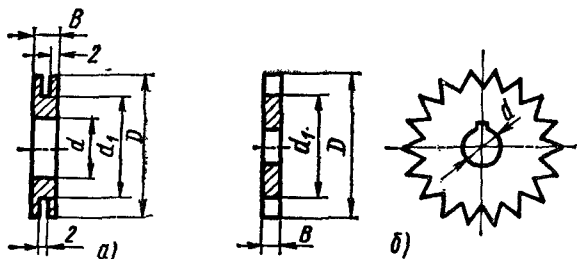


Рис. 395. Металлические диск (а) и звездочка (б)

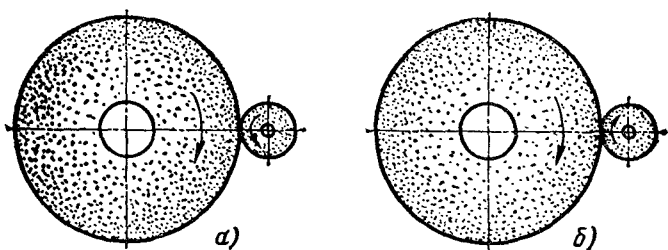


Рис. 396. Схемы безалмазной правки:  
а — обкатыванием; б — шлифованием

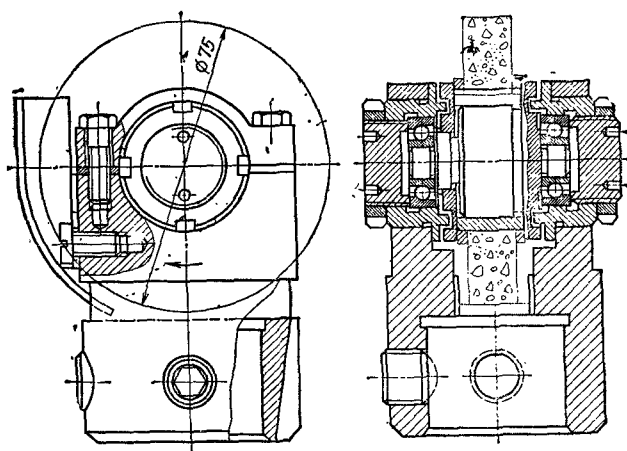


Рис. 397. Оправка для закрепления безалмазного правящего инструмента

ШХ15, 20Х; рис. 395); абразивные диски (из черного карбида кремния на керамической связке, диаметр 60—150 мм, высота 20—32 мм). Безалмазная правка, хотя и менее эффективна по сравнению с алмазной, но не требует применения дорогих алмазов, обеспечивая после правки получение шлифованной поверхности 7—9-го класса шероховатости.

Безалмазная правка осуществляется двумя методами: 1) обкатыванием (рис. 396, а), когда правящий инструмент вращается от шлифовального круга вследствие сил трения; 2) шлифованием (рис. 396, б), когда правящий инструмент получает принудительное вращение (от специального привода или от привода передней бабки шлифовального станка).

По методу обкатывания, когда удаление затупленных зерен из круга происходит вследствие внедрения (вдавливания) в круг правящего инструмента, могут работать все виды безалмазного правящего инструмента. По методу шлифования работают в основном абразивные диски.

Безалмазный правящий инструмент закрепляют в специальных оправках (металлические диски и звездочки крепят по нескольку штук); на рис. 397 дана одна из таких оправок. Оси вращения шлифовального круга и правящего инструмента чаще всего располагают параллельно, но они могут находиться и под углом 10—15°.

Из всех инструментов для безалмазной правки наибольшее распространение получили абразивные диски. Зернистость их берется на три-пять степеней крупнее, а твердость на пять-шесть степеней выше по сравнению с шлифовальным кругом, подвергающимся правке. При правке по методу круглого наружного шлифования скорость вращения абразивных дисков приравнивается к скорости вращения заготовки, а шлифовальный круг вращается со скоростью, соответствующей его характеристике. Число проходов при правке 3—5; продольная подача 0,5—0,9 м/мин, поперечная 0,01—0,03 мм; последние (чистовые) проходы ведут без поперечной подачи и с уменьшенной продольной подачей (0,4—0,5 м/мин). Безалмазная правка сопровождается обильным охлаждением.

Алмазные круги правят только при потере ими точности формы. При правке алмазных кругов на металлической связке применяют абразивные бруски из зеленого карбида кремния на керамической связке, зернистостью 16 и 12, твердостью СМ1—СМ2; алмазные круги на бакелитовой связке правят куском пемзы; правку проводят при рабочей скорости круга, с охлаждением.

## § 6. Наружное круглое шлифование в центрах

Наружное круглое шлифование в центрах применяется для обработки цилиндрических наружных поверхностей. Имеется три способа круглого наружного шлифования в центрах: с продольной подачей (рис. 398, а), глубинное шлифование (рис. 398, б), с поперечной подачей (метод врезания, рис. 398, в).

При наружном круглом шлифовании с продольной подачей шлифовальный круг имеет два движения: вращательное вокруг оси и поступательное в обрабатываемую заготовку (поперечная подача для постепенного снятия припуска). Заготовка имеет вращательное движение вокруг оси и поступательное движение вдоль оси (продольная подача для обработки по всей длине заготовки). Поступательное движение шлифовального круга, т. е. поперечная подача на определенную глубину, осуществляется в конце продольного хода заготовки и может происходить за один ее ход или за два хода (за один двойной ход).

Имеются такие конструкции круглошлифовальных станков, у которых заготовка имеет только одно вращательное движение, а шлифовальный круг осуществляет три движения (вращательное,



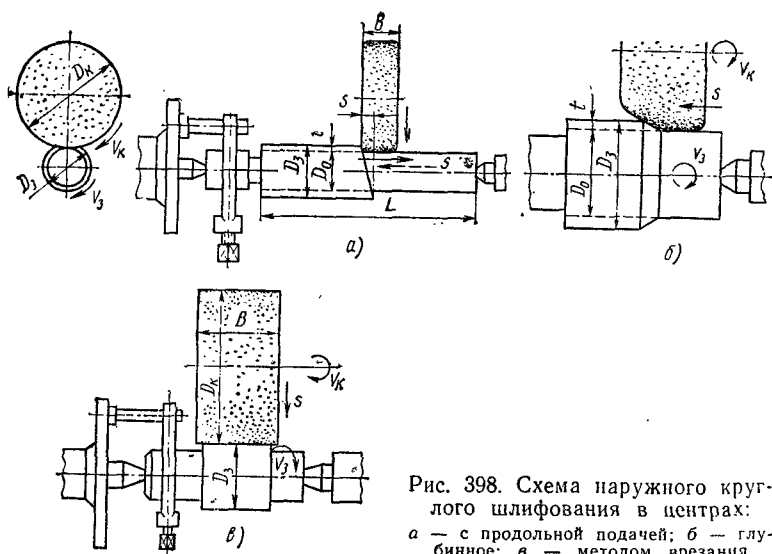


Рис. 398. Схема наружного круглого шлифования в центрах:  
 а — с продольной подачей; б — глубинное; в — методом врезания

поступательное в направлении поперечной подачи и поступательное вдоль оси заготовки, т. е. в направлении продольной подачи).

Наружное круглое шлифование с продольной подачей применяют для шлифования круглых заготовок значительной длины. Припуск на сторону назначается в пределах 0,15—1,15 мм и зависит от длины и диаметра заготовки, шероховатости и точности предварительной обработки, степени искажения геометрической формы после термической обработки и др.; 60—80% общей величины припуска отводится под черновое (предварительное) шлифование, а 40—20% — под чистовое, окончательное.

При наружном круглом глубинном шлифовании (см. рис. 398, б) круг правится на конус или ступенями, и весь припуск (0,1—0,4 мм) снимается за один-два продольных хода круга (с подачей 1—6 мм/об заготовки). Круг, кроме поступательного (продольного) перемещения вдоль оси заготовки, имеет вращательное движение вокруг своей оси; заготовка имеет только вращательное движение.

Глубинное шлифование применяют при обработке коротких (жестких) заготовок.

При наружном круглом шлифовании с поперечной подачей (методом врезания, рис. 398, в) продольное перемещение круга или заготовки отсутствует. Шлифовальный круг перекрывает всю ширину (длину) обрабатываемой поверхности заготовки, которая имеет только вращательное движение вокруг своей оси. Шлифовальный круг вращается и одновременно перемещается в поперечном направлении (0,0025—0,02 мм/об заготовки). Этот способ применяют при шлифовании заготовок относительно небольшой

длины (особенно при фасонном шлифовании); он обеспечивает высокую производительность.

Рассмотрим элементы режима резания при наружном круглом шлифовании в центрах с продольной подачей (см. рис. 398, а). Глубина резания (поперечная подача) измеряется в направлении, перпендикулярном к обработанной поверхности, и равна толщине слоя металла, снимаемого шлифовальным кругом за один ход (мм/ход) или двойной (мм/дв. ход) продольный ход стола (заготовки):

$$t = \frac{D_3 - D_0}{2}$$

При черновом шлифовании поперечная подача на каждый ход стола  $t = 0,01 + 0,25$  мм, причем большие значения берутся при  $s < 0,5B$  мм/об заготовки\*, меньшие — при  $s \geq 0,5B$  мм/об заготовки. При чистовом шлифовании поперечная подача  $t = 0,005 + + 0,015$  мм; при прочих одинаковых условиях менее шероховатая обработанная поверхность получается при работе с большими окружными скоростями вращения шлифовального круга, с меньшими продольными подачами, с меньшими окружными скоростями вращения заготовки и с меньшими глубинами шлифования.

Вследствие отжима заготовки, неравномерного износа и выпадения зерен и отсутствия у круга сплошной режущей кромки круг будет искрить, удаляя некоторый слой металла и при проходах без поперечной подачи. Поэтому для получения требуемой точности и повышения класса шероховатости обработанной поверхности совершаются «холостые» продольные хода без поперечной подачи (процесс «выхаживания»). Это приводит к увеличению машинного времени, что учитывается в формуле введением коэффициента точности (см. ниже).

Продольная подача  $s$  есть величина относительного поступательного перемещения круга и заготовки вдоль ее оси за один ее оборот (мм/об заготовки). Обычно продольная подача задается в долях ширины круга  $s_d$ , т. е.  $s = s_d B$  мм/об заготовки, где  $s_d = 0,3 \div 0,5$  — для черновой обработки,  $D_3$  до 20 мм;  $s_d = 0,7 \div \div 0,85$  — для черновой обработки,  $D_3 \geq 20$  мм;  $s_d = 0,2 \div 0,4$  — для чистовой обработки;  $B$  — ширина круга в мм;  $D_3$  — диаметр заготовки.

Минутная продольная подача или скорость продольного хода стола

$$v_{ст} = \frac{s_d B n_3}{1000} \text{ м/мин,}$$

где  $n_3$  — частота вращения заготовки в об/мин.

---

\* Проф. Е. Н. Маслов впервые показал, что из-за отсутствия у шлифовального круга сплошной режущей кромки фактическая глубина резания  $t_f$  после первого прохода круга будет значительно больше величины поперечной подачи  $t$ .

Окружная скорость заготовки

$$v_3 = \frac{\pi D_3 n_3}{1000} \text{ м/мин.}$$

Окружная скорость шлифовального круга (скорость резания)

$$v_k = \frac{\pi D_k n_k}{1000 \cdot 60} \text{ м/с,}$$

где  $D_k$  — диаметр шлифовального круга в мм;  $n_k$  — частота вращения шлифовального круга в об/мин.

Для выявления сущности процесса шлифования и определения влияния различных факторов на него большое значение имеет глубина резания  $t_1$  — толщина среза, снимаемая одним абразивным зерном шлифовального круга. Величиной  $t_1$  определяется нагрузка на зерно круга (а следовательно, и стойкость круга) и качество обработанной поверхности. Чем меньше  $t_1$ , тем меньшая нагрузка приходится на зерно, выше его стойкость, менее глубокими будут риски, оставляемые зерном, т. е. более качественной будет обработанная поверхность. Глубина  $t_1$  возрастает с увеличением окружной скорости заготовки, поперечной подачи, расстояния между абразивными зёрнами и уменьшается с увеличением окружной скорости круга, диаметра заготовки (при постоянной окружной скорости ее) и диаметра шлифовального круга.

Для увеличения стойкости круга и получения менее шероховатой обработанной поверхности (что получается при малых  $t_1$ ) необходимо скорость заготовки уменьшить, а скорость круга увеличить. Но уменьшение окружной скорости заготовки приводит к увеличению машинного времени (снижению производительности), а потому очень низкое значение  $v_3$  невыгодно; повышенное значение  $v_3$  приводит к увеличению износа круга (снижению стойкости). Кроме того, с уменьшением  $v_3$  возрастает время контакта между шлифовальным кругом и заготовкой, что приводит к повышению температуры шлифования и может вызвать прижоги обработанной поверхности; с увеличением  $v_3$  возрастают центробежные силы и амплитуда вибраций, что может привести к «дробленой» (некачественной) обработанной поверхности.

Окружную скорость шлифовального круга лучше выбирать наибольшей, что ограничивается, однако, прочностью круга, зависящей, в основном от рода связки и формы круга. Окружные скорости шлифовальных кругов на обычной керамической связке при работе с автоматической подачей 30—35 м/с, на бакелитовой связке 35—40 м/с. Шлифовальные круги на специальных высокопрочных керамических связках позволяют работать со скоростью вращения шлифовального круга 50 м/с и выше (скоростное шлифование).

Машинное время при наружном круглом шлифовании в цент-

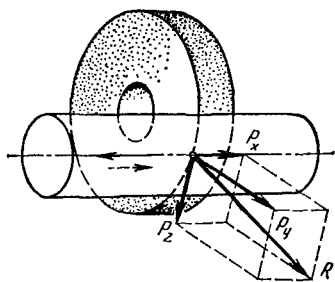


Рис. 399. Силы при наружном шлифовании

подача) в мм/ход;  $K$  — коэффициент точности (коэффициент выхаживания), равный при черновом шлифовании 1,1; при чистовом — 1,4.

Силы (рис. 399)  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  по величине небольшие. Наибольшей из сил является радиальная сила  $P_y$ , отжимающая шлифовальный круг от заготовки. Большее значение силы  $P_y$  по сравнению с тангенциальной силой  $P_z$  объясняется тем, что внедрение зерен в обрабатываемую заготовку затруднено их неправильной геометрической формой и округленными вершинами, вызывающими отрицательное значение переднего угла. Сила  $P_y = (1,5 \div 3)P_z$ , причем это соотношение тем больше, чем больше поперечная подача и окружная скорость вращения заготовки. Сила  $P_z$  возрастает с увеличением параметров  $v_s$ ,  $s$ ,  $t$  и уменьшается с увеличением  $v_k$ . Так как  $v_k$  значительно больше  $v_s$  [ $(v_k/v_s) = 60 \div 100$ ], то мощность, затрачиваемая на вращение шлифовального круга, значительно больше мощности  $N_3$ , затрачиваемой на вращение заготовки, а потому мощность  $N_3$  обычно редко подсчитывается. Мощность, затрачиваемая на резание (или мощность на вращение шлифовального круга), при наружном круглом шлифовании методом продольной подачи (с поперечной подачей на каждый ход стола)

$$N_{рез} = 0,555(v_s s t)^{0,7} B^{0,25} \text{ кВт.}$$

Формула справедлива для круга шириной  $B = 40 \div 63$  мм, твердостью СМ1—СМ2, при диаметре заготовки 40—63 мм.

По мощности  $N_{рез}$  может быть определена сила

$$P_z = \frac{N_{рез} \cdot 102}{v_k} \text{ кгс,}$$

а также необходимая (расчетная) мощность электродвигателя станка.

## § 7. Бесцентровое наружное круглое шлифование

При бесцентровом шлифовании на проход заготовка 1 (рис. 400), опираясь на упор (нож) 2, пропускается между шлифовальным 3 и ведущим 4 (регулирующим) кругами, установленными на расстоянии, которое меньше диаметра за-

рах методом продольной подачи

$$T_m = \frac{Lh}{n_3 s_d B t} K \text{ мин,}$$

где  $L$  — длина рабочего хода в направлении продольной подачи в мм; при шлифовании на проход  $L = l + (0,2 \div 0,4)B$  мм;  $l$  — длина шлифуемой поверхности в мм;  $h$  — припуск на сторону в мм;  $n_3$  — частота вращения заготовки в об/мин;  $s_d$  — долевая подача (в долях ширины круга за один оборот заготовки);  $B$  — ширина круга в мм;  $t$  — глубина резания (поперечная

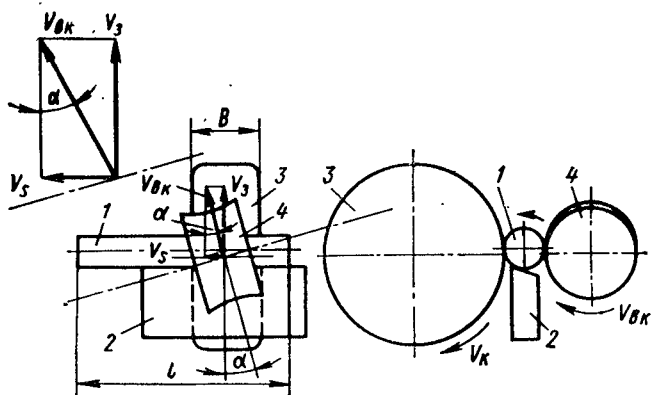


Рис. 400. Схема бесцентрового шлифования на проход (с продольной подачей)

готовки на величину слоя  $2t$ , снимаемого за один проход. Круги вращаются по часовой стрелке, а заготовка, получающая вращение от ведущего круга и имеющая примерно ту же окружную скорость (10—90 м/мин), — против часовой стрелки. Для повышения трения между ведущим кругом и заготовкой ведущий круг делается на вулканитовой связке, достаточно твердым (СТЗ—Т1) и мелкозернистым (зернистость 16—10). Наряду с вулканитовой связкой применяется и бакелитовая.

Шлифовальный круг (на керамической связке) по сравнению с ведущим кругом вращается со значительно большей скоростью (30—35 м/с) и осуществляет процесс резания.

Для осуществления шлифования вдоль всей длины заготовки она имеет продольную подачу от ведущего круга, установленного под некоторым углом  $\alpha = 1 \div 4,5^\circ$ .

Скорость ведущего круга  $v_{в.к.}$  раскладывается на скорость  $v_3$  (скорость вращения заготовки) и на скорость продольной подачи  $v_s$ . Со скоростью  $v_s$  и осуществляется перемещение заготовки вдоль кругов.

## § 8. Внутреннее круглое шлифование

При внутреннем круглом шлифовании, применяемом для обработки отверстий, шлифовальный круг находится в отверстии заготовки (рис. 401), а потому  $D_к < D_з$ . Шлифовальный круг и заготовка вращаются в разные стороны. Кроме вращательного движения, круг совершает возвратно-поступательные движения вдоль оси отверстия заготовки (продольная подача) и движение «на глубину резания» (поперечная подача  $t$ ), которое осуществляется в конце двойного продольного хода.

Схема работы, показанная на рис. 401, а, применяется при обработке относительно небольших заготовок. При шлифовании отверстий тяжелых и громоздких заготовок, закрепление и вращение которых затруднительно, применяют станки с планетарным движением шпинделя (рис. 401, б). В последнем случае заготовка неподвижна, а круг совершает не только вращательное движение  $v_к$  вокруг своей оси, но одновременно и круговое движение вокруг оси шлифуемого отверстия; скорость движения вокруг оси заготовки представляет собой как бы скорость вращения заготовки  $v_3$  в первой схеме.

Кроме этих двух движений, как и в первом случае, круг имеет продольную  $s$  и поперечную  $t$  подачи.

При прочих одинаковых условиях ( $t$ ,  $D_к$ ,  $D_з$ ) дуга  $AB$  соприкосновения круга с заготовкой при круглом внутреннем шлифовании (рис. 402) больше дуги

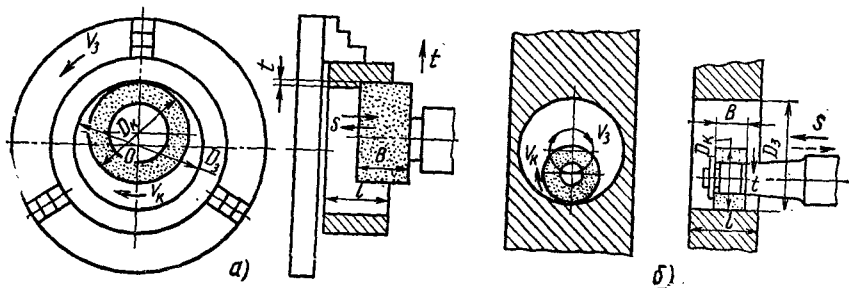


Рис. 401. Схема внутреннего шлифования:  
 а — простое внутреннее; б — планетарное внутреннее

$A_1, B_1$  соприкосновения при круглом наружном шлифовании. Большим будет и число зерен, одновременно участвующих в работе, а потому глубина резания, приходящаяся на одно зерно, при круглом внутреннем шлифовании меньше, чем глубина резания, приходящаяся на одно зерно при круглом наружном шлифовании.

Диаметр шлифовального круга  $D_k = (0,75 \div 0,95) D_3$ ; чем меньше диаметр отверстия, тем больше поправочный коэффициент. Ширина шлифовального круга  $B \approx 16 \div 60$  мм; при длине обрабатываемого отверстия  $l = 25 \div 75$  мм ширина меньше длины на 10—15 мм.

Для повышения интенсивности охлаждения и связанного с этим повышения производительности (на 10—20%), уменьшения шероховатости обработанной поверхности (на один класс), во избежание прижогов и трещин, повышения точности обработки, для уменьшения расхода шлифовальных кругов и резкого улучшения условий труда рабочего-шлифовщика при внутреннем шлифовании можно применять внутреннее охлаждение через поры шлифовального круга на керамической связке.

Подача жидкости к шлифовальному кругу осуществляется через сквозное (осевое) отверстие  $A$  (рис. 403) в шпинделе и радиальные отверстия  $B$  и  $B_1$ , просверленные в головке шпинделя и во втулке, на которой крепится круг. Под давлением центробежной силы, проходя через поры круга, жидкость выходит на периферию круга, т. е. к месту резания, очищая при этом круг от продуктов отхода.

$A_2, B_1$  — плоское шлифование  
 $A, B$  — внутреннее шлифование  
 $A_1, B_1$  — наружное шлифование

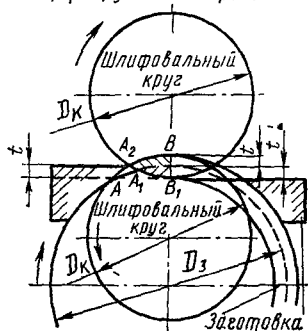
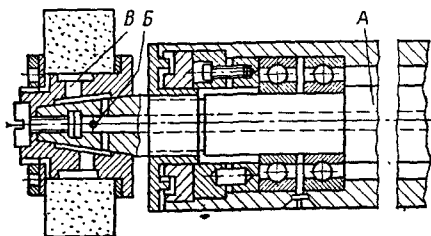


Рис. 402. Длина дуги соприкосновения круга с заготовкой при различных видах шлифования

Рис. 403. Схема закрепления шлифовального круга на шпинделе при охлаждении через поры круга



Для внутреннего охлаждения шлифовального круга используют воду с добавлением небольшого количества кальцинированной соды и мела с эмульсией малой концентрации \*.

## § 9. Плоское шлифование

Поверхности можно шлифовать как периферией, так и торцом круга. Плоскошлифовальные станки работают по принципу продольно-строгальных (рис. 404) или карусельных станков (рис. 405). При шлифовании периферией круга (рис. 404, а) по принципу продольно-строгальных станков шлифовальный круг

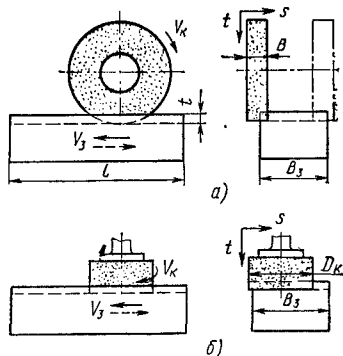


Рис. 404. Схема плоского шлифования по принципу продольно-строгальных станков:

а — периферией круга; б — торцом круга

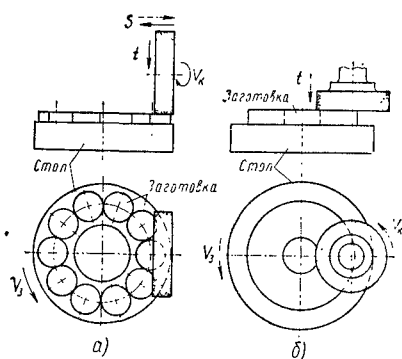


Рис. 405. Схема плоского шлифования по принципу карусельных станков:

а — периферией круга; б — торцом круга

вращается со скоростью  $v_k$ , а заготовка (стол) совершает возвратно-поступательное движение со скоростью  $v_z$ . Если ширина круга меньше ширины обрабатываемой поверхности, то шлифовальный круг имеет также поперечную подачу  $s$  в направлении ширины заготовки.

Длина дуги соприкосновения при плоском шлифовании периферией круга ( $A_2B_1$ , см. рис. 402) меньше дуги соприкосновения при внутреннем шлифовании ( $AB$ ), но больше дуги соприкосновения при наружном круглом шлифовании ( $A_1B_1$ ). Отсюда следует, что при прочих одинаковых условиях шлифования ( $t, D_k$ ) глубина резания, приходящаяся на одно зерно при плоском шлифовании периферией круга, больше, чем при внутреннем шлифовании, но меньше, чем при наружном.

При шлифовании торцом круга вследствие большой площади соприкосновения круга с заготовкой происходит большое тепловыделение, вызывающее прижог обработанных поверхностей и коробление тонких заготовок. Во избежание этого тонкие плоские заготовки рекомендуется шлифовать сегментными кругами или периферией круга, когда поверхность соприкосновения, а следовательно, и тепловыделение меньше.

## § 10. Высокопроизводительное (скоростное) шлифование

Машинное время (см. стр. 428) может быть понижено, а производительность повышена при увеличении параметров  $n_z, s_d, B$  и  $t$ .

\* Внутреннее охлаждение возможно и при наружном круглом шлифовании, но его труднее осуществить.

Чрезмерное увеличение  $B$  приводит к необходимости применять тяжелые и более дорогие шлифовальные круги; увеличение  $n_3$  и  $t$  вызывает возрастание глубины резания, приходящейся на одно зерно, а следовательно, увеличение износа шлифовального круга, снижение его стойкости и ухудшение качества обработанной поверхности: на ухудшение качества обработанной поверхности влияет и увеличение  $s_d$ . С увеличением скорости вращения шлифовального круга уменьшается глубина резания, приходящаяся на одно зерно, а следовательно, уменьшается износ круга, повышается его стойкость и улучшается качество (микрogeометрия) обработанной поверхности. Но увеличение скорости вращения шлифовального круга (скорости резания) на обычной керамической связке сверх 30—35 м/с вызывает разрыв круга вследствие его малой прочности. Необходимо изыскать такую связку, которая обеспечивает повышение скорости вращения круга без опасения его разрыва.

Абразивная промышленность выпускает высокопрочные пористые шлифовальные круги на специальной керамической связке, допускающие скорость вращения круга 50 м/с и более. Разрыв таких кругов происходит при окружных скоростях 87 — 95 м/с. Высокопроизводительные круги широко внедрены в металлообрабатывающую промышленность, и на скоростное шлифование переведены не только отдельные станки, но и целые участки.

Абразивным материалом режущих зерен кругов для скоростного шлифования являются электрокорунд и монокорунд. Круги для скоростного шлифования изготавливают только плоскими прямого профиля. Круги фасонного профиля и с выточками не делают, так как такие выточки на торцовой поверхности круга снижают его прочность.

Увеличение скорости вращения круга до 50 м/с позволило повысить скорость вращения заготовки (до 50 м/мин), а также продольную и поперечную подачи. Элементами режима резания при скоростном шлифовании заготовок типа валиков являются:  $v_k = 50$  м/с;  $v_3 = 50$  м/мин;  $s_d = 0,25 \div 0,33$ ;  $t = 0,01 \div 0,025$  мм на один продольный ход. Таким образом,  $\frac{v_k}{v_3} = 60$ .

При скоростном шлифовании вследствие уменьшения шероховатости обработанной поверхности весь припуск можно снимать с указанными режимами, не разделяя его на черновое и чистовое шлифование. Значение  $t = 0,01 \div 0,025$  мм назначается лишь при черновом шлифовании; при чистовом шлифовании величина поперечной подачи (глубины резания) значительно меньше. При скоростном шлифовании высокое качество обработанной поверхности получается и при  $t = 0,01 \div 0,025$  мм на один продольный ход.

Скоростное шлифование повышает производительность в 1,5—2 раза при одновременном снижении расхода шлифовального круга на каждую деталь примерно на 40% и повышении шероховатости обработанной поверхности на один-два класса. Такие преимущества скоростного шлифования открывают для его приме-



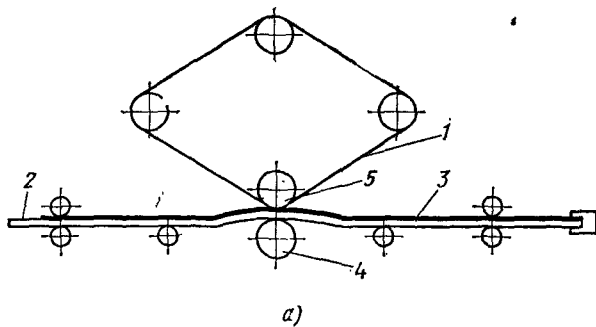
нения большие перспективы, и на скоростное шлифование переводятся не только круглошлифовальные станки для наружного шлифования, но и станки для внутреннего, плоского, бесцентрового шлифования, зубошлифования и шлицешлифования.

При скоростном шлифовании: 1) станок должен быть достаточно мощным и высокоскоростным, обеспечивающим получение высокой скорости вращения круга (50 м/с) и заготовки (50 м/мин); 2) станок должен быть достаточно жестким, способным выдерживать увеличенные силы резания (особенно возрастает сила  $P_y$ ); 3) все детали станка, вращающиеся с большой скоростью, должны быть тщательно уравновешены; 4) станок должен обеспечивать возможность работы с увеличенной продольной минутной подачей; 5) охлаждающая система станка должна обеспечивать бесперебойный и достаточный подвод смазочно-охлаждающей жидкости к месту резания; 6) станок должен быть установлен на жестком фундаменте; 7) для уменьшения вспомогательного времени рабочий цикл станка должен быть автоматизирован (ускоренные перемещения — рабочая подача — зачистные проходы — отвод шлифовального круга — остановка шпинделя).

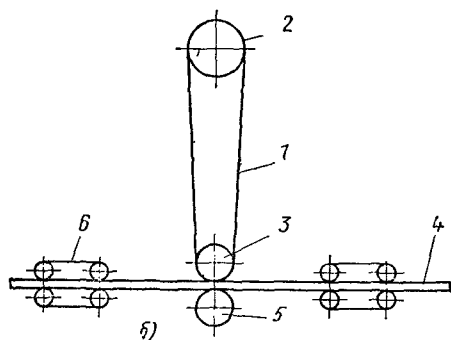
Защитные кожухи при скоростном шлифовании должны быть более прочными (из стали или ковкого чугуна с толщиной стенок в 2 раза больше толщины стенок кожуха, принятых при работе круга с  $v_k = 35$  м/с). Защитный кожух должен быть передвижным, чтобы по мере износа круга зазор между ободом кожуха и периферией круга можно было регулировать; этот зазор должен быть не больше 1—2 мм. Вследствие большой частоты вращения круга происходит сильное разбрызгивание смазочно-охлаждающей жидкости, а потому жидкость следует подводить как можно ближе к зоне резания и ставить соответствующие щитки, защищающие рабочего от разбрызгиваемой жидкости. Правка шлифовальных кругов для скоростного шлифования производится обычными методами. Для уменьшения загрязнения воздуха станок рекомендуется оснастить пылеулавливающими и пылесотсасывающими вентиляционными устройствами.

## § 11. Ленточное шлифование

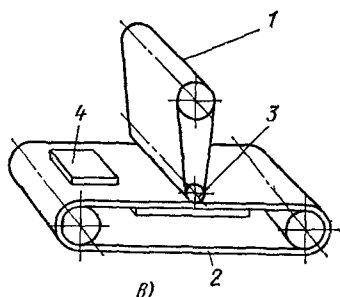
Ленточное шлифование осуществляется шлифовальными лентами, изготавливаемыми из широкой шкурки на тканевой основе. Основные схемы ленточного шлифования приведены на рис. 406. Схема работы станка с возвратно-поступательным движением стола дана на рис. 406, а. На плите 2 укреплен обрабатываемый лист 3. Стол имеет гибкую конструкцию; в месте соприкосновения с абразивной лентой 1 он поддерживается роликом 4. Бесконечная абразивная лента натягивается роликом 5 и снимает слой металла с листа. На станке с протяжными роликами 6 (рис. 406, б) обрабатываемый лист 4 проходит между нажимным роликом 3 и поддерживающим роликом 5. Абразивная лента 1 охватывает ролик 3 и ведущий шкив 2. Лента движется со скоростью 30 м/с и снимает припуск с листа. На рис. 406, в показан ленточно-шлифовальный



a)



б)



в)

Рис. 406. Схемы ленточного шлифования:

а — на станке с возвратно-поступательным движением стола; б — на станке с протяжными роликами; в — на станке с широкой абразивной лентой

станок с широкой абразивной лентой 1 и ленточным транспортером 2, на котором находится обрабатываемая заготовка 4. Во время работы станка заготовка 4 протаскивается транспортером под лентой 1, которая роликом 3 прижимается к заготовке 4.

## § 12. Выбор шлифовальных кругов

Для качественного и производительного шлифования шлифовальный круг должен быть выбран в зависимости от конкретных условий обработки. Абразивный материал зерен круга назначают в зависимости от материала заготовки. Так, электрокорунды применяют при шлифовании сталей (незакаленных и закаленных), ковкого чугуна и мягких бронз. Зеленый карбид кремния применяют при заточке инструмента, оснащенного твердым сплавом. Зернистость круга выбирают в зависимости от требуемого качества обработанной поверхности и величины поверхности соприкосновения круга с заготовкой. При черновом шлифовании применяют круги с более крупным зерном, чем при чистовом шлифовании. При шлифовании вязких и мягких металлов во избежание быстрого засаливания круга используют более крупнозернистые круги; при шлифовании хрупких и твердых металлов — мелкозернистые. Чем

больше поверхность соприкосновения круга с заготовкой, тем более крупнозернистым должен быть круг.

На твердость шлифовального круга влияют условия, обеспечивающие самозатачивание круга в процессе шлифования. Поэтому чем тверже материал заготовки, тем мягче должен быть круг, и наоборот, так как при твердом материале зерно круга будет изнашиваться интенсивнее, быстрее выпадет из круга и уступит место новому, острому зерну. Более твердыми кругами во избежание осыпания должны быть крупнозернистые круги, так как при прочих одинаковых условиях на зерно крупнозернистого круга приходится большая нагрузка, чем на зерно мелкозернистого круга. Чем больше площадь соприкосновения круга с заготовкой, тем меньшая глубина резания приходится на одно зерно, больше условий для засаливания круга и перегрева обработанной поверхности, а потому мягче должен быть шлифовальный круг. Таким образом, при одинаковых  $t$  и  $D_k$  круг должен быть мягче при плоском шлифовании, чем при наружном круглом шлифовании. Из связей наибольшее распространение находит керамическая, обеспечивающая высокую производительность и позволяющая вести шлифование с применением смазочно-охлаждающей жидкости.

По структуре круг выбирают исходя из условий обработки. Круги с плотной структурой, хорошо сохраняющие форму, применяют для чистовых и фасонных работ; круги со среднеплотной структурой — для обработки заготовок из закаленных сталей, для заточки режущего инструмента, для всех видов круглого шлифования и для плоского шлифования периферией круга; круги с открытой структурой применяют при обработке заготовок из вязких и мягких металлов и при плоском шлифовании торцом круга.

### § 13. Назначение элементов режима резания при шлифовании

Скорость вращения круга назначается максимально возможной в соответствии с его прочностной характеристикой и кинематическими данными станка. По мощности, затрачиваемой на резание, подсчитывается необходимая мощность электродвигателя, которая сравнивается с действительной мощностью электродвигателя станка.

Для устранения прижогов и микротрещин, полученных при заточке, а также для снижения шероховатости поверхностей твердосплавный и керамический инструмент необходимо доводить (что повышает стойкость в 2—3 раза). Доводка производится на чугунных дисках, на которые наносится паста карбида бора (60—70% зерен карбида бора зернистостью 6—5; 40—30% парафина); скорость вращения диска до 2 м/с;  $s_{\text{дрол}} = 0,5 \div 1$  м/с; давление инструмента на диск 0,15—0,20 кгс/см<sup>2</sup>.

Более эффективными (по сравнению с абразивной заточкой и доводкой) являются заточка и доводка алмазными кругами. Алмазную доводку можно производить и после предварительной заточки твердосплавного инструмента кругами из карбида кремния.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Г. А., Аршинов В. А. и Смольников Е. А. Расчет и конструирование режущего инструмента. М., Машгиз, 1951. 602 с.
2. Аршинов В. А. и Алексеев Г. А. Резание металлов. М., Машгиз, 1959. 490 с.
3. Вульф А. М. Резание металлов. Л., «Машиностроение», 1973. 496 с.
4. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. М., «Металлургия», 1968. 568 с.
5. Грановский Г. И., Панченко К. П. Фасонные резцы. М., «Машиностроение», 1975. 309 с.
6. Нефедов Н. А. и Осипов К. А. Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту. М., «Машиностроение», 1969. 336 с.
7. Резание конструкционных материалов, инструменты и станки. Петруха П. Г., Бруштейн Б. Е., Червяков А. Г. и др. М., «Машиностроение», 1974. 616 с.
8. Семенченко И. И., Матюшин В. М. и Сахаров Г. Н. Проектирование металлорежущих инструментов. М., Машгиз, 1962. 952 с.

От авторов . . . . .	3
Введение. . . . .	5
<b>Глава I. Материалы для изготовления режущего инструмента</b>	<b>7</b>
§ 1. Инструментальные углеродистые стали . . . . .	7
§ 2. Инструментальные легированные стали . . . . .	8
§ 3. Инструментальные быстрорежущие и конструкционные стали . . . . .	8
§ 4. Твердые сплавы . . . . .	13
§ 5. Минералокерамические материалы . . . . .	15
§ 6. Алмазы . . . . .	15
§ 7. Алмазобор . . . . .	16
<b>Глава II. Элементы резцов</b> . . . . .	<b>17</b>
§ 1. Основные положения . . . . .	17
§ 2. Геометрические параметры режущей части резцов . . . . .	19
§ 3. Типы токарных резцов . . . . .	23
<b>Глава III. Элементы резания при токарной обработке</b>	<b>27</b>
§ 1. Глубина резания, скорость резания и подача . . . . .	27
§ 2. Ширина, толщина и площадь поперечного сечения среза . . . . .	29
§ 3. Машинное время . . . . .	31
<b>Глава IV. Физические явления при резании металлов</b>	<b>35</b>
§ 1. Стружкообразование и типы стружек . . . . .	35
§ 2. Силы, действующие на инструмент, и работа, затрачиваемая на резание . . . . .	42
§ 3. Наростообразование при резании металлов . . . . .	44
§ 4. Завивание стружки, усадка стружки и повышение твердости в зоне деформации . . . . .	47
§ 5. Качество обработанной поверхности . . . . .	56
§ 6. Влияние смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) на процесс резания . . . . .	61
§ 7. Тепловыделение и распределение теплоты при резании металлов . . . . .	65
§ 8. Температурное поле стружки и резца . . . . .	66
§ 9. Влияние различных факторов на температуру резания . . . . .	68
§ 10. Износ инструмента . . . . .	73
§ 11. Вибрации при резании металлов . . . . .	81
<b>Глава V. Сопротивление резанию при точении</b> . . . . .	<b>84</b>
§ 1. Сила сопротивления резанию . . . . .	84
§ 2. Действие сил $P_z$ , $P_y$ и $P_x$ на инструмент, заготовку и станок . . . . .	85
§ 3. Мощность, затрачиваемая на резание . . . . .	83
§ 4. Влияние различных факторов на силы $P_z$ , $P_y$ и $P_x$ . . . . .	89
§ 5. Формулы для подсчета сил $P_z$ , $P_y$ и $P_x$ . . . . .	97

<b>Глава VI. Скорость резания, допускаемая режущими свойствами резцов</b>	99
§ 1. Влияние различных факторов на скорость резания	99
§ 2. Формула для подсчета скорости резания	112
<b>Глава VII. Геометрические элементы режущей части резцов и назначение элементов режима резания</b>	114
§ 1. Оптимальные значения геометрических элементов	114
§ 2. Влияние подачи на углы резца в процессе резания	125
§ 3. Методика назначения элементов режима резания	127
<b>Глава VIII. Общие вопросы конструирования режущих инструментов</b>	132
§ 1. Рабочая часть инструментов	132
§ 2. Соединительная часть инструментов	136
<b>Глава IX. Расчет и конструирование токарных резцов общего назначения</b>	138
§ 1. Расчет резцов на прочность и жесткость	138
§ 2. Резцы с пластинками из твердых сплавов	141
§ 3. Стружколоматели (стружкозавиватели)	155
§ 4. Минералокерамические резцы	158
§ 5. Алмазные резцы	160
§ 6. Резцы из эльбора	163
<b>Глава X. Фасонные резцы</b>	166
§ 1. Общие сведения	166
§ 2. Способы определения профиля фасонных резцов	170
§ 3. Пример расчета профиля круглого фасонного резца	173
§ 4. Заточка фасонных резцов	173
<b>Глава XI. Стругание</b>	175
§ 1. Режущий инструмент	175
§ 2. Силы, действующие на резец, скорость резания и мощность	181
§ 3. Элементы режима резания	183
<b>Глава XII. Сверление</b>	185
§ 1. Элементы режущей части сверла	185
§ 2. Элементы режима резания и среза	191
§ 3. Образование стружки	194
§ 4. Силы, действующие на сверло	194
§ 5. Влияние различных факторов на осевую силу и момент	197
§ 6. Формулы для подсчета осевой силы и момента	199
§ 7. Износ сверла	203
§ 8. Влияние различных факторов на скорость резания	201
§ 9. Формулы для подсчета скорости резания	204
§ 10. Назначение элементов режима резания	205
<b>Глава XIII. Расчет и конструирование сверл</b>	206
§ 1. Основные элементы конструкции сверл	206
§ 2. Особенности конструкций отдельных типов сверл	209
§ 3. Заточка сверл	217
<b>Глава XIV. Зенкерование и развертывание</b>	220
§ 1. Элементы режущей части зенкеров и разверток	220
§ 2. Элементы режима резания и среза	222
§ 3. Осевая сила и момент	223
§ 4. Износ и стойкость зенкеров и разверток	223
§ 5. Скорость резания	225
§ 6. Элементы режима резания	226
<b>Глава XV. Расчет и конструирование зенкеров и разверток</b>	228
§ 1. Элементы конструкций зенкеров и разверток	228
§ 2. Конструкции отдельных типов зенкеров и разверток	233
§ 3. Заточка зенкеров и разверток	240

<b>Глава XVI. Фрезерование</b>	244 <sup>e</sup>
§ 1. Элементы режущей части фрезы	244
§ 2. Режим резания при цилиндрическом фрезеровании	243
§ 3. Равномерность фрезерования	253
§ 4. Фрезерование против подачи и по подаче	254
§ 5. Силы, действующие на фрезу	256
§ 6. Износ и стойкость цилиндрических фрез	258
§ 7. Скорость резания	259
§ 8. Торцовое фрезерование	261
§ 9. Силы и мощность при торцовом фрезеровании	263
§ 10. Износ и стойкость торцовых фрез	264
§ 11. Скорость резания, допускаемая торцовыми фрезами	264
§ 12. Назначение элементов режима резания	266
<b>Глава XVII. Расчет и конструирование фрез</b>	269
§ 1. Фрезы с остроконечными зубьями	269
§ 2. Цилиндрические фрезы с остроконечными зубьями	269
§ 3. Торцовые фрезы с остроконечными зубьями	275
§ 4. Дисковые фрезы с остроконечными зубьями	280
§ 5. Пилы	283
§ 6. Концевые фрезы с остроконечными зубьями	285
§ 7. Фасонные фрезы с остроконечными зубьями	286
§ 8. Фрезы с затылованными зубьями	288
§ 9. Заточка фрез	292
<b>Глава XVIII. Зубонарезание</b>	295
§ 1. Основные положения	295
§ 2. Режим резания	298
§ 3. Износ, стойкость и скорость резания зуборезного инструмента.	301
<b>Глава XIX. Расчет и конструирование зуборезного инструмента, работающего по методу копирования</b>	303
§ 1. Дисковые модульные фрезы	303
§ 2. Пальцевые модульные фрезы	303
§ 3. Зубодолбежные головки	311
<b>Глава XX. Расчет и конструирование зуборезного инструмента, работающего по методу обкатки</b>	312
§ 1. Червячные зуборезные фрезы	312
§ 2. Червячные фрезы для обработки цилиндрических колес передач Новикова	320
§ 3. Червячные фрезы для обработки червячных колес	323
§ 4. Протягивание зубьев колес дисковыми протяжками	328
§ 5. Заточка червячных зуборезных фрез	328
§ 6. Долбяки	329
§ 7. Резцы и резцовые головки для нарезания конических колес	336
§ 8. Шеверы	337
<b>Глава XXI. Резьбонарезание и конструирование резьбонарезного инструмента</b>	340
§ 1. Общие сведения	340
§ 2. Резбовые резцы и гребенки	341
§ 3. Метчики	346
§ 4. Плашки	361
§ 5. Резьбонарезные головки	367
§ 6. Резбовые фрезы	371
§ 7. Режим резания и мощность при фрезеровании резьбы	373
<b>Глава XXII. Протягивание</b>	375
§ 1. Общие сведения	375
§ 2. Геометрические элементы зуба протяжки	377

§ 3	Элементы режима резания и среза . . . . .	378
§ 4	Стружкообразование и силы резания . . . . .	379
§ 5.	Износ, стойкость протяжек и скорость резания . . . . .	381
<b>Глава XXIII. Расчет и конструирование протяжек . . . . .</b>		<b>383</b>
§ 1.	Протяжки для внутреннего протягивания . . . . .	383
§ 2.	Протяжки для наружного протягивания . . . . .	392
<b>Глава XXIV. Специальные виды режущего инструмента</b>		<b>393</b>
§ 1.	Комбинированные инструменты . . . . .	393
§ 2.	Инструменты для автоматизированного производ- ства . . . . .	399
§ 3.	Методы повышения стойкости инструментов . . . . .	404
<b>Глава XXV Шлифование и абразивный инструмент</b>		<b>408</b>
§ 1.	Общие сведения . . . . .	408
§ 2.	Характеристика абразивного инструмента . . . . .	410
§ 3.	Форма абразивного инструмента . . . . .	415
§ 4.	Закрепление абразивного инструмента . . . . .	418
§ 5.	Износ и правка абразивного инструмента . . . . .	421
§ 6.	Наружное круглое шлифование в центрах . . . . .	424
§ 7.	Бесцентровое наружное круглое шлифование . . . . .	428
§ 8.	Внутреннее круглое шлифование . . . . .	429
§ 9.	Плоское шлифование . . . . .	431
§ 10.	Высокопроизводительное (скоростное) шлифова- ние . . . . .	431
§ 11.	Ленточное шлифование . . . . .	433
§ 12.	Выбор шлифовальных кругов . . . . .	434
§ 13.	Назначение элементов режима резания при шли- фовании . . . . .	435
Список литературы . . . . .		436

Василий Андреевич АРШИНОВ, Георгий Александрович АЛЕКСЕЕВ

## РЕЗАНИЕ МЕТАЛЛОВ И РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ

Редактор *И. И. Лесниченко*

Технический редактор *Л. А. Макарова*

Корректор *И. М. Борейша*

Подписано к печати с матриц 24/II 1976 г.

T-03058

Формат 60×

Бумага типографская № 2

Усл. печ. л. 27,5.

Уч.-изд. л.

Допечатка тиража 100 000 экз (2-й завод 4000(—70000)

Зак. тип. 771

Цена 1 р. 06 к.

Издательство «Машиностроение», 107885, Москва, Б-78, 1-й Басманный пер., 3

Отпечатано с матриц в Московской типографии № 4 Союзполиграфпрома при Государ-  
ном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной  
говли

г. Москва, И-41, Б. Переяславская ул., дом 46