

А. П. ГРУДЕВ
Ю. В. ЗИЛЬБЕРГ
В. Т. ТИЛИК

ТРЕНИЕ
И СМАЗКИ
ПРИ ОБРАБОТКЕ
МЕТАЛЛОВ
ДАВЛЕНИЕМ

СПРАВОЧНИК



МОСКВА МЕТАЛЛУРГИЯ 1982

Р е ц е н з е н т канд. техн. наук *П. И. Чуйко*

Трение и смазки при обработке металлов давлением. А. П. Г р у д е в, Ю. В. З и л ь б е р г, В. Т. Т и л и к. Справ. изд. — М.: Металлургия, 1982, с. 312.

Приведены материалы по определению сил внешнего трения в различных процессах обработки металлов давлением, эпюры распределения сил трения на контактной поверхности, данные по коэффициенту трения для конкретных условий обработки. Освещены методы определения коэффициента трения в процессах пластического деформирования. Рассмотрены вопросы теории смазочного действия, сортамент эффективных технологических смазок, способы их производства, а также смазочные системы и условия их эксплуатации. Описаны методы испытания смазочных веществ. Даны технико-экономические показатели смазок.

Справочник предназначен для широкого круга специалистов по обработке металлов давлением, а также может быть полезен студентам высших и средних учебных заведений соответствующего профиля. Илл. 189. Табл. 69. Библиогр. список: 453 назв.

Г $\frac{2704030000-197}{040(01)-82}$

58—82

Предисловие	6
Часть I. ВНЕШНЕЕ (КОНТАКТНОЕ) ТРЕНИЕ	
1. Основные понятия, термины и обозначения	7
1.1. Общие сведения	7
1.2. Волнистость и шероховатость поверхностей. Площадь касания	8
1.3. Природа внешнего трения	12
1.4. Особенности трения при обработке металлов давлением	14
2. Формулы сил трения (законы трения)	15
3. Факторы трения в процессах обработки металлов давлением	18
3.1. Химический состав деформируемого металла	18
3.2. Состав и свойства окислов на поверхности металла	18
3.3. Химический состав и свойства рабочего инструмента	20
3.4. Состояние поверхности инструмента	22
3.5. Температура деформации	25
3.6. Технологическая смазка	27
3.7. Степень деформации (обжатие)	27
3.8. Механические свойства металла	29
3.9. Контактное давление	32
3.10. Скорость скольжения	35
3.11. Длина пути скольжения	37
4. Распределение сил трения по контактной поверхности	41
4.1. Векторные поля сил трения	41
4.2. Зоны полных и неполных сил трения	42
4.3. Предельная величина сил трения	43
4.4. Экспериментальные методы исследования распределения сил трения по контактной поверхности	44
4.5. Критерии достоверности исследования контактных напряжений	54
4.6. Экспериментальные данные по распределению удельных сил трения	55
4.7. Аналитическое описание распределения сил трения	71
5. Методы экспериментального определения коэффициента трения	74
5.1. Уточнение понятия «коэффициент трения» применительно к процессам обработки давлением	74
5.2. Методы определения коэффициента трения при ковке и штамповке	75
5.3. Методы определения коэффициента трения при прокатке	81
5.4. Методы определения коэффициента трения при волочении	88
5.5. Методы определения коэффициента трения при прессовании	90
6. Зависимость коэффициента трения от факторов деформации	91
6.1. Влияние состава и свойств деформируемого металла	91
6.2. Влияние материала инструмента	93
6.3. Влияние состояния поверхности инструмента и металла	93
6.4. Влияние технологических смазок	95
6.5. Влияние температуры деформации	98
6.6. Влияние скоростных условий	100
6.7. Влияние контактного давления	102
6.8. Влияние обжатия и геометрических параметров очага деформации	104

7. Расчетное определение характеристик трения	106
7.1. Определение численных значений коэффициента трения в процессах обработки металлов давлением	106
7.2. Определение показателя сил трения и средней удельной силы трения	115
Часть II. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СМАЗКИ	118
8. Классификация и физико-химические свойства смазок	118
8.1. Требования, предъявляемые к технологическим смазкам	118
8.2. Основные типы технологических смазок	118
8.3. Показатели физико-химических свойств смазок и методы их определения	126
8.4. Смазочные материалы и их физико-химические свойства	131
9. Способы получения технологических смазок	146
9.1. Получение эмульсионных смазок	146
9.2. Получение технологических смазок путем гидрогенизации растительных жиров	147
9.3. Получение смазок уплотнением (полимеризацией) органических веществ	149
9.4. Смазки на основе отходов производства растительных жиров	152
9.5. Получение смазок на основе синтетических жирных кислот	154
9.6. Получение мыльного порошка	156
9.7. Получение смазок с наполнителями	156
9.8. Получение силикатных смазок	156
10. Методы исследования технологических свойств смазок	157
10.1. Определение антифрикционной эффективности смазок	157
10.2. Исследования противоизносных и противозадирных свойств смазок	161
10.3. Дополнительные технологические испытания смазок	162
10.4. Деформация поверхности металла смазкой	162
11. Определение толщины слоя смазки в очаге деформации	163
11.1. Экспериментальные методы исследования толщины слоя смазки	163
11.2. Теоретическое определение толщины слоя смазки между контактными поверхностями	164
11.3. Факторы, влияющие на толщину слоя смазки	166
12. Применение технологических смазок	168
12.1. Смазки для холодной прокатки листов из черных металлов	168
12.2. Смазки для горячей прокатки черных металлов	183
12.3. Смазки для профилегибочных и трубоформовочных станков	193
12.4. Смазки для прокатки цветных металлов	193
12.5. Волоочильные смазки	196
12.6. Смазки для прокатки труб	211
12.7. Смазки дляковки и объемной штамповки	212
12.8. Смазки для листовой штамповки, выдавливания и высадки	216
12.9. Смазки для прессования	222
13. Устройства для подачи смазок и смазочно-охлаждающих жидкостей	229
13.1. Системы для подачи смазок и смазочно-охлаждающих жидкостей при холодной прокатке листовой стали	229
13.2. Системы технологической смазки на многовалковых станах	244
13.3. Системы для промасливания листовой стали	246
13.4. Системы технологической смазки для профилегибочных станков	249

13.5. Системы технологической смазки станов горячей прокатки стали	251
13.6. Системы для подачи смазочно-охлаждающих жидкостей при прокатке цветных металлов и сплавов	259
13.7. Подача смазки при волочении	262
13.8. Подача смазки при ковке и штамповке	267
13.9. Подача смазок при прессовании	282
13.10. Подача смазки при прокатке труб	285
14. Эксплуатация смазочных систем, расход и стоимость смазочных материалов	286
14.1. Изменения в смазке и способы очистки технологических смазок в процессе эксплуатации	286
14.2. Способы разложения эмульсий	290
14.3. Регенерация отработанных жировых смазок	293
14.4. Расход и стоимость смазочных материалов	293
Библиографический список	296

ПРЕДИСЛОВИЕ

Решениями XXVI съезда КПСС, постановлениями партии и правительства выдвинута важнейшая народнохозяйственная задача: повышение эффективности производства и качества продукции при соблюдении режима экономии и максимальном использовании резервов. Процессы обработки металлов давлением относятся к числу высокоэффективных, экономичных способов получения металлических изделий. Дальнейшее развитие и совершенствование этих процессов требует создания оптимальных условий внешнего (контактного) трения.

В настоящем издании сделана попытка представить материалы по трению и смазке при обработке металлов давлением в обобщенном виде с охватом большинства основных сторон проблемы.

В первой части книги приведены материалы по определению величины сил контактного трения при ковке и штамповке, прокатке, волочении и прессовании. Эти данные необходимы для разработки режимов деформации, расчетов оборудования на прочность и потребной мощности. Чаще всего величину сил трения определяют через коэффициент трения. Поэтому для решения технологических и конструкторских задач требуется с достаточной степенью достоверности выбрать среднюю величину коэффициента внешнего трения в зоне деформации. При этом надо правильно учитывать влияние основных факторов трения, выделяя их среди многих второстепенных. Теоретический анализ процессов обработки металлов давлением во многих случаях требует знания не только средних значений сил трения, но и распределения их по контактной поверхности. Этому сложному вопросу также уделено значительное внимание.

Вторая часть посвящена изложению материалов, относящихся к выбору, производству и применению технологических смазок. В настоящее время в качестве технологических смазок используют сотни различных веществ. Трудность выбора оптимального состава смазки для каждого конкретного процесса обработки заключается в том, что она должна удовлетворять одновременно целому ряду требований, некоторые из которых трудносовместимы. Кроме того, существенную роль играют дополнительные обстоятельства: наличие сырьевой и производственной базы для изготовления смазки, решение вопросов транспортировки и хранения, традиции, техническая грамотность инженерно-технического персонала и др. Все это приводит к тому, что нередко для одних и тех же процессов на разных заводах применяют различные смазки.

В связи с повышением требований к качеству продукции, совершенствованием технологии производства, изменением сырьевой базы, учетом экологических факторов и по другим причинам идет непрерывный процесс замены одних смазок другими, более эффективными и менее дефицитными. Характеризуя обширный сортмент смазок, авторы сочли необходимым дать сведения и по тем смазкам, которые применялись ранее, а в настоящее время не используются; такие данные могут оказаться полезными технологам, ведущему поиск новой смазки.

Эффективность применения смазки зависит не только от состава вещества, но также от типа устройств, служащих для подачи смазки на инструмент и деформируемый металл. В связи с этим в справочнике отведено значительное место характеристике смазочных систем и условий их нормальной эксплуатации.

На протяжении последних лет изменились названия некоторых смазочных веществ. В соответствующих местах справочника приведены параллельно новые (стандартные) и старые наименования смазок.

Авторы выражают признательность за помощь в подготовке и оформлении справочника сотрудникам кафедры обработки металлов давлением Днепропетровского металлургического института, отдела химико-технологической обработки труб Всесоюзного научно-исследовательского и конструкторско-технологического института трубной промышленности и Центральной заводской лаборатории завода «Запорожсталь». Особую благодарность авторы выражают рецензенту канд. техн. наук П. И. Чуйко, сделавшему ряд ценных замечаний.

1. Основные понятия, термины и обозначения

1.1. Общие сведения

Внешним или контактнм трением называют сопротивление, возникающее при перемещении одного тела по поверхности другого. Силу сопротивления относительно тангенциальному смещению тел называют *силой трения*. Вектор силы трения лежит в плоскости касания тел и направлен в сторону, противоположную действию сдвигающего усилия.

В зависимости от величины относительного смещения тел различают *силу трения покоя* (статическое трение) и *силу трения движения* (кинетическое трение).

Допустим, трение происходит между телами A и B , сжатыми нормальной силой N (рис. 1). Пусть к телу A приложено малое сдвигающее усилие Q , недостаточное для возникновения скольжения. В этом случае в плоскости касания тел будет действовать *неполная сила трения покоя* T , которая уравнивает силу Q . При увеличении сдвигающего усилия Q соответственно растет сила трения T , вплоть до того момента, когда она достигает предельно возможной величины, после чего начинается скольжение тела A по телу B . Предельное значение статической силы трения T_s называют *полной силой трения покоя*.

При действии любой, даже очень небольшой сдвигающей силы Q тело A не остается абсолютно неподвижным по отношению к телу B , так как происходит предварительное смещение этих тел. По своей величине предварительное смещение очень мало (измеряется микронами), пропорционально сдвигающей силе и частично имеет упругий характер.

При большом относительном смещении тел на контактной поверхности действует сила трения движения, которая обычно бывает несколько меньше полной силы трения покоя.

По кинематическим признакам различают *трение скольжения* и *трение качения*. Трение скольжения характеризуется тем, что все точки поверхности одного тела движутся по касательной к поверхности другого тела (рис. 1, *а*). Частным случаем трения скольжения является *трение верчения*; оно имеет место, когда торец вала, вращаясь, касается плоскости.

При качении точки поверхностей взаимодействующих тел постепенно сближаются, входят в контакт, а затем расходятся. Перекачивание одного тела по другому осуществляется под действием силы Q (рис. 1, *б*), которая создает момент сил, необходимый для преодоления сопротивления качению. В некоторых случаях качение сопровождается скольжением, т. е. сочетаются оба вида трения.

Для характеристики величины сил трения в технике широко используют показатель, называемый *коэффициентом трения*. В зависимости от вида трения различают:

коэффициент трения покоя — отношение полной силы трения покоя T_s к нормальной силе N

$$f_s = T_s/N; \quad (1)$$

коэффициент трения скольжения — отношение силы трения движения (скольжения) T к нормальной силе N

$$f = T/N; \quad (2)$$

коэффициент трения качения — отношение момента сопротивления перекачиванию M_R к нормальной силе N

$$k = M_R/N = TR/N, \quad (3)$$

где R — радиус катка.

Коэффициенты трения покоя f_s и скольжения f являются безразмерными величинами, а коэффициент трения качения k имеет линейную размерность. В лите-

ратуре по обработке металлов давлением коэффициент трения скольжения иногда обозначают буквой μ .

С коэффициентом трения тесно связано понятие *угла трения*. Пусть на поверхности некоторого тела действуют силы нормального давления N и трения T

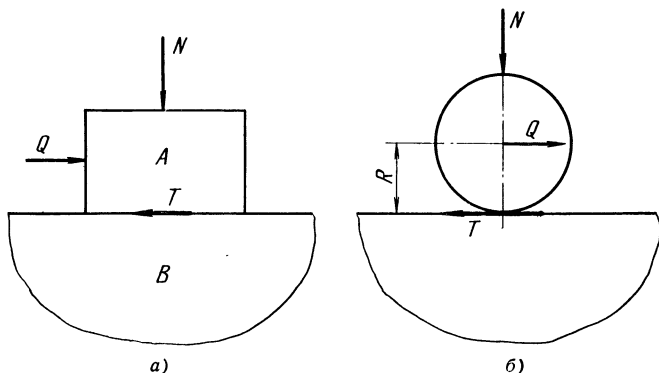


Рис. 1. Силы, действующие при плоском смещении (а) и качении (б) тел

(рис. 2). Геометрическое сложение этих сил дает равнодействующую F . Угол β между нормальной силой N и равнодействующей F называют углом трения

$$\operatorname{tg} \beta = T/N. \quad (4)$$

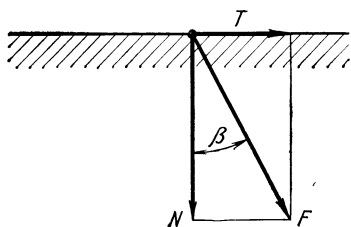
Сравнение формул (4) и (2) показывает, что коэффициент трения равен тангенсу угла трения

$$f = \operatorname{tg} \beta. \quad (5)$$

Угол трения иногда обозначают ρ , φ и другими буквами.

В некоторых случаях величина силы трения скольжения зависит от направления скольжения. Причиной этого могут быть следы ориентированной обработки поверхностей (точение, шлифование), неодинаковый износ в разных направлениях и др. Если

Рис. 2. К определению понятия «угол трения»



величина силы трения и, следовательно, коэффициента трения зависит от направления скольжения, то трение называют *анизотропным*. В ряде работ доказывается, что при анизотропном трении направление скольжения не совпадает с направлением действия сдвигающей силы [1].

1.2. Волнистость и шероховатость поверхностей. Площадь касания

Реальные поверхности всех твердых тел волнисты и шероховаты. Неровности на поверхности тела образуют определенный микрорельеф.

Под *волнистостью* понимают совокупность периодически повторяющихся неровностей, расстояние между которыми (шаг волны S_B) значительно больше их высоты H_B (рис. 3). Для волнистости характерно соотношение $S_B/H_B > 40$ [2]. Количественные параметры волнистости пока не стандартизованы.

Под *шероховатостью* понимают совокупность неровностей с относительно малыми шагом (0,002—12,5 мм) и высотой (0,025—1600 мкм). Параметры шероховатости нормированы ГОСТ 2789—73.

Для измерения шероховатости поверхностей применяют профилометры, профилографы, микроскопы и другие приборы. В СССР широкое распространение получил профилограф-профилометр модели 201 завода «Калибр». На рис. 4

показана *профилограмма* — графическое изображение профиля (рельефа) поверхности, записанное на ленте профилографа. Измерение шероховатости производят на *базовой длине* l выбранного участка поверхности. С увеличением базовой длины повышается точность определения параметров шероховатости. Минимальные значения базовой длины указаны в ГОСТ 2789—73.

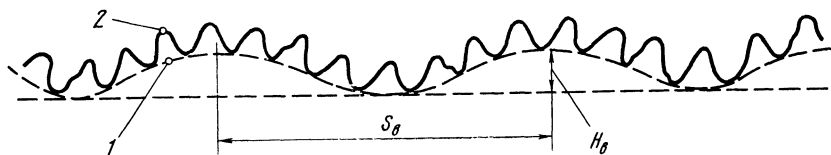


Рис. 3. Микрорельеф поверхности:
1 — волнистость; 2 — шероховатость

При обработке определяется положение средней линии профиля $m-m$, линии выступов и линии впадин (см. рис. 4). Средняя линия профиля — это базовая линия, характеризующая номинальную форму поверхности; она делит измеренный профиль таким образом, что в пределах базовой длины среднее квадратичное отклонение профиля от этой линии минимально. Приблизительно среднюю линию проводят так, чтобы в пределах базовой длины суммы площадок отклонений по обе стороны от этой линии были равными.

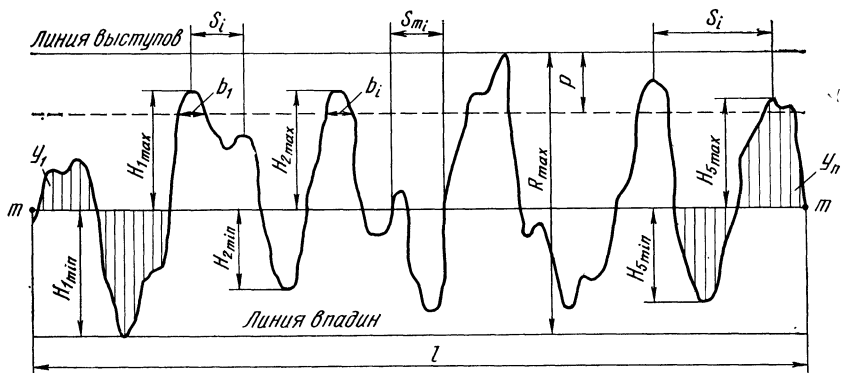


Рис. 4. Профилограмма поверхности и основные параметры шероховатости

Линия выступов проходит параллельно средней линии через высшую точку профиля в пределах базовой длины. Аналогично *линия впадин* проходит через самую низкую точку профиля.

Для количественной оценки микрорельефа (шероховатости) поверхностей ГОСТ 2789—73 предусматривает определение следующих параметров: R_a — среднее арифметическое отклонение профиля; R_z — высота неровностей профиля по десяти точкам; R_{max} — наибольшая высота неровностей профиля; S — средний шаг неровностей по вершинам; S_m — средний шаг неровностей; t_p — относительная опорная длина профиля.

Среднее арифметическое отклонение профиля представляет собой среднее значение расстояний (ординат) точек ($y_1, y_2 \dots y_n$) измеренного профиля до средней линии в пределах базовой длины. Ординаты суммируют по абсолютной величине, т. е. без учета знака. Точная формула для определения этого параметра имеет вид

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx, \quad (6)$$

где x — продольная координата.

Приближенно можно записать

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|, \quad (7)$$

где n — число измерений.

Многие профилометры имеют шкалу для непосредственного отсчета параметра R_a .

Высоту неровностей профиля R_z определяют как среднее расстояние между пятью наиболее высокими и пятью наиболее низкими точками профиля в пределах базовой длины

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 |H_{i \max}| + \sum_{i=1}^5 |H_{i \min}| \right), \quad (8)$$

где $H_{i \max}$ и $H_{i \min}$ — максимальные и минимальные отклонения (ординаты) профиля, отсчитываемые от средней линии.

$(R_{\max} - \rho) / R_{\max}, \%$

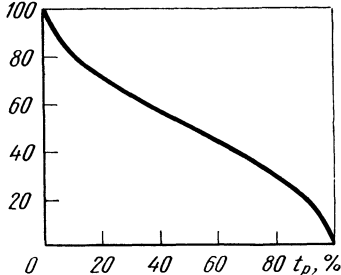


Рис. 5. Кривая опорной поверхности

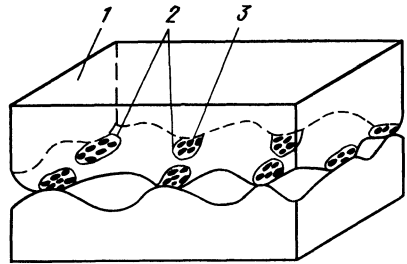


Рис. 6. Пространственная схема контактирования двух поверхностей:

1 — номинальная площадь касания; 2 — контурная площадь; 3 — точки фактического контакта

Наибольшая высота неровностей профиля R_{\max} — это расстояние между линией выступов и линией впадин в пределах базовой длины.

Смысл понятий шаг неровностей по вершинам S_i и шаг неровностей S_{mi} ясен из схемы на рис. 4.

Опорной или несущей длиной профиля называют сумму отрезков, отсекаемых линией, проведенной через выступы профиля на некотором уровне ρ параллельно средней линии. Относительную опорную длину профиля t_p определяют по формуле

$$t_p = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n b_i, \quad (9)$$

где b_i — длина отрезка, отсекаемого на единичном выступе.

Естественно, величина t_p зависит от выбранного уровня ρ проведения секущей линии. График, выражающий зависимость относительной опорной длины t_p от значения уровня ρ , называют кривой опорной или несущей поверхности или просто опорной кривой (рис. 5).

Стандарт на шероховатость поверхностей (ГОСТ 2789—73) включает 14 классов шероховатости (чистоты), причем для классов 1—5 и 13—14 в качестве основного показателя принят параметр R_z , а для классов 6—12 — параметр R_a . Все

ТАБЛИЦА 1

КЛАССЫ ШЕРОХОВАТОСТИ

Класс	Разряд	Параметр R_a , мкм	Базовая длина, мм	Класс	Разряд	Параметр R_a , мкм	Базовая длина, мм
1		320—160 *	8,0	10	<i>a</i>	0,160—0,125	0,25
2		160—80 *			<i>б</i>	0,125—0,100	
3		80—40 *			<i>в</i>	0,100—0,080	
4		40—20 *	2,5	11	<i>a</i>	0,080—0,063	
5		20—10 *			<i>б</i>	0,063—0,050	
6	<i>a</i>	2,5—2,0	8,0	12	<i>a</i>	0,050—0,040	
	<i>б</i>	2,0—1,6			<i>б</i>	0,040—0,032	
	<i>в</i>	1,6—1,25			<i>в</i>	0,032—0,025	
7	<i>a</i>	1,25—1,00		13	<i>a</i>	0,100—0,080 *	0,08
	<i>б</i>	1,00—0,80			<i>б</i>	0,080—0,63 *	
	<i>в</i>	0,80—0,63			<i>в</i>	0,63—0,50 *	
8	<i>a</i>	0,63—0,50		14	<i>a</i>	0,050—0,040 *	
	<i>б</i>	0,50—0,40			<i>б</i>	0,040—0,032 *	
	<i>в</i>	0,40—0,32			<i>в</i>	0,32—0,025 *	
9	<i>a</i>	0,32—0,25	0,25				
	<i>б</i>	0,25—0,20					
	<i>в</i>	0,20—0,16					

* Параметр R_z .

классы, начиная с шестого, подразделяют дополнительно на три разряда (табл. 1).

Между параметрами R_a и R_z имеется определенное количественное соотношение, зависящее от способа обработки поверхности. Приблизительно принимают для поверхностей 1—6-го класса $R_z/R_a = 4$, для 7—14-го класса $R_z/R_a = 5$.

Помимо параметров, включенных в ГОСТ 2789—73, для характеристики микрогеометрии поверхностей применяют ряд других показателей [2, 3]. В частности, довольно широко используют *среднее квадратичное отклонение профиля* R_q . Этот показатель определяют по формуле

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l [y(x)]^2 dx} \quad (10)$$

Приблизительно можно записать

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2} \quad (11)$$

Величина R_q примерно на 6—30 % превышает R_a (в зависимости от формы профиля) [3].

Обозначения шероховатости и способа обработки поверхности на чертежах и в других технических документах установлены ГОСТ 2309—73. В связи с тем, что поверхности твердых тел волнисты и шероховаты, при их сближении касание осуществляется не по всей номинальной площади, а лишь на отдельных малых

участках, т. е. контактирование поверхностей является дискретным. Учитывая это, различают номинальную, контурную и фактическую площади касания (рис. 6).

Номинальная (геометрическая) площадь касания — площадь, находящаяся в пределах внешних границ соприкасающихся поверхностей. *Контурная площадь касания* — площадь тех пятен, которые образуются в результате смятия неровностей типа волнистости и в пределах которых расположены точки истинного контакта. *Фактическая (физическая) площадь касания* — суммарная площадь малых площадок (точек) истинного контакта.

Контурная площадь касания при контактировании деталей машин обычно составляет 5—15 % номинальной. Если номинальная площадь контакта достаточно мала и волнистостью можно пренебречь, то контурная площадь касания близка к номинальной. Фактическая площадь касания обычно составляет не более 0,01—0,1 % номинальной площади. Пятна (точки) истинного контакта, образованные вследствие деформации отдельных выступов профиля, имеют диаметр 3—50 мкм [2].

1.3. Природа внешнего трения

Между поверхностями трущихся тел практически всегда находятся в том или ином количестве различные вещества, свойства которых резко отличаются от свойств основных тел. Это так называемые *промежуточные* или *разделительные среды*. Механизм внешнего трения существенно зависит от состава и количества этих промежуточных продуктов. Обычной разделительной средой служит *смазка*, специально вводимая в область контакта трущихся тел для уменьшения трения и износа. В зависимости от толщины разделительного смазочного слоя различают три основных вида трения: сухое, граничное и жидкостное. Принято выделять также смешанные виды трения: полусухое и полужидкостное.

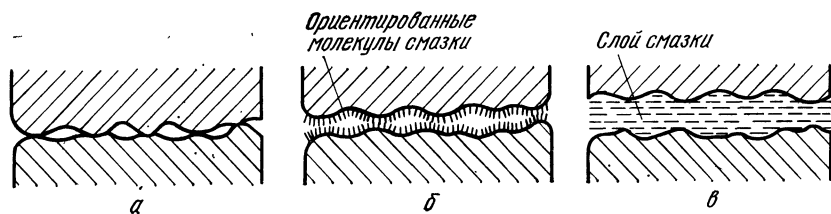


Рис. 7. Схемы контактирования поверхностей при сухом (а), граничном (б) и жидкостном (в) трении

Сухое трение наблюдается, когда поверхности трущихся тел совершенно свободны от смазки, загрязнений и молекул окружающей среды (влаги, газов и др.). Схема контактирования поверхностей в этом случае показана на рис. 7, а. Идеально сухое трение почти не встречается в практических условиях. Для реализации его требуется специальная очистка поверхностей и помещение трущихся тел в глубокий вакуум. На практике под сухим трением обычно подразумевают трение несмазанных тел.

Предельным случаем сухого трения является так называемое чистое *трение*. Этим термином характеризуют трение тел, поверхности которых не только не несут следов смазки и загрязнений, но и свободны от окисных и других твердых пленок.

При наличии на контактных поверхностях тончайших пленок смазки (толщиной порядка сотых долей микрона) трение называют *граничным* (рис. 7, б). Для образования на металлических поверхностях тонких и прочных граничных пленок в смазке должны присутствовать поверхностно активные вещества, например жирные кислоты.

Жидкостное или гидродинамическое трение имеет место при большой толщине разделительного смазочного слоя, когда неровности поверхностей тел не входят в непосредственное зацепление (рис. 7, в).

Природа и закономерности жидкостного трения принципиально отличаются от сухого и граничного трения. Жидкостное трение — это внутреннее трение в слое смазки. Если сухое и граничное трение бывает статическим и кинетическим, то жидкостное трение может быть только кинетическим.

На практике чаще всего встречаются смешанные виды трения.

Полусухое трение можно представить как сочетание граничного трения с сухим. Оно наблюдается при наличии небольших количеств смазки или загрязнений между трущимися поверхностями.

Под *полужидкостным трением* подразумевают сочетание жидкостного трения с граничным или сухим. В этом случае между контактирующими телами имеется слой смазки, но он не полностью разделяет поверхности; при сдвиге происходит зацепление поверхностей в отдельных точках, т. е. существуют очаги граничного или сухого трения.

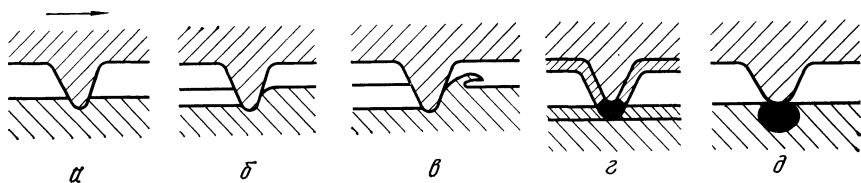


Рис. 8. Виды фрикционных связей

Природа внешнего трения (сухого и граничного) сложна, поскольку возникновение сил трения обусловлено многими процессами, протекающими на разных физических уровнях (механическом, молекулярном, атомарном). В настоящее время установлены основные источники формирования сил трения. К ним относятся: 1) *механическое зацепление* неровностей трущихся поверхностей; 2) *молекулярное схватывание* поверхностей в точках истинного контакта, образование так называемых мостиков сварки с последующим их разрушением (по мнению ряда исследователей, этот механизм сухого трения является главным); 3) *преодоление сопротивления сдвигу в слое промежуточных веществ*, т. е. в микрообъемах разделительной среды.

Взаимодействие поверхностей в точках истинного контакта, приводящее к возникновению силы трения, называют *фрикционной связью*.

Основные виды фрикционных связей классифицируют следующим образом [4].

1. *Упругое оттеснение* микровыступом одной поверхности материала другой поверхности (рис. 8, а). 2. *Пластическое оттеснение* (при более глубоком внедрении выступа) (рис. 8, б). 3. *Микрорезание, выцарапывание* (рис. 8, в). 4. *Схватывание и разрушение пленок*, покрывающих поверхности трущихся тел, либо слабое схватывание основных поверхностей (рис. 8, г). 5. *Прочное схватывание поверхностей*, сопровождающееся глубинным вырыванием материала одного из трущихся тел (рис. 8, д).

Из перечисленных видов фрикционных связей первые три относятся к категории механического зацепления, а последние два — к категории молекулярного схватывания (адгезионного взаимодействия). В современной теории трения сформулированы условия перехода от одного вида фрикционной связи к другому (для механического зацепления). На базе теории упругости и пластичности с учетом дискретности касания поверхностей разработаны методы теоретического расчета сил трения и коэффициента трения [2]. Наибольшую трудность в таких расчетах представляет определение молекулярной (адгезионной) составляющей силы трения. В предложенных теоретических формулах для расчета сил трения молекулярную составляющую определяют с помощью эмпирических констант.

1.4. Особенности трения при обработке металлов давлением

Первой важнейшей особенностью внешнего трения при обработке металлов давлением является то, что одно из трущихся тел (деформируемый металл) находится в состоянии общего пластического течения.

В отличие от обычного трения твердых тел, иногда называемого *машинным*, трение при обработке металлов давлением называют *пластическим*.

Вследствие пластической деформации обрабатываемого тела резко возрастает плотность контакта поверхностей (рис. 9). В большинстве случаев при обработке давлением можно принимать, что контурная площадь касания равна номинальной площади. Также значительно возрастает фактическая площадь касания, хотя она, как правило, не достигает размеров номинальной площади, т. е. абсолютный контакт поверхностей отсутствует.

В процессе пластической обработки растет отношение площади контактных поверхностей к объему тела.

В связи с ростом контактной поверхности возрастает вероятность разрушения окисных пленок и выхода на поверхность внутренних «свежих» частиц металла [5]. Это обстоятельство способствует проявлению сил молекулярного схватывания в процессах обработки металлов давлением.

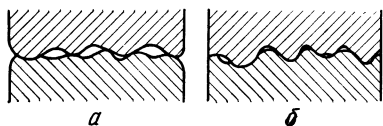


Рис. 9. Схемы контактирования поверхностей при обычном (а) и пластическом (б) трении

Деформация поверхностных слоев обрабатываемого тела может быть значительно более интенсивной, чем общая деформация тела. Это объясняется тем, что микровыступы поверхности инструмента вжимаются в поверхность металла, создавая местную дополнительную деформацию. При скольжении происходит «пропахивание» поверхности металла внедрившимися микровыступами (см. рис. 8, б). Поскольку поверхностные слои металла претерпевают более интенсивную деформацию, прочностные свойства их (предел текучести, сопротивление сдвигу) должны быть выше, чем в объеме тела.

Одной из характерных особенностей пластического трения является *наличие больших нормальных давлений на контактной поверхности*, которые во многих случаях значительно превышают величину предела текучести обрабатываемого металла. Среднее давление на контактной поверхности при горячей обработке стали чаще всего находится в пределах 50—500 МПа, а при холодной обработке давлением — в пределах 200—2000 МПа. Эти давления намного выше тех, которые обычно имеют место в подшипниках машин.

При прокатке, ковке, профилировании и в некоторых других случаях *скорость скольжения и путь скольжения в очаге деформации относительно малы*. При прокатке рассчитанная средняя скорость скольжения на контактных поверхностях в очаге деформации часто составляет лишь несколько процентов или даже доли процента от окружной скорости валков, а путь скольжения составляет лишь очень небольшую часть длины дуги контакта. Малые значения скорости и пути скольжения благоприятны с точки зрения уменьшения возможности молекулярного схватывания, т. е. образования наваров и наростов на поверхности инструмента.

Существенным фактором трения является *высокая температура металла* при горячих процессах обработки давлением. Важна не сама по себе температура, а образование окисных пленок, имеющих специфические свойства и оказывающих большое влияние на трение. При холодной деформации, когда образование окисных пленок заторможено, эффективной разделительной средой служат технологические смазки, наносимые на поверхность инструмента и металла.

Давая обобщенную характеристику условиям трения при обработке металлов давлением, следует сделать вывод, что при *горячей обработке* основным видом трения является полусухое трение, причем роль разделительной среды выполняют не только окисные пленки, которые могут находиться в размягченном состоянии, но также вода, пар и различные загрязнения, попадающие в очаг деформации.

При *холодной обработке* давлением, когда применяют технологические смазки, чаще всего наблюдается полужидкостное трение. Толщина разделительного слоя смазки в очаге деформации обычно находится в пределах от 0,1 до 2—3 мкм. В некоторых процессах волочения, холодной штамповки, прессования и др. реализуется жидкостное трение. В этих случаях толщина слоя смазки составляет 5—20 мкм и более.

2. Формулы сил трения (законы трения)

Известно много формул для определения величины сил трения. Те из них, которые применяют в теории обработки металлов давлением, могут быть разбиты на три группы: 1) содержащие в качестве независимой переменной (аргумента) какой-либо физический фактор (нормальное давление, предел текучести деформируемого металла, вязкость смазки и др.); 2) описывающие распределение сил трения в зоне контакта, причём одним из аргументов они включают чисто геометрический параметр, т. е. координату точки контактной поверхности; 3) определяющие среднюю удельную силу трения в очаге деформации.

В строгом физическом смысле законами трения являются только формулы первой группы, которые и рассматриваются ниже. Формулы второй группы приведены в гл. 4, а третьей — в гл. 7.

Наиболее известной и широко применяемой является *формула (закон трения) Амонтона*

$$T = fN. \quad (12)$$

Для удельных сил она имеет вид

$$t = fp. \quad (13)$$

Формула (13) предложена французским инженером Гильомом Амонтоном в 1699 г. В технической литературе выражение (13) иногда неправильно называют законом Кулона.

Из формулы (13) следует, что при $f = \text{const}$ имеется прямо пропорциональная зависимость между силой трения T и нормальной сжимающей силой N . По современным представлениям, физическая суть этой зависимости заключается в том, что с увеличением нормального давления прямо пропорционально растёт фактическая площадь касания поверхностей.

Суждения о степени точности и возможности применения закона Амонтона для определения величины сил трения при обработке металлов давлением очень противоречивы. Детальный анализ результатов исследований приводит к выводу, что к оценке применимости закона Амонтона надо подходить дифференцированно, с учетом условий деформации (шероховатости поверхности инструмента, наличия смазки и др.) Закон Амонтона выполняется наиболее точно при холодной деформации с применением технологических смазок, когда коэффициент трения относительно невелик ($f < 0,1$) [1]. При деформации инструментом с грубошероховатой поверхностью без смазки этот закон менее справедлив (наблюдается падение коэффициента трения с ростом нормального давления).

Специальные исследования показывают, что закон Амонтона выполняется с достаточной точностью в начальный момент захвата полосы прокатными валами [1].

Важная роль в теории трения принадлежит *двулученным законам трения*. Впервые двулученная формула для сил трения была предложена в 1791 г. Ш. О. Кулоном

$$T = f'N + A, \quad (14)$$

где f' — коэффициент, отличающийся по величине от f в формуле (12); A — сопротивление скольжению, обусловленное молекулярным схватыванием (адгезионным взаимодействием).

Для удельных сил формула имеет вид

$$t = f'p + a, \quad (15)$$

где a — удельное значение сопротивления A .

Закон Кулона (14) отражает физические представления, согласно которым возникновение сил трения объясняется действием двух причин: механическим зацеплением неровностей и молекулярным притяжением («сцепленностью поверхностей» по терминологии Ш. О. Кулона).

По мере развития науки о трении предлагались различные физические модели трения, однако большинство исследователей рекомендуют все же двучленный закон трения, придавая ему различный вид. На двучленном законе трения базируются современные расчетные методы определения сил трения [2].

Практическое применение формул, выведенных с использованием двучленного закона трения, часто встречает трудности из-за недостаточной изученности эмпирических констант f' и a .

Большое распространение в теории обработки металлов давлением получил закон трения, предложенный Э. Зибелем:

$$t = f_{\sigma} \sigma_{\tau}, \quad (16)$$

где f_{σ} — показатель сил трения; σ_{τ} — предел текучести деформируемого металла.

Иногда закон (условие) трения Зибеля записывают в виде формулы

$$t = f_{\sigma}^* m \sigma_{\tau}, \quad (17)$$

или

$$t = f_{\sigma}^* 2\tau_c = \psi \tau_c, \quad (18)$$

где m — коэффициент Лоде; τ_c — сопротивление пластическому сдвигу металла.

Из теории пластичности известно, что величина m находится в пределах $1,0 \div 1,15$; поэтому коэффициент f_{σ}^* меньше f_{σ} , но не более, чем на 15%. Из формулы (18) видно, что

$$\psi = 2f_{\sigma}^* = 2f_{\sigma}/m. \quad (19)$$

Одним из вариантов закона Зибеля можно считать формулу предельной оси трения

$$t = \tau_c, \quad (20)$$

которую называют также *условием Прандтля*. Формулу (20) применяют в предположении, что удельные силы трения достигают максимально возможного значения, равного сопротивлению сдвига; при этом $\psi = 1$, $f_{\sigma}^* = 0,5$ и $f_{\sigma} = 0,5 - 0,58$.

Широкое применение закона Зибеля в теории обработки металлов давлением объясняется двумя обстоятельствами. Во-первых, применение условия Зибеля вместо закона Амонтона во многих случаях позволяет значительно упростить математические операции и получить более простые конечные формулы. Во-вторых, по мнению многих исследователей, закон Зибеля более правильно отражает физическую суть процесса трения, поскольку возникновение сил трения связано с пластической деформацией поверхностного слоя металла.

Первое из указанных обстоятельств бесспорно, особенно если учесть, что при использовании формулы (16) предел текучести на протяжении контактной поверхности обычно принимают постоянным, т. е. вводят допущение о равномерном распределении сил трения. Что же касается физической справедливости закона Зибеля, то надо сделать ряд существенных оговорок:

1. Величина сил трения зависит не только от механических свойств деформируемого металла, но также от вида фрикционных связей, напряженного состояния в точках истинного контакта и фактической площади касания поверхностей. Отсюда следует, что коэффициент f_{σ} в формуле (16) должен зависеть от нормального давления, т. е. закон Зибеля имеет тот же недостаток, что и закон Амонтона, если последний выполняется не точно (f зависит от p).

2. Чтобы формулы (16)—(18) правильно отражали физическую сущность процесса трения, они должны включать не усредненные показатели механических свойств металла σ_{τ} или τ_c , а показатели свойств его приконтактного слоя $\sigma_{\tau\kappa}$ или $\tau_{c\kappa}$. Точное определение величин $\sigma_{\tau\kappa}$ или $\tau_{c\kappa}$ встречает большие трудности.

ЗАКОНЫ ТРЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ТЕОРИИ ОБРАБОТКИ
МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Название	Математическое выражение	Предпочтительная область применения
Закон Амонтона	$t = fp$	Относительно мягкие условия трения: низкий коэффициент подпора ($< 2-3$), гладкая поверхность инструмента, наличие технологической смазки
Закон (условие) Зибеля	$t = f_{\sigma}\sigma_T;$ $t = \psi\tau_c$	Жесткие условия трения: высокий коэффициент подпора ($> 2-3$), грубая поверхность инструмента, отсутствие технологической смазки; многие процессы горячей обработки
Формула предельной силы трения (условие Прандтля)	$t = \tau_c$	Максимально жесткие условия трения: сдвиг (срез) слоя металла по всей контактной поверхности
Закон Ньютона	$t = \eta \Delta v / \xi$	Жидкостное (гидродинамическое) трение при наличии достаточно толстого разделительного слоя смазки

3. Выше отмечалось, что на контактных поверхностях часто присутствуют промежуточные среды (окислы, технологическая смазка и др.). Сдвиговая деформация на контакте в значительной мере реализуется в слое этих веществ, обладающих относительно малой прочностью. Следовательно, физически обоснованная формула для определения сил трения должна содержать показатели реологических свойств промежуточных сред.

Таким образом, нет оснований утверждать, что с физической точки зрения закон трения Зибеля имеет явные преимущества по сравнению с законом Амонтона.

По своему физическому содержанию закон Зибеля в большей степени соответствует жестким условиям трения, когда велико отношение давления к пределу текучести металла (коэффициент подпора выше 2—3), инструмент имеет грубую поверхность, отсутствует технологическая смазка и т. д. Формула предельной силы трения (20) отвечает особо жестким условиям трения, когда фактическая площадь касания (площадь сдвига) равна или почти равна номинальной площади.

Практическое использование закона Зибеля (16) и родственных формул требует знания величины показателя сил трения f_{σ} или связанного с ним коэффициента ψ . Иногда показатель сил трения f_{σ} отождествляют с коэффициентом трения f , т. е. принимают $f_{\sigma} = f$. Это неправильно, так как при одном и том же значении силы трения t коэффициенты f и f_{σ} в формулах (13) и (16) имеют разную величину. Методика определения коэффициентов f_{σ} и ψ разработана в монографии [6], в которой для удельной силы трения предлагают формулу

$$t = k_{\Pi} (1 - e^{-1,25v/\sigma_{TK}}) \tau_{CK}, \quad (21)$$

где k_{Π} — константа поверхности, равная отношению предельной силы трения (при очень высоком давлении) к сопротивлению пластическому сдвигу металла в приконтактном слое. Численные значения константы поверхности k_{Π} в зависимости от рода металла, шероховатости поверхности инструмента и других факторов приведены в работе [6].

Механические свойства приконтактного слоя металла σ_{TK} и τ_{CK} рекомендуется приближенно определять по формуле

$$\tau_{CK} = 0,58\sigma_{TK} = 0,58(\sigma_T + \sigma_{Tmax})/2, \quad (22)$$

где σ_T — предел текучести в объеме металла вблизи контактной поверхности; σ_{Tmax} — предел текучести предельно упрочненного металла, т. е. соответствующий максимальной степени и скорости деформации.

В процессах обработки металлов давлением с применением технологической смазки, когда толщина слоя смазки относительно велика (превышает высоту неровностей на поверхности инструмента), силы трения определяют по *закону жидкостного трения Ньютона*

$$T = \eta \Delta v F_R / \xi, \quad (23)$$

где η — динамическая вязкость смазки; Δv — скорость скольжения (сдвига); ξ — толщина слоя смазки.

Для удельных сил можно записать выражение

$$t = \eta \Delta v / \xi \quad (24)$$

В наиболее строгой форме закон Ньютона имеет вид

$$t = \eta dv/dy, \quad (25)$$

Где dv/dy — градиент скорости сдвига по высоте слоя смазки.

При использовании формул (23)—(25) надо учитывать, что вязкость смазки является функцией температуры и давления.

В табл. 2 дана обобщенная сводка законов трения и указаны условия, при которых применение того или иного закона является предпочтительным.

3. Факторы трения в процессах обработки металлов давлением

3.1. Химический состав деформируемого металла

От химического состава металла зависят силы адгезии, возникающие между металлом и рабочим инструментом в точках истинного контакта. Те металлы, которые склонны к молекулярному схватыванию и налипанию на инструмент, имеют повышенный коэффициент трения (алюминий, нержавеющей сталь).

От химического состава металла зависят также состав и свойства окалины на его поверхности, механические свойства самого металла и контактные давления при деформации.

3.2. Состав и свойства окислов на поверхности металла

Окисные пленки играют роль промежуточной среды. В связи с этим они оказывают сильное влияние на процесс внешнего трения. Экранируя контактные поверхности, они препятствуют значительному проявлению сил адгезии и предотвращают молекулярное схватывание поверхностей металла и инструмента.

Механизм трения существенно зависит от механических свойств окисной пленки, а также от силы сцепления окислов с поверхностью металла. Если сопротивление сдвигу в слое окислов или на границе окисел—металл меньше, чем сопротивление сдвигу в приконтактном слое деформируемого металла, то это способствует снижению величины сил трения. Если же прочность (твердость) окислов велика, то они могут играть роль абразивной среды, повышая силу трения.

Сопротивление сдвигу в слое окислов уменьшается с ростом толщины слоя и повышается при увеличении давления. Окисные пленки присутствуют на поверхности металла практически всегда.

Даже при комнатной температуре на свежей металлической поверхности за 0,05 с, т. е. практически мгновенно, образуется слой окислов толщиной $(1,0—1,5) \cdot 10^{-3}$ мкм. При повышении температуры процесс окисления резко интенсифицируется.

На практике при холодной обработке давлением на исходной поверхности металла обычно находится окисная пленка толщиной порядка 0,001—0,01 мкм.

При горячей деформации толщина, структура и свойства окислов сильно зависят, помимо химического состава металла, от температуры, длительности и среды нагрева.

Окислы, образующиеся во время нагрева металла в нагревательных печах, принято называть *первичными или печными (печной окалиной)*. Окислы, образующиеся в процессе обработки (после удаления печной окалины), называют *вторичными или воздушными (воздушной окалиной)*.

При нагреве углеродистой стали в промышленных условиях толщина слоя печной окалины составляет 1—10 мм. Печная окалина неоднородна и в большинстве случаев состоит из трех слоев (рис. 10). Непосредственно к поверхности металла Fe примыкает слой *вюстита* FeO, составляющий примерно 60—80 % общей толщины слоя окалины. Над слоем вюстита располагается более тонкий слой *магнетита* Fe₃O₄. Наружнюю часть окалины составляет тончайший слой *гематита* Fe₂O₃.

Из трех указанных фаз окалины наименьшей прочностью обладает слой вюстита (табл. 3). Как правило, он порист и содержит инородные включения (FeS, силикаты). При температурах выше 1200—1250 °С сопротивление сдвигу в слое вюстита становится близким к нулю. Окалина, образующаяся при высоких температурах, имеет очень слабое сцепление с поверхностью металла.

Воздушная окалина по структуре и свойствам значительно отличается от печной. Слой воздушной окалины обычно имеет толщину меньше 0,1—0,2 мм и более крепко связан с поверхностью металла. В структуре воздушной окалины отсутствует гематит, т. е. она является двухслойной.

С увеличением содержания углерода в стали количество образующейся окалины уменьшается.

Окалина на легированных сталях часто имеет сложное строение. Легирующие элементы могут входить в состав окалины как в виде окислов (например, MnO, Cr₂O₃, NiFe₂O₄), так и в чистом виде (медь и др.). Такие элементы, как хром, никель, кремний, алюминий, способствуют образованию на стали вязкой, сильно прилипающей окалины. Влияние различных элементов на скорость окалинообразования рассматривается в специальной литературе [8, 9].

При нагреве *меди* до температур горячей обработки давлением (850—900 °С) на ее поверхности образуется окалина, состоящая из внутреннего слоя закиси меди Cu₂O (куприт) и наружного тонкого слоя окиси меди CuO (тенорит). Основу

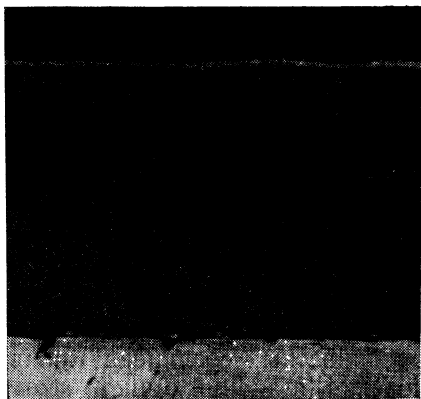


Рис. 10. Структура слоя окалины на железе [8]

Т А Б Л И Ц А 3

ХАРАКТЕРИСТИКА ФАЗ ОКАЛИНЫ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ [7]

Фаза	Химическая формула	Микротвердость при 20 °С	Температура размягчения, °С	Температура плавления, °С
Вюстит	FeO	270—350	890—940	1370—1375
Магнетит	Fe ₃ O ₄	420—510	1180	1470—1495
Гематит	Fe ₂ O ₃	870—1030	—	1590—1595

окалины, примерно 90 %, составляет куприт. Медная окалина довольно легко удаляется с поверхности металла.

На алюминии как при низких, так и при повышенных температурах, вплоть до температур горячей обработки (420—480 °С), образуется пленка окиси Al_2O_3 (корунд). Она имеет аморфное строение, но вместе с тем обладает высокой плотностью и даже при очень малой толщине хорошо защищает металл от дальнейшего окисления.

Титан при нагреве активно поглощает кислород, причем около 70 % поглощенного кислорода идет на образование окалины. В области температур горячей обработки (900—1000 °С) окалина имеет двухслойное строение. Внешний основной слой — плотный, крупокристаллический, состоит из двуокиси титана TiO_2 (рутил). Внутренний тонкий и рыхлый слой состоит из окислов Ti_2O_3 и TiO .

Химический состав окислов в очаге деформации при обработке давлением остается постоянным, а физико-механические свойства могут изменяться значительно. Под действием высоких контактных давлений происходит уплотнение окалины. При высоких температурах окалина деформируется пластически, а при более низких происходит хрупкое разрушение, растрескивание окалины.

3.3. Химический состав и свойства рабочего инструмента

Основным материалом для изготовления рабочего инструмента служат различные стали и чугуны; их применяют в разных фазовом и структурном состояниях. Иногда применяют металлокерамические сплавы, технические алмазы, пластмассы, резину.

Влияние химического состава инструмента на механизм и силу трения связано в основном с изменением величины адгезионных сил, возникающих на контакте. В этом отношении имеется аналогия с влиянием химического состава деформируемого металла. Кроме того, следует учитывать, что от состава, структуры и свойств инструмента зависит его износостойкость, а следовательно, и состояние рабочей поверхности при эксплуатации.

Для изготовления кузнечно-штамповочного инструмента применяются так называемые *штамповые стали*. Твердость НВ наиболее распространенных марок этих сталей в рабочем состоянии (после закалки и отпуска) при различных температурах характеризуется следующими данными:

		20 °С	600 °С
Кузнечные бойки, обжимки	У7, 50, 60	280—600	70—120
Молотовые штампы	5ХНМ, 5ХГМ, 5ХНСМ, 5ХНТ	300—450	100—150
Штампы для прессов и горизонтально-ковочных машин:			
тяжелые условия работы (высокие температуры и давления)	3Х2В8, 3Х2В8Ф, 4Х5В2ФС	360—480	300—360
легкие условия работы	5ХНМ, 35ХГСА 7Х3	280—420	90—140
Матрицы для штамповки болтов и заклепок	4ХВ2С	300—350	100—120

Штампы для горячей обработки давлением перед осуществлением деформации полезно подогреть до температуры 250—300 °С с целью уменьшения температурных напряжений и задержки возникновения тепловых трещин (сетки разгара). Для повышения износостойкости в некоторых случаях применяют химико-термическую обработку поверхностей штампов, например азотирование.

Прокатный стан	Материал валков	Марка стали или чугуна	Твердость поверхности	
			НВ	по Шору
Блюминги, слябинги, обжимные клетки сортовых станов	Стальные кованные или литые	50, 55Х, 40ХН, 50ХН, 60ХН, 60ХГ, 90ХФ	200-300	—
Черновые клетки сортовых станов	Стальные литые	50, У10, У12, 55Х, 60ХГ, 9ХФ	200-300	—
	Чугунные	СПН-38, СШХН-41, СПХН-45	—	38-55
То же, предчистовые и чистовые клети	Чугунные, часто отбеленные	СП-60, СПХН-65, СПХН-48	—	48-74
Толстолистовые станы (рабочие валки)	Чугунные, иногда отбеленные	ЛШН-40, ЛШНМ-52, ЛШ-58, ЛП-58	—	40-69
	Стальные кованные или литые	ЛПХНд-62, 55Х, 50ХН, 60ХН, 60ХГ	200-260	—
Черновые клети непрерывных тонколистовых станов горячей прокатки (рабочие валки)	Чугунные, иногда отбеленные	ЛШ-48, ЛПХНд-62	—	48-69
	Стальные литые или кованные	55Х, 60ХН, 9ХФ	200-300	—
То же, чистовые клети	Чугунные отбеленные	ЛПХНд-70, ЛПХНМд-76	—	70-85
Тонколистовые станы холодной прокатки	Стальные кованные, закаленные	9Х, 9Х2, 9ХФ, 60Х2СМФ, 9Х2МФ, 20ХН3А	—	85-102
		45, 55Х, 40ХН, 38ХА	200-260	—
Прошивные станы трубопрокатных установок	Чугунные	ТПХН-43	—	43-50
Автоматические раскатные станы трубопрокатных установок	Чугунные, иногда отбеленные	ТШХП-47, ТП-60	—	47-70
Станы холодной прокатки труб	Стальные кованные, закаленные	ШХ-15	560-620	75-85
Формовочные клети трубосварочных станов	Стальные литые или кованные, закаленные	Х12М, Х12ФТ	560-620	75-85
Профилегибочные станы	Стальные кованные, закаленные	9Х, 9ХС, Х12М, Х12Ф1	560-680	75-92

Твердость НРС инструмента для холодной штамповки из разных марок стали характеризуется следующими данными:

Штампы простой формы небольших размеров, обрезные и вырубные штампы	У10, У10А, У11, У12	48—60
Штампы вытяжные крупных размеров, штампы сложной конфигурации, формовочные	X12, X12М, X12Ф1, X6ВФ, 6Х6В3МФС	57—64
Холодновысадочные матрицы и пуансоны.	У10А, 9ХС, X12М, 9ХВГ, ШХ15	55—60

Наиболее изнашиваемые элементы штампов иногда изготавливают в виде вставок из металлокерамических сплавов типа ВК10 твердостью около НРС70.

Валки прокатных станов изготавливают из стали и чугуна (табл. 4). Чугунные валки дешевле стальных и лучше противостоят износу, однако они менее прочны и хуже выдерживают ударную нагрузку.

Относительно мягкие стальные валки часто наплавляют высокопрочными сплавами типа 3Х2В8, 08Х20Н9Г7Т, Х25Н15, 30ХГС и др. Значительно реже применяют газопламенную закалку валков или обкатку их поверхности роликом с усилием, достаточным для пластической деформации и упрочнения поверхностного слоя.

В исключительных случаях, когда необходимо обеспечить особо высокую износостойкость и малую упругую деформацию валков, рабочие валки небольших размеров изготавливают из сплавов типа ВК.

Твердость НРС применяемого *волоочильного инструмента* в зависимости от марки стали характеризуется следующим:

Волоки для волочения и калибрования прутков	У8, У12, ЭИ366, ШХ15, X12М, ВК10, ВК15	60—70
Волоки для волочения, толстой, средней и тонкой проволоки (диаметром 8—0,4 мм)	ВК3, ВК6	70—74
Волоки для волочения тончайшей и наитончайшей проволоки (диаметром менее 0,4—0,5 мм)	Технические алмазы	—
Волоки и оправки для волочения труб.	45, У7, У8, 30ХГСА, 12Х5МА, X12М, ВК10, ВК15	56—70

Стальные волокни и оправки иногда подвергают хромированию или цементации.

К основному *рабочему инструменту при прессовании* (выдавливании) профилей и труб относят матрицы, внутренние втулки контейнеров, пресс-шайбы, иглы, оправки. Этот инструмент изготавливают из жаростойких сталей 4Х8В2, 3Х2В8, 3ХВ8, Р9, Р18 твердостью НРС 40÷54. Элементы матриц, подвергаясь наиболее интенсивному истиранию, иногда выполняют в виде вставок из сплавов типа ВК.

3.4. Состояние поверхности инструмента

Этот важнейший фактор трения. Его влияние определяется двумя факторами: шероховатостью (микрорельефом) поверхности инструмента и присутствием на поверхности налипших частиц деформируемого металла, частиц окислы и других загрязнений.

Шероховатость поверхности инструмента (табл. 5) существенно влияет на силы трения в связи с изменением величины механической составляющей этих сил. С увеличением высоты неровностей, внедряющихся в металл, растет сопротивление сдвигу. Аналогично влияют твердые частицы на поверхности инструмента, например частицы окислы. Попадая в зону трения, они играют роль шипов, ужесточая механическое зацепление.

ТАБЛИЦА 5

ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ
ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Вид инструмента	Конечная обработка *	Шероховатость поверхности	
		класс по ГОСТ 2789-73	R _a , мкм
Штампы горячей объемной штамповки. Ручьи: заготовительные формовочные чистовые	Фрезерование	5	2,5—5
	Шлифование	7	0,6—1,2
	Полирование	9—10	0,08—0,3
Штампы холодной листовой штамповки (матрицы, пуансоны)	»	9—12	0,02—0,3
Валки сортовых станов: черновые чистовые	Точение	4—6	1,2—10
	»	5—6	1,2—5
Рабочие валки листовых станов горячей прокатки: черновые чистовые	Шлифование или точение	4—6	1,2—10
	Шлифование	6—7	0,6—2,5
Рабочие валки листовых станов холодной прокатки: относительно грубые (прокатка низкоуглеродистой стали) гладкие (дрессировка жести, прокатка фольги)	»	6—8	0,3—2,5
	Полирование	9—12	0,02—0,3
Валки станов горячей прокатки труб: автоматических раскатных станов непрерывных раскатных станов калибровочных и редуцированных станов	Шлифование или точение	4	5—10
	Шлифование	3—4	5—20
	То же	5	2,5—5
Валки и оправки станов холодной прокатки труб	Полирование	9	0,16—0,3
Формовочные валки трубосварочных станов	Шлифование	7—8	0,3—1,2
Валки профилегибочных станов	Полирование	9	0,16—0,3
Волоочильный инструмент (волоки, волоочильные кольца, оправки)	»	9—11	0,04—0,3
Прессовый инструмент (матрицы, контейнеры, пресс-шайбы)	Шлифование	6—7	0,6—2,5

* Указан основной вид обработки, во многих случаях применяют ручную слесарную доводку

Налипание металла на инструмент повышает также адгезионную составляющую сил трения, т. е. способствует молекулярному схватыванию поверхностей.

В зависимости от формы и размеров деформирующего инструмента, его механических свойств, требований к чистоте поверхности изделий и ряда других условий рабочие поверхности инструмента обрабатывают различным способом — точением, строжкой, фрезерованием, шлифованием, полированием, слесарным инструментом вручную. Реже применяют электроискровую обработку, обдвку дробью, обкатку роликом, нанесение гальванического покрытия, напыление и некоторые другие.

Поверхность валков блюмингов и обжимных клетей прокатных станов часто подвергают искусственному закруглению для улучшения захватывающей способности. С этой целью на дне калибров вырубают канавки или производят насечку поверхности пневматическими зубилами. Иногда наплавляют бугорки электродуговой сваркой. Широкое распространение получила накатка обжимных валков зубчатым (рифленным) роликом. Таким способом удается создать на рабочей поверхности упорядоченные, не слишком высокие выступы, достаточные для повышения захватывающей способности валков и минимально влияющие на качество поверхности и проката.

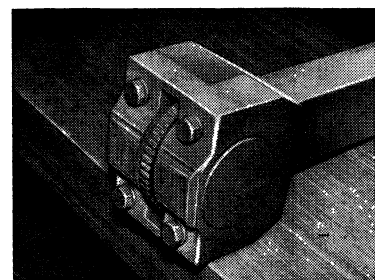


Рис. 11. Зубчатый ролик для накатки валков блюминга

не менее 2—3 сут. Созданы устройства для накатки валков в прокатной клети.

На непрерывных тонколистовых станах холодной прокатки для улучшения захвата рабочие валки первой клети после шлифования подвергают насечке чугунной или (реже) стальной дробью [3]. Шероховатость поверхности валков доводится до уровня $R_a = 5\text{--}6$ мкм (5-й класс).

Насечке подвергают также рабочие валки последней (чистой) клети непрерывных станов холодной прокатки и дрессировочных станов. Основное назначение насечки — предотвращение сваривания полос в рулонах (или листов в пачках) в процессе отжига. Валки последней клети насекают до шероховатости $R_a = 2\text{--}3,5$ мкм (5—6-й классы). Валки дрессировочных станов обрабатывают с учетом получения заданной микрогеометрии поверхности готовых листов; при производстве низкоуглеродистого конструкционного листа валки чаще всего имеют шероховатость после насечки $R_a = 1,5\text{--}2,5$ мкм (6-й класс). В отдельных случаях искусственную шероховатость наносят на пуансоны и другой инструмент холодной листовой штамповки.

В процессе работы в результате износа шероховатость инструмента изменяется, в большинстве случаев она возрастает. Следует отметить, что деформирующий инструмент, особенно при горячей обработке давлением, работает в исключительно тяжелых условиях (при резких тепловых воздействиях, высоких контактных давлениях и т. д.). При холодной деформации с применением технологической смазки часто наблюдается выглаживание поверхности инструмента в процессе работы.

В процессе эксплуатации на поверхности инструмента образуются различные местные дефекты: трещины (отдельные и в виде сетки), царапины, выкрошивания, навары и др. Появление таких дефектов вызывает необходимость зачистки поверхности инструмента или его замены.

Особенно сильное влияние на трение оказывает *налипание* (наваривание) частиц деформируемого металла на инструмент. Различные металлы имеют неодн-

наковую склонность к налипанию. Очень активны в этом отношении многие цветные металлы: алюминий и его сплавы, титан, цинк, свинец и др., из черных металлов — нержавеющие стали типа X18H10.

В зависимости от вида металла и условий деформации характер налипания может быть разным. В некоторых случаях мелкие налипшие частицы образуют на поверхности инструмента тонкий равномерный налет. В других случаях возникает сыпь мелких бугорков. Но чаще всего налипание проявляется в образовании отдельных крупных наростов, прочно приварившихся к инструменту. Такие наросты особенно вредны, так как сильно повреждают поверхность изделий.

Один из основных способов борьбы с налипанием (наростообразованием) заключается в подбore материала инструмента, не склонного к схватыванию с деформируемым металлом. Как правило, чугуны лучше противостоят налипанию, чем стали. Наименьшей склонностью к схватыванию обладает белый чугун. Замена инструмента из полутвердого серого или магниевого чугуна инструментом из чугуна с отбеленной поверхностью позволяет почти полностью ликвидировать налипание. Положительные результаты могут быть достигнуты также путем химико-термической обработки инструмента или нанесением на его поверхность специальных покрытий (хромирование и др.).

Эффективным средством борьбы с налипанием является применение технологических смазок, хотя не всякая смазка гарантирует отсутствие налипания. Смазка должна обладать достаточно высокой экранирующей способностью. Особенно эффективны некоторые твердые смазки, в частности дисульфид молибдена.

Развитию налипания (наваривания) способствует увеличение пути и скорости контактного скольжения. Одним из способов борьбы с налипанием может быть уменьшение скольжения металла по инструменту.

При детальной оценке состояния поверхности инструмента нельзя не учитывать возможную *анизотропию микрорельефа*. При обработке резанием микрорельеф поверхности в продольном (по ходу движения резца) и поперечном направлениях получается неодинаковым. Поперечная шероховатость обычно бывает более грубой, чем продольная. По мере изнашивания инструмента в процессе работы начальная анизотропия микрорельефа поверхности ликвидируется, но может возникнуть вторичная анизотропия, обусловленная ориентированным расположением следов износа (царапин, борозд), а также образованием сетки разгара. Шероховатость поверхности инструмента, как и его химический состав, на протяжении очага деформации не изменяется (за исключением отдельных случаев).

3.5. Температура деформации

Обычно температуру деформации относят к числу важнейших факторов трения. Влияние температуры деформации на коэффициент трения объясняется главным образом изменением состава, свойств и толщины слоя окислов на поверхности металла.

Особую роль играет температурный фактор при деформации с применением технологических смазок. Температура сильно влияет на вязкость масел, на количество смазки, вовлекаемой в очаг деформации (при прокатке, волочении, прессовании), и величину коэффициента трения (см. п. 6.5). От температуры зависит также структура смазочного слоя и его прочность (сопротивление продавливанию и сдвигу).

На рис. 12 видно, что прочность окислов железа при горячей обработке резко падает с температуры выше 1000 °С [7].

Температурные интервалы горячей обработки металлов и сплавов давлением характеризуются следующими максимальными и минимальными значениями, °С:

Сталь:	Максимальная	Минимальная
низкоуглеродистая (0,1—0,2 % C)	1200—1300	750—850 *
высокоуглеродистая (1,0—1,5 % C)	1000—1100	750—850
нержавеющая	1100—1180	900
Медь	850—900	600—650

Медные сплавы:

латуни Л96, Л90	850—900	650—700
» Л72, Л70, Л68, Л62	780—840	700—750
» ЛС59-1, ЛКС65-1,5-3	750—780	700
бронзы Бр. А5, Бр. А7	840—860	650
Никель	1100—1200	850—900
Титан	900—1000	750—850
Алюминий и его сплавы	400—500	150—250
Цинк	150—200 **	—

* В отдельных случаях при деформации низкоуглеродистой стали температура начала и конца обработки бывает ниже.

** В области низких температур в связи с разогревом металла за счет тепла деформации конечная температура обработки может быть выше начальной.

Литературные данные по температурной зависимости свойств окалины противоречивы. Согласно некоторым исследованиям, эта зависимость имеет не монотонный характер (рис. 13) [9].

Иногда в промышленности применяют *теплую обработку давлением*, которую ведут с относительно небольшим подогревом металла перед деформацией. Для сталей температурные границы тепловой обработки находятся в пределах 150—600 °С. Иногда область теплой обработки охватывает процессы *холодной обработки давлением*, ведущиеся без подогрева, если деформация сопровождается значительным внутренним тепловыделением.

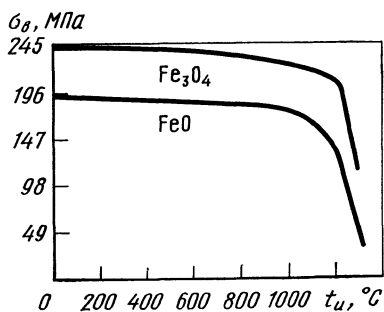


Рис. 12. Зависимость предела прочности вюстита и магнетита от температуры испытания [7]

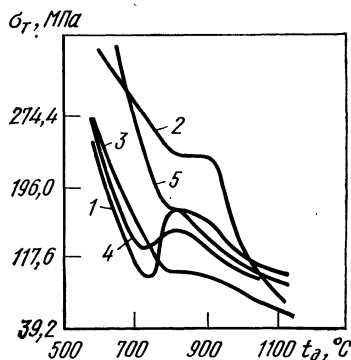


Рис. 13. Зависимость предела текучести окалины от температуры деформации [9]:

1 — сталь 45; 2 — ШХ15; 3 — 12Х18Н10Т; 4 — 20ХНР; 5 — 25ХГТ

Как при холодной, так и при горячей обработке давлением часто имеет место неравномерное распределение температуры металла вдоль контактной поверхности, а также по высоте деформируемого тела, при этом температура приконтактных слоев металла может значительно отличаться от температуры внутренних слоев.

При горячей обработке давлением приконтактные слои металла, соприкасаясь с относительно холодной поверхностью инструмента (обычно через слой окалины), охлаждаются, в результате чего их температура ниже температуры срединных слоев [10, 11]. В процессе горячей прокатки происходит охлаждение металла на протяжении очага деформации, т. е. температура на входе выше, чем на выходе. Однако при особо интенсивной высокоскоростной деформации может наблюдаться рост температуры металла в очаге деформации.

При холодной обработке давлением всегда происходит некоторый разогрев металла вследствие тепла деформации и трения. Повышение температуры может быть рассчитано теоретически [12—14].

При холодной прокатке температура металла на протяжении очага деформации растет примерно прямолинейно [13].

3.6. Технологическая смазка

Важнейшими характеристиками смазки являются химический состав, в частности содержание поверхностно активных веществ, и физическое состояние (жидкая, консистентная, твердая). Для наиболее распространенных жидких смазок важнейшим физическим показателем является *вязкость* (см. гл. 10). Изменение толщины смазочного слоя на протяжении очага деформации может быть рассчитано по формулам, приведенным в гл. 11.

3.7. Степень деформации (обжатие)

Величину деформации относят к числу косвенных факторов внешнего трения. Однако влияние этого фактора может быть значительным, поскольку от величины обжатия зависят контактные давления, состояние поверхности обрабатываемого тела, толщина разделительного смазочного слоя и другие условия, важные с точки зрения формирования сил трения.

При *осадке* в любой момент *абсолютное обжатие* составляет

$$\Delta h = h_0 - h, \quad (26)$$

где h_0 и h — начальная и текущая высоты тела.

Истинное *относительное обжатие* ε определяют по формуле (27); однако чаще применяют упрощенную формулу (28):

$$\varepsilon = \ln(h_0/h) \quad (27); \quad \varepsilon = (h_0 - h)/h_0. \quad (28)$$

При *прокатке* обжатие изменяется вдоль дуги контакта (рис. 14).

Абсолютное обжатие в любом сечении Δh_x и на выходе Δh будет равно

$$\Delta h_x = h_0 - h_x = D(\cos \varphi - \cos \alpha); \quad (29)$$

$$\Delta h = D(1 - \cos \alpha), \quad (30)$$

где D — диаметр валков; α — угол контакта (захвата); φ — текущий угол.

Текущее относительное обжатие ε_x и на выходе ε составляет

$$\varepsilon_x = (h_0 - h_x)/h_0 = [D(\cos \varphi - \cos \alpha)]/h_0; \quad (31)$$

$$\varepsilon = D(1 - \cos \alpha)/h_0. \quad (32)$$

Если использовать приближенное равенство $\cos x \approx 1 - x^2/2$, то формулы (29)—(32) принимают вид

$$h_x = h_0 - R(\alpha^2 - \varphi^2); \quad (33)$$

$$\Delta h_x = R(\alpha^2 - \varphi^2); \quad (34)$$

$$\Delta h = R\alpha^2; \quad (35)$$

$$\varepsilon_x = R(\alpha^2 - \varphi^2)/h_0; \quad (36)$$

$$\varepsilon = R\alpha^2/h_0, \quad (37)$$

где $R = D/2$ — радиус валков.

Среднее относительное обжатие по всей дуге контакта составит

$$\varepsilon_{cp} = \frac{1}{\alpha} \int_0^{\alpha} \varepsilon_x d\varphi. \quad (38)$$

Решение этого интеграла с использованием зависимости (36) даст выражение

$$\epsilon_{\text{ср}} = 2\Delta h/3h_0 = 0,67\epsilon. \quad (39)$$

При *волочении* (рис. 15) величину обжатия обычно определяют по изменению площади поперечного сечения протягиваемого тела. В случае волочения тела круглого сплошного сечения (прутка) абсолютное обжатие ΔF_x вдоль рабочего конуса волокна и на выходе ΔF рассчитывают по выражениям

$$\Delta F_x = F_0 - F_x = 0,25\pi (d_0^2 - d_x^2) = 0,25\pi [d_0^2 - (d_1 + 2x \operatorname{tg} \alpha)^2], \quad (40)$$

$$\Delta F = 0,25\pi (d_0^2 - d_1^2). \quad (41)$$

где F_0 и F_x — начальная и текущая площадь поперечного сечения прутка; d_0 и d_x — аналогичные обозначения диаметра прутка; x — горизонтальная координата выбранного сечения; α — угол рабочего конуса волокна.

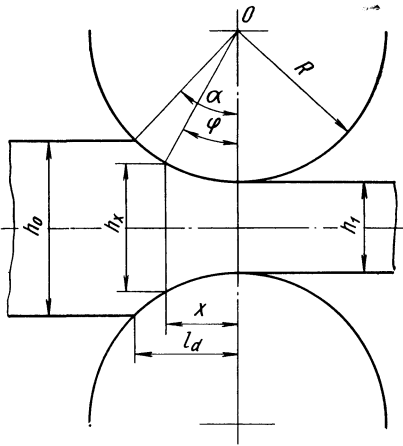
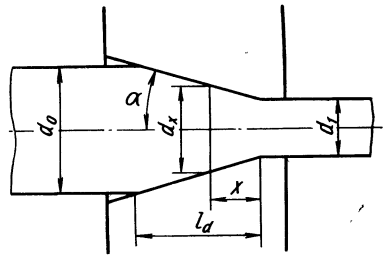


Рис. 14. Схема очага деформации при прокатке

Рис. 15. Схема очага деформации при волочении



Относительное обжатие в любой точке по длине рабочего конуса волокна ϵ_x и на выходе ϵ составит

$$\epsilon_x = \Delta F_x/F_0 = (d_0^2 - d_x^2)/d_0^2 = [d_0^2 - (d_1 + 2x \operatorname{tg} \alpha)^2]/d_0^2. \quad (42)$$

$$\epsilon = 1 - (d_1/d_0)^2. \quad (43)$$

Среднее относительное обжатие по длине рабочего конуса будет равно

$$\epsilon_{\text{ср}} = \frac{1}{l_d} \int_0^{l_d} \epsilon_x dx. \quad (44)$$

После подстановки в это выражение функции ϵ_x из уравнения (42) интегрирования получают формулу

$$\epsilon_{\text{ср}} = (d_0 - d_1) (2d_0 + d_1)/3d_0^2. \quad (45)$$

С достаточной точностью $\epsilon_{\text{ср}}$ можно рассчитать по формуле

$$\epsilon_{\text{ср}} = (d_0^2 - d_1^2)/2d_0^2. \quad (46)$$

Формулы (40)—(46) применимы для определения величины деформации при *прессовании (выдавливании)* через матрицу с коническим каналом.

3.8. Механические свойства металла

Прочностные характеристики металла в большинстве случаев относительно слабо влияют на коэффициент трения. Вместе с тем удельная сила трения пропорциональна пределу текучести или сопротивлению сдвига, что видно из законов трения (16)—(18), (20), (21). Свойства металла изменяются в процессе пластической деформации. Распределение свойств по объему очага деформации (контактной поверхности) часто является сложным.

При горячей обработке давлением механические свойства существенно зависят не только от температуры, но также от скорости и степени деформации. Поскольку учет влияния каждого из указанных факторов в любой точке тела затруднителен, обычно ограничиваются определением среднего предела текучести для всего очага деформации по среднему значению скорости деформации.

Наиболее просты условия для определения предела (напряжения) текучести при горячей осадке. В этом случае скорость деформации одинакова в каждом вертикальном сечении и составляет

$$u = v_h/h, \quad (47)$$

где v_h — скорость сжатия.

Степень деформации ϵ рассчитывают по формулам (27) или (28). По известным значениям u и ϵ определяют σ_T с помощью экспериментальных кривых зависимости предела текучести от температуры, скорости и степени деформации (для данного металла). Экспериментальные кривые $\sigma_T = \varphi(T_0, u, \epsilon)$, где T_0 — температура обработки, широко представлены в литературе [15—17].

При прокатке скорость деформации изменяется от плоскости входа металла в валки до плоскости выхода. Математический анализ показывает, что эта зависимость в общем случае выражается куполообразной кривой [18]. Максимум скорости деформации смещен, как правило, к плоскости входа. В плоскости выхода величина u падает до нуля. В соответствии с изменением скорости деформации предполагается [15, 19], что при горячей прокатке предел текучести распределяется по дуге контакта также по кривой с максимумом (рис. 16). Практически при горячей прокатке определяют средний предел текучести для всего объема металла в очаге деформации, для чего рассчитывают среднюю скорость деформации по формуле, приведенной в работе [18]

$$u_{ср} = v_1 \Delta h / l_d h_0, \quad (48)$$

где v_1 — скорость выхода полосы из валков; l_d — длина очага деформации.

При горячем прессовании (выдавливании) через матрицу с коническим каналом (рис. 17) рекомендуется определять средний предел текучести металла как среднегеометрический [20]

$$\sigma_{Tср} = \sqrt{\sigma_{T_0} \sigma_{T_1}}, \quad (49)$$

где σ_{T_0} и σ_{T_1} — пределы текучести при входе в конический участок матрицы и выходе из него.

При определении величин σ_{T_0} и σ_{T_1} скорость деформации рекомендуется рассчитывать соответственно по формулам

$$u_0 = (4v_{п} \sin \alpha) / d_0 \quad (50); \quad u_1 = (4v_{п} d_0^2 \sin \alpha) / d_1^3, \quad (51)$$

где $v_{п}$ — скорость движения пуансона; α — угол конуса матрицы.

При холодной обработке давлением основным фактором, влияющим на прочность и пластичность металла, является деформационное упрочнение, называемое

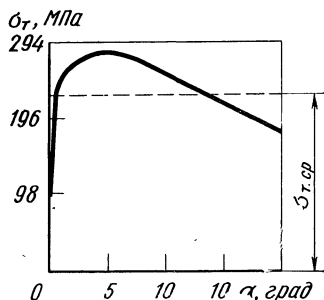


Рис. 16. Предположительное изменение предела текучести по дуге контакта при горячей прокатке Ст 3кп ($t = 900^\circ\text{C}$; $R/h_1 = 10$; $h_1 = 16$ мм; $v_B = 15$ м/с) [19]

мое также наклепом или нагартовкой. Упрочнение зависит от степени деформации. Влияние температуры и скорости деформации выражено значительно слабее. Изменение механических свойств при холодной деформации характеризуется кривыми упрочнения (наклепа). Типичный вид таких кривых, получаемых путем испытаний на растяжение или сжатие, показан на рис. 18 (для предела текучести).

Кривые упрочнения могут быть аппроксимированы эмпирическими формулами. В литературе [21—23] чаще всего рекомендуются зависимости вида

$$\sigma_T = \sigma_{T_{исх}} + a\varepsilon^n, \quad (52)$$

где $\sigma_{T_{исх}}$ — предел текучести ненаклепанного металла; ε — относительное обжатие, %; a — эмпирический коэффициент; n — эмпирический показатель сте-

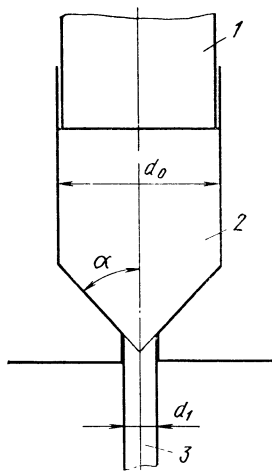


Рис. 17. Схема очага деформации при прессовании (выдавливании): 1 — пуансон; 2 — заготовка; 3 — пруток

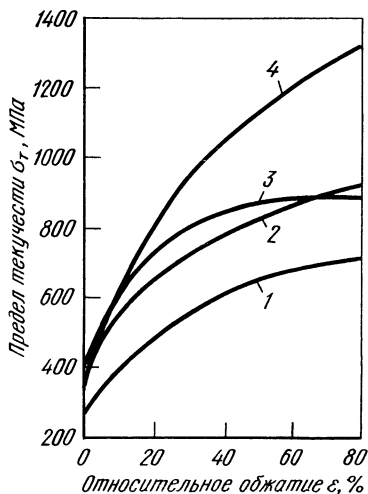


Рис. 18. Кривые упрочнения сталей: 1 — 08Ю; 2 — 30ХГСА; 3 — Э3А; 4 — Х18Н10Т

пени (изменяется в пределах 0,34—1,1). Численные значения коэффициентов a и n для разных металлов и сплавов приведены в работах [22—25]. Предложено также [26] аппроксимировать кривые упрочнения формулами, упрощающими интегрирование функции $\sigma_T = \varphi(\varepsilon)$:

$$\sigma_T = \sigma_{T_{исх}} + a\sqrt{\varepsilon}. \quad (53)$$

Для некоторых сильно наклепывающихся металлов, например нержавеющей сталей, более подходит выражение

$$\sigma_T = \sigma_{T_{исх}} + a\sqrt{\varepsilon} + b\varepsilon, \quad (54)$$

где a и b — эмпирические коэффициенты, значения которых приведены в работе [26].

Точность формул (52), (53) и (54) практически одинакова.

При холодной осадке предел текучести определяют для заданной степени деформации непосредственно по кривым упрочнения или по формулам (52)—(54). Распределение предела текучести по контактной поверхности может быть принято равномерным.

При холодной прокатке надо учитывать изменение относительного обжатия на протяжении дуги контакта. Подставляя значение ε_x из выражения (36) в фор-

мулы (53) и (54), получим закон распределения предела текучести по дуге контакта в любом проходе

$$\sigma_{T_x} = \sigma_{T_{исх}} + a \sqrt{\frac{\Delta h_{n-1} + R(\alpha^2 - \varphi^2)}{h_0}} 100; \quad (55)$$

$$\sigma_{T_x} = \sigma_{T_{исх}} + a \sqrt{\frac{\Delta h_{n-1} + R(\alpha^2 - \varphi^2)}{h_0}} \cdot 100 + b \times \left[\frac{\Delta h_{n-1} + R(\alpha^2 - \varphi^2)}{h_0} 100 \right], \quad (56)$$

где Δh_{n-1} — суммарное абсолютное обжатие в предшествующих проходах; h_0 — толщина полосы перед первым проходом.

Типичная эпюра распределения предела текучести по дуге контакта показана на рис. 19.

Среднее значение предела текучести $\sigma_{T_{ср}}$ в очаге деформации при холодной прокатке часто определяют по формуле

$$\sigma_{T_{ср}} = (\sigma_{T_0} + \sigma_{T_1})/2, \quad (57)$$

где σ_{T_0} и σ_{T_1} — пределы текучести соответственно на входе и выходе из очага деформации.

Более точно можно определить $\sigma_{T_{ср}}$ по среднему относительному обжатию, вычисленному по формуле

$$\varepsilon_{ср} = 0,4\varepsilon_0 + 0,6\varepsilon_1, \quad (58)$$

где ε_0 и ε_1 суммарное относительное обжатие до и после прохода соответственно.

Наиболее точно средний предел текучести определяют по формуле

$$\sigma_{T_{ср}} = \frac{1}{\alpha} \int_0^{\alpha} \sigma_{T_x} d\varphi. \quad (59)$$

После интегрирования и преобразований получают следующие формулы для расчета среднего предела текучести:

при упрочнении по закону (55)

$$\sigma_{T_{ср}} = \sigma_{T_{исх}} + \frac{a}{2} \left(\sqrt{\varepsilon_0} + \frac{\varepsilon_1}{\sqrt{\varepsilon_1 - \varepsilon_0}} \arcsin \sqrt{\frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_0}{\varepsilon_1}} \right); \quad (60)$$

при упрочнении по закону (56)

$$\sigma_{T_{ср}} = \sigma_{T_{исх}} + \frac{a}{2} \left(\sqrt{\varepsilon_0} + \frac{\varepsilon_1}{\sqrt{\varepsilon_1 - \varepsilon_0}} \arcsin \sqrt{\frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_0}{\varepsilon_1}} \right) + \frac{1}{3} b (\varepsilon_0 + 2\varepsilon_1). \quad (61)$$

Обозначения ε_0 и ε_1 соответствуют формуле (58).

При волочении изменение предела текучести вдоль рабочего конуса может быть найдено с помощью формул (53), (54) и (42). На основе формулы (53) получают выражение

$$\sigma_{T_x} = \sigma_{T_{исх}} + a \sqrt{\frac{d_0^2 - (d_{II} + 2x \operatorname{tg} \alpha)^2}{d_0^2}} 100. \quad (62)$$

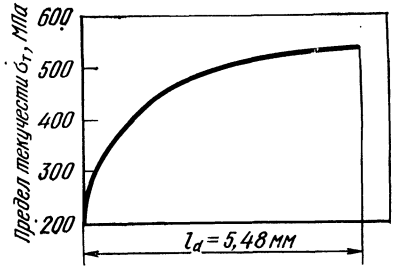


Рис. 19. Изменение предела текучести вдоль дуги контакта при холодной прокатке отожженной стали 08кп ($h_0 = 1$ мм; $\varepsilon = 30\%$; $D = 200$ мм)

Аналогично на основе формулы (54) получают выражение

$$\sigma_{T_x} = \sigma_{T_{исх}} + a \sqrt{\frac{d_0^2 - (d_{II} - 2x \operatorname{tg} \alpha)^2}{d_0^2}} 100 + b \left[\frac{d_0^2 - (d_{II} - 2x \operatorname{tg} \alpha)^2}{d_0^2} 100 \right]. \quad (63)$$

Формулы (62) и (63) пригодны для любого n -ного прохода, когда d_0 , d_{II} — диаметры прутка соответственно перед первым и после данного проходов.

При волочении распределение предела текучести по длине рабочего конуса ближе к прямолинейному, чем при прокатке по дуге контакта. Поэтому средний предел текучести может быть определен с достаточной точностью как среднеарифметический по формуле (57).

3.9. Контактное давление

Из закона Амонтона следует, что удельная сила трения прямо пропорциональна давлению. С физической точки зрения эта зависимость объясняется главным образом тем, что с увеличением давления растет фактическая площадь касания поверхностей. При строгом выполнении закона Амонтона коэффициент трения не зависит от давления. Однако в различных процессах пластической обработки металлов часто наблюдаются отклонения от закона Амонтона. Это означает, что

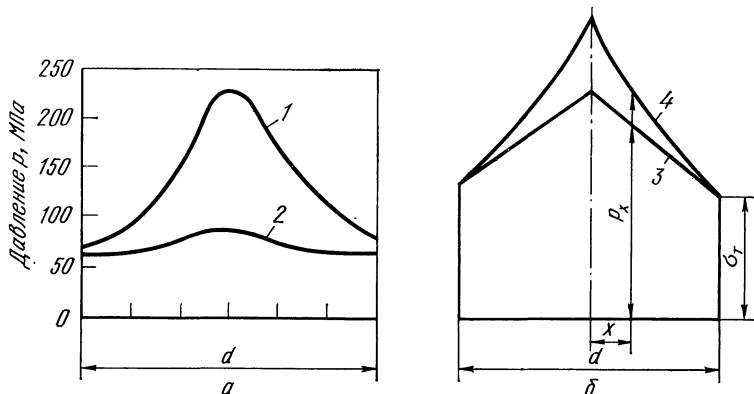


Рис. 20. Распределение давления по контактной поверхности при осадке: a — экспериментальные данные, полученные при горячей деформации стальных цилиндрических образцов; 1 — $d_0/h_0 = 5,6$; 2 — $d_0/h_0 = 2,0$ [27]; b — теоретические эпюры; 3 — по уравнению (65); 4 — по уравнению (66)

коэффициент трения не остается постоянным при изменении давления. Типичные эпюры распределения давления по контактной поверхности при осадке показаны на рис. 20, a . Рост давления от кромок к оси поковки обусловлен возрастанием суммы подпирющих сил трения. Чем больше отношение d_0/h_0 и чем выше коэффициент трения, тем резче выражена неравномерность распределения давления, т. е. эпюра p имеет более остроконечную форму. Среднее контактное давление $p_{ср}$ экспериментально проще всего определять по формуле

$$p_{ср} = P/F_K, \quad (64)$$

где P — полная давящая сила (усилие осадки); F_K — площадь контактной поверхности.

Эпюра распределения давления по контактной поверхности при осадке может быть построена теоретически. Этому вопросу посвящено большое число работ [20, 27, 28]. Вид теоретической эпюры давления зависит от того, какой закон распределения сил трения принят при выводе. Для случая осадки цилиндрического тела получены следующие уравнения:

при условии постоянства сил трения в соответствии с законом Зибеля (16)

$$p_x = \sigma_T \left[1 + \frac{2f\sigma}{h} \left(\frac{d}{2} - x \right) \right]; \quad (65)$$

при использовании закона трения Амонтона (14)

$$p_x = \sigma_T e^{2f(d/2-x)/h}. \quad (66)$$

Вид эпюр давления, получаемых в результате расчетов по уравнениям (65) и (66), показан на рис. 20, б.

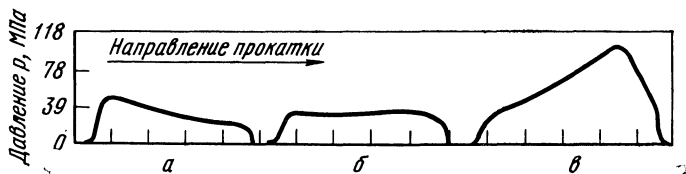


Рис. 21. Эпюры распределения давления по дуге контакта при прокатке свинцовых полос при $l_d/h_{ср}$:
а — 0,4; б — 0,9; в — 4,5 [30]

Среднее контактное давление при осадке может быть определено по формулам:

на основе уравнения (65)

$$p_{ср} = \sigma_T (1 + f\sigma d_1/3h_1); \quad (67)$$

на основе уравнения (66)

$$p_{ср} = 2\sigma_T \frac{h_1^2}{f^2 d_1^2} \left(e^{fd/h} - \frac{fd}{h} - 1 \right). \quad (68)$$

Формула (67) получена Э. Зибелем, формула (68) Е. П. Унксовым.

Распределение давления по дуге контакта при прокатке характеризуется эпюрами, проведенными на рис. 21. Вид эпюр существенно зависит от величины отношения длины дуги контакта к средней толщине полосы в очаге деформации, т. е. от параметра $l_d/h_{ср}$. При малых значениях этого параметра (примерно $l_d/h_{ср} < 0,7$) эпюра давления имеет максимум вблизи плоскости входа (рис. 21, а), что объясняется воздействием заднего «жесткого конца» полосы. В интервале $l_d/h_{ср} \approx 0,7 \div 1,5$ давление распределяется по дуге контакта приблизительно равномерно (рис. 21, б). При более высоких значениях параметра, особенно при $l_d/h_{ср} > 3 \div 4$, на эпюрах давления появляется отчетливо выраженный пик (рис. 21, в), расположенный в районе нейтрального сечения. Появление этого пика, как и при осадке, обусловлено подпиранием действием сил трения. Если параметр $l_d/h_{ср}$ и коэффициент трения велики, то давление изменяется по дуге контакта очень резко: вблизи нейтрального сечения оно может быть в 5—7 раз выше, чем у границ очага деформации.

Известен целый ряд теоретических решений задачи о распределении давления по дуге контакта [18, 29]. Наиболее строгие решения даны для случая прокатки тонких полос. Широкое распространение получили следующие формулы А. И. Целикова:

для зоны отставания

$$p_x = \frac{1,15\sigma_T}{\delta} \left[(\delta - 1) \left(\frac{h_0}{h_x} \right)^\delta + 1 \right]; \quad (69)$$

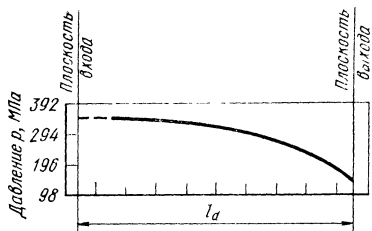


Рис. 22. Распределение давления по длине рабочего конуса при волочении стального прутка (Ст3; $d_0 = 21$ мм; $d_1 = 16$ мм; $\alpha = = 7^\circ$) [31]

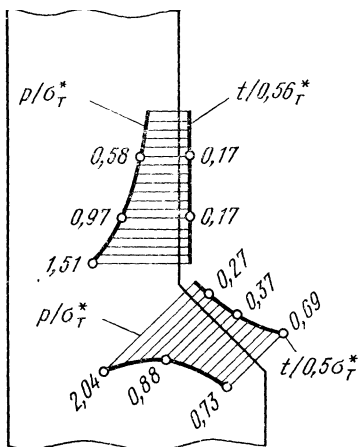


Рис. 23. Эпюры нормальных и касательных контактных напряжений при прессовании свинца [32]

для зоны опережения

$$p_x = \frac{1,15\sigma_{T\text{ср}}}{\delta} \left[(\delta + 1) \left(\frac{h_x}{h_1} \right) - 1 \right], \quad (70) \quad \text{где } \delta = 2f_y l_d / \Delta h = 2f_y / \alpha,$$

f_y — коэффициент трения в очаге деформации.

На основе уравнений (69) и (70) А. И. Целиков получил формулу для расчета среднего контактного давления

$$p_{\text{ср}} = 1,15\sigma_{T\text{ср}} \frac{2h_1}{\Delta h (\delta - 1)} \left(\frac{h_y}{h_1} \right) \left[\left(\frac{h_y}{h_1} \right)^\delta - 1 \right], \quad (71)$$

где h_y — толщина полосы в нейтральном сечении.

Отношение h_y/h_1 определяется по формуле

$$\frac{h_y}{h_1} = \left\{ \frac{1 + \sqrt{1 + (\delta^2 - 1) (h_0/h_1)^\delta}}{\delta + 1} \right\}^{1/\delta}. \quad (72)$$

При волочении наблюдается падение давления вдоль образующей рабочего конуса волокна от плоскости входа к плоскости выхода (рис. 22). Такое распределение объясняется возрастанием продольных растягивающих напряжений в металле при прохождении его через очаг деформации. В теории волочения основной задачей является определение именно продольных напряжений в металле, в том числе продольного напряжения на выходе из волокна (напряжение волочения). Однако имеющиеся теоретические решения нетрудно преобразовать и применить для определения давления на стенку рабочего канала волокна. Так, на основании выводов С. И. Губкина [28] можно рекомендовать формулу для определения давления на стенку волокна в любом сечении рабочего конуса¹

$$p_x = \frac{\sigma_{T\text{ср}}}{a} \left[(a + 1) \left(\frac{d_x}{d_0} \right)^{2a} - 1 \right], \quad (73)$$

где

$$a = \frac{1}{\cos(\alpha/2)} + \frac{f}{\text{tg } \alpha \cos(\alpha/2)} - 1 \approx \frac{f}{\alpha}. \quad (74)$$

Формула (73) в основном правильно описывает изменение давления вдоль образующей рабочего конуса.

Среднее давление на контактной поверхности в рабочем конусе волокна может

¹ Без учета напряжений, вызванных перегибом волокон металла при входе и выходе из очага деформации.

быть рассчитано по формуле

$$p_{cp} = \frac{\sigma_{Tcp}}{2a} \left(\frac{a+1}{\lambda^a} + a - 1 \right), \quad (75)$$

где $\lambda = (d_0/d_1)^2$ — коэффициент вытяжки.

При выводе формулы (75) принято, что по длине образующей рабочего конуса давление изменяется прямолинейно.

Экспериментальных данных по распределению давления при *прессовании (выдавливании)* опубликовано мало. В работе [32] приведены результаты исследования контактных напряжений поляризационно-оптическим методом при прессовании свинца. Часть опытных данных из этой работы представлена на рис. 23.

На основании математического анализа напряженного состояния при прессовании предложены теоретические формулы, позволяющие определить давление на стенки контейнера и матрицы [28, 33]. По данным С. И. Губкина, изменение давления вдоль образующей канала матрицы выражается формулой

$$p_x = \frac{\sigma_{Tcp}}{a \cos(\alpha/2)} [(a+1)(d_x/d_0)^{2a} - 1], \quad (76)$$

где a определяется по выражению (74).

Для получения более точных расчетных данных в формулу (76) вместо предела текучести σ_{Tcp} надо подставить давление p_{K1} в плоскости выхода из конического участка матрицы, учитывающее сопротивление течению на цилиндрическом участке матрицы и работу дополнительных сдвигов. Методика расчета величины p_{K1} освещена в литературе [28].

3.10. Скорость скольжения

Скоростные условия трения характеризуются двумя параметрами: *абсолютной скоростью движения деформируемого тела* (скоростью прокатки, волочения и т. д.) и *относительной скоростью смещения точек тела по контактной поверхности инструмента, т. е. скоростью скольжения*.

Принято считать, что основной характеристикой условий трения является скорость скольжения. Однако такой подход не всегда правомерен. При использовании технологических смазок, например при прокатке, количество вовлекаемой в очаг деформации смазки зависит от скорости заднего конца полосы и окружной скорости валков. Поэтому зависимость коэффициента трения от абсолютной скорости движения деформируемого тела может быть сильной, а от скорости скольжения — слабой.

Вместе с тем в общем случае скорость скольжения не может быть исключена из числа основных факторов трения, в частности потому, что от нее зависит тепловое состояние трущихся поверхностей. Учет скорости скольжения важен при изучении износа инструмента. Скорость скольжения Δv и абсолютная скорость движения тела v связаны между собой, но при одной и той же скорости v скорость скольжения может быть разной в зависимости от величины деформации и других параметров.

Абсолютная скорость движения обрабатываемого тела задается технологическими условиями, а скорость скольжения требует расчета по специальным формулам, которые рассматриваются ниже.

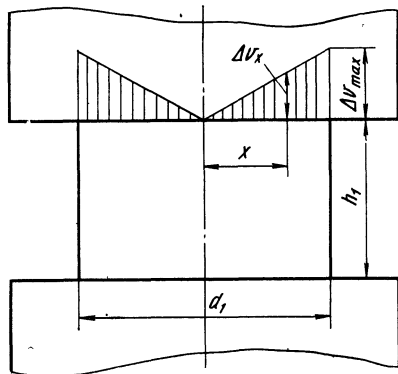


Рис. 24. Эпюры скорости скольжения при осадке

При осадке цилиндрического тела изменение Δv по контактной поверхности характеризуется эпюрой на рис. 24. Скорость скольжения в любой точке, находящейся на расстоянии x от оси тела, может быть определена по формуле

$$\Delta v_x = v_6 \frac{x(1 - \sqrt{h_1/h_0})}{\Delta h}, \quad (77)$$

где v_6 — скорость опускания бойка.

Максимальная скорость скольжения на кромке тела составляет

$$\Delta v_{\max} = v_6 \frac{d_1(1 - \sqrt{h_1/h_0})}{2\Delta h} = v_6 \frac{d_0(\sqrt{h_0/h_1} - 1)}{2\Delta h}. \quad (78)$$

Средняя скорость скольжения $\Delta v_{\text{ср}}$ при всей контактной поверхности составляет

$$\Delta v_{\text{ср}} = v_6 \frac{d_1(1 - \sqrt{h_1/h_0})}{3\Delta h}. \quad (79)$$

Формулы (78), (79) выведены в предположении, что форма тела остается цилиндрической на протяжении всего процесса осадки, т. е. не образуется «бочка», а также отсутствует зона прилипания на контактной поверхности. Возникновение бочкообразности и прилипания приводит к уменьшению скорости скольжения.

При *прокатке* скорость скольжения в любой точке дуги контакта составляет

$$\Delta v_x = v_x / \cos \varphi - v_B, \quad (80)$$

где v_x — горизонтальная скорость металла в любом заданном сечении; φ — текущий угол; v_B — окружная скорость валков.

Скорость скольжения в любой точке дуги контакта составляет

$$\Delta v_x = v_B \left\{ \frac{(1+S)h_1}{[h_1 + D(1 - \cos \varphi)] \cos \varphi} - 1 \right\}. \quad (81)$$

Если опережение S выразить через нейтральный угол γ , то формула (81) принимает вид

$$\Delta v_x = v_B \left\{ \frac{[h_1 + D(1 - \cos \gamma)] \cos \gamma}{[h_1 + D(1 - \cos \varphi)] \cos \varphi} - 1 \right\}. \quad (82)$$

Известны упрощенные варианты формулы (82). Использование приближенного равенства (33) позволяет получить формулу

$$\Delta v_x = v_B \frac{(D - h_1)(\gamma^2 - \varphi^2)}{2h_1 + (D - h_1)\varphi^2}. \quad (83)$$

Если принять $D - h_1 \approx D$, тогда

$$\Delta v_x = v_B \frac{\gamma^2 - \varphi^2}{(h_1/R) + \varphi^2}. \quad (84)$$

В. Н. Выдриным предложено решение задачи о распределении скорости скольжения по дуге контакта с учетом уширения полосы [34].

Средняя скорость скольжения в очаге деформации составляет

$$\Delta v_{\text{ср}} = (v_B/\alpha) \left\{ \alpha - 2\gamma - 2(1+S)k^2/(1+k^2) \left[\ln \frac{(1+\text{tg } \alpha/2)(1-\text{tg } \gamma/2)^2}{(1-\text{tg } \alpha/2)(1+\text{tg } \alpha/2)^2} + \frac{1-k^2}{k^2} \left(\text{arctg } \frac{\text{tg } \alpha/2}{k} - 2\text{arctg } \frac{\text{tg } \gamma/2}{k} \right) \right] \right\}^*, \quad (85)$$

где $k = [h_1(2D + h_1)]^{0,5}$.

* В формулах (85), (108)—(110) тригонометрические функции половинных углов.

В упрощенном виде формула имеет вид

$$\Delta v_{\text{ср}} = (v_{\text{в}}/\alpha) \left[\frac{1+S}{6} \left(\frac{D}{h_1} - 1 \right) (\alpha^3 - 2\gamma^3) - S(\alpha - 2\gamma) \right]. \quad (86)$$

Если в формуле (86) принять $\gamma = 0$ и $S = 0$, т. е. предположить отсутствие опережения, то она превращается в формулу Т. М. Голубева и М. А. Зайкова [35]

$$\Delta v_{\text{ср}} = v_{\text{в}} [(\Delta h/3h_1) - (\alpha^3/6)], \quad (87)$$

которую практически используют в виде

$$\Delta v_{\text{ср}} = v_{\text{в}} \Delta h/3h_1. \quad (88)$$

Сравнительные расчеты по формулам (85) и (86) показывают, что результаты получаются близкими только в диапазоне малых обжатий и углов контакта (до $\alpha \approx 3 \div 4^\circ$). При больших величинах α расчеты по формуле (86) дают завышенные значения $\Delta v_{\text{ср}}$. Еще более завышенные данные получают в случае применения формулы (88). Поэтому для определения средней скорости скольжения при прокатке рекомендуется следующая приближенная формула [1]:

$$\Delta v_{\text{ср}} = (v_{\text{в}}/2\alpha) [(\varepsilon - S/\lambda)(\alpha - \gamma) + S\gamma], \quad (89)$$

где $\lambda = h_0/h_1$ — коэффициент вытяжки.

Вывод формул для определения скорости скольжения при прокатке сделан в предположении, что горизонтальные скорости частиц металла по высоте полосы распределяются равномерно и, следовательно, зона прилипания на контактной поверхности отсутствует.

При *волочении* (см. рис. 15) скорость металла в любом поперечном сечении рабочего конуса волокна составляет

$$v_x = v_1 d_1^2/d_x^2 = v_1 d_1^2/(d_1 + 2x \operatorname{tg} \alpha)^2. \quad (90)$$

Соответственно скорость скольжения вдоль образующей рабочего конуса, на входе в очаг деформации и на выходе будет равна

$$\Delta v_x = v_1 d_1^2/d_x^2 \cos \alpha = v_1 d_1^2/\cos^2 \alpha (d_1 + 2x \operatorname{tg} \alpha)^2. \quad (91)$$

$$\Delta v_0 = v_1 d_1^2/d_0^2 \cos \alpha, \quad (92) \quad \Delta v_1 = v_1/\cos \alpha. \quad (93)$$

Средняя скорость скольжения на всей контактной поверхности составит

$$\Delta v_{\text{ср}} = [2v_1 d_1^2/(d_0^2 - d_1^2) \cos \alpha] \ln (d_0/d_1). \quad (94)$$

В упрощенном виде формула (94) принимает вид

$$\Delta v_{\text{ср}} = 4v_1 d_1^2/(d_0 + d_1)^2. \quad (95)$$

Удовлетворительной точности достигают также при определении $\Delta v_{\text{ср}}$ как среднеарифметической величины:

$$\Delta v_{\text{ср}} = \frac{\Delta v_0 + \Delta v_1}{2} = \frac{v_1}{2 \cos \alpha} \left(\frac{d_1^2}{d_0^2} + 1 \right) \approx \frac{v_1}{2} \left(\frac{d_1^2}{d_0^2} + 1 \right). \quad (96)$$

Формулы (90)—(96) пригодны для расчета скорости скольжения при *пресовании (выдавливании)* металла через матрицу с коническим каналом (см. рис. 17). Если задана скорость хода пуансона $v_{\text{п}}$ ($v_{\text{п}} = v_0$), а не скорость выхода прутка v_1 , то формула (94) приводится к виду

$$\Delta v_{\text{ср}} = [2v_0 d_0^2/(d_0^2 - d_1^2) \cos \alpha] \ln (d_0/d_1). \quad (97)$$

3.11. Длина пути скольжения

При *осадке* цилиндрического тела длина пуги скольжения точек поверхности металла равна перемещению точки по радиусу на величину, обусловленную деформацией тела. Эпюра пути скольжения подобна эпюре скорости скольжения (рис. 24). Длину пути скольжения любой точки поверхности металла $S_{\text{м}}$ в зависи-

мости от расстояния x точки от оси тела (в конечный момент осадки) можно определить по формуле

$$C_{Mx} = x \left(1 - \sqrt{h_1/h_0}\right). \quad (98)$$

Точки, расположенные на кромке тела, проходят максимальный путь скольжения $C_{M\max}$, который составляет (рис. 25)

$$C_{M\max} = (d_1/2) \left(1 - \sqrt{h_1/h_0}\right) = (d_1 - d_0)/2. \quad (99)$$

Средний путь скольжения по всей контактной поверхности для точек поверхности металла будет равен

$$C_{Mcp} = (d_1/3) \left(1 - \sqrt{h_1/h_0}\right). \quad (100)$$

Длину пути скольжения для точек поверхности бойков можно определить с помощью схемы на рис. 26. При уменьшении высоты тела на dh произойдет уве-

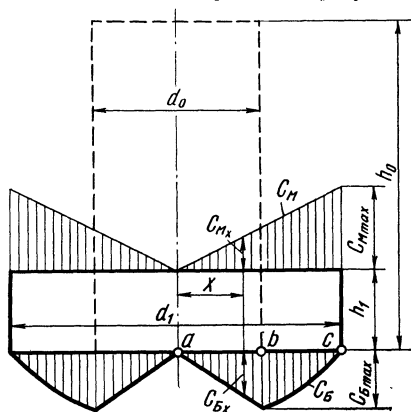
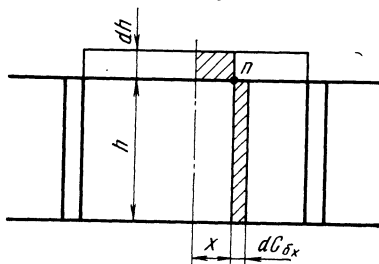


Рис. 25. Эпюры длины пути скольжения при осадке

Рис. 26. Схема к определению длины пути скольжения точек поверхности бойков



личение радиуса выделенного цилиндра на dC_{Bx} , что и составляет элементарную длину пути скольжения для точки n . Из условия постоянства объема находим

$$dC_{Bx} = xdh/2h. \quad (101)$$

После интегрирования получим закон изменения длины пути скольжения для точек поверхности бойков в функции координаты x

$$C_{Bx} = (x/2) \ln(h_0/h_1). \quad (102)$$

Формула (102) справедлива только для участка ab (см. рис. 25). В точке b путь скольжения максимален:

$$C_{B\max} = (d_0/4) \ln(h_0/h_1). \quad (103)$$

На участке bc , где $x > d_0/2$, металл входит в соприкосновение с какой-либо точкой на поверхности бойка только после осадки тела до некоторой промежуточной высоты h'_0 :

$$h'_0 = h_0 d_0^2 / 4x^2. \quad (104)$$

С учетом этого закон изменения длины пути скольжения на участке bc можно выразить формулой

$$C_{Bx} = (x/2) \ln(h_0 d_0^2 / 4h_1 x^2). \quad (105)$$

Эпюра распределения протяженности пути скольжения для точек поверхности бойков показана в нижней части рис. 25. Среднюю длину пути скольже-

ния $C_{б.ср}$ для всей совокупности точек поверхности бойков приближенно определяют по формуле

$$C_{б.ср} = (d_0/12) (1 + \sqrt{h_1/h_0}) \ln (h_0/h_1). \quad (106)$$

При выводе формулы (106) принято, что на участке bc длина пути скольжения в функции x изменяется прямолинейно.

При *прокатке* элементарная длина пути скольжения точки поверхности валка составляет $dC_x = \Delta v_x dt$, где dt — бесконечно малый промежуток времени, за который валки поворачиваются на угол $d\varphi$ (рис. 27), $dt = R d\varphi / v_B$.

Суммарная длина пути скольжения C_x , проходимого контактной точкой валка за время перемещения ее от плоскости входа до сечения x , составит

$$C_x = R \int_{\varphi}^{\alpha} d\varphi - R(1+S) h_1 \int_{\varphi}^{\alpha} \frac{d\varphi}{[h_1 + D(1 - \cos \varphi)] \cos \varphi}. \quad (107)$$

После интегрирования находим формулу

$$C_x = R(\alpha - \varphi) - \frac{k^2 D(1+S)}{1+k^2} \left[\ln \frac{(1 + \operatorname{tg} \alpha/2)(1 - \operatorname{tg} \varphi/2)}{(1 - \operatorname{tg} \alpha/2)(1 + \operatorname{tg} \varphi/2)} + \right. \\ \left. + \frac{1-k^2}{k} \left(\operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \alpha/2}{k} - \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \varphi/2}{k} \right) \right], \quad (108)$$

где $k = [h_1/(2D + h_1)]^{0,5}$.

Формула (108) выражает закон изменения длины пути скольжения для точек поверхности валка, находящихся в очаге деформации. Однако она справедлива только в зоне отстаивания, т. е. на участке $\alpha - \varphi$. Задача об определении длины пути скольжения на участке $\varphi - 0$ может иметь два решения. Если требуется найти C_x с учетом направления скольжения, т. е. раздельно в зонах отстаивания и опережения, то применяют формулу [1]:

$$C'_{x\varphi-0} = R(\varphi - 0) - \frac{k^2 D(1+S)}{1+k^2} \times \\ \times \left[\ln \frac{(1 + \operatorname{tg} \varphi/2)(1 - \operatorname{tg} \varphi/2)}{(1 - \operatorname{tg} \varphi/2)(1 + \operatorname{tg} \varphi/2)} + \right. \\ \left. + \frac{1-k^2}{k} \left(\operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \varphi/2}{k} - \right. \right. \\ \left. \left. - \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \varphi/2}{k} \right) \right]. \quad (109)$$

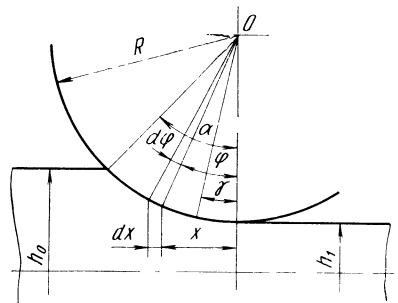


Рис. 27. Схема к определению длины пути скольжения точек поверхности валков при прокатке

Если необходимо найти суммарный абсолютный путь скольжения вне зависимости от его направления, то для участка $\varphi - 0$ используют выражение

$$C''_{x\varphi-0} = R(\alpha - 2\varphi + \varphi) - \\ - \frac{k^2 D(1+S)}{1+k^2} \left[\ln \frac{(1 + \operatorname{tg} \alpha/2)(1 - \operatorname{tg} \varphi/2)^2 (1 + \operatorname{tg} \varphi/2)}{(1 - \operatorname{tg} \alpha/2)^2 (1 + \operatorname{tg} \varphi/2)^2 (1 - \operatorname{tg} \varphi/2)} + \right. \\ \left. + \frac{1-k^2}{k} \left(\operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \alpha/2}{k} - 2\operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \varphi/2}{k} + \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \varphi/2}{k} \right) \right]. \quad (110)$$

В упрощенном виде формулы (108)—(110) имеют вид

$$C_{x_{\alpha-\gamma}} = R \left[\frac{1+S}{6} \left(\frac{D}{h_1} - 1 \right) (\alpha^3 - \varphi^3) - S(\alpha - \varphi) \right]; \quad (111)$$

$$C'_{x_{\gamma-0}} = R \left[\frac{1+S}{6} \left(\frac{D}{h_1} - 1 \right) (\gamma^3 - \varphi^3) - S(\gamma - \varphi) \right]; \quad (112)$$

$$C''_{x_{\gamma-0}} = R \left[\frac{1+S}{6} \left(\frac{D}{h_1} - 1 \right) (\alpha^3 - 2\gamma^3 + \varphi^3) - S(\alpha - 2\gamma + \varphi) \right]. \quad (113)$$

Определение средней длины пути скольжения $C_{\text{ср}}$ для всей совокупности точек валька, находящихся на дуге контакта, математически сводится к определению среднееинтегрального значения функций $C_x = \Phi(\varphi)$ при изменении φ от α до 0. Величина $C_{\text{ср}}$ может быть определена двумя способами в соответствии с тем, что было сказано выше по поводу вычисления пути скольжения на участке $\gamma-0$.

Обозначим среднюю длину пути скольжения для двух указанных вариантов вычислений соответственно $C'_{\text{ср}}$ и $C''_{\text{ср}}$. Положив в основу выводов уравнения (111)—(113), получим следующие конечные формулы для расчета средней длины пути скольжения при прокатке:

$$C'_{\text{ср}} = \frac{R}{2\alpha} \left[\frac{1+S}{6} \left(\frac{D}{h_1} - 1 \right) \left(\frac{m_4}{2} + \alpha^3 m_1 \right) - \alpha S m_1 \right]; \quad (114)$$

$$C''_{\text{ср}} = \frac{R}{2\alpha} \left[\frac{1+S}{4} \left(\frac{D}{h_1} - 1 \right) m_4 - S m_2 \right], \quad (115)$$

где $m_1 = \alpha - 2\gamma$; $m_2 = \alpha^2 - 2\gamma^2$; $m_4 = \alpha^4 - 2\gamma^4$.

Точки поверхности металла находятся в очаге деформации более длительное время, чем точки поверхности валков; следовательно, они проходят больший путь скольжения. Однако это различие не очень велико и в первом приближении им можно пренебречь.

При *волочении* длина пути скольжения для точки поверхности инструмента равна длине прутка, прошедшей через данное сечение (с учетом наклона образующей рабочего конуса). В выходном сечении рабочего конуса волокна длина пути скольжения $C_{\text{в1}}$ составляет

$$C_{\text{в1}} = l_{1\Sigma} / \cos \alpha, \quad (116)$$

где $l_{1\Sigma}$ — суммарная длина протянутых прутков.

Для точек поверхности инструмента, расположенных в любом промежуточном сечении рабочего конуса, длина пути скольжения будет составлять

$$C_{\text{вx}} = l_{1\Sigma}^2 d / d_x^2 \cos \alpha. \quad (117)$$

Точки поверхности прутка проходят путь скольжения $C_{\text{п}}$, равный расстоянию от сечения входа до данного сечения (вдоль образующей инструмента). На входе в рабочий конус $C_{\text{п0}} = 0$, на выходе $C_{\text{п1}} = l_d$, где l_d — длина очага деформации по образующей рабочего конуса.

Длину пути скольжения при *прессовании (выдавливании)* определяют так же, как при *волочении*.

4. Распределение сил трения по контактной поверхности

4.1. Векторные поля сил трения

Сила трения, как и всякая сила, является вектором. Она характеризуется численным значением (модулем) и направлением действия. В любой точке контактной поверхности сила трения противоположна усилию, стремящемуся вызвать смещение поверхностей. Построив в каждой точке контактной поверхности силу трения с учетом направления ее действия, получим *векторное поле сил трения*. Оно наиболее полно характеризует силовое взаимодействие поверхностей металла

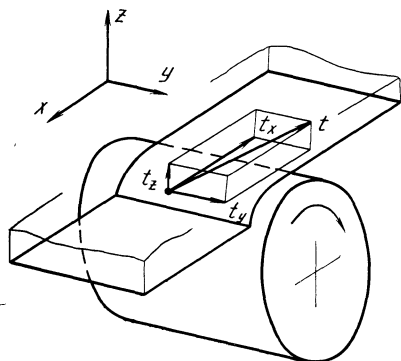


Рис. 28. Вектор элементарной силы трения и его составляющие при прокатке

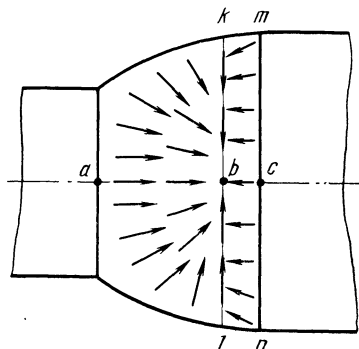


Рис. 29. Векторное поле сил трения при прокатке (в горизонтальной проекции)

и инструмента в тангенциальной плоскости. При упрощенном подходе под векторным полем понимают схему, показывающую только направление действия сил трения в различных точках контактной поверхности.

В зависимости от способа деформации и течения металла по контактной поверхности векторное поле сил трения может быть простым и сложным. Наиболее простое, осесимметричное векторное поле имеет место при осадке цилиндрического тела. Также простое векторное поле существует при волочении и прессовании. В процессе прокатки при наличии двухзонного очага деформации и поперечного течения металла (в уширение) векторное поле сил трения является сложным. В общем случае в любой точке контактной поверхности при прокатке вектор элементарной силы трения t имеет три составляющих: t_x , t_y , t_z (рис. 28, выделена точка в зоне отстаивания). При этом справедливо равенство

$$t = \sqrt{t_x^2 + t_y^2 + t_z^2}. \quad (118)$$

Закон Амонта на или другой закон трения определяет величину полного вектора силы трения t в данной точке, а не какую-либо его составляющую.

На рис. 29 показано векторное поле сил трения при прокатке. На контактной поверхности существуют

ТАБЛИЦА 6

ОСОБЫЕ ТОЧКИ И ЛИНИИ НА КОНТАКТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ПРОКАТКЕ

Точ-ки, линии	Проекция силы t на ось			t
	x	y	z	
a	t_x	0	t_z	t
b	0	0	0	0
c	t_x	0	0	$t = t_x$
$a-c$	t_x	0	t_z	t
$k-l$	0	t_y	0	$t = t_y$
$m-n$	t_x	t_y	0	t

Примечание. Линии $k-l$ и $m-n$ приняты прямыми.

особые точки и линии, где силы трения не имеют составляющих вдоль одной или двух осей (табл. 6). В точке b (рис. 29), где нейтральная линия $k-l$ пересекается с продольной осью полосы, все три составляющие равны нулю, т. е. сила трения отсутствует.

Характер векторного поля, представленного на рис. 29, подтвержден экспериментальными исследованиями [36].

4.2. Зоны полных и неполных сил трения

При осадке, прокатке и в некоторых других процессах обработки давлением на контактной поверхности могут существовать две области: зона скольжения и зона прилипания. При этом термин «зона прилипания» пользуются не в смысле возникновения адгезионного схватывания поверхностей, а в чисто кинематическом смысле как признаком отсутствия проскальзывания.

Возникновение зоны прилипания обусловлено законом минимального расхода энергии. При обжатии тела по высоте частицы металла вынуждены смещаться в боковом направлении. Увеличение поперечных размеров тела (диаметра) может происходить либо путем скольжения частиц металла по инструменту, либо посредством внутренних сдвигов, т. е. смещением одних слоев металла относительно других при отсутствии скольжения на контакте. Если работа сил трения скольжения будет больше, чем работа дополнительных внутренних сдвигов, то на части или на всей контактной поверхности образуется зона прилипания. Все те факторы, которые затрудняют поверхностное скольжение и облегчают внутренние сдвиги, способствуют увеличению зоны прилипания. Так, протяженность зоны прилипания растет при повышении коэффициента внешнего трения и увеличении высоты (толщины) обрабатываемого тела. Последнее объясняется тем, что с увеличением высоты тела уменьшается работа, затрачиваемая на осуществление внутренних сдвигов.

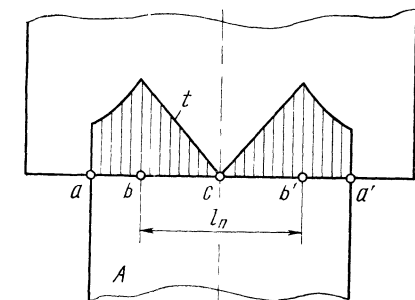


Рис. 30. Зона прилипания и распределение сил трения по контактной поверхности при осадке

Оценку возможности возникновения зоны прилипания и определение ее размеров являются важнейшими условиями правильного анализа распределения сил трения по контактной поверхности.

Допустим, при осадке тела A (рис. 30) зона прилипания занимает участок bb' , а зоны скольжения — участки ab и $a'b'$. Тогда можно утверждать, что на последних участках действуют силы трения скольжения, которые в первом приближении пропорциональны давлению согласно закону Амонтона. Что же касается участка bb' , то здесь будут действовать статические (неполные) силы трения, величина которых определяется величиной сдвигающих напряжений на контакте, возникающих при деформации тела. В точке c на оси тела сдвигающие напряжения отсутствуют, поэтому и сила трения здесь равна нулю. По мере удаления от оси стремление к поверхностному сдвигу растет, соответственно возрастают силы трения. В точках b и b' сдвигающие напряжения достигают критического значения, после чего возникает скольжение и силы трения на участках ab и $a'b'$ начинают подчиняться уже законам кинетического трения.

Из сказанного следует, что величина сил трения в зоне прилипания не зависит от тех физических факторов, которые учитывают при выборе коэффициента трения скольжения: шероховатости поверхностей, наличия смазки, скорости скольжения и т. д. От этих факторов зависит только предельное (рубежное) значение статических сил трения.

Зону прилипания нельзя рассматривать как область абсолютного отсутствия относительного смещения поверхностей контактирующих тел. Под действием

касательных сил, как бы ни были они малы, происходит некоторый сдвиг поверхностей. Это явление получило название предварительного смещения [2, 4].

Размеры зоны прилипания при осадке прямоугольного или цилиндрического тела могут быть определены при помощи формулы А. А. Динника [37]:

$$f\rho_r/\sigma_T^* = (h/l_{\Pi}) [\sqrt{1 + 0,75 (l_{\Pi}/h)^2} - 1], \quad (119)$$

где ρ_r — давление на границе между зонами скольжения и прилипания; l_{Π} — длина (диаметр) зоны прилипания; h — текущая высота осаживаемого тела.

Формула (119) может быть приведена к следующему виду:

$$l_{\Pi} = \frac{2f\rho_r/\sigma_T^*}{0,75 - (f\rho_r/\sigma_T^*)^2} h. \quad (120)$$

В расчетах можно принимать $\rho_r \approx \rho_{ср}$.

Формула (120) пригодна также для определения длины зоны прилипания при прокатке [38]. Но в этом случае для учета наклона давящей поверхности вместо f в формулу (120) вводят условный коэффициент трения $f' = f_y - \alpha/2$, где f_y — коэффициент трения при установившемся процессе прокатки. Толщину полосы h принимают равной толщине полосы в нейтральном сечении h_n .

При прокатке с высоким коэффициентом трения, когда удельные силы трения достигают предельной величины, для определения длины зоны прилипания может быть применена эмпирическая формула В. Г. Гросвальда [39]

$$l_{\Pi} = \frac{l_d}{1 + (l_d/h_{ср})}. \quad (121)$$

Для приближенной оценки размеров зоны прилипания А. И. Целиков [18] рекомендует использовать выражения (122) при горячей прокатке и (123) при холодной

$$l_{\Pi} = (0,5 \div 2,0) h_{ср} \quad (122); \quad l_{\Pi} = (0,3 \div 1,0) h_{ср}. \quad (123)$$

В процессах волочения и прессования ввиду принудительного продвижения металла через полость в инструменте имеет место сплошное скольжение по всей контактной поверхности.

4.3. Предельная величина сил трения

В теории обработки металлов давлением утверждается, что ни в одной точке контактной поверхности сила трения не может превышать сопротивление сдвигу деформируемого металла

$$t_{\max} \leq \tau_c \quad (124) \quad \text{или} \quad t_{\max} \leq (0,5 \div 0,58) \sigma_T \quad (125)$$

Этот вывод основан на сопоставлении уравнения пластичности и формулы для максимальных (главных) касательных напряжений. В упрощенной записи уравнение пластичности имеет вид

$$\sigma_1 - \sigma_3 = m\sigma_T, \quad (126)$$

где σ_1 и σ_3 — главные нормальные напряжения, максимальное (по оси 1) и минимальное (по оси 3).

Из теории напряженного состояния известно, что главное касательное напряжение в плоскости 1—3 равно

$$\tau_{13} = (\sigma_1 - \sigma_3)/2. \quad (127)$$

Из сравнения выражений (126) и (127) находим

$$\tau_{13} = m\sigma_T/2 = (1,0 \div 1,15) \sigma_T/2 = (0,5 \div 0,58) \sigma_T. \quad (128)$$

Отсюда следует, что «0,58 σ_T есть максимальная величина, которой может достичь главное касательное напряжение при пластической деформации» [20].

При осадке дифференциальное уравнение равновесия имеет вид

$$dp_x/dx + 2t_x/h = 0. \quad (130)$$

Отсюда находим

$$t_x = -0,5h (dp_x/dx). \quad (131)$$

Производную dp_x/dx определяют непосредственно из эпюры давлений путем графического дифференцирования кривой $p_x = \Phi(x)$. Знак минус в правой части формулы (131) показывает, что сила трения противоположна движению по оси x .

При прокатке достаточно широкой полосы имеем следующее дифференциальное уравнение равновесия:

$$dp_x/dx - (1,15\sigma_T/h_x) (dh_x/dx) \pm 2t_x h_x = 0, \quad (132)$$

где p_x , t_x и h_x — соответственно давление, сила трения и высота полосы на расстоянии x от выходного сечения.

Решая это уравнение относительно t_x , получим

$$t_x = \pm 0,5 [1,15\sigma_T (dh_x/dx) - h_x (dp_x/dx)]. \quad (133)$$

Знак плюс относится к зоне отставания, минус к зоне опережения. Производная dh_x/dx может быть принята равной $2x/R$.

Оценка метода. Достоверность получаемых результатов зависит от точности базовых уравнений (131), (133), а также от точности экспериментально определяемых величин dp_x/dx и σ_T . При выводе уравнений (131), (133) принимают ряд допущений. Например, предполагают, что продольные напряжения равномерно распределены по высоте тела; упрощенно выбирают положение главных осей напряжений. Поэтому метод является очень приближенным.

Метод наклонных точечных месдоз

Он предложен почти одновременно и независимо Г. Т. Ван Ройеном, В. А. Бакофеном (1957 г.) [43] и А. П. Чекмаревым, П. Л. Клименко (1958 г.) [44]. Этим методом получены первые прямые экспериментальные данные по распределению сил трения на контактной поверхности при прокатке и волочении. Метод широко применялся в работах [30, 31, 36, 45, 46] и др.

Сущность и теория метода. В деформирующий инструмент монтируют три штифтовые точечные месдозы: одну по нормали к поверхности, две другие наклонно (рис. 32). Термин «точечная месдоза» означает, что диаметр штифта, выходящего на контактную поверхность, достаточно мал. Идея заключается в том, что по величине сил, измеренных наклонными месдозами M_1 и M_2 в какой-либо точке поверхности, можно найти величину равнодействующей всех элементарных сил в данной точке (в продольно-вертикальной плоскости). Далее, зная нормальное давление p , фиксируемое месдозой M_3 , можно определить тангенциальную силу, т. е. силу трения в этой точке.

При наличии системы трех точечных месдоз удельная сила трения t в любой точке поверхности может быть рассчитана по трем адекватным формулам [1]:

$$t = (g_1 - p)/\text{tg } \psi_1 \quad (134), \quad t = (p - g_2)/\text{tg } \psi_2 \quad (135), \quad t = (g_1 - g_2)/(\text{tg } \psi_1 + \text{tg } \psi_2), \quad (136),$$

где g_1 и g_2 — продольные напряжения в штифтах наклонных месдоз M_1 и M_2 ; ψ_1 и ψ_2 — углы наклона месдоз M_1 и M_2 по отношению к месдозе M_3 (рис. 32).

Существует связь между напряжениями g_1 , g_2 и p , которую можно выявить, приравняв правые части формул (134) и (135). После преобразований находим

$$p = (g_1 \text{tg } \psi_2 + g_2 \text{tg } \psi_1)/(\text{tg } \psi_1 + \text{tg } \psi_2). \quad (137)$$

На практике обычно принимают $\psi_1 = \psi_2$, тогда

$$p = (g_1 + g_2)/2. \quad (138)$$

Для определения силы трения достаточно и одной наклонной месдозы, но применение двух значительно повышает надежность результатов, так как позво-

ляет вести перекрестные расчеты по формулам (134)—(136). Взаимный контроль показаний месдоз осуществляют также с помощью формулы (137).

В данной методике силу трения измеряют только в плоскости установки наклонных месдоз. При прокатке это продольное направление. В работе [36], кроме месдоз, установленных в плоскости поперечного сечения вала, применяли еще одну наклонную месдозу, установленную в плоскости диаметрального сечения (с наклоном к образующей вала). Это позволило исследовать не только продольные, но и поперечные составляющие сил трения.

Конструкция силоизмерителя. На рис. 33 показано устройство точечной месдозы конструкции А. П. Чекмарева, П. Л. Клименко и Л. Е. Каптурова [34]. Силовой измерительным элементом месдозы является стакан, на внешней поверхности которого наклеен круговой проволочный датчик. Месдоза такой конструкции достаточно проста и хорошо зарекомендовала себя во многих исследованиях.

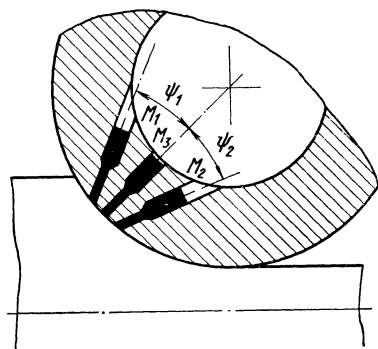


Рис. 32. Схема установки радиальной и наклонных месдоз в прокатном валке

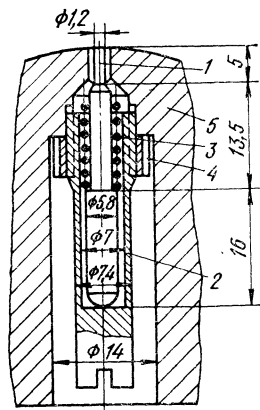


Рис. 33. Точечная месдоза:
1 — штифт; 2 — стакан; 3 — пружина; 4 — контргайка; 5 — валок

Точность показаний зависит от жесткости месдозы, которая должна быть близка к жесткости вала (инструмента) в том месте, где штифт выходит на поверхность.

Исследования [47] позволяют сделать вывод, что если величина утапливания или выступания штифта не превышает 0,02 мм, то погрешность измерения составляет не более 5%. Угол установки наклонных месдоз по отношению к радиальной месдозе обычно выбирают таким, чтобы расчеты по формулам (134)—(137) были наиболее простыми. В опубликованных исследованиях принимали следующие углы наклона ($\psi_1 = \psi_2 = \psi$):

ψ	$\operatorname{tg} \psi$	Источник
$26^\circ 34'$	0,5	[43]
45°	1,0	[44]
$36^\circ 52'$	0,75	[36]
30°	$1/\sqrt{3}$	[48]

В работе [49] доказывается, что оптимальный угол установки наклонных месдоз находится в пределах 35 — 45° .

Диаметр рабочего конца штифта, выходящего на контактную поверхность, желательно иметь минимальным. Чаще всего его принимают равным 1,0—1,5 мм. Дальнейшее уменьшение диаметра ограничено техническими трудностями (выполнение тонкого канала в теле инструмента и др.).

Поскольку торец штифта является площадкой определенных размеров и формы, а не точкой, записываемые с помощью мездоз кривые нельзя полностью отождествлять с истинными кривыми напряжений. Отклонения от действительной картины распределения напряжений особенно значительны вблизи границ очага деформации, т. е. на участках, где нагрузка действует только на часть поверхности штифта. Также значительные искажения возникают на участках резкого изменения величины контактных напряжений. В связи с этим предложены методы корректировки осциллограмм контактных напряжений, записанных с помощью штифтовых мездоз [48, 50, 51]. Чтобы уменьшить искажения, обусловленные размерами и формой торцовой площадки штифта, отношение длины контактной поверхности к длине площади штифта должно быть как можно больше. Имеется указание [18], что это отношение должно быть не менее десяти.

Штифты точечных мездоз испытывают не только продольное, но и боковое давление, особенно штифты наклонных мездоз. В связи с этим на боковой поверхности штифтов возникают дополнительные силы трения, которые влияют на показания мездоз. Силы трения в каналах надо учитывать при расчете величины силы трения на контактной поверхности в очаге деформации. С этой целью предложены специальные формулы [36, 43, 49, 52, 53]. Хотя боковые силы трения могут быть учтены теоретически, все же здесь встречаются затруднения. В частности, надо знать величину коэффициента трения в каналах. Трудно учесть боковые силы трения при изменении знака нагружения (нагрузка \rightarrow разгрузка). Поэтому практически целесообразно применять все меры для уменьшения сил трения в каналах.

Оценка метода. Экспериментальные осциллограммы должны подвергаться корректировке с учетом фактических размеров площадки штифта и сил трения в канале.

К числу недостатков метода следует отнести необходимость строгого совмещения показаний трех мездоз, каждая из которых пишет отдельную кривую. Подставляемые в формулы (134)—(138) величины g_1 , g_2 и p должны отвечать одной и той же точке контактной поверхности. Даже небольшое рассогласование в определении величин g_1 , g_2 и p может дать значительную погрешность при расчете силы трения, так как в формулы входит разность указанных величин ($g_1 - p$ и др.).

Достоинством метода является возможность взаимопроверочных расчетов сил трения по формулам (134), (135) и (136), а также контроля показаний мездоз по формуле (137).

Метод универсального штифта

Идея метода высказана К. В. Мак Грегором и Р. Б. Палмом в 1948 г. [54], однако в этой работе практического осуществления не получила. Позже метод нашел широкое применение в работах [55—59] и др.

Сущность и теория метода. Применяют измерительное устройство, позволяющее с помощью одного качающегося штифта определить величину сил трения в двух взаимно перпендикулярных направлениях, а также нормальное давление. Принципиальная схема устройства показана на рис. 34. Качающийся штифт воздействует на мездозы $M_1 - M_5$, из которых M_1 и M_2 измеряют силы трения в продольном направлении, M_3 и M_4 в поперечном направлении; M_5 фиксирует нормальное давление. Очевидно, при такой схеме измерений между штифтом и каналом должен быть некоторый зазор. Все устройство, показанное на рис. 34, часто называют трехкомпонентной мездозой. Несмотря на кажущуюся простоту принципа измерений сил трения с помощью универсального штифта, этот метод нельзя считать безупречным. Дело в том, что боковое отклонение штифта зависит не только от величины сил трения, но и от величины смещения поверхностей. В связи с этим показания прибора могут значительно исказить истинную картину распределения сил трения.

Рассмотрим работу универсального штифта при движении одного тела по другому (рис. 35). Пусть тело A сначала находится в покое, торец измерительного штифта занимает положение I . Затем тело A под действием некоторого сдвигающего усилия начинает скользить по телу B . На всей контактной поверхности сразу же возникают силы трения t . Однако измерительный штифт сначала не пока-

жет истинную величину этих сил. Его конец будет перемещаться вслед за поверхностью тела *A*, и только после того, как штифт достигнет некоторого предельного положения 2, прибор начнет регистрировать истинную величину сил трения.

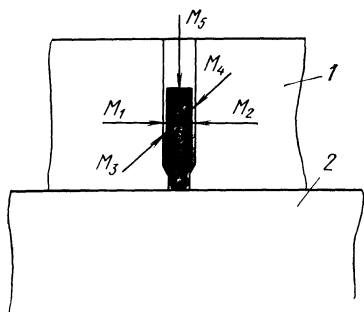


Рис. 34. Принципиальная схема действия универсального штифта:

1 — инструмент; 2 — деформируемое тело

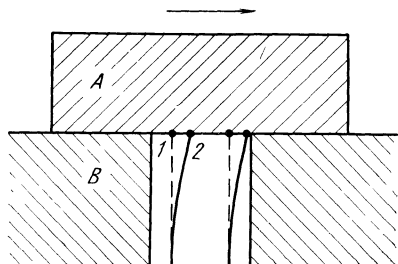


Рис. 35. К анализу погрешностей при измерении сил трения универсальным штифтом

Допустим далее, что сдвигающее усилие, приложенное к телу *A*, исчезло, и скольжение тела *A* по телу *B* прекратилось. Тогда силы трения на всей контактной поверхности станут равными нулю. Но при этом измерительный штифт не вернется в исходное положение 1. Он будет защемлен статической силой трения, близкой к силе трения скольжения. Следовательно, показания прибора опять не будут отвечать истинной величине сил трения на основной контактной поверхности. Аналогичная ситуация возникает, например, в очаге деформации при прокатке, когда штифт переходит из зоны скольжения в зону прилипания. Удельные силы трения в зоне прилипания могут пасть, а прибор будет показывать почти постоянную (фиктивную) силу *t*. Только при изменении направления относительного смещения поверхностей в зоне опережения регистрируемая сила трения начнет снижаться с возможным переходом через нуль.

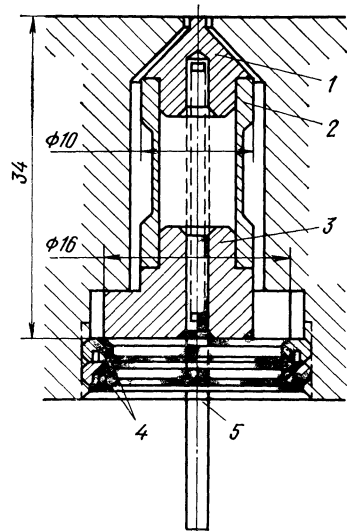


Рис. 36. Универсальный штифт [57]:

1 — головка штифта; 2 — стакан;
3 — опора; 4 — крепежные гайки;
5 — тарировочный стержень

Рассматриваемый метод исследования сил трения может дать достаточно достоверные результаты только при условии применения штифтов, обладающих очень высокой боковой жесткостью при достаточной чувствительности. Смещение рабочего конца штифта под воздействием максимальной силы трения должно быть такого же порядка, как предварительное смещение поверхностей при переходе от статического трения к кинетическому.

Конструкция силоизмерителя. Прибор выполняют в двух вариантах. По одному из них датчики наклеивают непосредственно на штифт, средняя часть которого имеет вид стакана (рис. 36). По другому варианту качающийся штифт опирается на четыре боковые и одну осевую мездозы. Измерительные устройства, выполненные по первому варианту, получили более широкое применение.

В проведенных исследованиях диаметр рабочего конца штифта составлял 1,5—2,5 мм. В связи со значительными размерами торцевой площадки штифта

осциллограммы нормального давления и сил трения требуют корректировки. При прокатке особенно важна корректировка кривой продольной силы трения на участке вблизи нейтрального сечения, где штифт переходит из зоны отставания в зону опережения. Методы корректировки осциллограмм рассмотрены в работах [18, 59]. На основании специальных исследований рекомендуется применять штифты такой жесткости, при которой боковое смещение под действием сил трения не превышает 0,003—0,005 мм. Зазор между штифтом и каналом должен быть не более 0,02—0,04 мм на сторону [57].

Оценка метода. Основное достоинство метода заключается в том, что в одной и той же точке поверхности одновременно измеряются составляющие силы трения в двух направлениях и сила нормального давления. Измерительное устройство требует тщательной конструктивной проработки, применения штифтов особо высокой жесткости при достаточной чувствительности. Во избежание затекания металла в кольцевой зазор между штифтом и инструментом величина зазора должна быть как можно меньше. Экспериментальные осциллограммы нуждаются в дополнительной корректировке.

Метод разрезного инструмента

Идея измерения сил трения этим методом была предложена в 1958 г. почти одновременно в работах И. М. Павлова и Дун Дзюаня [60] применительно к процессу прокатки и В. Б. Скорняковым и Н. Н. Чесаловой [61] применительно к осадке. Первое обстоятельное исследование проведено Д. И. Пирязевым при прокатке с помощью валька с силоизмерительной вставкой (1960 г.) [62]. Затем этот метод был использован в работах [57, 63—65] и др.

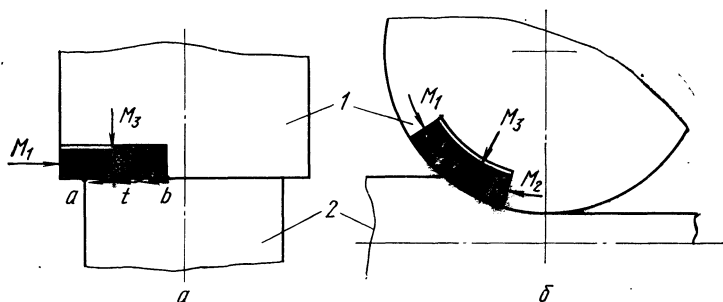


Рис. 37. Принципиальные схемы применения разрезного инструмента для исследования сил трения:

a — при осадке; *b* — при прокатке; 1 — инструмент; 2 — деформируемое тело

Сущность и теория метода. Часть поверхности инструмента представляет силоизмерительную вставку, опирающуюся на месдозу (рис. 37). Например, при осадке вставка опирается на месдозы M_1 и M_3 (рис. 37, *a*). В данный момент деформации месдоза M_1 измеряет величину всех сил трения, действующих на участке контактной поверхности *ab*. Если изменять положение образца относительно измерительной вставки, т. е. менять положение точки *b*, то можно определить величину сил трения на любом участке поверхности. Месдоза M_3 регистрирует величину нормального давления.

При прокатке (рис. 37, *b*) по мере вхождения силоизмерительной вставки в очаг деформации возникает и растет давление на месдозу M_1 , обусловленное действием сил трения на контактной поверхности в зоне отставания. Одновременно растет давление на месдозу M_3 . Когда передний конец вставки проходит нейтральное сечение, давление на месдозу M_1 начинает падать. Месдоза M_2 является контрольной.

На рис. 38 показаны типичные осциллограммы изменения суммарных сил T и N при прохождении переднего конца вставки через очаг деформации. Гори-

горизонтальные площадки на осциллограммах соответствуют периоду, когда вставка перекрывает весь очаг деформации. Поскольку измерительное устройство в любой момент времени фиксирует суммарные силы трения и нормального давления, данный метод исследования контактных напряжений называют интегральным. Для определения удельных сил трения и давления необходимо продифференцировать экспериментальные кривые $T = \varphi(x)$ и $N = \varphi(x)$.

Точные расчетные формулы имеют вид

$$t = dT/bdx \quad (139); \quad p = dN/bdx \quad (140),$$

где b — ширина полосы (вставка располагается вдоль всей бочки валка).

Практически прибегают к приближенному графическому дифференцированию кривых $T = \varphi(x)$ и $N = \varphi(x)$, для чего отрезок, соответствующий длине очага

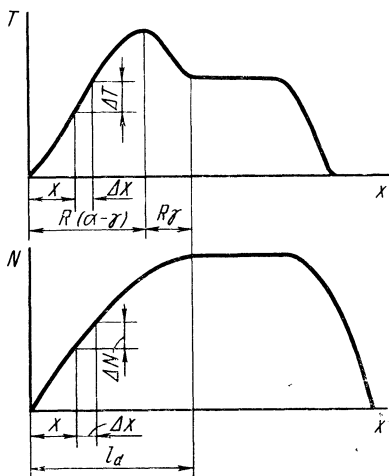


Рис. 38. Осциллограммы сил T и N , получаемые с помощью силоизмерительной вставки при прокатке

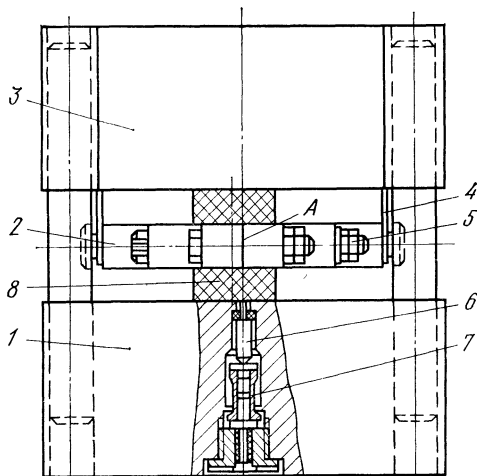


Рис. 39. Прибор с разрезным блоком для измерения сил трения и нормального давления при осадке [57]:

1 — нижний боек; 2 — блок для измерения сил трения; 3 — верхний боек; 4 — подвески блока; 5 — тензометрическая шпилька; 6 — штифт для измерения нормального давления; 7 — стаканчик с проволочными датчиками; 8 — деформируемые образцы

деформации l_d , делят на достаточное число участков Δx (рис. 38). При этом расчеты выполняют по формулам $t = \Delta T/b\Delta x$ (141); $p = \Delta N/b\Delta x$ (142)

Следует отметить, что по экспериментальным кривым $T = \varphi(x)$ и $N = \varphi(x)$ можно непосредственно определить величину равнодействующих сил трения в зонах отставания T_0 и опережения T_1 , равнодействующую нормальных давлений в этих же зонах, а также полное усилие прокатки. По разности $T_0 - T_1$ определяется величина крутящего момента на бочке валка.

Конструкция силоизмерителя. На рис. 39 показан прибор для исследования сил трения и давления при осадке [57]. Основу прибора составляет разрезной блок, состоящий из двух половин, скрепленных между собой болтами и тензометрической шпилькой. Последняя воспринимает распорное усилие, вызываемое действием сил трения. Блок располагают между двумя одновременно деформируемыми одинаковыми образцами. Для параллельного измерения нормального давления применяют штифтовую (точечную) месоузу. Для получения эюор распределения удельных сил трения и давления необходимо провести серию осадок, перемещая каждый раз образцы относительно линии разъема A измерительного блока.

Измерительные устройства типа разрезного валка, применяемые для исследования сил трения при прокатке, имеют разное конструктивное оформление. На рис. 40 показана схема валка конструкции В. Н. Выдрина и Л. М. Агеева [65]. Под действием сил трения вкладыш стремится повернуться относительно точки опоры, совпадающей с осью валка. Силы трения измеряют с помощью двух тензометрических тяг, а силы нормального давления определяют датчиками, наклеенными на верхнюю и нижнюю стенки паза.

При конструировании устройств необходимо добиваться исключения влияния нормальных сил на показания датчиков сил трения в связи с упругой деформацией деталей. Месдозы не должны давать показаний при нагружении участков инструмента, смежных с измерительной вставкой. На результаты измерений не должно оказывать влияние тепловое расширение деталей устройства.

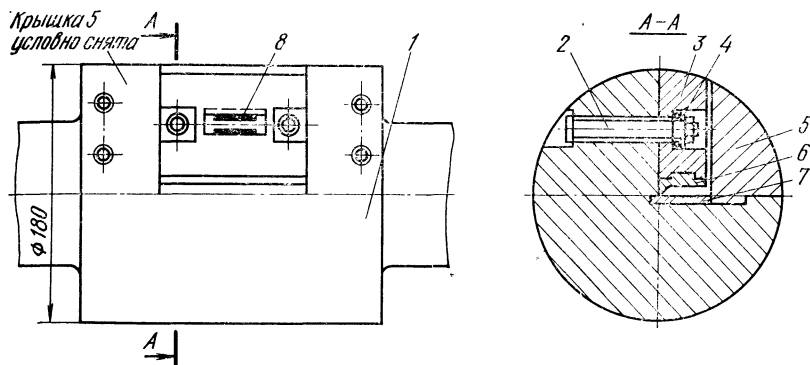


Рис. 40. Разрезной валок [65]:

1 — бочка валка; 2 — тензометрическая тяга; 3 — вкладыш; 4 — шариковый упорный подшипник; 5 — крышка; 6 — опора; 7 — подкладка; 8 — паз

Оценка метода. Измеряются только продольные составляющие сил трения (в направлении оси силоизмерительной тяги); экспериментальные значения удельных сил трения и давления являются усредненными по ширине тела (вставки); на показания прибора могут влиять упругие деформации и тепловое расширение сопряженных деталей; конструкция прибора должна обеспечить исключение этих побочных влияний.

К числу достоинств метода разрезного инструмента следует отнести возможность непосредственного измерения суммы сил трения на отдельных участках очага деформации, а также определения величины чистого крутящего момента на бочке валка при прокатке.

Поляризационно-оптический метод

Впервые применен в широких масштабах Е. П. Унксовым и В. М. Заварцевой для исследования контактных напряжений при осадке (1952—1954 гг.) [66, 67]. Первое систематическое исследование контактных напряжений при прокатке с помощью этого метода было проведено Е. И. Игнатъевой и М. И. Макеевым (1963 г.) [68]. В дальнейшем метод применялся в работах [69, 70, 108] и др.

Сущность и теория метода. Используют свойство некоторых прозрачных материалов, например эпоксидных смол, под действием внешней нагрузки обнаруживать эффект двойного лучепреломления. Такие материалы называют оптически активными. При прохождении поляризованного света через пластину из оптически активного материала, находящуюся в плоском напряженном состоянии, световая волна разлагается на две составляющие. Таким образом, возникают две световые волны, имеющие взаимно перпендикулярные плоскости колебаний и идущие с различными скоростями. Эти волны оказываются сдвинутыми по

фазе на некоторый угол. С помощью оптического анализатора осуществляется интерференция волн. В результате на экране за анализатором возникают системы темных линий на светлом фоне; они соответствуют целым значениям порядка интерференции $n = 0, 1, 2 \dots$. Картина изохром может быть сфотографирована и подвергнута обработке (рис. 41). Вдоль линии изохром разность главных нормальных напряжений $\sigma_1 - \sigma_3$ остается постоянной ($\sigma_2 = 0$, так как напряженное состояние принимают плоским). Если одно из главных напряжений лежит в плоскости поляризации, то в этом случае свет, проходящий через модель, не разделяется на составляющие и полностью гасится в анализаторе. В связи с этим на экране наряду с изохромами возникает еще одна система черных линий — изоклин (рис. 41). Последние представляют собой геометрическое место точек с одинаковым углом наклона главных площадок по отношению к принятой системе координат.

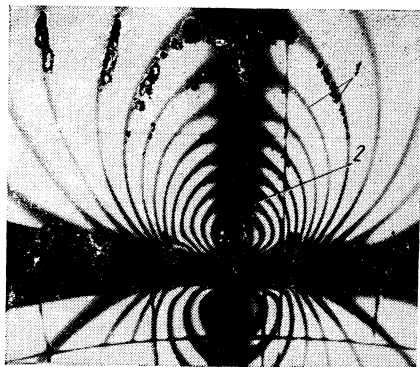


Рис. 41. Кадр кинограммы, полученной на поляризационно-оптической установке при прокатке:

1 — изохромы (полосы); 2 — изоклина

касательных напряжений. Подробное описание его с указанием последовательности операций приведено в работе [71]. Основное уравнение поляризационно-оптического метода исследования напряжений имеет вид

$$n\lambda = ct (\sigma_1 - \sigma_3), \quad (143)$$

где λ — длина световой волны; c — оптическая константа материала модели; t — толщина модели (пластины).

Из формулы (143) следует

$$\sigma_1 - \sigma_3 = n\lambda/ct = n\sigma_0^{(t)}, \quad (144)$$

где $\sigma_0^{(t)}$ — цена полосы (изохромы) модели толщиной t , определяемая путем тарировки.

Для точек ненагруженного контура, где $\sigma_3 = 0$ (или $\sigma_1 = 0$), получим выражение

$$\sigma_1 = n\sigma_0^{(t)}. \quad (145)$$

Из формулы (145) видно, что для определения напряжений на ненагруженном контуре достаточно знать порядок полосы n и ее цену $\sigma_0^{(t)}$.

Расчетная часть метода наиболее проста именно в случае определения касательных напряжений, в том числе и удельных сил трения на контактной поверхности. Для этого используют формулу

$$t = 0,5 (\sigma_1 - \sigma_3) \sin 2\theta. \quad (146)$$

Учитывая выражение (144), напишем

$$t = 0,5 (n\sigma_0^{(t)}) \sin 2\theta. \quad (147)$$

Таким образом, силу трения в данной точке контактной поверхности можно определить непосредственно по порядку полосы—изохромы n и параметру изоклины θ .

Конструкция установки. Схема типовой поляризационно-оптической установки для исследования контактных напряжений в очаге деформации, а также распределения напряжений в теле инструмента показана на рис. 42. В качестве источника монохроматического света используют электрическую лампу специальной конструкции со светофильтром, пропускающим свет строго определенной длины волны. Проходя через поляризатор, световые волны приобретают одинаковую ориентацию, т. е. на выходе из поляризатора они лежат в параллельных плоскостях. Конденсаторные линзы обеспечивают падение лучей на поверхность модели под прямым углом. При исследовании процессов прокатки в качестве инструмента применяют прозрачные валки с расположенной посередине бочки вставкой (вклейкой) из оптически активного материала (эпоксидных смол ЭД-6, ЭД-5,

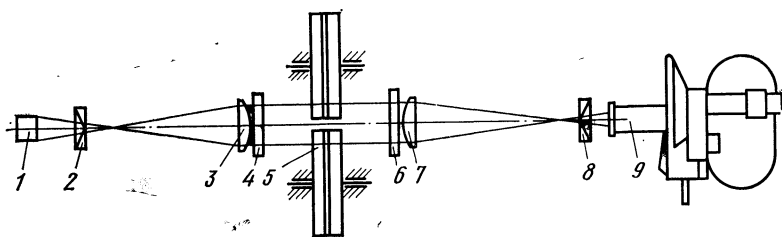


Рис. 42. Схема типовой поляризационно-оптической установки:

1 — источник монохроматического света; 2 — поляризатор; 3 и 7 — конденсаторные линзы; 4 и 6 — четвертьволновые пластинки; 5 — прокатный стан с оптически активными валками; 8 — анализатор; 9 — кинокамера

Э-40 с добавками, оргстекла, специальных стекол). Предполагается, что вставка находится в плоском напряженном состоянии. Боковые части бочки валка изготовляют из оптически неактивного материала (оргстекла ОНС).

Оценка метода. Метод основан на строгой теоретической базе. Исследование напряжений ведут без нарушения целостности инструмента (модели), т. е. при отсутствии каналов или разрезов. Картину распределения напряжений по всей контактной поверхности фиксируют в любой момент времени. В связи с этим метод удобен для исследования нестационарных процессов деформации (например, процесса осадки, периода заполнения зева валков при прокатке и т. д.). Возможно исследование распределения напряжений на контактных площадках небольшой длины (2—5 мм).

К числу ограничений и недостатков метода относится следующее. Исследование выполняется для плоского напряженного состояния. Пара трения металл—металл заменяется парой полимер—металл, что не может не отразиться на фрикционных условиях на контакте. Применяемые в настоящее время оптически активные материалы имеют сравнительно небольшую прочность. Допустимый уровень давлений для деталей из эпоксидных смол не превышает 70—100 МПа. Поэтому в качестве материала для деформируемых образцов обычно используют свинец или его сплавы (сурьмянистый свинец), в более редких случаях — алюминий. Опыты нельзя проводить при горячей деформации стали и большинства других металлов.

4.5. Критерии достоверности исследования контактных напряжений

Экспериментальные данные по распределению удельных сил трения и нормального давления должны удовлетворять условиям равновесия продольных и вертикальных сил и крутящих моментов, приложенных к деформируемому телу $\sum X = 0$ (148); $\sum Z = 0$ (149); $\sum M = 0$ (150).

Ниже приведены критерии достоверности, полученные на основе формул (148)–(150).

Критерий I. Раскрывая уравнение (148), для свободной установившейся прокатки можно записать

$$\iint_{F_{\alpha-\gamma}} t_{xz} \cos \varphi dF - \iint_{F_{\gamma}} t_{xz} \cos \varphi dF - \iint_{F_K} p \sin \varphi dF = 0, \quad (151)$$

где t_{xz} — элементарная сила трения в продольно-вертикальном сечении xz ; φ — текущий центральный угол; $F_{\alpha-\gamma}$ и F_{γ} — контактные поверхности соответственно в зонах отставания и опережения; F_K — полная контактная поверхность (для одного валка).

Если допустить, что напряжения t_{xz} и p по ширине полосы не изменяются, или взять их усредненные значения, а также принять постоянство ширины полосы, то из уравнения (151) получим

$$\int_{\varphi}^{\alpha} t_{xz} \cos \varphi d\varphi - \int_0^{\gamma} t_{xz} \cos \varphi d\varphi - \int_0^{\alpha} p \sin \varphi d\varphi = 0. \quad (152)$$

По экспериментальным эпюрам сил трения и нормального давления можно определить величину каждого слагаемого в левой части уравнения (152). Если сумма трех слагаемых будет равна или близка к нулю, то это является существенным признаком достоверности опытных данных. Практически для вычисления интегралов приходится делить дугу контакта на n частей, принимая на каждом малом участке длиной Δl значения t_{xz} и p постоянными. Затем определяют продольные составляющие сил трения и нормального давления на каждом участке. Таким образом, уравнение (152) используют в виде

$$\sum_{n_{\gamma}+1}^n t_{xz} \cos \varphi \Delta l - \sum_1^{n_{\gamma}} t_{xz} \cos \varphi \Delta l - \sum_1^n p \sin \varphi \Delta l = 0, \quad (153)$$

где n_{γ} — число участков, приходящихся на зону опережения.

Критерий не требует проведения каких-либо дополнительных измерений, кроме исследования самих контактных напряжений. Если прокатку ведут с натяжением концов полосы, то удвоенное значение¹ суммы трех слагаемых в левой части уравнения (153) должно быть равно алгебраической сумме внешних продольных сил. Рассмотренный критерий может быть применен и для проверки достоверности исследования контактных напряжений при волочении. В этом случае уравнение равновесия продольных сил имеет вид

$$\iint_{F_{p.k}} p \sin \alpha dF + \iint_{F_{p.k}} t \cos \alpha dF + \pi \alpha_1 l_{k.п} = Q, \quad (154)$$

где $F_{p.k}$ — контактная поверхность в рабочем конусе волоки; $l_{k.п}$ — длина калибрующего пояса, Q — сила волочения.

¹ Удвоение учитывает наличие двух валков.

Критерий II. Сумма нормальных давлений, распределенных по контактной поверхности, должна быть равна полному нормальному усилию, приложенному к телу. При осадке и прокатке поверочная формула имеет вид

$$\iint_{F_k} p \, dF = P. \quad (155)$$

Критерий позволяет оценить достоверность измерения только нормальных давлений.

Критерий III. Крутящий момент, приложенный к бочке прокатного вала от двигателя, должен быть равен крутящему моменту, создаваемому силами трения в очаге деформации. Это условие можно написать в виде

$$M_{\text{д}} = M_{\alpha-\gamma} - M_{\gamma}, \quad (156)$$

где $M_{\text{д}}$ — момент, передаваемый на бочку вала двигателем; $M_{\alpha-\gamma}$ и M_{γ} — моменты сил трения соответственно в зонах отставания и опережения. Тогда имеем

$$M_{\alpha-\gamma} = \iint_{F_{\alpha-\gamma}} t_{xz} R \, dF; \quad (157)$$

$$M_{\gamma} = \iint_{F_{\gamma}} t_{xz} R \, dF. \quad (158)$$

Поэтому поверочная формула приводится к виду

$$M_{\text{д}} = \iint_{F_{\alpha-\gamma}} t_{xz} R \, dF - \iint_{F_{\gamma}} t_{xz} R \, dF. \quad (159)$$

Следует отметить, что при исследовании удельных сил трения методом разрезного вала экспериментальные кривые позволяют непосредственно определить величину интегралов (157) и (158) (без множителя R). При других методах исследования необходимо суммировать силы трения по соответствующим зонам.

Третий критерий применим для оценки достоверности только эпюр сил трения, полученных при прокатке. Использование его требует точного измерения крутящего момента $M_{\text{д}}$ на бочке вала. Обычно крутящие моменты измеряют с помощью датчиков, установленных на шпинделях. Поэтому крутящий момент на бочке вала определяется по разности

$$M_{\text{д}} = M_{\text{шп}} - M_{\text{т.п}}, \quad (160)$$

где $M_{\text{шп}}$ — момент на шпинделе; $M_{\text{т.п}}$ — момент сил трения в подшипниках вала.

Рассмотренные критерии могут быть использованы при любом методе исследования контактных напряжений. Существуют также частные критерии достоверности, учитывающие специфические особенности того или иного метода. Например, достоверность результатов метода наклонных точечных месдоз может быть проверена путем перекрестных расчетов по формулам (134)—(136), а также с помощью формулы (137).

4.6. Экспериментальные данные по распределению удельных сил трения

Осадка

Е. П. Унсов и В. М. Заварцева [27] исследовали распределение контактных напряжений поляризационно-оптическим методом при плоской (без уширения) осадке свинцовых образцов (рис. 43). Опыты проводили на лабораторном прессе. Предел текучести свинца при обжатии 5—8 % составлял 16 МПа. Размеры образцов и опытные данные по усилию осадки приведены в табл. 7.

И. Я. Тарновский, А. Н. Леванов и М. И. Поксеваткин исследовали распределение сил трения и нормальных давлений при осадке цилиндрических свинцовых и алюминиевых образцов при комнатной температуре, а также образцов из

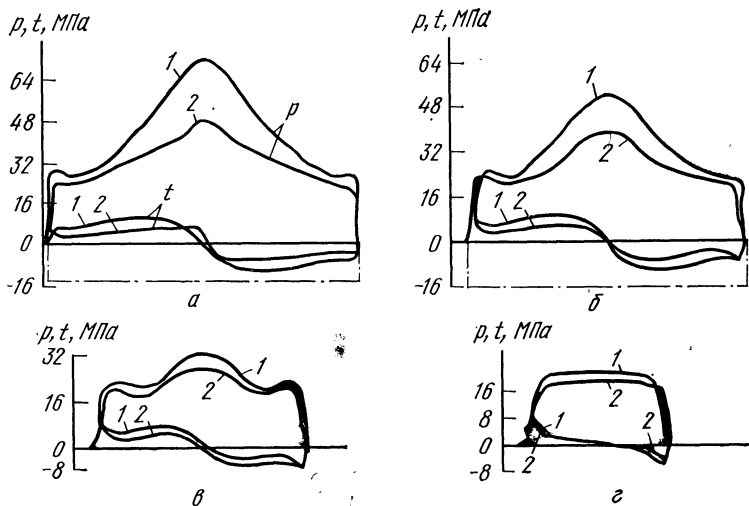


Рис. 43. Эпюры контактных напряжений при плоской осадке свинцовых образцов при соотношении a_0/h_0 [27] (по оси абсцисс отложена длина контакта): а — 7; б — 5; в — 2,5; г — 1,25; 1 — осадка без смазки; 2 — осадка со смазкой

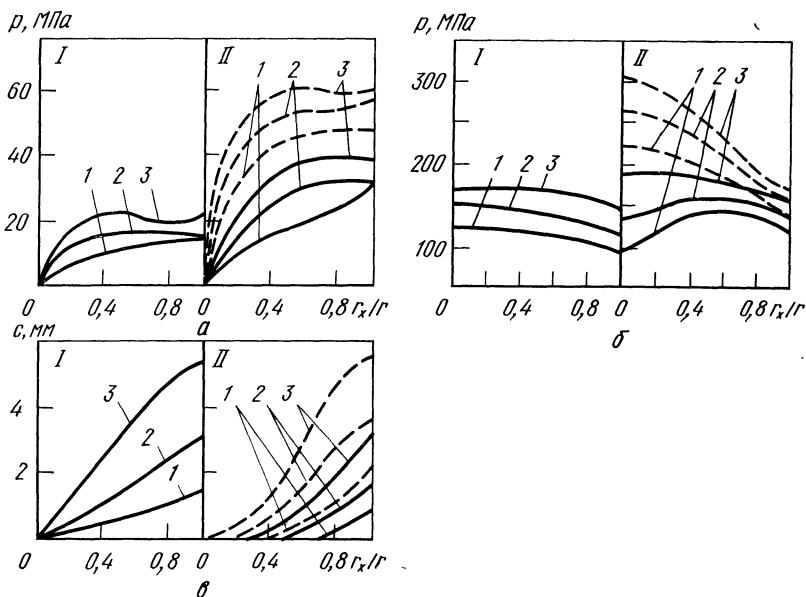


Рис. 44. Эпюры касательных (а) и нормальных (б) напряжений и контактных смещений (с) при осадке алюминиевых образцов (сплошные линии $d_0/h_0 = 1$; пунктир $d_0/h_0 = 3$) [6]:

I — шероховатость поверхности бойков $R_a = 0,03$ мкм; II — $R_a = 2,4$ мкм;
 1 — $\epsilon = 0,2$; 2 — $\epsilon = 0,4$; 3 — $\epsilon = 0,6$

ТАБЛИЦА 7

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ И СИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ОПЫТОВ ПО
ОСАДКЕ СВИНЦОВЫХ ОБРАЗЦОВ

Условия опыта	Размеры образцов						$\varepsilon, \%$	$P, \text{кН}$	$P_{\text{ср}}, \text{МПа}$
	начальные			конечные					
	$a_0, \text{мм}$	$h_0, \text{мм}$	a_0/h_0	$a_1, \text{мм}$	$h_1, \text{мм}$	a_1/h_1			
Без смазки	35,0	5,0	7,0	36,8	4,7	7,8	6,0	10,6	41,5
	30,0	6,0	5,0	31,4	5,7	5,5	5,0	7,0	32,2
	15,0	6,0	2,5	16,3	5,5	3,0	8,3	2,7	24,5
	7,5	6,0	1,25	8,6	5,2	1,7	13,3	1,1	18,9
Смазка: машинное масло с гра- фитом (30 %)	35,0	5,0	7,0	37,3	4,7	7,9	6,0	8,3	32,2
	30,0	6,0	5,0	31,0	5,8	5,4	3,3	5,5	25,9
	15,0	6,0	2,5	16,3	5,5	3,0	8,3	2,4	21,2
	7,5	6,0	1,25	8,3	5,5	1,5	8,3	1,0	17,4

Примечание. a — размер образца в направлении течения ($a=l_d$).

стали 45 при температуре 1150 °С. Измерения проводили с помощью тензометрического блока с разрезным бойком (рис. 39). Осадку осуществляли на гидравлических прессах (скорость хода бойка $v_6 = 6 \div 8$ мм/мин), фрикционном прессе ($v_6 = 180$ мм/с) и на копре. Применяли бойки с гладкой (шлифованной) и шероховатой (грубо строганной) поверхностью. Эпюры контактных напряжений приведены в монографии [57].

В работе [6] рассмотрено распределение контактных напряжений при осадке свинцовых и алюминиевых образцов с применением универсального штифта. Эксперименты проводили на универсальной испытательной машине УИМ-30.

ТАБЛИЦА 8

ХАРАКТЕРИСТИКА ОПЫТОВ ПО ОСАДКЕ СВИНЦОВЫХ
И АЛЮМИНИЕВЫХ ОБРАЗЦОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ
УНИВЕРСАЛЬНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ШТИФТА

Деформируемый металл	Шероховатость инструмента		$h_0, \text{мм}$	d_0/h_0
	класс чистоты	$R_a, \text{мкм}$		
Al	4	8,0	10	3
	6	2,4	30	1
	6	2,4	10	3
	8	0,6	10	3
Pb	12	0,03	30	1
	6	2,4	10	3
	8	0,6	30	1
	12	0,03	10	3

Примечания: 1. Начальный диаметр всех образцов $d_0 = 30$ мм. 2. Величина обжатия во всех вариантах опытов составляла 20, 40 и 60 %.

Применяли бойки с различной шероховатостью. Основные параметры опытов указаны в табл. 8. Одновременно определялись контактные перемещения и деформированное состояние приконтактного слоя металла; последнее достигалось с помощью метода координатной сетки. Результаты исследований для алюминиевых образцов представлены на рис. 44.

Аналогичные исследования были проведены при осадке свинцовых и алюминиевых образцов в щелевом штампе [6].

Прокатка

Наибольшее число исследований контактных напряжений относится к процессу продольной прокатки. Экспериментальные материалы опубликованы в работах [6, 36, 39, 44, 46, 57—68, 72—74]. В работе [72] методом наклонных точечных месдоз исследовано распределение нормальных давлений и удельных сил трения вдоль продольной оси очага деформации при прокатке свинца и горячей (1000—1050 °С) прокате стали (рис. 45). Размеры образцов и некоторые параметры деформации приведены в табл. 9. Скорость прокатки составляла 0,3 м/с. Направление прокатки на всех эпюрах — слева направо.

В работах [36, 39] получены эпюры нормальных давлений и сил трения при горячей прокатке образцов из армо-железа (950 °С) (рис. 46) на стане с вальками $D = 238$ мм; скорость прокатки составляла 0,4—0,5 м/с. Размеры образцов, мм: $h_0 \times b_0 = 10 \times 30, 10 \times 50, 20 \times 30, 20 \times 50$.

Отношение $l_d/h_{ср}$ изменялось в пределах 0,79—2,34. Применение точечной месдозы, установленной с наклоном по отношению к образующей валька, позволило исследовать распределение не только продольных, но и поперечных составляющих сил трения в нескольких продольных сечениях очага деформации. Результаты измерений для одного из образцов представлены на рис. 47. Стрелками показаны полные векторы удельных сил трения в соответствующих сечениях.

В работе [68] с помощью поляризационно-оптического метода изучено распределение нормальных и касательных напряжений вдоль дуги контакта при

ТАБЛИЦА 9

ПАРАМЕТРЫ ПРОКАТКИ СВИНЦОВЫХ И СТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ

Эпюра (рис. 45)	h_0 , мм	Δh , мм	l_d , мм	$l_d/h_{ср}$	b_0 , мм	b_1 , мм	Максимальная удельная сила трения, МПа	
							в зоне отста- вания	в зоне опере- жения

Образцы свинцовые, $D = 210$ мм (рис 45, а)

1	44,3	4,5	21,7	0,52	76,6	77,5	15	4,0
2	30,0	4,9	22,7	0,83	80,1	80,8	11,5	4,0
3	25,1	4,1	20,8	0,90	80,8	81,6	10	3,5
4	20,7	5,1	23,2	1,28	81,6	82,6	7,6	4,0
5	18,2	5,5	24,0	1,55	70,5	72,5	—	—
6	15,6	5,4	23,8	1,84	82,3	83,7	11	7,0
7	12,9	5,0	22,9	2,20	72,4	74,6	12	9,0
8	10,5	4,9	22,7	2,84	82,7	86,2	13,5	9,5
9	7,8	5,2	23,4	4,50	74,6	76,0	19	13
10	5,8	4,8	22,5	6,62	85,0	90,0	37	22

Образцы из стали 08 кл, $D=270$ мм (рис. 45, б)

11	30,0	4,7	25,2	0,91	60,3	61,3	—	—
12	25,4	5,3	26,8	1,18	60,5	62,0	—	—
13	19,8	4,8	25,4	1,46	60,2	62,2	—	—
14	15,5	5,5	27,2	2,14	60,5	63,5	—	—

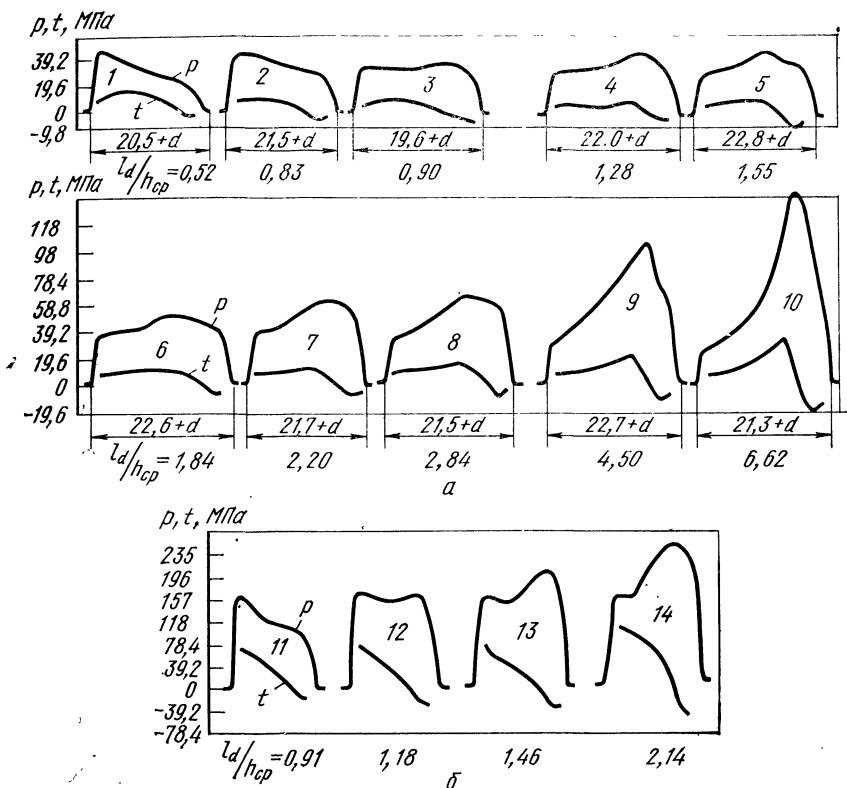


Рис. 45. Эпюры контактных напряжений при прокатке свинца (а) и горячей прокатке стали 08 кп (б) [72]

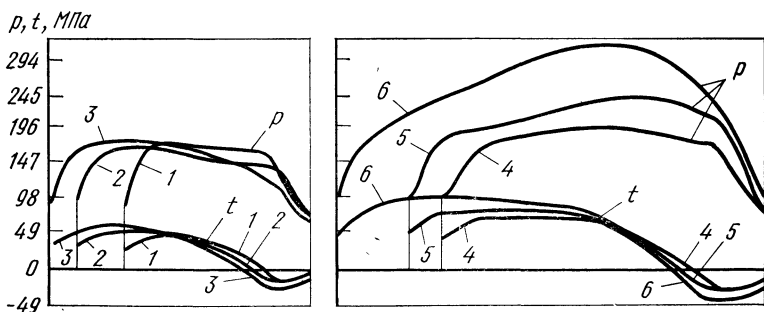


Рис. 46. Эпюры контактных напряжений при горячей прокатке образцов из армо-железа толщиной 20 мм [39]:

	1	2	3	4	5	6
ε, %	0,5	14,6	18,0	30,0	36,0	51,0
L _d /h _{cp}	0,79	1,00	1,14	1,57	1,73	2,34

плоской прокатке без уширения. Опыты включали следующие варианты: симметричную прокатку в двух приводных валках без смазки и с технологическими смазками (машинным маслом, керосином); прокатку с одним приводным валком; прокатку в валках разного диаметра; прокатку с передним и задним натяжением концов полосы. Образцы сечением $h_0 \times b_0 = 2 \div 3,85 \times 6$ мм изготовлялись из сурьмянистого свинца. Отношение l_d/h_{cp} находилось в пределах $2 \div 5,5$.

На рис. 48 показаны эпюры нормальных и касательных напряжений, полученные при прокатке на сухих и смазанных валках при одинаковых геометрических условиях деформации ($l_d/h_{cp} = 3,6 \div 3,9$). Эпюры элементарных сил t и p в других случаях прокатки имеют аналогичный характер.

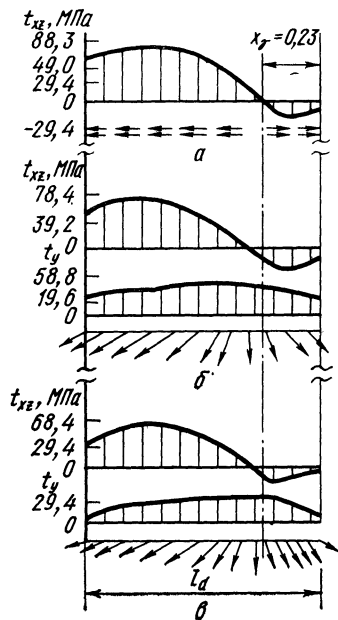


Рис. 47. Распределение продольных t_{xz} и поперечных t_y сил трения по контактной поверхности при горячей прокатке образца из армо-железа ($h_0 = 20$ мм; $b_0 = 50$ мм; $\epsilon = 16$ %; $d/h_{cp} = 1,06$) [36]:

a — на продольной оси; $б$ и $в$ — при расстоянии от оси соответственно 12—15 и 18—20 мм

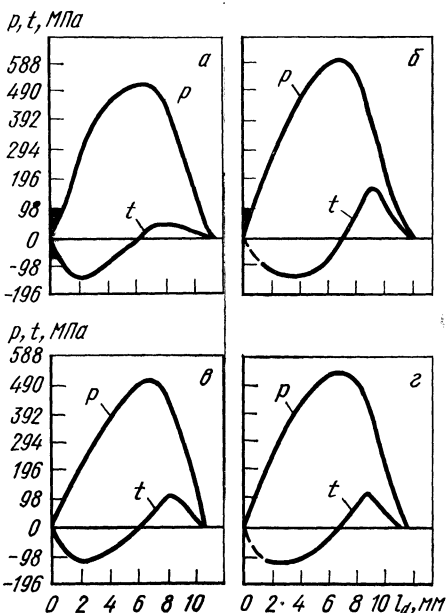


Рис. 48. Эпюры контактных напряжений при прокатке свинцовых образцов на сухих и смазанных валках [68]:

$a, б$ — без смазки (l_d/h_{cp} соответственно 3,8 и 3,9); $в$ — с машинным маслом ($l_d/h_{cp} = 3,7$); $г$ — с керосином ($l_d/h_{cp} = 3,9$)

В работах [46, 73, 74] исследовано распределение нормальных давлений и сил трения по дуге контакта при холодной прокатке алюминиевых (А-1), медных (М-1), латунных (Л62) и стальных (08кп) полос на стане с валками $D = 200$ мм. Скорость прокатки составляла $v_B = 0,31$ м/с. Применяли образцы различных размеров: $h_0 = 1 \div 8$ мм; $b_0 = 10 \div 80$ мм. Относительное обжатие находилось в пределах $\epsilon = 10 \div 50$ %. Кроме варьирования геометрических параметров ($\epsilon, l_d/h_{cp}$), было изучено влияние натяжения и технологических смазок (машинного и касторового масел, свиного жира). При прокатке стальных образцов также исследовали влияние температуры металла в интервале $20-900$ °С.

Несколько эпюр, отражающих влияние переднего и заднего натяжений на распределение давлений и сил трения, показано на рис. 49. Все остальные эпюры, приведенные в работах [46, 73, 74], в качественном отношении подобны.

Большой экспериментальный материал по контактным напряжениям при горячей и холодной прокатке содержится в монографии [57]. Исследования проводили методом универсального штифта. Основные варианты опытов и параметры прокатки указаны в табл. 10. В качестве примера на рис. 50 приведены эпюры продольных и поперечных сил трения, а также эпюры нормальных давлений, полученные в случае горячей прокатки стали 0Х23Ю5. Эти эпюры являются типичными.

В работе [6] описаны результаты комплексного исследования контактных напряжений, скольжений и деформированного состояния приконтактного слоя металла при прокатке алюминиевых и свинцовых образцов на стане 200. Контактные напряжения определяли с помощью универсального штифта. Для исследования перемещений на контактной поверхности применяли встроенные в валок упруго изгибающиеся тензометрические «иглы», касающиеся своим острием поверхности металла. Деформированное состояние приконтактного слоя изучали методом координатной сетки. В табл. 11 приведена серия опытов по прокатке

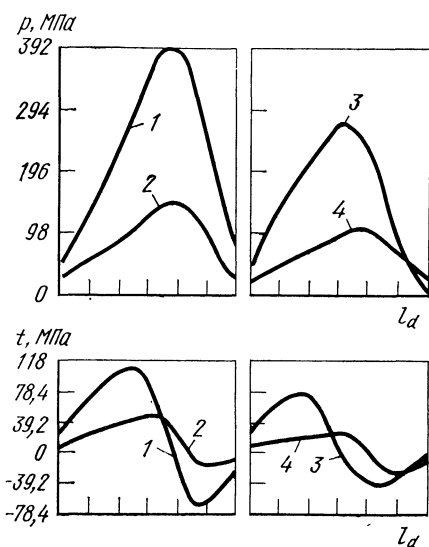


Рис. 49. Влияние натяжения на величину и распределение контактных напряжений при холодной прокатке алюминиевых полос сечением 3×25 мм при $\epsilon = 50\%$:

1 — без натяжения; 2 — с задним натяжением $q_0 = 30$ МПа; 3 — с передним натяжением $q_1 = 60$ МПа; 4 — при совместном действии натяжений $q_0 = 30$ и $q_1 = 20$ МПа

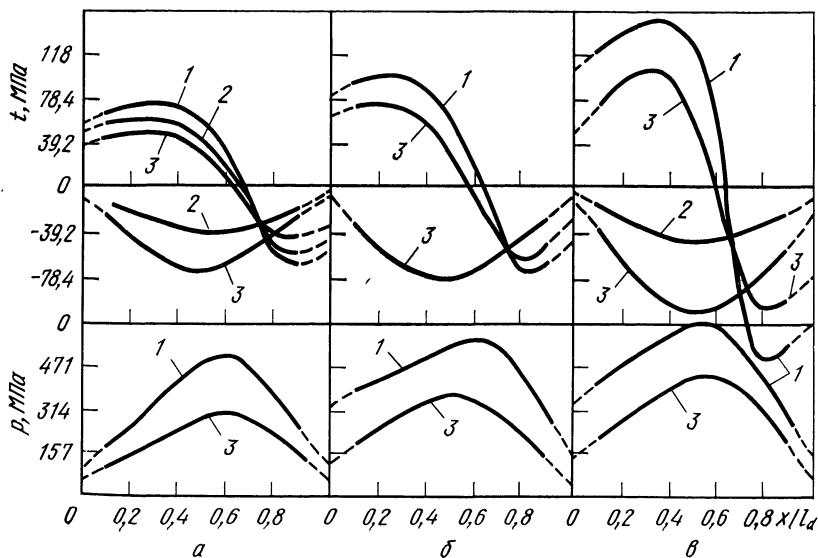


Рис. 50. Эпюры контактных напряжений при горячей прокатке стали 0Х23Ю5 [57]: а — $l_d/h_{cp} = 2,55$; 1150°C ; б — $l_d/h_{cp} = 2,6$; 1050°C ; в — $l_d/h_{cp} = 2,06$; 900°C ; 1 — вдоль продольной оси; 2 и 3 — на расстоянии соответственно 6 и 12 мм от оси ($b_0 = 30$ мм)

ХАРАКТЕРИСТИКА УСЛОВИЙ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ХОЛОДНОЙ И ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ

Вид прокатки	Материал образцов	Размеры образцов $h_0 \times b_0$, мм	$I_{d_i}/h_{ср}$	D , мм	σ_B , М/с
Прокатка толстых полос	Pb Al	70×70 70×70	0,19—0,67 0,20—0,27	196; 90 90	0,01; 0,005 0,005
Прокатка средних и тонких полос	Al	1,5÷36×36	0,6—5,7	196	0,11
Прокатка с натяжением	Al	24×30; 15×16; 6×15	1,15—2,33	196	0,01 *
Прокатка с разной скоростью деформации	Pb	1,5÷30×30	1,0—5,6	196	0,01—1,15 **
Горячая прокатка стали и сплавов	сталь 20; У10А; X17; X28; 2X13; 0X23Ю5; ЭИ736; ЭИ435	5÷30×30	0,9—3,0	196	0,11 ***

* Максимальное удельное натяжение 0,5 σ_T .

** Пределы изменения скорости деформации 0,068÷27,2 с⁻¹.

*** Температура прокатки 900, 1050, 1150 °С.

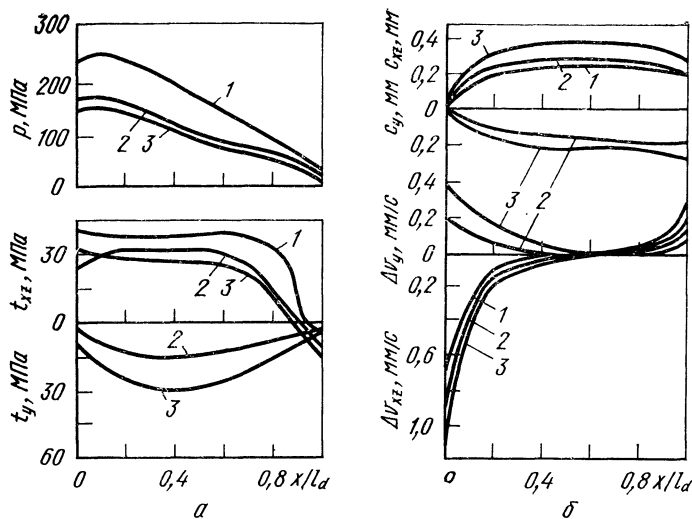


Рис. 51. Контактные напряжения (а) и скольжение (б) при прокатке толстых алюминиевых полос ($h_0 = 70$ мм) на шероховатых валках ($R_a = 8,3$ мкм) при расстоянии от продольной оси [6]:

1 — $y = 0$; 2 — $y = 5,8$ мм; 3 — $y = 11,8$ мм

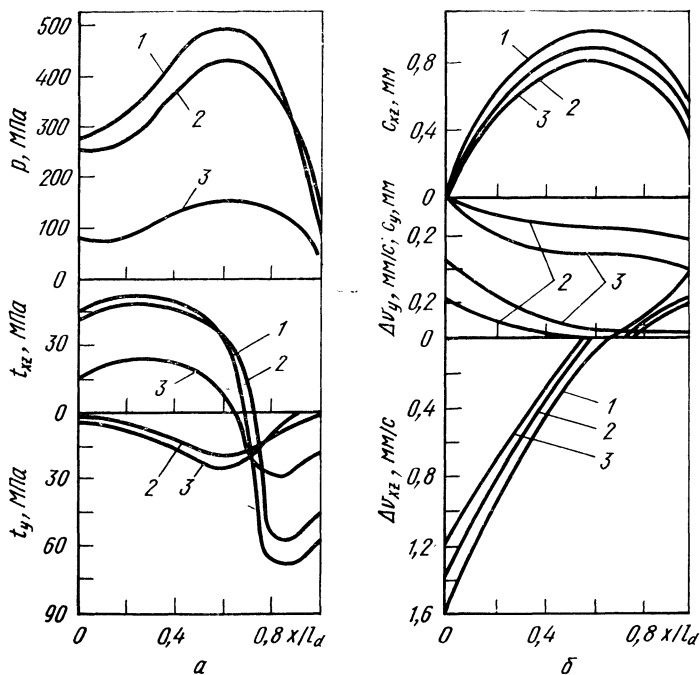


Рис. 52. Контактные напряжения (а) и скольжение (б) при прокатке тонких алюминиевых полос ($h_0 = 5$ мм) на шероховатых валках ($R_a = 8,3$ мкм) при расстоянии от продольной оси [6]:

1 — $y = 0,2$ мм; 2 — $y = 5,5$ мм; 3 — $y = 11,5$ мм

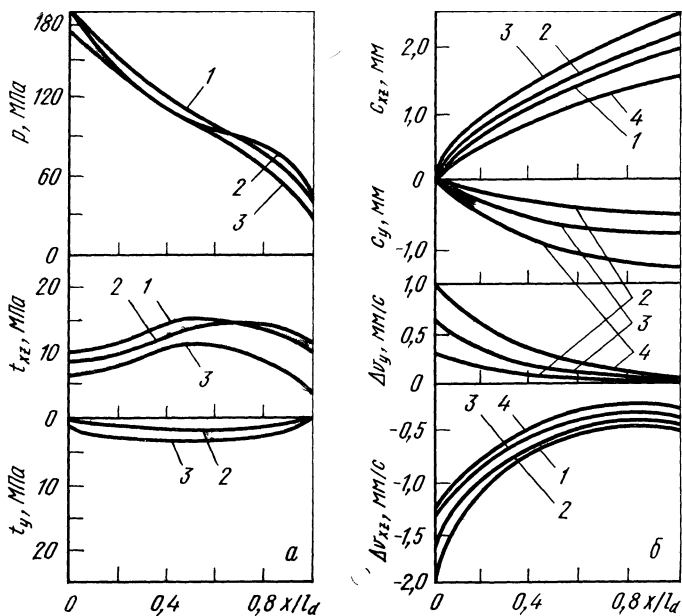


Рис. 53. Контактные напряжения (а) и скольжение (б) при прокатке толстых алюминиевых полос ($h_0 = 70$ мм) на гладких валках ($R_a = 0,39$ мкм) при расстоянии от продольной оси [6]:

1 — $y = 0,2$ мм; 2 — $y = 5$ мм; 3 — $y = 10,5$ мм; 4 — $y = 20$ мм

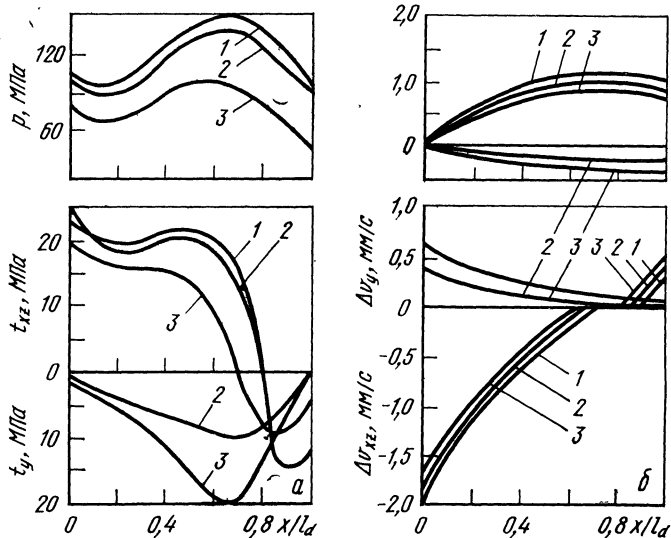


Рис. 54. Контактные напряжения (а) и скольжение (б) при прокатке тонких алюминиевых полос ($h_0 = 5$ мм) на гладких валках ($R_a = 0,39$ мкм) при расстоянии от продольной оси [6]:

1 — $y = 0,2$ мм; 2 — $y = 5$ мм; 3 — $y = 11,5$ мм

ТАБЛИЦА 11

ВАРИАНТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ, СКОЛЬЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ПРОКАТКЕ АЛЮМИНИЕВЫХ ПОЛОС

Класс шероховатости валков	h_0 , мм	b_0 , мм	h_1 , мм	b_1 , мм	ε , %	l_d/h_{CP}	v_B , мм/с
4 ($R_a = 8,3$ мкм)	70,1	50,0	60,3	52,9	14	0,45	10,05
	30,2	30,1	22,5	32,1	25	1,00	9,50
	10,0	30,0	7,5	31,0	25	1,85	7,39
	5,0	30,2	3,5	30,9	30	2,85	5,75
6 ($R_a = 2,0$ мкм)	70,0	50,1	60,2	53,1	14	0,45	10,00
	30,0	29,8	22,6	32,0	25	1,00	10,00
	9,9	30,0	7,45	31,1	25	1,85	7,50
	5,0	30,1	3,5	30,8	30	2,85	6,05
8 ($R_a = 0,39$ мкм)	70,2	50,0	60,2	53,2	14	0,45	9,40
	29,9	30,1	22,5	31,9	25	1,00	7,50
	10,1	30,0	7,5	31,1	25	1,85	9,50
	5,0	30,0	3,15	30,9	30	2,85	7,50

алюминиевых образцов. По аналогичной программе исследованы контактные напряжения и перемещения при прокатке свинцовых образцов (минимальная толщина последних $h_0 = 1,5$ мм, $l_d/h_{CP} = 5,6$). Кроме того, по дополнительной программе была прокатана серия толстых свинцовых образцов с целью изучения влияния величины угла контакта и рассогласования скоростей валков на механику контактного взаимодействия.

На рис. 51—54 показаны эпюры контактных напряжений и скольжений, полученные при прокатке толстых и тонких алюминиевых образцов в шероховатых и гладких валках [6].

Волочение

В работе [31] исследовано распределение контактных напряжений методом наклонных точечных месдоз при волочении стальных (Ст 3) прутков и труб. Угол рабочего конуса волоки 7° , диаметр калибрующего пояска 16 мм. Месдозы располагали в шести сечениях по длине рабочего конуса. Волочению подвергали прутки диаметром 18, 19, 20 и 21 мм; коэффициент вытяжки соответственно составлял 1,27—1,72. Трубы наружным диаметром 20 мм с толщиной стенки от 1,3 до 6,0 мм проходили безошибочное волочение. Прутки и трубы перед волочением обтачивали на токарном станке, протравливали, омедняли и смазывали солидолом. Часть прутков проходила волочение без обточки и омеднения: солидол наносили непосредственно на поверхность металла, покрытую окалиной. Скорость волочения составляла 0,17 м/с.

Вид эпюр контактных напряжений при волочении прутков (рис. 55) и труб (рис. 56) примерно одинаков.

Авторы работ [75, 76] проводила исследование при помощи разрезной волоки, состоящей из двух половинок, скрепленных стяжными шпильками, что позволяло измерять распорное усилие. В каждую половинку волоки вставляли ползуны различной длины для измерения нормальных и касательных контактных напряжений. Точность определения напряжений, по данным авторов, около 10%. Волока и ползуны были изготовлены из стали ШХ15. Угол рабочего конуса волоки $\alpha = 10^\circ$. Шероховатость поверхности канала $R_a = 0,65$ мкм.

Волочению подвергали прутки из алюминия, меди и стали 10 кп. Прутки из цветных металлов, имевшие начальный диаметр 28, 29 и 30,5 мм, протягивали до диаметра 25 мм. Стальные прутки диаметром 23,1 и 24,4 мм протягивали до диаметра 22 мм. Экспериментальные данные при скорости волочения $0,67 \cdot 10^{-4}$

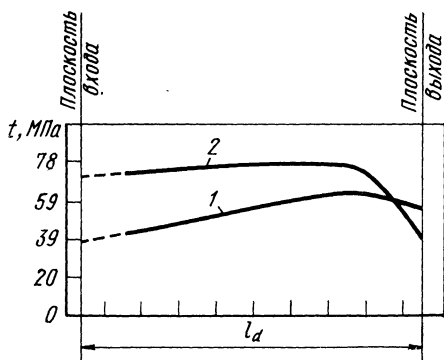


Рис. 55. Распределение сил трения по длине рабочего конуса волокна при волочении стальных прутков ($d_0 = 21$ мм; $\lambda = 1,72$; смазка — солидол) [31]:

1 — поверхность образцов обточенная, омедненная; 2 — поверхность горячекатаная

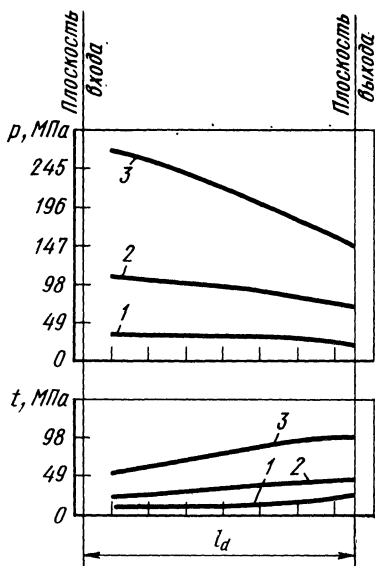


Рис. 56. Распределение контактных напряжений по длине рабочего конуса волокна при безправочном волочении стальных труб различной толщины стенки [31]:

1 — 20×1,3 мм; 2 — 20×3,55 мм; 3 — 20×6,0 мм

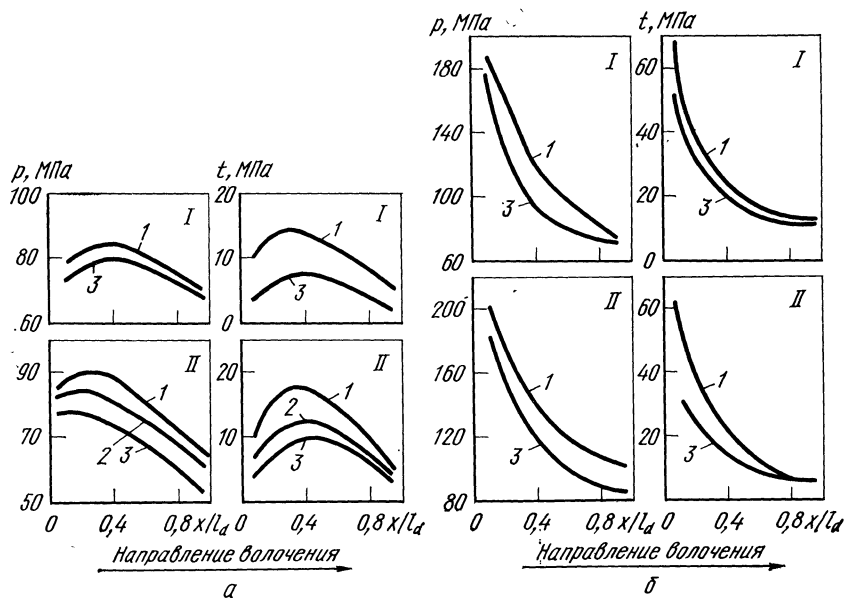


Рис. 57. Распределение контактных напряжений вдоль очага деформации при волочении алюминиевых (а) и медных (б) прутков в зависимости от вида смазки и обжатия [75]: I — натриевое мыло; II — солидол; 1 — $\varepsilon = 23\%$; 2 — $\varepsilon = 30\%$; 3 — $\varepsilon = 40\%$

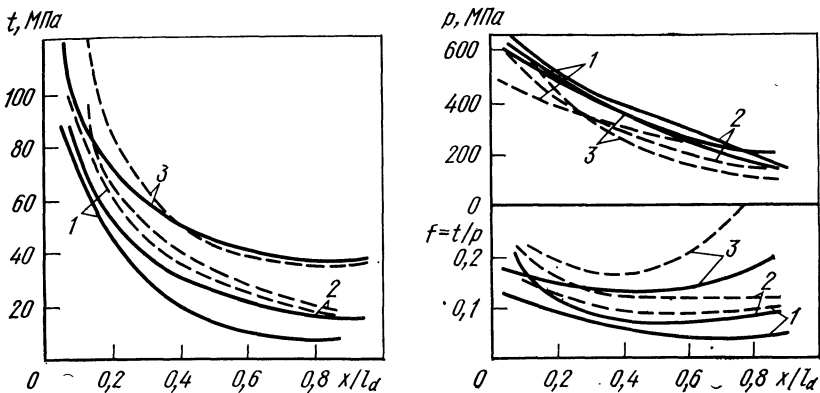


Рис. 58. Распределение контактных напряжений вдоль очага деформации при волочении стальных прутков в зависимости от вида смазки и обжатия (пунктирные линии — $\epsilon = 10\%$; сплошные — $\epsilon = 20,8\%$) [76]:

1 — натриевое мыло; 2 — солидол; 3 — без смазки

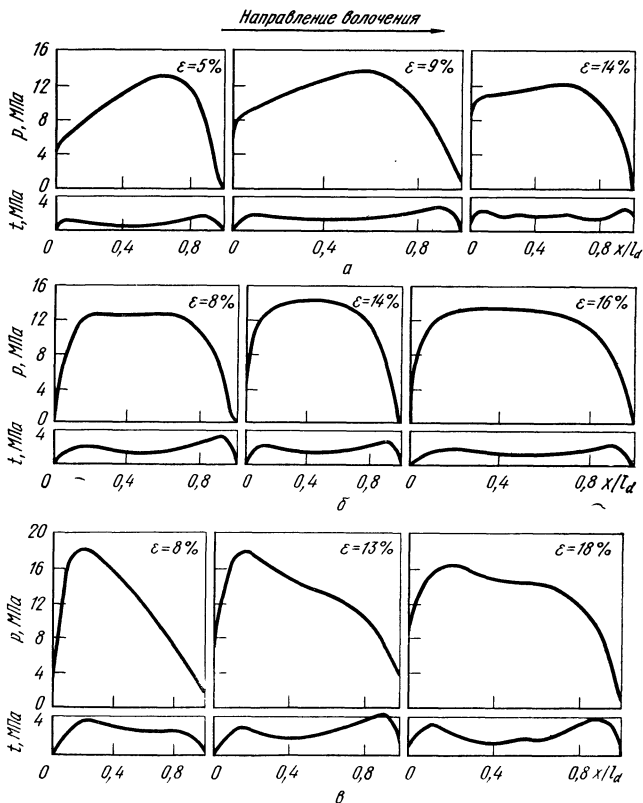


Рис. 59. Распределение контактных напряжений вдоль очага деформации при волочении свинцовых полос через матрицу с углом рабочего конуса $\alpha = 2^\circ$ (а), 4° (б) и 8° (в) и разной величине обжатия [77]

и 0,18 м/с оказались идентичными. В качестве технологических смазок использовали натриевое мыло и солидол. Часть опытов проводили без смазки.

Как видно на графиках (рис. 57, 58), в этих опытах наблюдается соответствие в характере изменения нормальных давлений и удельных сил трения.

Данные по распределению нормальных и касательных контактных напряжений, полученные поляризационно-оптическим методом при волочении свинцовых полос сечением $4,75 \div 5,5 \times 10$ мм через плоскую матрицу с углом конусности $\alpha = 2^\circ, 4^\circ$ и 8° , приведены на рис. 59. Скорость волочения составила около 0,02—0,03 м/с. Характер распределения нормальных давлений существенно зависит от угла конусности волоки и в меньшей мере от величины обжатия. При $\alpha = 2^\circ$ максимум давления смещен к плоскости выхода, в то время как при $\alpha = 4^\circ$ давление распределяется вдоль очага деформации приблизительно равномерно, а при $\alpha = 8^\circ$ имеется ярко выраженный максимум вблизи плоскости входа (последнее согласуется с результатами других исследований [74]). Эпюры удельных сил трения во всех случаях имеют седлообразный вид, но изменение сил трения на протяжении очага деформации не очень велико.

Прессование

В работах [78, 79] изучали распределение контактных напряжений вдоль стенки контейнера при прямом и обратном прессовании свинцовых полос и прутков, а также при закрытой прошивке с образованием стакана. В исследованиях применяли поляризационно-оптический метод. Основные опыты проведены на плоских образцах размерами $60 \times 40 \times 6$ мм при степени деформации 50 %. Скорость прессования составляла 0,03 мм/с. Напряжения фиксировали при трех положениях пуансона относительно стенок контейнера. На рис. 60 показаны эпюры контактных напряжений, полученные при прямом и обратном прессовании плоских образцов. Установлено, что распределение напряжений при осесимметричной деформации лишь незначительно отличается от плоской деформации.

На рис. 61 показаны экспериментальные данные по распределению контактных напряжений вдоль стенки контейнера при закрытой прошивке¹ цилиндрических свинцовых образцов диаметром 40 мм и высотой 50 мм; диаметр пуансона 28 мм. Полированные поверхности вставок из оптически активного материала смазывали смесь машинного масла с графитом. Эпюры контактных напряжений получены через каждые 5 мм хода оправки-пуансона при общей глубине внедрения 37,5 мм (последняя ступень внедрения составляла 2,5 мм). Силы трения на протяжении образующей контейнера изменяют знак: на части поверхности они совпадают с движением пуансона (вблизи дна контейнера), а на другой части, где металл выжимается в зазор с образованием стенки стакана, они направлены против хода пуансона. Лишь при максимальной деформации (внедрении на 37,5 мм) силы трения по всей длине поверхности контейнера направлены против движения пуансона.

В работе [32] поляризационно-оптическим методом исследованы контактные напряжения не только на стенке контейнера, но и на матрице. Изучали влияние формы канала матрицы на величину и распределение контактных напряжений. С этой целью применяли матрицы с каналами конусного (45°), выпуклого и вогнутого профилей. Прессованию подвергали плоские свинцовые образцы размерами $60 \times 60 \times 6$ мм. Эпюры контактных напряжений для наиболее распространенных матриц с конусным каналом приведены на рис. 23.

Обобщение экспериментальных данных

Анализ накопленных к настоящему времени материалов по распределению сил трения на контактной поверхности показывает, что данные многих авторов, несмотря на применение разных методов исследования, в качественном отношении сходны (для тех же процессов). Это позволяет говорить о типовых эпюрах сил трения.

¹ Авторы неточно называют этот процесс обратным прессованием.

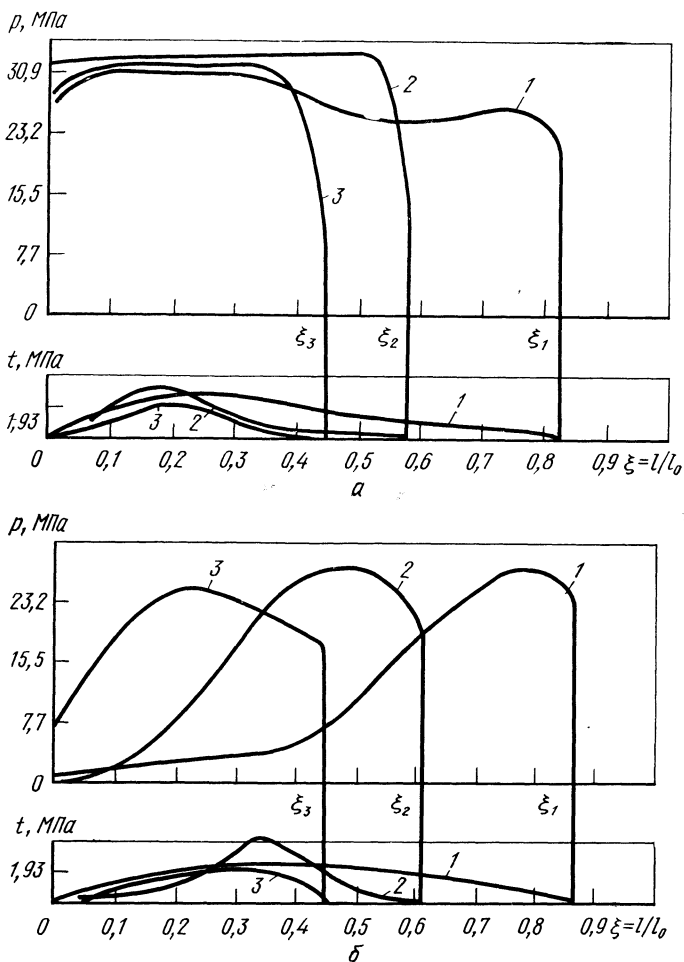


Рис. 60. Распределение контактных напряжений по стенке контейнера при прямом (а) и обратном (б) прессовании [78]:

1, 2, 3 — стадии прессования (l — длина заготовки в контейнере; l_0 — начальная длина заготовки)

Наиболее сложное распределение сил трения имеет место в процессахковки (осадки) и прокатки, когда на контактной поверхности возможно возникновение зоны прилипания, и силы трения изменяют свой знак. Для этих процессов характерны три вида эпюр сил трения (рис. 62).

Эпюры типа I наблюдаются при осадке или прокатке толстых (высоких) тел, когда d_0/h_0 или $l_d/h_{ср} < 1 \div 2$. В этом случае вся или почти вся контактная поверхность охвачена зоной прилипания. Силы трения возрастают от нейтральной оси к внешним границам очага деформации в соответствии с возрастанием стремления к сдвигу в приконтактных слоях металла.

Эпюры типа II являются наиболее распространенными. Они существуют, если на контактной поверхности имеются как зона скольжения 1, так и зона прилипания 3. Силы трения в зоне скольжения 1 изменяются приблизительно пропорцио-

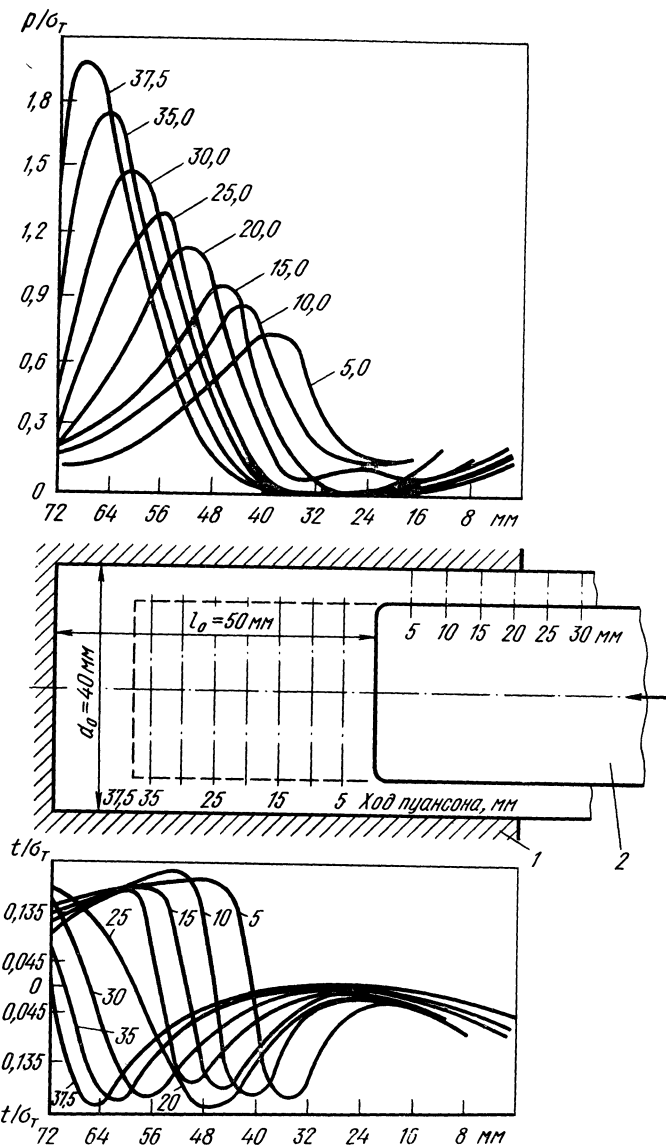


Рис. 61. Контактные напряжения на стенке контейнера 1 при закрытой прошивке стакана в зависимости от углубления оправки-пуансона 2 [79]

нально нормальному давлению, т. е. в большей или меньшей мере (в зависимости от условий деформации) подчиняются закону Амонтона.

Эпюры типа III встречаются в основном при большой протяженности очага деформации и высоком коэффициенте трения. В этом случае на контактной поверхности появляются участки 2, где силы трения достигают предельно возможной величины. На этих участках скольжение происходит вследствие сдвигов в при-контактных слоях металла.

Следует отметить, что появление почти горизонтальных площадок на эпюрах сил трения может объясняться не только тем, что удельные силы трения достигают своего максимального значения, но и малым изменением давления и определенным сочетанием других факторов трения при обычном внешнем скольжении.

Распределение сил трения при осадке отличается от прокатки (рис. 62) тем, что эпюры имеют симметричный вид относительно нейтральной оси.

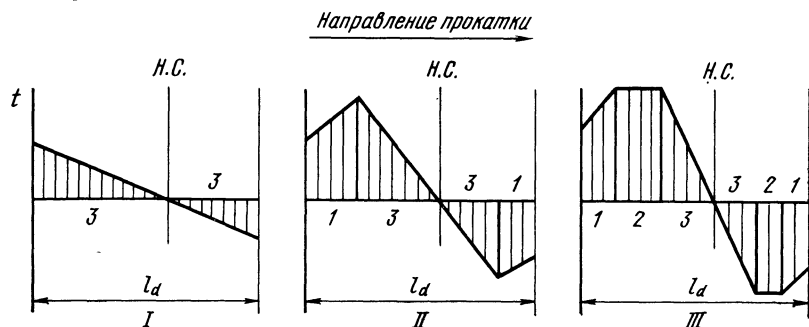


Рис. 62. Типовые эпюры распределения сил трения при прокатке по зонам: 1 — скольжения; 2 — приконтактного скольжения; 3 — прилипания; н. с. — нейтральное сечение

При волочении экспериментальные данные разных авторов согласуются между собой в меньшей мере, чем при прокатке и осадке. Согласно исследованиям [31 и 77] силы трения распределяются вдоль образующей рабочего конуса приблизительно равномерно. Вместе с тем в работах [75, 76] показано, что силы трения на протяжении очага деформации изменяются существенно и подобно нормальному давлению.

При прессовании силы трения распределяются вдоль образующей стенки контейнера примерно равномерно. На коническом участке матрицы силы трения возрастают от плоскости входа к плоскости выхода.

4.7. Аналитическое описание распределения сил трения

При решении задач теории обработки металлов давлением возникает необходимость в математическом представлении функции распределения сил трения по контактной поверхности.

Наиболее простое и во многих случаях целесообразное решение этого вопроса заключается в принятии условия постоянства сил трения на контактной поверхности. При этом в качестве математической формулы, определяющей величину сил трения, используют закон Зибеля (16) либо, если условия трения особо жесткие, закон Прандтля (20), причем предел текучести на протяжении очага деформации принимают неизменным (средним).

Специальные исследования [80] показывают, что введение допущения о постоянстве сил трения не вносит большой погрешности, например, при решении задачи определения среднего контактного давления. Важно только, чтобы сумма элементарных сил трения была определена правильно, т. е. был выбран правильно показатель сил трения в формуле (16). Принятие условия $t = \text{const}$ позволяет значительно упростить математические операции и получить относительно простые конечные формулы.

При холодной обработке давлением с технологической смазкой, когда трение имеет характер полужидкостного (граничного), силы трения в основном подчиняются закону Амонтона (13). Поэтому теоретический анализ таких процессов может базироваться на применении формулы (13) для определения сил трения по всей контактной поверхности.

Вместе с тем во всех случаях, когда на контактной поверхности существует значительная зона прилипания, ни формула Зибеля (16), ни закон Амонтона (13)

не могут служить для точного описания распределения сил трения на протяжении всего очага деформации. В этих случаях для уточненного учета распределения сил трения используются два приема. Первый из них заключается в подборе единой математической формулы (аппроксимирующей функции), выражающей распределение сил трения в соответствии с экспериментальными эпюрами. Например, в работе [81] для случая прокатки полос средней толщины ($l_d/h_{CP} = 1 \div 3$) предлагают использовать формулу

$$t = \tau_c \sin [\pi (x - x_p) / l_d], \quad (161)$$

где x — текущая горизонтальная координата; x_p — расстояние от плоскости выхода до нейтрального сечения (длина зоны опережения).

Формул, аналогичных по смыслу выражению (161), в литературе известно много [1]. Такие формулы (аппроксимирующие функции) позволяют уточнить решение некоторых задач теории обработки давлением. Вместе с тем каждая из формул такого типа относится к частным условиям деформации и, кроме того, многие из них содержат дополнительные эмпирические константы, определение которых затруднительно.

Второй способ уточненного учета распределения сил трения состоит в том, что контактную поверхность делят на отдельные участки и для каждого участка принимают свой, физически наиболее обоснованный закон трения. Такой прием использован в работах [27, 18] и т. д. Решение обычно является сложным и громоздким. Для получения конечных формул необходимо определять границы участков и согласовывать искомые величины на границах.

На основе современных представлений о природе и закономерностях внешнего трения можно теоретически построить эпюру сил трения для любого процесса обработки давлением, если известны некоторые условия на контактной поверхности. Рассмотрим основные операции такого построения применительно к процессу прокатки, как наиболее сложному.

Пусть заданы следующие величины: геометрические параметры h_0, h_1, R , коэффициент трения скольжения f и предел текучести деформируемого металла σ_T . Рассчитав длину очага деформации l_d , необходимо хотя бы ориентировочно определить положение нейтральной точки на дуге контакта (точка n на рис. 63). С этой целью может быть использована формула Эжелунда—Павлова

$$\gamma = 0,5\alpha (1 - \alpha/2\beta), \quad (162)$$

где $\beta = \arctg f$. Расстояние от плоскости выхода до точки n равно $R\gamma$.

Далее необходимо провести через точку n линию, характеризующую изменение сил трения в зоне прилипания. Как свидетельствуют опытные данные, в общем случае эта линия представляет собой некоторую кривую, наклон которой в зонах отставания и опережения часто бывает разным (кривая I на рис. 63). А. И. Целиков [18], уподобляя течение металла в очаге деформации движению вязкой несжимаемой жидкости, вывел теоретическую формулу, выражающую закон распределения сил трения в зоне прилипания:

$$t = \pm (6\eta v_B / h_x) (1 - h_p / h_x), \quad (163)$$

где η — динамическая вязкость металла.

Практическое использование формулы (163) встречает трудности из-за отсутствия численных значений коэффициента η . Для упрощения решения задачи кривую I заменим прямой линией I' (рис. 63, II). Тогда вопрос сводится к определению угла θ , поскольку

$$t = x \operatorname{tg} \theta, \quad (164)$$

где x — расстояние от нейтрального сечения до данной точки на дуге контакта.

Для определения угла θ могут быть использованы экспериментальные данные. В исследовании [39] получена следующая эмпирическая формула:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{m\sigma_T}{0,1a_\sigma} \frac{1 + l_d/h_{CP}}{l_d/a_l}, \quad (165)$$

где σ_σ , МПа/мм и a_l , мм/мм — масштабы величин σ_T и l_d на эпюре.

После проведения линии l' определяют силы трения на участках скольжения. Полагают, что на этих участках действует закон Амонтона, т. е. сила трения в каждой точке пропорциональна нормальному давлению. Распределение давления можно найти по формулам (69) и (70) или по другим, аналогичным по смыслу формулам, приведенным в работах [18. 29].

Если прокатку ведут с натяжением коннов полосы, то следует использовать формулы, учитывающие натяжение. Зная распределение давления, с помощью закона Амонтона (13) строят кривые 2 (рис. 63). Фигура, ограниченная ломаной линией $abnb'a'$ представляет собой искомую эпюру удельных сил трения.

В завершение построения необходимо проверить, не превышают ли удельные силы трения в точках b и b' предельно возможную величину t_{\max} в соответствии

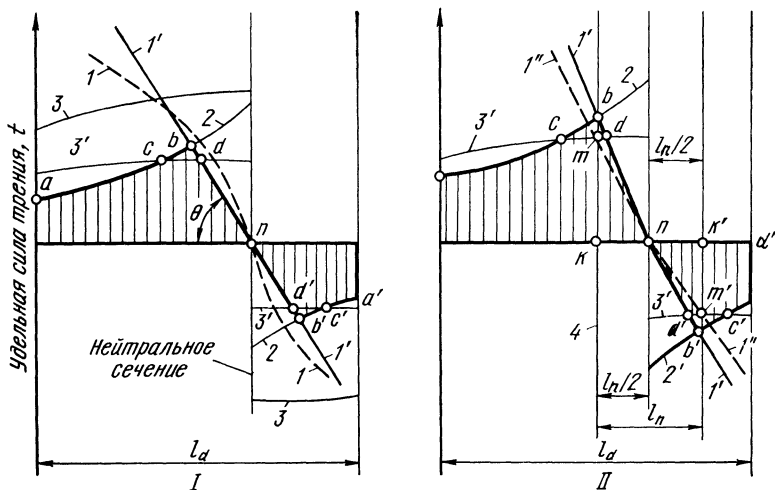


Рис. 63. К теоретическому построению эпюры сил трения при прокатке

с условием (125) или (129). Для этого на рис. 63 дополнительно должны быть проведены линии 3, характеризующие максимальное сопротивление сдвигу на контактной поверхности. Если эти линии занимают положение $3'$, то эпюра сил трения будет ограничена ломаной $acdnd'c'a'$.

Возможен и другой вариант построения эпюр сил трения, который отличается тем, что вместо формул (164) и (165) используют формулы, определяющие длину зоны прилипания, например (123). По обе стороны от точки n откладывают отрезок $l_n/2$, получая точки k и k' (см. рис. 63, II). Через эти точки проводят вертикальные линии 4. Затем, построив кривые 2, находят точки пересечения их с линиями 4 (точки b и b'). Соединяя последние с точкой n прямыми l' , получают картину распределения сил трения в зоне прилипания. Если вершины эпюры сил трения «срезаются» линиями l'' , то распределение сил трения в зоне прилипания будет описываться прямыми l'' , соединяющими точку n с точками m и m' .

Выше рассмотрены пути теоретического определения эпюр удельных сил трения для наиболее распространенных процессов деформации с сухим или смешанным (полусухим, полужидкостным) трением. Вместе с тем ранее было отмечено, что при деформации с применением вязких технологических смазок возможно существование жидкостного трения на контактной поверхности. В этом случае изменение сил трения в зоне контакта описывается законом Ньютона (24). Для определения силы трения в любой точке контактной поверхности надо знать скорость скольжения и толщину слоя смазки в данной точке, а также вязкость смазки.

Например, при прокатке в соответствии с формулой (84) закон распределения сил трения вдоль дуги контакта будет иметь вид

$$t = v_B \frac{\eta}{\xi} \frac{R(\gamma^2 - \varphi^2)}{h_1 + R\varphi^2}, \quad (166)$$

Формулу (166) можно привести к виду [18]

$$t = v_1 \frac{\eta h_1}{\xi} \left(\frac{1}{h_x} - \frac{1}{h_y} \right). \quad (167)$$

Теорию жидкостного трения для определения контактных напряжений при прокатке впервые применил А. Надаи [82]. В своем решении он принял $\eta/\xi = C = \text{const}$. При более строгом использовании формулы (167) следует учитывать изменение величин η и ξ на протяжении дуги контакта. Такое решение содержится в работе [83].

5. Методы экспериментального определения коэффициента трения

5.1. Уточнение понятия «коэффициент трения» применительно к процессам обработки давлением

Термин «коэффициент трения», достаточно ясный и определенный в механическом смысле, при обработке давлением может иметь неоднозначное толкование в связи с особыми кинематическими условиями на контактной поверхности.

При наличии скольжения на контактной поверхности отношение удельной силы трения к нормальному давлению в любой точке дает величину коэффициента трения: $f = t/p$.

Это есть *коэффициент трения скольжения в точке*, соответствующий обычным механическим представлениям. Его величина зависит от физических факторов: шероховатости поверхностей, скорости скольжения, вида смазки и др.

Однако, если на контактной поверхности в очаге деформации существует зона прилипания, то отношение t/p в пределах зоны, где действуют статические (неполные) силы трения, в строгом смысле не является коэффициентом трения. Отношение t/p в зоне прилипания может быть названо только *условным коэффициентом трения*. Ранее отмечалось (п. 4.2), что величина сил трения в зоне прилипания зависит не от физических условий на контактной поверхности, а от внутренних напряжений в деформируемом металле.

В теории обработки давлением под термином «коэффициент трения» обычно подразумевают *средний коэффициент трения* на контактной поверхности; именно эту величину вводят в различные теоретические формулы. Средний коэффициент трения определяют как отношение суммы элементарных сил трения (без учета знака) к сумме нормальных давлений или как отношение средней удельной силы трения к среднему давлению

$$f = \sum t / \sum p = t_{cp} / p_{cp}. \quad (168)$$

Если на контактной поверхности имеется зона прилипания, то величина f является *средним условным коэффициентом трения*. Она должна зависеть от протяженности зоны прилипания, а следовательно, и от геометрических параметров очага деформации. Средний условный коэффициент трения меньше среднего физического коэффициента трения, который наблюдался бы в том случае, если бы скольжение происходило на всей контактной поверхности.

Необходимо также классифицировать коэффициенты трения по стадиям процесса и направлению относительного смещения поверхностей. Так, при прокатке в зависимости от стадии процесса различают: f_3 — коэффициент трения при захвате (в начальный момент захвата полосы валками); $f_{пер}$ — коэффициент трения

на стадии перехода от начального захвата к установившемуся процессу; f_y — коэффициент трения при установившемся процессе прокатки.

Зависимость коэффициента трения от направления скольжения приходится учитывать в связи с анизотропией трения. Например, при прокатке иногда следует различать коэффициент продольного трения и коэффициент поперечного трения. Чаще всего коэффициент трения определяют в направлении наибольшего скольжения.

Для определения коэффициента трения в любой точке контактной поверхности необходимо исследовать распределение удельных сил трения и нормального давления в очаге деформации. Сопоставление эпюр сил трения и давления позволяет получить полное представление об изменении коэффициента трения по контактной поверхности, а также найти его среднее значение как для всего очага деформации в целом, так и на отдельных участках. В этом состоит ценность методов исследования удельных сил трения по всей поверхности контакта.

Вместе с тем, оценивая возможность определения коэффициента трения по экспериментальным эпюрам касательных и нормальных напряжений, нельзя не учитывать следующего.

1. Все существующие методы исследования распределения удельных сил трения по контактной поверхности имеют те или иные недостатки (см. п. 4.4). Оценки точности этих методов противоречивы. Получение истинных эпюр сил трения в некоторой мере остается проблемой.

2. Требуется применение относительно сложных измерительных устройств и аппаратуры. Сложна и трудоемка обработка экспериментальных данных.

Таким образом, широкое использование вышеописанных методов исследования удельных сил трения для изучения влияния различных факторов на величину коэффициента трения практически трудно осуществимо, особенно в производственных условиях.

В настоящей главе рассматриваются относительно простые методы определения среднего (физического или оснвного) коэффициента трения в очаге деформации в однозвных процессах обработки металлов давлением.

5.2. Методы определения коэффициента трения при ковке и штамповке

Метод конических бойков

Предложен С. И. Губкиным в 1934 г. [84]. Ранее аналогичный метод был предложен Э. Зибелем и А. Помпом для определения сопротивления деформации в условиях линейного сжатия. Цилиндрический образец с коническими торцовыми выточками подвергают сжатию между бойками конической формы. Углы конусности бойков и образца должны быть строго одинаковы. Форма боковой грани образца после осадки зависит от соотношения угла конусности α и угла трения β . Из схемы действия сил на контактной поверхности можно сделать вывод, что деформируемый образец сохраняет цилиндрическую форму при условии $\alpha = \beta$. Если $\alpha < \beta$, то образец приобретает выпуклую бочкообразную форму; если $\alpha > \beta$ — вогнутую форму (рис. 64). Коэффициент трения определяют из равенства

$$f = \operatorname{tg} \alpha_{\text{ц}} \quad (169),$$

где $\alpha_{\text{ц}}$ — угол конусности, при котором сохраняется цилиндрическая форма образца. По своей сущности метод близок к известному в механике методу наклонной плоскости. Для проведения опытов надо иметь набор конических бойков, углы которых отличаются один от другого на $1-2^\circ$. Необходимо также иметь набор соответствующих образцов. По мнению автора метода, наиболее точные результаты можно получить, если образцы имеют соотношение размеров $h_0/d_0 = 1,5$ и обжатие составляет $20-25\%$ [28].

Как следует из детального теоретического анализа [85], метод дает несколько завышенные величины f . Ошибка тем значительнее, чем больше отношение диаметра образца к его толщине и чем выше f . Практические трудности при использовании метода связаны с необходимостью изготовления достаточно большого числа образцов и бойков с различной величиной конусности.

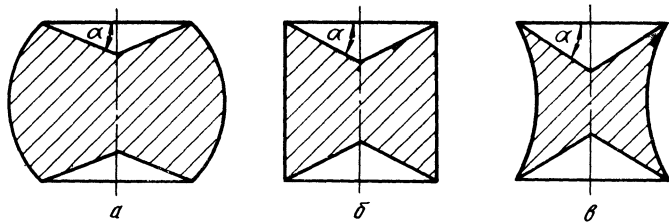


Рис. 64. Изменение формы образца при осадке в зависимости от соотношения углов α и β :
 $a - \alpha < \beta$; $б - \alpha = \beta$; $в - \alpha > \beta$

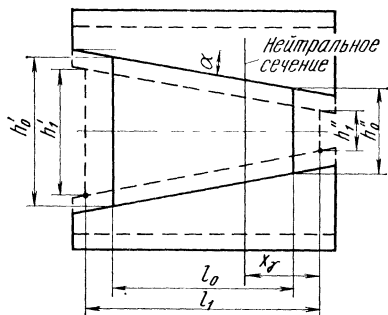


Рис. 65. Схема осадки клиновидного образца в наклонных бойках

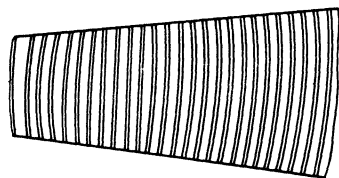


Рис. 66. Вид вертикальных рисок на боковой поверхности клиновидного образца после осадки [86]

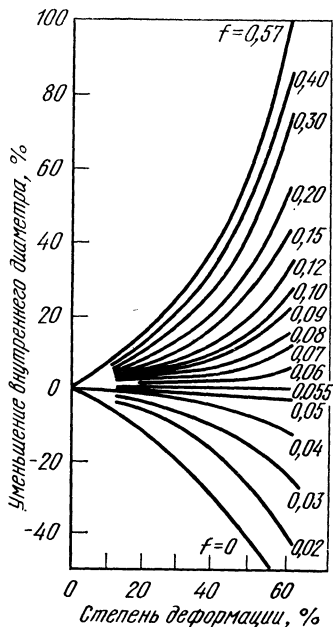


Рис. 67. Кривые для определения коэффициента трения методом осадки кольца [89]

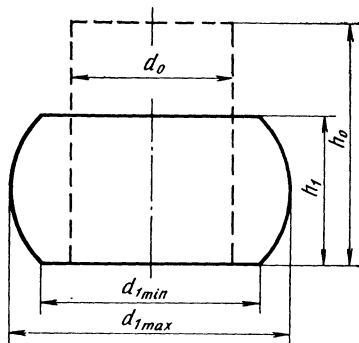


Рис. 68. Бочкообразование при осадке цилиндрического образца

Несмотря на отмеченные недостатки, метод конических бойков может быть рекомендован для определения f с удовлетворительной точностью (при средних значениях f).

Метод осадки клиновидного образца (метод наклонных бойков)

Впервые применен И. Я. Гарновским в 1954 г. [86]. Дополнительная разработка метода содержится в трудах [87, 88]. Клиновидный образец с плоскими гранями осаживают в наклонных бойках (рис. 65). Углы наклона бойков и контактной поверхности образцов должны быть одинаковы и не должны превышать предполагаемого угла трения.

В процессе осадки определяют положение нейтральной линии (границу раздела течения в продольном направлении). С этой целью на боковую поверхность образца перед осадкой наносят вертикальные риски (рис. 66). Положение нейтральной линии можно также определить по внешнему виду контактной поверхности образца после деформации [88]. Коэффициент трения рассчитывают по формуле

$$f = \operatorname{tg} \alpha / (1 - 2x_{\psi} / l_1). \quad (170)$$

Ширина образцов должна быть значительно больше длины, чтобы деформация была близка к плоской. В опыте, который описывается в работе [86], размеры образца были следующими: $h'_0 = 28,8$; $h''_0 = 18,6$; $l_0 = 45,2$; $b_0 = 57,3$; $h'_1 = 25,7$; $h''_1 = 14,2$; $l_1 = 48,0$ мм.

При условии правильного определения положения нейтрального сечения метод позволяет получить достоверные значения f .

Метод осадки кольца

Теоретические основы метода разработаны в 1955—1956 гг. [89]. Практическая возможность измерения коэффициента трения показана в работе [90]. В настоящее время это один из наиболее распространенных методов определения f и оценки эффективности технологических смазок при горячей штамповке.

Опытные образцы имеют форму кольца. Показателем величины сил трения служит изменение внутреннего диаметра кольца при осадке. Теоретически и экспериментально доказано, что при очень низком f (в пределе при $f = 0$) все течение металла идет в радиальном направлении от центра наружу. Таким образом, в этом случае внутренний диаметр кольца при осадке увеличивается ($d_1 > d_0$). Однако с ростом f характер деформации меняется. По ширине кольца возникает раздел течения: часть металла смещается наружу, а другая часть — внутрь, по направлению к центру. В результате при высоком f внутренний диаметр кольца при осадке уменьшается ($d_1 < d_0$). Очевидно, имеется и такое значение f , при котором внутренний диаметр кольца не изменяется ($d_0 = d_1$). Это рубежное (критическое) значение f мало, порядка 0,05—0,06.

На основании теоретического анализа и «калибровки» теоретических зависимостей по экспериментальным данным [90] предложен график для определения f (рис. 67). Этот график справедлив при осадке кольцевых образцов с соотношением размеров $D_0 : d_0 : h_0 = 6 : 3 : 2$. Например, могут быть использованы образцы размерами $D_0 = 72$; $d_0 = 36$; $h_0 = 24$ мм. Величину обжатия принимают 30—50%.

По мнению авторов [89], метод пригоден в основном для определения высоких значений f .

Метод бочкообразования

Предложен С. И. Губкиным и Н. М. Орловым в 1934 г. [84]. Между плоскими параллельными бойками осаживают обычные сплошные цилиндрические образцы. В результате подпирающего действия контактных сил трения образцы при деформации приобретают бочкообразную форму (рис. 68). Чем выше f , тем больше выпуклость боковых граней образца после осадки. Показателем бочкообразности может служить величина

$$\theta = (d_{1\max} - d_{1\min}) / d_{1\max}. \quad (171)$$

С. И. Губкин предложил эмпирическую формулу, связывающую показатель бочкообразности с величиной f . Преобразуя эту формулу, можно определить f по измеренной бочкообразности из выражения

$$f = [6,25\theta (1 - \theta)/(1 + \varepsilon)] (d_0/h_0)^{3/2}, \quad (172)$$

где ε — относительное обжатие.

Рекомендуется определять f при $d_0/h_0 = 1$ и $\varepsilon = 0,25$ [91]. Метод может быть использован только для сугубо ориентировочного определения f . Желателен хотя бы частичный контроль результатов исследования с помощью других методов.

Здесь же следует упомянуть *метод уширения* при осадке прямоугольных образцов, также основанный на изучении формоизменения. Если осадить между плоскими бойками прямоугольную полосу, например размерами $h_0 \times b_0 \times l_0 = 0,25 \times 5 \times 50$ мм, то она приобретает сигарообразную форму в плане. Р. Хилл теоретически проанализировал зависимость между уширением в центральной части образца и величиной f . Эту зависимость и используют для определения f [89]. Отмечается, что метод дает надежные результаты при $\varepsilon > 0,3$ и $f > 0,05$.

Определение коэффициента трения по усилию осадки (метод давления)

Метод предложен давно и в различных вариантах применялся многими авторами. Имеется указание [91], что впервые метод был сформулирован С. Н. Петровым в 1914 г., причем это был первый метод определения f при обработке металлов давлением. Во всех вариантах метода экспериментально определяют усилие осадки. Деление этой величины на площадь контактной поверхности дает среднее нормальное давление p_{cp} .

Если осадке подвергают цилиндрические образцы, то в качестве расчетного выражения может быть принята формула (67). Преобразуя ее относительно величины f_σ , получим

$$f_\sigma = 3h_1 (p_{cp} - \sigma_T) / \sigma_T d_1. \quad (173)$$

Далее необходимо осуществить переход от показателя сил трения f_σ к искомой величине f :

$$f = f_\sigma \sigma_T / p_{cp} = f_\sigma / n_\sigma, \quad (174)$$

где $n_\sigma = p_{cp} / \sigma_T$ — коэффициент подпора.

Таким образом, если в опытах точно измерено контактное давление p_{cp} и правильно определен предел текучести σ_T , то по формулам (173) и (174) можно рассчитать f .

Рассмотрим другие варианты метода давления. Пусть при деформации образца непрерывно регистрируют усилие осадки и обжатие. По опытным данным можно построить график зависимости $p_{cp} = \varphi(\Delta h)$ (рис. 69). Возьмем на этом графике две точки, которым соответствуют давления p_{cp_1} и p_{cp_2} . Предположим, что при увеличении обжатия от Δh_1 до Δh_2 предел текучести металла не изменяется. Тогда, используя формулу (68), находим

$$f_\sigma = \frac{3(p_{cp_2} - p_{cp_1})}{(p_{cp_1} d_2 / h_2) - (p_{cp_2} d_1 / h_1)}. \quad (175)$$

Рассмотренный вариант в литературе называют *методом осадки одного образца* с последовательным измерением давления¹.

Более предпочтительным следует признать *метод осадки двух образцов* разных размеров с одинаковым относительным обжатием. Суть этого варианта заключается в том, что по результатам измерения давления при осадке двух образцов с разным отношением d/h при одинаковом обжатии (например, $\varepsilon = 0,25$) строят график зависимости $p_{cp} = \varphi(d/h)$. В соответствии с формулой (67) предполагают, что эта зависимость является прямолинейной. Поэтому через две экспериментальные точки проводят прямую, отсекающую на оси ординат отрезок,

¹ Именно этот вариант метода давления был предложен С. Н. Петровым.

численно равный σ_T (рис. 70). Определив таким образом значение σ_T , затем подставляют в формулу (173) разность $p_{ср1} - \sigma_T$ либо $p_{ср2} - \sigma_T$, что и позволяет найти величину $f\sigma$. Достоинством метода осадки двух образцов является уточненное определение предела текучести при заданном обжатии.

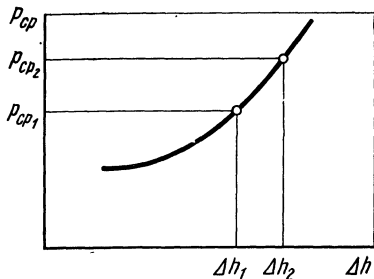


Рис. 69. К определению коэффициента трения по усилию осадки

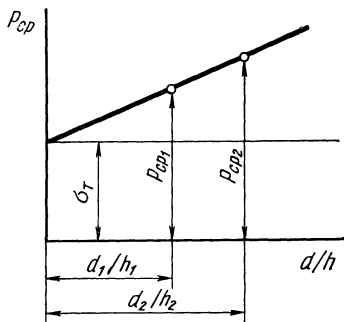


Рис. 70. График зависимости давления от параметра d/h

Имеются рекомендации по применению метода давления для определения f не только в случае простой осадки, но и во многих других процессахковки и штамповки: необходимым условием является лишь наличие формулы для усилия деформации, куда входит f . К числу таких вариантов метода давления относят *методы свертки* [28], *силы прижима* [92] и др.

Отметим еще *метод обжатия цилиндрическими бойками* (закругленными пуансонами), предложенный на основе теоретических разработок по определению деформирующего усилия путем построения полей линий скольжения [93, 94]. Схема проведения опыта показана на рис. 71. Для определения показателя сил трения рекомендуют формулу

$$f^*_{\sigma} = (p^2_{ср}/p^2_{ср\max}) - 0,5, \quad (176)$$

где $p_{ср\max}$ — вертикальное удельное усилие (давление) сжатия при действии максимального возможных сил трения ($t_{\max} = 0,5t_{\sigma T}$).

Практически для определения величины $p_{ср\max}$ производят обжатия бойками с очень закругленной, насеченной поверхностью. При известной величине f^*_{σ} коэффициент трения равен

$$f = f^*_{\sigma} t_{\sigma T} / p_{ср} = f^*_{\sigma} m / n \sigma. \quad (177)$$

Оценивая применимость метода давления для определения f , надо иметь в виду следующее:

1. Все теоретические формулы для расчета усилия деформирования выведены с некоторыми допущениями, поэтому являются приближенными. Например, широко распространенная формула (67) выведена в предположении равномерного распределения сил трения по контактной поверхности и при условии равномерной деформации (без бочкообразования).

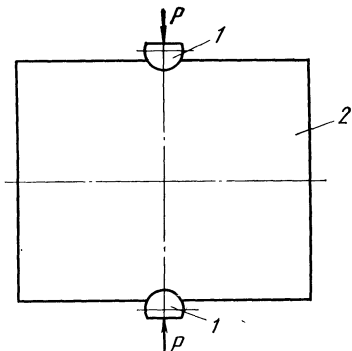


Рис. 71. Обжатие образца между цилиндрическими бойками: 1 — бойки; 2 — образец; P — деформирующее усилие

2. При ударном приложении нагрузки (молотовая ковка) трудно экспериментально с достаточной точностью определить усилие деформации.

3. В теоретические формулы необходимо подставлять истинные значения предела текучести металла с учетом температуры, степени и скорости деформации, схемы нагружения, гидростатического давления и других факторов. Точное определение предела текучести само по себе представляет трудную задачу.

Таким образом, все варианты определения коэффициента трения по усилию деформации должны быть отнесены к числу приближенных. Кроме того, во многих литературных источниках при описании метода давления не делается различия между коэффициентом трения f и показателем сил трения f_{σ} . Формулы (173), (175), (176) рекомендуются непосредственно для расчета коэффициента трения, без учета переходных соотношений (174) и (177). Это вносит дополнительную существенную погрешность в результаты определения коэффициента трения.

Метод осадки со сдвигом

Предложен И. М. Павловым и П. С. Косгычевым в 1950 г. [5]. Суть метода состоит в том, что в процессе осадки деформируемый образец одновременно принудительно смещают в боковом направлении. При проведении опыта регистрируют усилие осадки P и боковую сдвигающую силу Q . Коэффициент трения определяют по формуле

$$f = Q/2P. \quad (178)$$

Идея метода воспроизводит обычную схему трибометрического определения f .

Достоинством метода является прямое измерение сил трения. Вместе с тем методу присущи серьезные недостатки. При смещении деформируемого образца в боковом направлении под действием силы Q существенно изменяются кинематические и силовые условия на контакте: путь и скорость скольжения, распределение нормальных давлений и т. д. О резком изменении физических условий свидетельствуют следы, остающиеся на поверхности бойков после смещения образца [95]. Вследствие этого определяемые величины f могут значительно отличаться от таковых при обычной осадке. По-видимому, более правильные результаты могут быть получены при измерении сил P и Q в начальный момент сдвига.

Применение метода требует создания специальной экспериментальной установки.

Метод вытяжки с уточнением

Метод предназначен для определения f между пуансоном и листовой заготовкой в операциях типа вытяжки. Он предложен Ю. П. Казаковым в 1972 г. [117].

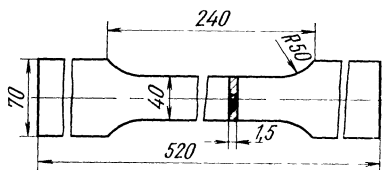


Рис. 72. Образец для испытания на вытяжку с определением коэффициента трения [117]

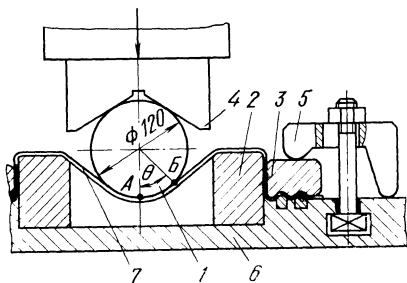


Рис. 73. Установка для определения коэффициента трения при вытяжке [117]:

1 — пуансон; 2 — матрица; 3 — прижим; 4 — ползун; 5 — струбулина; 6 — плита; 7 — образец

При деформации образца (рис. 72) по схеме, указанной на рис. 73, его утонение в точках А и В будет различным: в точке А оно меньше, чем в точке В, что объясняется подпирающим действием контактных сил трения. Соответственно упроч-

нение металла при деформации в точках A и B также будет различным. Из условия равновесия моментов можно найти величину равнодействующей сил трения на контактной поверхности

$$T = \sigma_{TB} h_{1B} - \sigma_{TA} h_{1A}, \quad (179)$$

где σ_{TA} и σ_{TB} — предел текучести металла в точках A и B с учетом упрочнения; h_{1A} и h_{1B} — толщина образца после испытания в тех же точках.

Из условия равновесия сил в горизонтальной плоскости определяют величину равнодействующей нормальных сил

$$P = \sigma_{TB} h_{1B} (\sin\theta/\cos\theta_0) - T \operatorname{tg}\theta_0, \quad (180)$$

где θ — половина угла охвата пуансона; θ_0 — угол приложения равнодействующих P и T .

Угол θ_0 определяют по формуле

$$\sin\theta_0 = \frac{T\sigma_{TB}h_{1B}\sin\theta - (\sigma_{TB}h_{1B}\cos\theta - \sigma_{TA}h_{1A})\sqrt{2\sigma_{TA}h_{1A}\sigma_{TB}h_{1B}(1-\cos\theta)}}{(\sigma_{TB}h_{1B}\cos\theta - \sigma_{TA}h_{1A})^2 + \sigma_{TB}^2 h_{1B}^2 \sin^2\theta}. \quad (181)$$

Средний коэффициент трения на контактной поверхности составляет $f = T/P$.

Для расчета по формулам (179) и (181) необходимо измерить толщину образца h_{1A} и h_{1B} в точках A и B , найти степень деформации в этих точках $\varepsilon_A = \ln(h_0/h_{1A})$ и $\varepsilon_B = \ln(h_0/h_{1B})$, а далее по кривой упрочнения данного металла определить значения пределов текучести σ_{TA} и σ_{TB} . Половину угла охвата пуансона θ определяют путем прямого измерения дуги (хорды) охвата.

При малых значениях угла θ и близких значениях h_{1A} и h_{1B} даже небольшая погрешность в определении этих величин может привести к существенному искажению результатов исследования. Дополнительная погрешность вносится из-за расхождения между фактическими прочностными свойствами испытываемого образца и усредненными данными, принятыми при построении кривой упрочнения. Поэтому метод пригоден для ориентировочной оценки величины f в условиях, когда действуют относительно высокие силы трения; при этом необходимо обеспечить достаточно большие углы охвата пуансона.

5.3. Методы определения коэффициента трения при прокатке

В настоящее время известно около 20 методов исследования коэффициента трения при прокатке [1]. К их числу относятся методы максимального угла захвата, предельного обжатия, принудительного торможения полосы, максимального усилия торможения, крутящего момента, комбинированный, торможения одного валка [96], опережения, давления, максимального опережения, уширения, обработки эпюр контактного давления, работы прокатки, максимального давления, прокатки на минимально возможную толщину, прокатки в валках с переменным радиусом.

Из перечисленных методов первый служит для определения коэффициента трения при захвате f_z , все остальные для определения коэффициента трения на контактной поверхности при установившемся процессе прокатки f_y . Ниже описаны наиболее распространенные и апробированные методы.

Метод максимального угла захвата

Постановка опыта заключается в следующем. Образец с небольшим усилием прижимают к вращающимся валкам, которые устанавливают с таким зазором, чтобы захват сначала не происходил. Затем валки постепенно разводят до тех пор, пока

не осуществится захват. По соответствующему обжатию Δh_{\max} вычисляют максимальный угол захвата

$$\alpha_{\max} = \arcs \cos (1 - \Delta h_{\max}/D). \quad (182)$$

В некоторых случаях, в частности при холодной прокатке, для более точного определения максимального угла захвата необходимо учитывать «пружину» рабочей клетки. Тогда применяют формулу

$$\alpha_{\max} = \arccos [1 - (\Delta h_{\max} + \delta)/D], \quad (183)$$

где δ — «пружина» клетки ($\delta = h_1 - h$); h_1 — конечная толщина образца; h — высота зазора между ненагруженными валками.

Коэффициент трения определяют из выражения

$$f_z = \operatorname{tg} \alpha_{\max}. \quad (184)$$

По своей сущности метод максимального угла захвата подобен известному в механике методу наклонной плоскости. Впервые этот метод был использован в 1924—1927 гг. в работах В. Тафеля и Е. Шнейдера [97] и С. Эжелунда [98].

Задача образцов в валки может осуществляться как вручную, так и с помощью устройств, обеспечивающих небольшое и постоянное усилие прижатия. Для уменьшения истирания кромок образца желательно валки устанавливать с таким начальным зазором, чтобы время разведения их до возникновения захвата было минимальным. Метод максимального угла захвата позволяет получить достаточно достоверные значения коэффициента трения при захвате. Опыты могут быть проведены не только в лабораторных, но и в производственных условиях.

Метод принудительного торможения полосы

Предложен И. М. Павловым в 1934 г. [99]. Теоретические основы и методика проведения экспериментов уточнены А. П. Грудевым [1].

Для определения коэффициента трения f_y к заднему концу прокатываемой полосы прикладывают тормозящее усилие, достаточное для остановки полосы в валках. В момент возникновения буксования на полосу действуют следующие силы (рис. 74): равнодействующая нормальных давлений на контактной поверхности N , равнодействующая элементарных сил трения T и усилие торможения Q . Вертикальные составляющие сил N и T дают силу P , воспринимаемую нажимными винтами рабочей клетки. При проведении опыта измеряют силы P и Q . Из условий равновесия всех приложенных к полосе сил в горизонтальной и вертикальной плоскости выводят формулу для определения коэффициента трения

$$f_y = \frac{(Q/2P) + \operatorname{tg} \psi}{1 - Q \operatorname{tg} \psi/2P}, \quad (185)$$

где ψ — угол, характеризующий положение точки, где приложены силы N и T . Практически принимают $\psi = \alpha/2$, поэтому расчеты выполняют по формуле

$$f_y = \frac{(Q/2P) + \operatorname{tg} (\alpha/2)}{1 - Q \operatorname{tg} (\alpha/2)/2P}. \quad (186)$$

Формулу (186) можно привести к виду

$$\beta_y = (\operatorname{arctg} Q/2P) + \alpha/2, \quad (187)$$

где β_y — угол трения ($\operatorname{tg} \beta_y = f_y$).

В ранних работах [99, 100] для вычисления коэффициента трения применяли формулу

$$f_y = (Q/2P) + \operatorname{tg}(\alpha/2). \quad (188)$$

При выводе формулы не учитывали вертикальную составляющую силы T ; эта формула менее точна, чем формулы (186) и (187). Однако, как показывают расчеты, расхождение не превышает 5—6 %.

Помимо величины f_y , методом принудительного торможения можно определить среднюю удельную силу трения на контактной поверхности

$$t_{cp} = T/b_{cp} \sqrt{R\Delta h}, \quad (189)$$

где b_{cp} — средняя ширина полосы в очаге деформации.

Силу T находят по формуле

$$T = P \sin(\alpha/2) + 0,5Q \cos(\alpha/2). \quad (190)$$

Метод принудительного торможения по своей сущности близок к обычному трибометрическому методу исследования f .

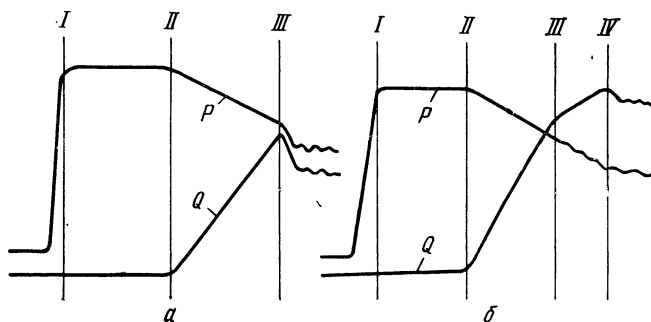


Рис. 75. Осциллограммы изменения сил Q и P в процессе торможения

Важнейшим условием правильного определения коэффициента трения методом торможения является измерение сил P и Q в начальный момент возникновения буксования (теоретически, когда опережение падает до нуля, но деформация еще продолжается). В связи с этим при проведении опытов необходимо применять малоинерционную, самопишущую измерительную аппаратуру.

Конструкции устройств для торможения полосы в валках описаны в работах [1, 101, 102]. Обычно такие устройства снабжают амортизационной пружиной, обеспечивающей плавное нарастание усилия торможения Q .

Вид осциллограмм сил Q и P бывает различным. Он зависит от условий трения, жесткости рабочей клетки и других факторов. Две характерные осциллограммы процесса торможения, полученные при холодной прокатке, показаны на рис. 75. Отметим некоторые особенности их расшифровки. Сечение I соответствует моменту захвата образца валками. На участке I—II идет обычный процесс прокатки без заднего натяжения. В сечении II начинает действовать сила торможения Q . Она постепенно растет, и одновременно снижается усилие прокатки P . В сечении III (рис. 75, а) сила Q достигает предельной величины; далее происходит срыв валков относительно поверхности образца, т. е. возникает буксование. Таким образом, при расчете коэффициента трения следует брать значение сил Q и P в сечении III.

На осциллограмме этого типа момент начала буксования выявляется очень четко по скачкообразному падению сил Q и P (иногда сила Q уменьшается мало). Более трудна для обработки осциллограмма, показанная на рис. 75, б. Она отличается тем, что на линии силы Q имеется некоторый перегиб (сечение III), после чего сила Q продолжает расти, хотя и медленно (участок III—IV). Она

достигает предельной величины в сечении IV. Уменьшение крутизны подъема линии Q на участке III—IV означает, что образец продвигается через валки с пониженной скоростью при непрерывном проскальзывании. Иногда сила Q на участке III—IV претерпевает значительные колебания, что само по себе свидетельствует о пробуксовках. Следовательно, и в этом случае при расчете коэффициента трения надо брать значения сил Q и P в сечении III, а не в сечении IV.

Для более точного выявления момента возникновения сплошного однозначного скольжения на контактной поверхности целесообразно вести непрерывную регистрацию скорости движения образца в процессе торможения.

В работе [103] предложено осуществлять торможение образцов путем создания переднего подпора. С этой целью со стороны выхода металла из валков устанавливаются упор с месдозой, измеряющий силу Q . В некоторых случаях, в частности при горячей прокатке, такой способ торможения удобен, так как при этом не теряется время на закрепление образца в захвате. Возможно применение метода принудительного торможения для исследования коэффициента трения при прокатке в калибрах [104]. При соблюдении вышеуказанных условий проведения экспериментов метод принудительного торможения позволяет достаточно точно определить величину физического коэффициента трения в очаге деформации.

Метод крутящего момента

Предложен Д. Р. Блендом и Г. Фордом в 1948 г. [105]. Метод основан на измерении так называемого «чистого» крутящего момента на бочке вала (с вычетом потерь на трение в подшипниках). Определяется также усилие прокатки. Измерения выполняют при наличии сплошного однозначного скольжения на контактной поверхности (опережение равно нулю или отрицательно). Такие кинематические условия создаются либо вследствие приложения к полосе заднего натяжения, либо путем применения предельного обжатия. Коэффициент трения определяют по формуле

$$f_y = M/RP, \quad (191)$$

где M — «чистый» крутящий момент на бочке одного вала.

Одним из вариантов метода крутящего момента является исследование f с помощью валкового горсиометра [106]. Этим способом находят непосредственно величину равнодействующей сил трения T .

Данный метод по идее аналогичен обычному трибометрическому методу определения f . Расчетная формула (191) достаточно точна. Основная трудность при проведении опытов заключается в правильном определении «чистого» крутящего момента. Обычно его измеряют на шпинделях, передающих вращение валкам. С этой целью на шпиндели наклеивают проволочные датчики или применяют крутильные динамометры разных типов. Для определения крутящего момента на бочке необходимо из замеренного момента на шпинделе $M_{\text{шп}}$ вычесть момент сил трения в подшипниках валков $M_{\text{т.п}}$:

$$M = M_{\text{шп}} - M_{\text{т.п}}. \quad (192)$$

Для определения $M_{\text{т.п}}$ чаще всего поступают следующим образом. Валки смазывают маслом и во время холостого вращения прижимают их один к другому с разным усилием, измеряя при этом крутящий момент. Полагают, что измеряемый момент равен $M_{\text{т.п}}$. Полученную зависимость $M_{\text{т.п}} = \varphi(P)$ используют для определения искомого момента M .

Известно предложение по определению «чистого» крутящего момента методом вращающихся подшипников [107]. Суть предложения состоит в том, что вкладыши подшипников получают вращение от самостоятельного привода. При равенстве чисел оборотов вкладышей и валков потери на трение в шейках исключаются. Метод не получил широкого распространения из-за трудности его конструктивного оформления.

В ряде работ [10, 108] предлагается определять f по величине крутящего момента, измеренного при обычном (непредельном) процессе прокатки, без создания условий однозначного скольжения в очаге деформации. Этот вариант метода крутящего момента значительно отличается от описанного выше как по своей сущ-

ности, так и в расчетной части. В этом случае коэффициент трения определяют по формуле

$$f_y = M / \rho_{cp} b_{cp} R^2 (\alpha - 2\gamma). \quad (193)$$

Найденная по формуле (193) величина f_y представляет собой средний условный коэффициент трения при установившемся процессе прокатки. Достоверность расчетной величины f_y зависит в основном от точности определения разности $\alpha - 2\gamma$. В этом отношении имеется полная аналогия с методом опережения, который рассматривается ниже. Необходимость определения нейтрального угла γ снижает достоверность результатов исследования f .

Все имеющиеся в литературе материалы позволяют заключить, что метод крутящего момента (в основном варианте) относится к числу наиболее надежных методов определения физического коэффициента трения, а также средней удельной силы трения в очаге деформации.

Комбинированный метод

Предложен А. П. Грудевым в 1962 г. [109]. Метод основан на измерении усилия торможения Q и крутящего момента M . Он является как бы комбинацией методов принудительного торможения и крутящего момента, дополняя их.

Коэффициент трения определяют по формуле

$$f_y = \frac{(2M \sin \alpha / RQ\alpha) \operatorname{tg} (\alpha/2)}{(2M \sin \alpha / RQ\alpha) - 1}. \quad (194)$$

Если принять допущения $\sin \alpha / \alpha \approx 1$ и $\operatorname{tg} (\alpha/2) \approx \alpha/2$, то расчетная формула принимает вид

$$f_y = \alpha M / (2M - RQ). \quad (195)$$

Комбинированный метод целесообразно применять в совокупности с методами принудительного торможения и крутящего момента. Если при торможении образца в валках измеряют три параметра: P , Q и M , то f можно определить параллельно тремя указанными методами. Это повышает надежность результатов исследования. Метод экспериментально проверен в работе [110].

Метод предельного обжатия

В процессе прокатки тем или иным способом постепенно повышают обжатие, а следовательно, и величину угла контакта. В определенный момент, когда резерв втягивающих сил трения уже исчерпан, возникает буксование валков по металлу. Коэффициент трения находят из условия захвата при установившемся процессе прокатки

$$\alpha_{\max} = n\beta_y, \quad (196)$$

где $n = \alpha_{\max} / \psi$, ψ — угол приложения равнодействующей сил нормального давления.

Практически всегда принимают $\psi = \alpha/2$, при этом $n = 2$. Условие захвата используют в виде

$$\alpha_{\max} = 2\beta_y. \quad (197)$$

Коэффициент трения будет равен

$$f_y = \operatorname{tg} (\alpha_{\max}/2). \quad (198)$$

Максимальный угол контакта рассчитывают по формуле

$$\alpha_{\max} = \arccos (1 - \Delta h_0 / D), \quad (199)$$

где Δh_0 — обжатие, при котором начинается буксование валков по металлу.

Метод предельного обжатия подобен методу наклонной плоскости. Если допустить, что перед возникновением буксования опережение становится равным нулю и зона прилипания на контактной поверхности полностью исчезает, то можно

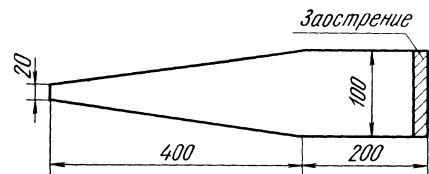
сделать вывод, что рассматриваемый метод позволяет найти физический коэффициент трения.

Возможность определения f из условия (197) впервые была указана в работах В. Е. Грум-Гржимайло, относящихся к началу XX в. (1909 г.) [111]. На практике первое определение f было сделано Т. Далем [112]. Оценка достоверности результатов метода сводится в основном к оценке точности условия захвата (197). Формулирование предельного условия захвата при установившемся процессе относится к числу сложных и не вполне решенных вопросов теории прокатки. Выражение (197) следует рассматривать только как формулу первого приближения. Следовательно, и величины f , найденные с помощью этой формулы, являются в той или иной мере приближенными.

Специальные исследования [1] показывают, что при проведении опытов на сухих валках наиболее надежные результаты могут быть получены при прокатке образцов средней толщины, когда $R/h_1 \approx 8 \div 10$, $l_d/h_{cp} \approx 2,0 \div 2,4$. В случае применения технологических смазок толщина образцов не оказывает заметного влияния на результаты опытов.

С целью постепенного увеличения обжатия в процессе прокатки и достижения предельного угла контакта в опытах чаще всего применяют клиновидные или ступенчато-клиновидные образцы, задаваемые в валки тонким концом. Желательно, чтобы угол клиновидности был небольшим.

Рис. 76. Образец переменной ширины для определения максимального угла контакта и коэффициента трения (вид сверху)



Окончательной остановке предшествует серия предварительных кратковременных пробуксовок. По-видимому, в момент буксования силы трения возрастают, благодаря чему образец продвигается на некоторое расстояние вперед; затем следует новая пробуксовка.

Если при расчете f исходить из обжатия, полученного при полной остановке образца в валках, то найденные значения его будут завышенными. Они будут соответствовать процессу длительного скольжения валков по металлу. Для более правильного определения величины f необходимо найти начальную высоту образца и обжатие в том месте, где произошла первая явная пробуксовка (следы на образце заметны). Эта задача облегчается, если на боковую поверхность образца перед прокаткой нанести сетку вертикальных рисок. Вместо клиновидных образцов можно прокатывать обычные прямоугольные образцы с утонненными передними концами, меняя установку валков.

При холодной тонколистовой прокатке изготовление клиновидных образцов встречает затруднения. В связи с этим А. П. Грудев предложил применять образцы постоянной толщины, но переменной ширины [113]. Форма таких образцов показана на рис. 76 (один из возможных вариантов, толщина образца 4 мм). Образец задает в валки широким концом. По мере прохождения его через валки усилие прокатки падает, «пружина» рабочей клетки уменьшается и соответственно растет обжатие. При надлежащем выборе обжатия в процессе прокатки возникает буксование.

Образцы переменной ширины применяли для исследования f при холодной прокатке на лабораторных и промышленных станах.

Метод опережения

Предложен И. М. Павловым в 1934 г. [99]. Постановка опыта заключается в том, что при установившемся процессе прокатки измеряют величину опережения. Обычно с этой целью применяют метод керновых отпечатков. На поверхности валка делают две отметки на некотором расстоянии l_B друг от друга по окружности валка. После прокатки измеряют расстояние l_H между соответствующими отпечатками на поверхности полосы. Опережение S составляет

$$S = (l_H - l_B)/l_B \quad (200)$$

При горячей прокатке действительное расстояние между отпечатками на полосе при выходе ее из валков рассчитывают по формуле

$$l_{\Pi} = l_{\Pi, x} (1 + \alpha_t \Delta t), \quad (201)$$

где $l_{\Pi, x}$ — расстояние между отпечатками на холодной полосе; α_t — коэффициент теплового расширения металла; Δt — разность температур прокатки и окружающей среды.

Определив из опыта величину S , далее с помощью преобразованной формулы опережения Финка находят величину нейтрального угла γ

$$\cos \gamma = (D + h_1)/2D + \sqrt{[(D + h_1)/2D]^2 - h_1(1 + S)/D}. \quad (202)$$

С этой же целью может быть использована упрощенная формула опережения Головина—Дрездена

$$\gamma = \sqrt{Sh_1/R}. \quad (203)$$

Найденное таким путем значение угла γ подставляют в формулу Эжелунда—Павлова (162), решенную относительно искомого угла трения β_y

$$\beta_y = \alpha^2/2 (\alpha - 2\gamma). \quad (204)$$

При прокатке узких образцов, когда имеет место значительное уширение, расчет величины γ и β_y следует вести с учетом поперечной деформации [114, 115]. Результаты определения f методом опережения зависят главным образом от точности расчетных формул (202) и (204). Они получены на основе ряда допущений и более справедливы при прокатке тонких полос, когда отношение длины дуги контакта к средней толщине полосы достаточно велико.

Накопленный экспериментальный материал позволяет сделать вывод, что метод опережения дает реальные значения f при величине отношения $l_d/h_{cp} > 3-4$. При более низких значениях f получается завышенным, а при $l_d/h_{cp} < 1$ совершенно неправдоподобным.

Если на контактной поверхности существует зона прилипания, то определяемые величины f_y представляют собой средний условный коэффициент трения.

Следует отметить простоту метода опережения. Этим объясняется относительно частое его применение в различных исследованиях.

Метод давления

По своей сущности метод не отличается от определения f по усилию осадки. При установившемся процессе прокатки с помощью мессоз измеряют полное давление на валки. Далее подбирают такое значение f_y , которое, будучи подставленным в одну из теоретических (наиболее обоснованных) формул давления, обеспечивает совпадение экспериментальных и расчетных величин ρ_{cp} .

Впервые метод определения f при прокатке был применен в работе [116]. В дальнейшем этот метод применяли во многих других работах.

Довольно широкое распространение метода объясняется простотой проведения эксперимента: необходимо измерить только усилие прокатки, что осуществляется достаточно просто, в том числе и на промышленных станах. Вместе с тем достоверность найденных величин f_y не может быть признана высокой. Этому методу, примененному при прокатке, присущи те же серьезные недостатки, которые были указаны при анализе метода определения f по усилию осадки. Кроме того, надо дополнительно отметить некоторые обстоятельства, отрицательно влияющие на точность метода.

1. При прокатке тонких полос, когда давления очень велики, возникает необходимость в учете упругой деформации (сплющивания) валков. Существующие теоретические формулы для расчета сплющивания являются приближенными.

2. При прокатке толстых полос на величину давления значительно влияют внешние зоны («жесткие концы»), примаыкающие к очагу деформации; это влияние в большинстве случаев учитывается приближенными эмпирическими коэффициентами.

Изложенное приводит к выводу, что при современном состоянии теории прокатки метод давления не может быть отнесен к числу надежных способов оп-

ределения численных значений f . Метод пригоден в основном для приближенного исследования влияния факторов и условий деформации на величину сил трения. Относительно более достоверные результаты получаются при прокатке тонких образцов, когда зависимость между давлением и трением выражена резко.

5.4. Методы определения коэффициента трения при волочении

Метод вращающейся фильеры

Предложен Г. Заксом в 1931 г. [28]. Экспериментальная часть метода состоит в измерении тягового усилия при волочении через неподвижную волоку и при вращении той же волоки вокруг продольной оси от специального двигателя. Предполагается, что напряжение волочения q складывается из двух составляющих

$$q = \sigma_{\text{деф}} + t_x, \quad (205)$$

где $\sigma_{\text{деф}}$ — «чистое» сопротивление деформации; t_x — продольная составляющая сил трения.

При волочении через неподвижную волоку $t_x = t$, а при вращении волоки $t_x = t \cos \theta$, где θ — угол между силой трения и ее продольной составляющей. Тогда

$$\cos \theta = \Delta v_{x_{\text{ср}}} / \sqrt{\Delta v_{x_{\text{ср}}}^2 + v_{\text{вр}}^2}, \quad (206)$$

где $\Delta v_{x_{\text{ср}}}$ — средняя продольная скорость скольжения, определяемая по формулам (95) или (96); $v_{\text{вр}}$ — средняя окружная скорость вращения волоки (по длине рабочего канала).

Для определения коэффициента трения применяют формулу:

$$f = \frac{1 - q_{\text{вр}}/q}{1 - \cos \theta} \operatorname{tg} \alpha, \quad (207)$$

где $q_{\text{вр}}$ — напряжение волочения при вращении волоки.

Метод вращающейся фильеры имеет три крупных недостатка.

1. Напряжениe волочения q не может быть представлено в виде простой суммы независимых составляющих $\sigma_{\text{деф}}$ и t_x , как принято в исходной формуле (205). Величины $\sigma_{\text{деф}}$ и t_x в любом сечении очага деформации связаны между собой дифференциальным уравнением равновесия сил. Поэтому теоретические основы метода нельзя признать вполне корректными.

2. При вращении волоки существенно изменяются условия поступления смазки в очаг деформации.

3. Для проведения опытов требуется создание сложной экспериментальной установки.

Таким образом, метод вращающейся фильеры не может быть рекомендован для исследования f . Описание этого метода в литературе имеет в большей степени историческое, чем практическое значение.

Метод разрезной волоки

Предложен А. А. Динником в 1951 г. [118]. Определение коэффициента трения основано на измерении усилия волочения и боковой распорной силы при протяжке через волоку, состоящую из двух половин. Первые опыты были проведены при волочении через плоскую волоку без калибрующего пояска [118]. Схема сил в этом случае показана на рис. 77. Распорная сила M , воспринимаемая боковой месдозой, составляет

$$M = P \cos \alpha - T \sin \alpha = P (\cos \alpha - f \sin \alpha). \quad (208)$$

Схема прибора для определения f показана на рис. 78. Прибор устанавливают на разрывной машине.

Из уравнений равновесия сил в горизонтальной и вертикальной плоскости получена формула

$$\operatorname{tg}(\alpha + \beta) = Q/2M, \quad (209)$$

откуда определяют угол трения

$$\beta = \operatorname{arctg}(Q/2M) - \alpha. \quad (210)$$

Формула (209) также может быть приведена к виду

$$f = \frac{(Q/2M) - \operatorname{tg} \alpha}{1 + (Q \operatorname{tg} \alpha)/2M}. \quad (211)$$

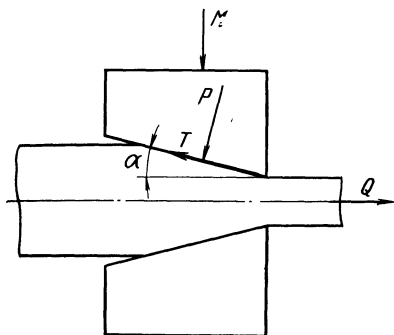
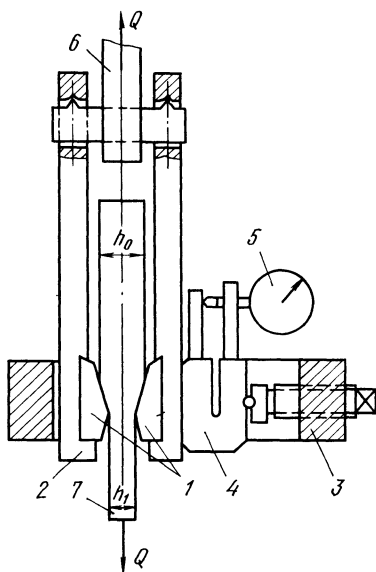


Рис. 77. Схема действия сил при волочении

Рис. 78. Схема прибора для определения коэффициента трения при волочении [118]: 1 — плоская волока (пласки); 2 — планки; 3 — рамка; 4 — месдоза; 5 — индикатор; 6 — тяга; 7 — образец



При волочении тела круглого сечения (прутка, трубы) f рассчитывают по формуле

$$f = \frac{(Q/\pi M) - \operatorname{tg} \alpha}{1 + (Q \operatorname{tg} \alpha)/\pi M}. \quad (212)$$

При наличии измерителей тягового усилия Q и распорной силы M определение коэффициента трения может быть осуществлено непосредственно на волочильном стане.

Метод разрезной волоки позволяет получить достаточно достоверные данные по коэффициенту трения.

Метод усилия волочения

По своей идее подобен методам определения коэффициента трения по давлению при осадке и прокатке. В процессе волочения измеряют тяговое усилие Q . В одну из теоретических (наиболее обоснованных) формул усилия волочения подставляют значения предела текучести металла и геометрические параметры; затем подбирают такое значение f , при котором достигается совпадение экспериментальных и расчетных данных по напряжению волочения.

Для расчетов рекомендуется формула [119]:

$$q = 1,02 \sigma_{\text{Т ср}} \{ (a + 1) [1 - (F_1/F_0)^a] / a + 0,1 (F_1/F_0)^a \}, \quad (213)$$

где $a = \cos^2 \beta (1 + f \operatorname{ctg} \alpha_{\Pi}) - 1$; α_{Π} — приведенный угол конусности волокни; $\operatorname{tg} \alpha_{\Pi} = (d_0 - d_1)/2 (l_d + l_k)$, (214)

l_k — длина калибрующего пояска.

Формула (213), как и другие теоретические формулы для расчета усилия волочения, выведена с некоторыми допущениями и не может быть признана совершенно точной. Кроме того, практически очень трудно определить величину среднего предела текучести металла σ_{TCP} с учетом всех факторов деформации. Поэтому найденные по усилию волочения значения f следует рассматривать как приближенные.

Трение на оправке

При волочении труб на короткой неподвижной цилиндрической оправке продольное усилие $Q_{\text{оп}}$, действующее на стержень оправки, согласно работе [119], составляет

$$Q_{\text{оп}} = \pi r_{\text{оп}} l_d \operatorname{оп} f (\sigma_{\text{Tx}} - q_x + \sigma_{\text{T1}} - q), \quad (215)$$

где $r_{\text{оп}}$ — радиус оправки; $l_{\text{доп}}$ — длина очага деформации на оправке; σ_{Tx} — предел текучести в конце зоны осадки; q_x — напряжение волочения в конце зоны осадки; σ_{T1} — предел текучести на выходе; q — напряжение волочения.

В работе [120] предложено использовать формулу (215) для определения коэффициента трения:

$$f = Q_{\text{оп}} / [\pi r_{\text{оп}} l_{\text{доп}} (\sigma_{\text{Tx}} - q_x + \sigma_{\text{T1}} - q)]. \quad (216)$$

Все величины, входящие в формулу (216), определяются экспериментально. Напряжение q_x может быть найдено путем безоправочного волочения с соответствующим обжатием. Пределы текучести σ_{Tx} и σ_{T1} определяют по кривой упрочнения. Расчеты по формуле (216) дают коэффициент трения между оправкой и внутренней поверхностью трубы. Точность метода невысокая.

5.5. Методы определения коэффициента трения при прессовании

Метод усилия прессования

Разработан С. И. Губкиным и первоначально назван *методом истечения* [28]. В процессе прессования (выдавливания) измеряется действующая на пуансон сила P . На рис. 79 показана кривая изменения усилия прессования при выдавливании заготовки исходной длиной l_0 . С целью определения коэффициента трения между металлом и стенкой контейнера при установившемся прессовании фиксируют два значения силы P_1 и P_2 , соответствующие длине заготовки в контейнере l_1 и l_2 .

Предполагается справедливой следующая теоретическая формула усилия прессования:

$$P = 0,25\pi D^2 = [(\sigma_{\text{м}} + \sigma_{\text{TCP}}) e^{fk/D} - \sigma_{\text{TCP}}] 0,25\pi D^2, \quad (217)$$

где D — диаметр пуансона; $\sigma_{\text{м}}$ — продольное напряжение вблизи матрицы; σ_{TCP} — средний предел текучести металла; k — коэффициент, учитывающий неравномерное распределение деформации в объеме заготовки, $k = D/2l + 0,1$.

Коэффициент трения рассчитывают по формуле:

$$f = [D/4 (l_1 k_1 - l_2 k_2)] \ln [(p_1 - \sigma_{\text{TCP}})/(p_2 - \sigma_{\text{TCP}})], \quad (218)$$

где p_1 и p_2 — давление на контактной поверхности пуансона при длине заготовки в контейнере соответственно l_1 и l_2 .

С. И. Губкин отмечал [28], что если очаг деформации распространяется не на всю длину заготовки (слитка), то следует пользоваться формулой

$$f = (p_1 - p_2) D / [4 (p_2 l_1 k_1 - p_1 l_2 k_2)]. \quad (219)$$

По мнению С. И. Губкина, рассмотренный метод определения f достаточно точен. Однако такая оценка не имеет убедительных оснований. Базовая формула (217) является приближенной. Метод не прошел широкой экспериментальной проверки.

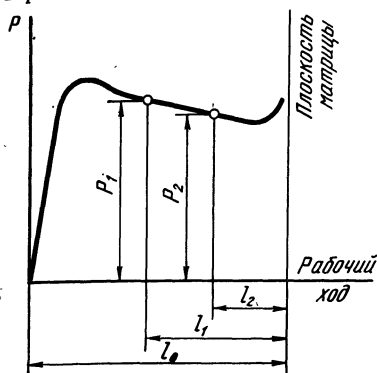
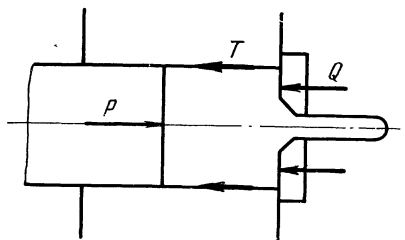


Рис. 79. Типичная диаграмма изменения деформируемой силы в процессе прессования

Рис. 80. Схема действия сил на металл в процессе прессования



Метод двух месдоз

Предложен А. В. Прозоровым в 1956 г. [121]. Одна из месдоз измеряет давление на пуансон, вторая — давление на матрицу¹. Силы, действующие на металл, показаны на рис. 80. При продвижении пуансона величины сил P , Q и T изменяются, но все время выполняется условие равновесия

$$P = T + Q. \quad (220)$$

Из этого условия, замерив P и Q , можно найти величину силы трения T и коэффициента трения

$$f = D [(p_1 - q_1) - (p_2 - q_2)] / 2 (l_1 - l_2) / (p_1 + p_2). \quad (221)$$

Величины p_1 , p_2 , q_1 , q_2 в формуле (221) определяют путем деления сил P и Q на площадь $\pi D^2/4$ при длине заготовки в контейнере соответственно l_1 и l_2 . При выводе формулы (221) принято, что среднее радиальное давление на стенку контейнера составляет:

$$\sigma_{r\text{ср}} = (p_1 + p_2) / 2. \quad (222)$$

Метод позволяет с достаточно высокой достоверностью определить f между металлом и стенкой контейнера.

6. Зависимость коэффициента трения от факторов деформации

6.1. Влияние состава и свойств деформируемого металла

В литературе накоплен значительный материал по сравнительному исследованию коэффициента трения при деформации различных металлов и сплавов. Часть этих материалов приведена ниже.

Коэффициент трения, определяемый методом конических бойков (сталь 3Х12), при осадке сухих поверхностей при комнатной температуре характеризуется следующими данными [122]:

	$\varepsilon, \%$	f		$\varepsilon, \%$	f
Олово	28,5	0,18	Никель	23,2	0,32
Свинец	29,8	0,33	Цинк	27,1	0,39
Кадмий	26,2	0,24	Медь	20,4	0,36
Висмут	26,4	0,27	Алюминий	29,9	>0,97

¹ Вместо месдоз могут быть использованы любые другие измерители сил.

КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ
РАЗЛИЧНЫХ СТАЛЕЙ [124]

Температура, °С	f_y для стали								
	10	20	40	A12	A20	A40	30ХГСА	X18H9	ЭИ94
900	0,363	0,322	0,310	0,320	0,287	0,302	0,300	0,296	0,258
1100	0,263	0,260	0,214	0,244	0,170	0,193	0,212	0,288	0,220

Примечание. Коэффициент трения определяли методом принудительного торможения; валки из стали 9Х, шлифованные; поверхность образцов покрыта окалиной; скорость скольжения 3 м/с

Коэффициент трения, определяемый методом максимального угла захвата, при холодной прокатке стали и цветных металлов со скоростью 0,3 м/с в сухих валках из стали 9Х с шероховатостью 7—8 классов характеризуется следующими данными [123]:

	α_{max}	f_z		
Свинец	15° 10'	0,27	Низкоуглеродистая	
Алюминий	15° 30'	0,28	сталь	11° 10' 0,20
Медь	12° 20'	0,22	Никель	15° 20' 0,27

Анализ накопленных экспериментальных данных, несмотря на некоторую их разноречивость, позволяет сделать следующие выводы.

1. Для многих металлов и сплавов коэффициенты трения, при прочих одинаковых условиях, различаются незначительно. Так, обычно близки величины f при деформации многих сталей, меди, латуней и ряда других металлов. В связи с этим при выборе коэффициента трения химический состав металла часто не включают в число основных факторов.

2. Повышенную величину f имеют те металлы, которые обладают ярко выраженной склонностью к налипанию на инструмент. К их числу относятся Al, Pb, Zn, нержавеющие стали типа 12X18H10 и др. Исследования показывают, что при горячей прокатке f для нержавеющей стали может быть в 1,3—1,5 раза выше, чем для углеродистой стали; при холодной прокатке с технологическими смазками это различие чаще всего составляет 10—20% [1].

3. При горячей деформации углеродистых сталей с увеличением содержания С в стали f несколько снижается (табл. 12 и рис. 81). Это объясняется тем, что в структуре металла растет объем фазы (перлит, ледебурит), обладающей пониженной склонностью к схватыванию (адгезии).

4. Если химический состав металла предопределяет образование легкоплавкой окалины, то это ведет к снижению f при горячей деформации. Примером являются автоматные стали, содержащие повышенное количество S (табл. 12). В работе [125] отмечается: «В качестве наиболее общего правила можно сказать,

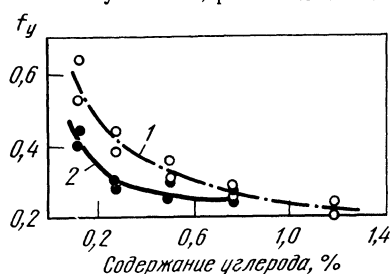


Рис. 81. Зависимость коэффициента трения от содержания углерода в стали при горячей прокатке [126]:
1 — 800 °С; 2 — 1200 °С

что все примеси и элементы в металле, понижающие температуру плавления окислы или же способствующие ее размягчению, уменьшают коэффициент трения при горячей обработке металлов давлением».

5. При холодной обработке с технологическими смазками часто наблюдается некоторое повышение f с увеличением твердости деформируемого металла. Это объясняется ухудшением условий формирования разделительного смазочного слоя на контактных поверхностях.

6.2. Влияние материала инструмента

Все проведенные исследования показывают, что применение деформирующего инструмента из чугуна способствует снижению f по сравнению со стальным инструментом. Различие составляет в среднем 15–20%. Близки значения f для инструмента из закаленной стали и чугуна.

Основная причина снижения f при применении чугунного инструмента заключается в том, что в структуре чугуна большое место занимают составляющие (перлит, ледебурит, цементит, графит), имеющие относительно низкую склонность к адгезионному взаимодействию с собственными металлическими фазами (ферритом, аустенитом). Известно, что деформируемый металл налипает на чугунный инструмент в значительно меньшей степени, чем на стальной. Особенно малое налипание наблюдается в случае изготовления инструмента из отбеленного чугуна.

Весь огромный опыт применения волок из твердых сплавов показывает, что этот материал обеспечивает снижение сил трения на 10–20% по сравнению со стальными волокнами; в свою очередь, применение алмазных волок позволяет еще на 10–20% понизить f [119].

6.3. Влияние состояния поверхности инструмента и металла

Шероховатость поверхности инструмента — важнейший фактор внешнего трения, требующий обязательного учета при выборе величины f . С увеличением высоты неровностей на поверхности инструмента f возрастает (рис. 82–84). В некоторых случаях зависимость величины f от R_z может быть принята прямолинейной (рис. 84).

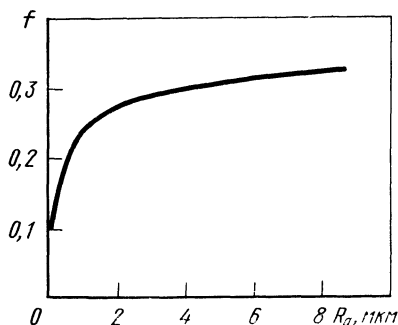


Рис. 82. Влияние шероховатости поверхности бойков на коэффициент трения при осадке алюминиевых образцов ($p_{ср} = 200$ МПа) [6]

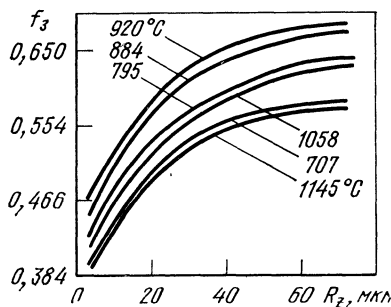


Рис. 83. Зависимость коэффициента трения при захвате от шероховатости поверхности валков при горячей прокатке (материал образцов Ст3; валки стальные незакаленные; $v_B = 0,05$ м/с [125])

Также очень существенным фактором трения является налипание частиц металла и окислов на поверхность инструмента. Развитие этого процесса приводит к резкому повышению f . Это было четко показано еще в одном из ранних исследований [127], посвященных изучению захватывающей способности валков при прокатке цветных металлов (табл. 13).

Данные табл. 13 позволяют сделать вывод о том, что валки с налипшим металлом дают значительно больший коэффициент трения, чем валки грубошлифованные и даже валки с развитой сеткой [5].

Установлено [128], что в результате налипания частиц свинца на поверхность валков коэффициент трения при захвате f_3 возрастает примерно в три раза. При развитии налипания возрастает также коэффициент трения при установившемся процессе прокатки f_y , но в меньшей степени, чем f_3 (табл. 14).

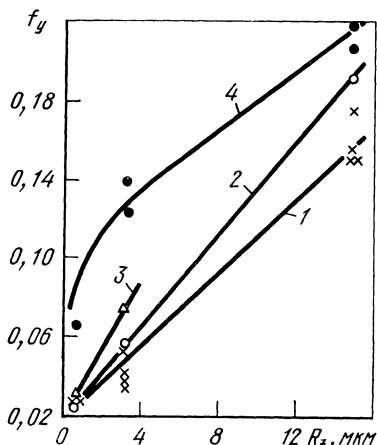


Рис. 84. Зависимость коэффициента трения от шероховатости поверхности валков при холодной прокатке полос из наклепанной стали 08кп с технологическими смазками [1]:

1—3 — прокатка с касторовым маслом (обжатие соответственно 10; 25 и 40 %); 4 — прокатка с 5 % эмульсией Э-1 (обжатие 25 %)

исследования и производственные наблюдения показывают, что относительно толстый слой печной (первичной) окалины, которая, как правило, находится в размягченном состоянии, способствует резкому уменьшению f . Известно, что величина f может снижаться в 2—2,5 раза [1]. Рост толщины слоя воздушной (вторичной) окалины влияет на f менее существенно, повышая его.

При холодной обработке с применением технологических смазок обнаруживается зависимость f от шероховатости поверхности деформируемого металла

ТАБЛИЦА 13

КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ f_3 ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Металл	Температура прокатки, °С	Поверхность валков		
		грубошлифованная	с развитой сеткой	с налипшим металлом
Красная медь	750—850	0,269—0,329	0,416—0,463	0,545—0,560
Алюминий	400—500	0,227—0,272	0,423—0,466	0,535—0,558

Примечание Прокатка алюминия в грубошлифованных валках с парафином

ТАБЛИЦА 14

КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ ПРИ ПРОКАТКЕ СВИНЦОВЫХ ОБРАЗЦОВ НА ЧИСТЫХ (ЧИСЛИТЕЛЬ) И ОСВИНЦОВАННЫХ (ЗНАМЕНАТЕЛЬ) ВАЛКАХ

Материал валков	D , мм	f_z	f_y
Закаленная хромистая сталь . . .	187	0,27/0,86	0,26/0,37
Ст 5	197,5	0,32/0,93	0,31/0,56
Серый чугун	189,4	0,27/0,96	0,29/0,43

Примечание. Поверхность всех валков шлифована наждачной бумагой зернистостью 46; коэффициент трения f_y определяли методом предельного обжатия



Рис. 85. Изменение коэффициента трения при последовательной прокатке стальных образцов без очистки валков (1) и на чистых валках (2). Условия прокатки: валки стальные незакаленные, шероховатость поверхности 9-го класса; температура прокатки 1050 °С

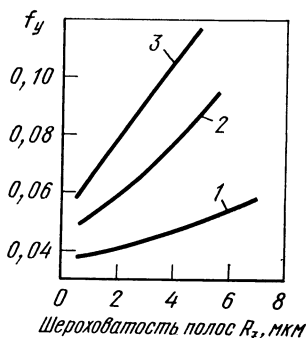


Рис. 86. Влияние шероховатости поверхности полос на коэффициент трения при холодной прокатке с касторовым маслом при обжатии ϵ , %: 1 — 10; 2 — 30; 3 — 50

Это связано с тем, что микрорельеф поверхности металла играет существенную роль в формировании и действии разделительного смазочного слоя. При холодной прокатке с увеличением шероховатости поверхности образцов f возрастает (рис. 86)

С увеличением шероховатости поверхности полос улучшаются условия втягивания смазки в очаг деформации, но вместе с тем растет количество микрозацеплений на контактной поверхности. Последнее и является причиной повышения коэффициента трения.

6.4. Влияние технологических смазок

В настоящее время исследована смазочная способность сотен различных веществ. Некоторые из них, называемые эффективными смазками (воск, касторовое масло, полимеризованное хлопковое масло), могут снижать коэффициент трения в 5—6 раз что видно из ниже приведенных данных.

Коэффициент трения при глубокой вытяжке дуралюмина [129] характеризуется следующими значениями:

Без смазки	0,22
Масло веретенное 3 (индустриальное 20)	0,159
Нейтральная масляная паста	0,096
20 % воска + 80 % веретенного масла	0,096

20 % воска + 80 % скипидара	0,077
30 % воска + 70 % скипидара	0,075
50 % воска + 25 % керосина + 25 % веретенного масла	0,075
20 % графита + 40 % вазелина + 40 % веретенного масла	0,075
80 % ОП65 + 20 % веретенного масла	0,052
50 % воска + 50 % скипидара	0,037

Холодную прокатку (табл. 15) проводили на стальных закаленных полированных (класс 10, б) валках при скорости $v_B = 0,3$ м/с. Прокатывали полосы из наклепанной стали 08 кп толщиной 0,5—0,6 мм с поверхностью 7-го класса. Обжатие составляло 10—20 %. Коэффициент трения определяли методом принудительного торможения [1].

Антифрикционная эффективность смазки, т. е. степень снижения сил трения, зависит от двух основных факторов: химического состава смазки и толщины образующегося разделительного слоя. С точки зрения химического состава особенно важно присутствие в смазке ПАВ, в частности жирных кислот и их производных. Эти вещества способствуют образованию на металлической поверхности смазочных слоев упорядоченной слоистой структуры, с высоким сопротивлением продавливанию и малым сопротивлением сдвигу. Что касается толщины смазочного слоя на контактных поверхностях, то она зависит от физических свойств смазки

Т А Б Л И Ц А 15

КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ f_y ПРИ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКЕ
С РАЗЛИЧНЫМИ СМАЗКАМИ

Смазка (масло)	Кинематическая вязкость ν , мм ² /с. при t °С		Коэффициент трения *
	50	100	
Сухие валки	—	—	0,194—0,231/0,215
Трансформаторное	9	3,0	0,101—0,107/0,104
Индустриальное 20	20	5,0	0,082—0,094/0,088
Цилиндровое 11	95	13,2	0,067—0,069/0,068
Цилиндровое 24 (вискозин)	238	24,2	0,052—0,056/0,055
Прокатное 28 (брайтсток)	410	29,2	0,052—0,056/0,055
Цилиндровое 52 (вапор)	552	47,5	0,047—0,050/0,049
Хлопковое	22	7,1	0,066—0,069/0,067
Подсолнечное гидрогенизированное (ПКС)	31	8,4	0,058—0,063/0,060
Пальмовое	—	8,1	0,058—0,060/0,059
Касторовое техническое	149	19,6	0,040—0,045/0,042
Хлопковое полимеризованное с вязкостью:			
малой	135	30,1	0,046—0,048/0,047
средней	—	49,6	0,039—0,040/0,040
высокой	~900	120	0,034—0,036/0,035
Эмульсия полимеризованного высоковязкого хлопкового масла, %:			
1	—	—	0,059—0,064/0,062
5	—	—	0,044—0,047/0,046
10	—	—	0,039—0,040/0,039
5 %-ная эмульсия на основе эмульсола Э-1	—	—	0,069—0,081/0,071

* В числителе—пределы изменения, в знаменателе—среднее значение.

(вязкости и пьезокоэффициента вязкости). С увеличением вязкости толщина разделительного смазочного слоя растет. Естественно, при этом уменьшается величина f (за исключением особо вязких веществ).

Сказанное иллюстрируется графиком на рис. 87. Коэффициент трения приведен в функции вязкости смазки при температуре 50°C , с учетом разогрева металла при холодной прокатке. Все экспериментальные значения f_y достаточно хорошо ложатся на две кривые, каждая из которых относится к определенной группе масел. В пределах каждой группы наблюдается падение f_y с увеличением вязкости масла. Это согласуется с теорией захвата смазки при прокатке, согласно которой с увеличением вязкости растет толщина слоя смазки в очаге деформации. Различный уровень кривых 1 и 2 на рис. 87 свидетельствует о том, что при одной и той же вязкости минеральные масла являются менее эффективными смазками, чем растительные. Очевидно, что объясняется отсутствием в минеральных маслах ПАВ.

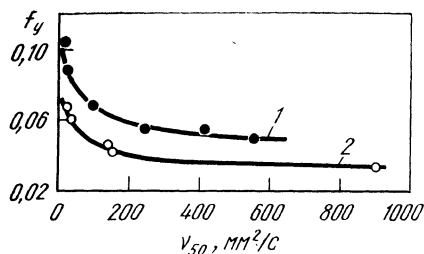


Рис. 87. Зависимость коэффициента трения при холодной прокатке от кинематической вязкости смазки ν при 50°C :

1 — минеральные масла; 2 — растительные масла

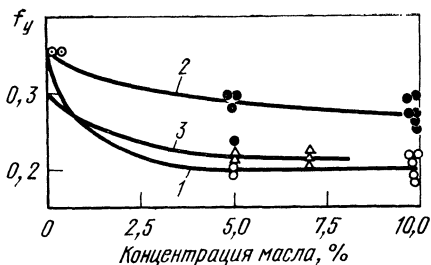


Рис. 88. Коэффициент трения при горячей прокатке образцов Ст3 на чугунных валках с шероховатостью 7—8-го классов (температура прокатки 980°C , скорость $0,16—0,35$ м/с) со смазками:

1 — эмульсией полимеризованного хлопкового масла; 2 — эмульсией эмульсола Э-2 (Б); 3 — водомастной смеси масла ИС-30

Следует отметить, что некоторые жидкие вещества могут не снижать, а повышать f [130]. М. М. Горенштейн назвал вещества, способные повышать коэффициент трения, *антисмазками*. Согласно его исследованиям, к числу таких веществ относится гель кремнезема SiO_2 [132, 133].

В конце шестидесятых годов жидкие масляные смазки начали применяться при горячей прокатке стали. Несмотря на высокую температуру металла, они обеспечивают значительный антифрикционный эффект (рис. 88, f_y определен методом принудительного торможения).

Коэффициент трения f_y при горячей прокатке с другими смазками характеризуется следующими данными (в числителе пределы изменения, в знаменателе среднее значение):

Вода *	0,296—0,310/0,302
Индустриальное 20	0,186—0,199/0,192
Нигрол	0,181—0,195/0,187
Мазут	0,178—0,202/0,187
Касторовое масло	0,154—0,165/0,160
Полимеризованное хлопковое масло	0,151—0,164/0,157

* На валках имелись частицы окалины

Касторовое и полимеризованное хлопковое масло понижают коэффициент трения при горячей прокатке почти в два раза. Применение 10 %-ной эмульсии минерального масла позволяет снизить f_y на 25 %, а 5—10 %-ной эмульсии поли-

меризованного хлопкового масла на 45 % (рис. 88, 1, 2). Водно-масляная смесь (масло ИС-30) по своей эффективности примерно соответствует минеральной эмульсии (рис. 88, 3).

6.5. Влияние температуры деформации

Представления о характере температурной зависимости f существенно менялись по мере накопления опытных данных. В работе [5] при измерении f при прокатке стали (0,5—0,8 % С) в диапазоне температур 300—1150 °С была получена кривая с максимумом при 700 °С (рис. 89). Прокатку проводили на чугунных закаленных валках. Коэффициент трения определяли методом принудительного торможения.

Согласующиеся данные были получены в других исследованиях, причем не только для стали, но также для Cu и Al [127]. Это дало основание И. М. Павлову высказать предположение о существовании общего для всех металлов закона изменения f от температуры в виде кривой с максимумом в диапазоне 500—800 °С [5].

Последующие исследования горячей прокатки сталей различного состава подтвердили куполообразный характер зависимости $f = \varphi(t^\circ)$, однако максимальное значение f наблюдали при температурах 900—1050 °С [124, 125]. Для некото-

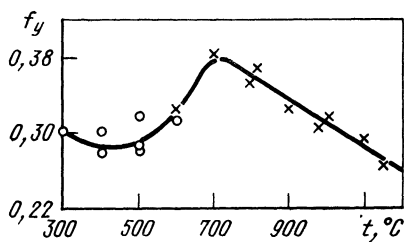


Рис. 89. Зависимость коэффициента трения от температуры при горячей прокатке среднеуглеродистой стали

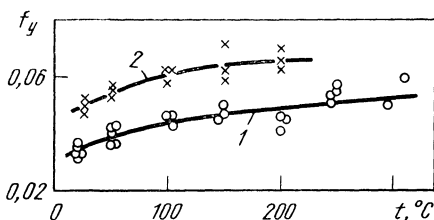


Рис. 90. Зависимость коэффициента трения от температуры металла при холодной прокатке на полированных валках со смазкой: 1 — касторовое масло; 2 — пар

рых цветных металлов были получены зависимости совершенно иного вида. Так, при прокатке Ti было установлено, что f имеет не максимальную, а минимальную величину при температуре 900°С [134]. Было показано также, что при прокатке железа в вакууме кривые $f = \varphi(t^\circ)$ качественно отличаются от результатов прокатки на воздухе [135].

Таким образом, закономерности окисления и свойства окислов для каждого металла специфичны, поэтому и зависимость $f = \varphi(t^\circ)$ не может иметь общего характера (хотя для некоторых металлов кривые могут быть однотипны).

Неоднократно выявленный куполообразный характер зависимости $f = \varphi(t^\circ)$ для сталей объясняется тем, что образующиеся на поверхности металла окислы сначала повышают f (толщина окисной пленки растет), а затем, с повышением температуры, они начинают играть роль смазки и способствуют его снижению.

В табл. 16 приведены результаты исследования температурной зависимости коэффициента трения для различных металлов. Данные получены методом осадки кольцевых образцов [89].

При холодной обработке давлением с масляными смазками температура металла также оказывает некоторое влияние на f . При интенсивной деформации металл значительно разогревается, иногда до температуры 150—250 °С, при этом снижается вязкость смазки. В итоге уменьшается толщина смазочного слоя в очаге деформации и соответственно растет f .

Сказанное иллюстрируется графиком на рис. 90. Образцы из наклепанной Ст08 кп толщиной 0,5—0,6 мм перед прокаткой (после нанесения смазки, подогре-

Т А Б Л И Ц А 16

ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ДЕФОРМАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТАЛЛОВ [89]

Металл	ε, %	Температура, °С																	
		20	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	
Алюминий:	30	0,15	0,25	0,28	0,31	0,34	0,37	0,39	0,42	0,45	0,48	—	—	—	—	—	—	—	—
Латуни:																			
95/5	30	0,27	0,35	0,40	—	—	—	—	—	0,44	—	—	—	—	—	—	—	—	—
90/10	30	0,22	0,28	0,37	—	—	—	0,40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,40	0,33
85/15	30	0,21	0,32	0,39	0,42	—	—	0,44	—	—	0,48	—	—	—	—	—	—	0,56	0,47
80/20	30	0,19	0,32	0,42	—	—	0,48	0,48	—	—	0,50	—	—	—	—	—	—	0,57	—
70/30	30	0,17	0,28	—	—	—	0,40	—	—	—	0,42	—	—	—	—	—	—	0,57	—
60/40	30	0,18	0,40	—	—	—	0,42	—	—	—	0,48	—	—	—	—	—	—	0,57	—
Мель	50	0,30	0,37	0,40	—	—	—	0,42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Свинец	50	0,20	0,28	0,38	0,54	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Магний	50	—	0,39	0,42	0,47	0,52	0,57	0,52	0,46	0,37	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Никель	50	0,25	0,32	0,33	0,34	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44	0,44	0,45	0,45	0,45	0,46
Мягкая сталь	50	0,16	0,21	—	—	0,29	—	—	0,32	0,39	0,45	0,54	—	0,57	0,54	0,49	0,46	0,46	0,41
Нержавеющая сталь	50	0,32	—	—	—	—	0,42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Цинк	50	0,23	0,32	0,53	—	0,57	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Титан	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,57	—	—	—	—	—	—	—	—
Титан *	50	—	—	—	0,18	—	0,19	—	—	0,20	0,21	0,22	0,23	0,25	0,28	0,34	0,48	0,57	0,57
Титан **	50	—	—	—	—	0,15	—	—	—	—	—	—	0,18	0,20	0,26	0,37	0,52	0,57	0,57

* Смазкой является графит

** Смазкой является дисульфид молибдена

вали в щелевой электрической печи, установленной на входе в валки. Коэффициент трения определяли методом принудительного торможения [1]. Влияние температуры на f_y является существенным только при использовании вязких смазок. Для маловязких смазок это влияние выражено слабо, а в случае применения минеральной эмульсии оно практически отсутствует.

6.6. Влияние скоростных условий

Прямые опытные данные свидетельствуют о том, что изменение скорости скольжения само по себе слабо влияет на f [136]. В связи с этим в дальнейшем рассматривается изменение f в функции абсолютной скорости перемещения деформируемого тела или инструмента.

Во многих случаях обработки металлов давлением f уменьшается с увеличением скорости обработки. Однако имеются и такие условия деформации, при которых он растет с повышением скорости. Рассмотрим экспериментальные данные для конкретных процессов обработки давлением.

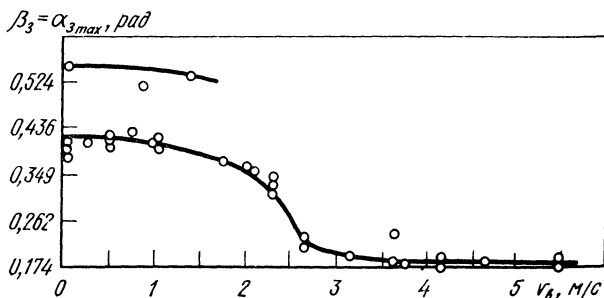


Рис. 91. Влияние скорости прокатки на коэффициент (угол) трения при захвате [97]

При ковке на молотах (высокоскоростной обработке) f ниже, чем при ковке на прессах [89]. По данным работы [28], это различие составляет примерно 5—15%. При горячей прокатке стали влияние окружной скорости валков на f_3 иллюстрируется графиком на рис. 91. Эти данные получены на промышленных станах при прокатке низкоуглеродистой стали (0,09—0,12% С) при температуре 1200—1250 °С [97]. Аналогичные данные получены другими исследователями [10]. При увеличении скорости примерно до 2 м/с f_3 остается почти постоянным, в интервале 2—3 м/с происходит его резкое снижение, а затем величина f_3 изменяется незначительно. В других исследованиях начало резкого снижения f_3 наблюдалось при более высокой скорости прокатки, но общий характер зависимости $f_3 = \varphi(v_B)$ подтверждается [5, 10].

В ряде работ обнаружено некоторое повышение f_3 при увеличении скорости прокатки от 0 до 1 м/с [1]. Расположение экспериментальных точек в этом интервале на рис. 91 не противоречит этому выводу.

Коэффициент трения при установившемся процессе горячей прокатки f_y с увеличением скорости также снижается, но более плавно, приблизительно прямолинейно (рис. 92) [10].

При холодной прокатке с жидкими технологическими смазками во всех проведенных исследованиях получена однотипная зависимость $f_y = \varphi(v_B)$, представленная на рис. 93. Резкое падение f_y наблюдается при увеличении скорости примерно до 5 м/с. При дальнейшем увеличении скорости он либо продолжает снижаться, но менее интенсивно, либо даже несколько растет.

Опыты холодной прокатки без смазки показали повышение f_y с увеличением скорости прокатки (рис. 94) [138]. Эти данные подтверждаются исследованиями процесса дрессировки холоднокатаных стальных полос (без смазки): с увеличением скорости дрессировки опережение и давление на валки растет, а коэффициент вытяжки уменьшается.

Физические причины влияния скоростных условий на f при прокатке изучены недостаточно. Твердо установлено лишь то, что при прокатке с жидкими смазками его снижение с увеличением окружной скорости валков объясняется улучшением условий захвата, т. е. ростом толщины смазочной пленки в очаге деформации [139]. Однако при большой скорости прокатки рост толщины смазочной пленки замедляется, а затем и вовсе прекращается. Дело в том, что в результате интенсификации внутренних скольжений усиливается тепловыделение в слое смазки, а это приводит к падению вязкости смазки и ухудшению условий ее поступления в очаг деформации.

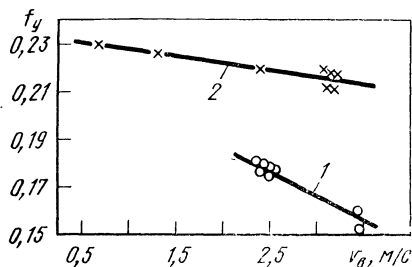


Рис. 92. Влияние скорости на коэффициент трения при установившемся процессе прокатки на обжимной клетке 800 крупносортного стана [10]:

1 — печная окалина; 2 — воздушная окалина

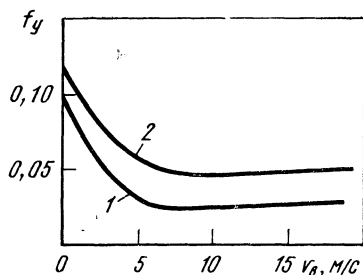


Рис. 93. Скоростная зависимость коэффициента трения при холодной прокатке с технологическими смазками [137]:

1 — пальмовое масло; 2 — масляная эмульсия (предположительные данные)

При волочении проволоки с наиболее распространенной смазкой — порошком натриевого мыла — наблюдается повышение f с увеличением скорости волочения $v_{\text{вол}}$. На рис. 95 показаны результаты опытов, проведенных на промышленных станах. Протяжку низкоуглеродистой стальной проволоки осуществляли через твердосплавные волюки с углом конусности $\alpha = 8^\circ$. Вытяжка за проход составляла $\lambda = 1,4 \dots 1,6$. Коэффициент трения определяли методом разрезной волюки.

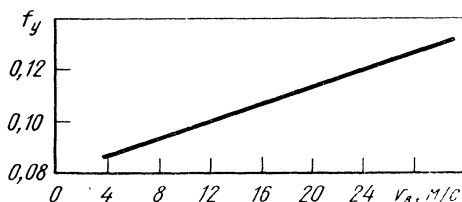


Рис. 94. Влияние скорости на коэффициент трения при холодной прокатке стальных полос без смазки [138]

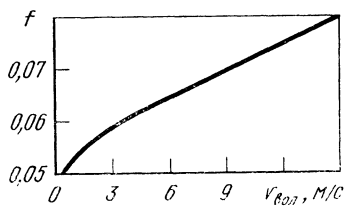


Рис. 95. Зависимость коэффициента трения от скорости волочения, смазка — натриевое мыло (по данным И. Т. Бородавкина)

Аналогичная зависимость получена при волочении латунной проволоки с натриевым мылом [140].

Повышение f с увеличением скорости волочения в случае применения порошкообразной смазки объясняется ухудшением условий захвата смазки и сокращением поступления ее в очаг деформации. С увеличением скорости возрастает вибрация проволоки, в результате чего смазка в большем количестве стряхивается с поверхности металла. Кроме того, возможно отрицательное влияние так называемого «тоннельного эффекта», который заключается в том, что проволока образует в слое порошка канал с уплотненными стенками. В таких условиях поступление смазки

на поверхность металла уменьшается. Прямые опыты подтверждают уменьшение толщины слоя мыльной смазки в очаге деформации с увеличением скорости волочения.

6.7. Влияние контактного давления

Характер влияния давления на величину f может быть различным в зависимости от условий деформации. При определенных условиях f слабо зависит от давления; это означает, что достаточно строго выполняется закон Амонта на (13). В других случаях f может либо возрастать, либо снижаться при увеличении давления. Распространенное мнение о том, что он всегда уменьшается с ростом давления, является неправильным.

Анализ результатов ряда исследований позволяет сформулировать некоторые общие положения о характере зависимости $f = \varphi(p)$ в различных условиях деформации.

1. При жестких условиях трения (большая шероховатость поверхности инструмента, отсутствие смазки или слабая смазка, высокий коэффициент подпора и т. д.) наблюдается значительное снижение f с ростом контактного давления. Впервые это было показано при прокатке образцов-пакетов, состоящих из покрышки и сердечника, причем в качестве сердечника использовали материалы разной твердости: Pb, Al, Cu, латунь и низкоуглеродистую сталь. Таким путем достигалось варьирование величины давления при постоянном пределе текучести металла на контакте [5, 100].

Аналогичные результаты получены в специальном исследовании зависимости f от давления при холодной прокатке металлов разной твердости [1, 142]. Опыты проводили в двух вариантах: на луженых образцах (с постоянным пределом текучести на контакте) и на образцах из тех же металлов без покрытия. Применялись валки грубошероховатые ($R_z = 15$ мкм), шероховатые ($R_z = 3,2$ мкм) и полированные ($R_z = 0,63$ мкм). Прокатку проводили без смазки, с 5 % -ной минеральной эмульсией и с касторовым маслом.

Из рис. 96 видно, что при прокатке луженых образцов на шероховатых и полированных валках без смазки, а также на шероховатых валках с эмульсией ярко проявляется отмеченная выше закономерность: f_y уменьшается с ростом давления. При прокатке на грубошероховатых валках такая закономерность наблюдается даже в случае применения активной смазки (касторового масла). Снижение f_y наблюдается лишь тогда, когда ужесточается напряженное состояние в очаге деформации, т. е. повышается коэффициент подпора. Если же причиной изменения контактного давления является изменение предела текучести деформируемого металла, то f_y остается практически постоянным (кривая 2 на рис. 96, а, II).

Снижение f_y с повышением коэффициента подпора объясняется главным образом тем, что истинная (физическая) площадь касания поверхностей в очаге деформации растет относительно медленно, с затуханием. Такой же характер имеет рост удельных сил трения.

2. При средних условиях трения, например при деформации на гладком инструменте с применением маловязкой смазки, f_y слабо зависит от контактного давления. По данным рис. 96 это наблюдается тогда, когда он находится на уровне 0,04—0,07 (кривая 3 на рис. 96, а, I и кривая 2 на рис. 96, б, I).

3. При холодной деформации с применением очень гладкого инструмента и вязкой, активной смазки наблюдается повышение f_y с ростом давления, причем безразлично, какой фактор вызывает изменение давления — коэффициент подпора или предел текучести металла. Об этом свидетельствует одинаковый ход кривых 3 на рис. 96, б, I и II.

Такой же характер зависимости $f = \varphi(p)$ обнаружен при исследовании процесса волочения стальной проволоки (рис. 97) [140].

Физические причины роста f при увеличении давления в указанных условиях детально не раскрыты. Одной из причин может быть резкое повышение вязкости смазки при увеличении давления (предполагается, что на контактных поверхностях имеются значительные участки жидкостного трения).

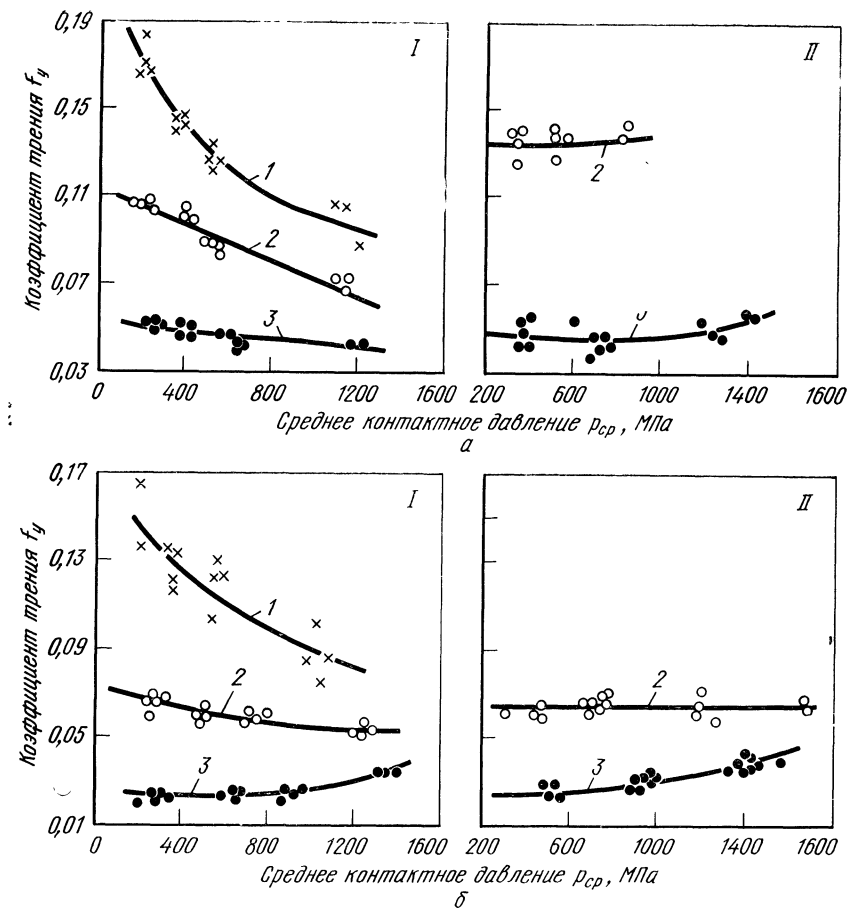
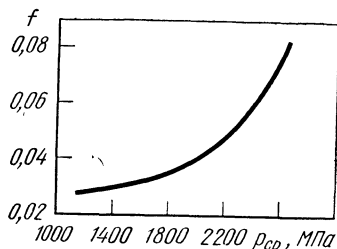


Рис. 96. Зависимость коэффициента трения от давления при прокатке на шероховатых (а) и полированных (б) валках [102]:

I — луженые образцы; II — образцы без покрытия;

1 — без смазки; 2 — с эмульсией; 3 — с касторовым маслом

Рис. 97. Зависимость коэффициента трения от давления при волочении стальной проволоки (с мыльным порошком [140])



6.8. Влияние обжатия и геометрических параметров очага деформации

Во многих случаях обработки металлов давлением влияние обжатия на f является слабым, но при определенных условиях роль этого фактора возрастает и требует учета.

В опытах холодной осадки без смазки различных сталей и дуралюминия значительного влияния обжатия на коэффициент трения не обнаружено [129].

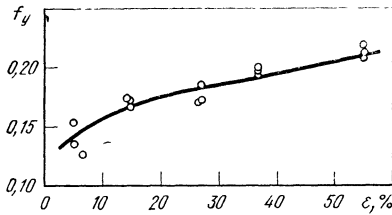


Рис. 98. Зависимость коэффициента трения от обжатия при горячей прокатке стали [143]

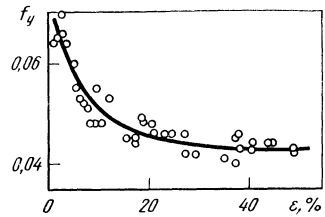


Рис. 99. Зависимость коэффициента трения от обжатия при холодной прокатке полос с шероховатой поверхностью ($R_z = 7$ мкм) на полированных валках с касторовым маслом

При горячей прокатке в работе [143] установлено некоторое повышение f_y при увеличении обжатия (рис. 98). Прокатку образцов из Ст3 проводили на грубошлифованных чугунных валках при температуре 1200°C . Скорость прокатки составляла $v_B = 0,2$ м/с. Коэффициент трения определяли методом крутящего момента. Рост f_y относительно невелик: при изменении обжатия от 10 до 50 % величина его возрастает примерно от 0,16 до 0,20. При прокатке свинцовых образцов без смазки степень деформации не оказывает значительного влияния на величину f_y .

При холодной прокатке с технологическими смазками характер влияния обжатия на коэффициент трения зависит от шероховатости поверхностей валков и полосы [1, 142]. При прокатке на полированных валках (поверхность 10—11

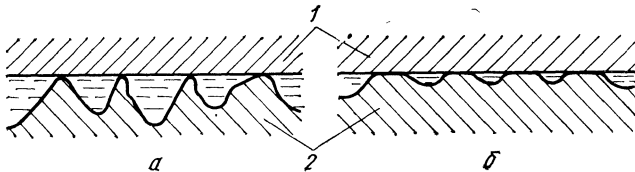


Рис. 100. Схема контактирования поверхностей в очаге деформации при прокатке шероховатых полос в гладких валках с малым (а) и большим (б) обжатиями: 1 — валок; 2 — полоса

классов) с вязкой, активной смазкой f_y сохраняет постоянную величину в широком диапазоне обжатий. Однако такая картина наблюдается лишь тогда, когда шероховатость поверхности полосы мало отличается от шероховатости валков. Если шероховатость полосы намного выше шероховатости валков, то f_y резко снижается с увеличением обжатия (рис. 99). Для объяснения этой зависимости рассмотрим схему контактирования шероховатой полосы с гладкими валками при малом и большом обжатии (рис. 100). При малой общей деформации микровыступы на поверхности полосы почти не сминаются (рис. 100, а). Они «прошивают» слой смазки, вследствие чего возникают точки непосредственного касания металлических поверхностей; это обуславливает высокую величину f . По мере возрастания обжатия микровыступы на поверхности полосы расплющиваются (рис. 100, б),

условия для удержания смазки на контактных площадках улучшаются, и f снижается.

Наиболее часто при холодной прокатке листовой стали применяют валки с чистой поверхностью 6—8 классов ($R_z = 1, 6 \dots 10$ мкм); примерно такую же шероховатость имеют прокатываемые полосы. В этих условиях исследования показывают явно выраженную зависимость: коэффициент трения повышается с увеличением обжатия (при $\epsilon > 10\%$, рис. 101). В ряде случаев эта зависимость близка к прямолинейной. Рост f_y с увеличением обжатия объясняется усилением роли механических зацеплений на трущихся поверхностях.

Исследования, проведенные при волочении с жидкими смазками, также показывают повышение f с увеличением обжатия (рис. 102) [119]. В случае применения порошкообразной смазки — натриевого мыла — влияние обжатия на f выражено менее отчетливо, в ряде опытов наблюдалось значительное снижение f с увеличением обжатия при волочении с натриевым мылом.

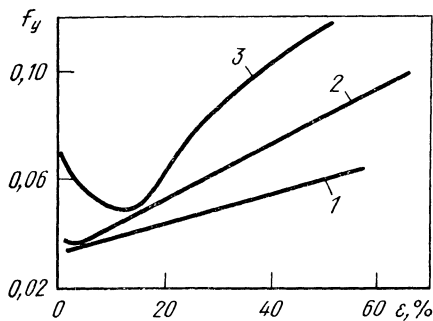


Рис. 101. Зависимость коэффициента трения от обжатия при холодной прокатке на шероховатых валках ($R_z = 3,2$ мкм) с касторовым маслом стальных наклепанных полос с поверхностью:

1 — гладкой ($R_z = 0,6$ мкм); 2 — шероховатой ($R_z = 3,2$ мкм); 3 — грубошероховатой ($R_z = 7$ мкм)

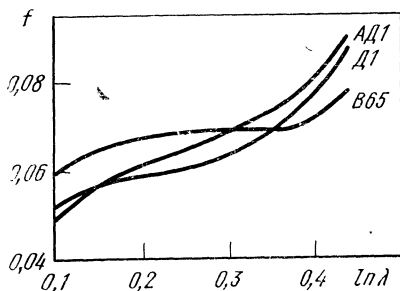


Рис. 102. Зависимость коэффициента трения от степени деформации при волочении алюминиевых сплавов (по данным Н. Г. Решетникова) ($\alpha = 8^\circ$; $v = 0,5$ м/с; смазка — мазут)

Обобщая литературные данные, можно сделать следующие выводы:

1. При обработке металлов давлением без технологической смазки f , как правило, слабо зависит от величины обжатия.

2. В процессах, которые ведутся с применением жидких смазок, влияние обжатия на f может быть существенным. В большинстве случаев (но не всегда) происходит его повышение при увеличении обжатия.

Влияние геометрических параметров очага деформации на f проявляется главным образом в присутствии технологической смазки. Если какой-либо геометрический параметр оказывает заметное влияние на формирование и несущую способность смазочного слоя на контактных поверхностях, то его изменение отражается на величине f . Так, с увеличением диаметра валков при постоянном обжатии уменьшается угол контакта, а следовательно, и угол смазочного клина на входе в очаг деформации; условия захвата смазки улучшаются. В результате f при прокатке на валках большого диаметра может быть ниже, чем на валках малого диаметра.

В работах по волочению неоднократно отмечено повышение f при увеличении угла конусности волокна [140]. Это связано с ухудшением условий поступления смазки в рабочий канал волокна.

7. Расчетное определение характеристик трения

7.1. Определение численных значений коэффициента трения в процессах обработки металлов давлением

Ковка, объемная и листовая штамповка

Для выбора величины коэффициента трения при *горячей ковке и штамповке* рекомендуется использовать данные, приведенные в табл. 16. Эти данные соответствуют условиям обработки на инструменте с грубой поверхностью (4—5 классов) и малой скорости сжатия (деформации на прессе). При других условиях обработки вносят следующие коррективы.

1. В случае применения инструмента с относительно гладкой поверхностью (7—8 классов) значения коэффициента трения должны быть уменьшены на 15—30 %.

2. При высокоскоростной обработке (ковке на молотах) коэффициент трения снижают на 10—20 %.

3. В диапазоне температур 1000—1200 °С коэффициент трения составляет:

Для низкоуглеродистой стали	0,40—0,35
Для нержавеющей стали	0,50—0,40

Процессы горячей объемной штамповки часто ведут с применением технологических смазок. Для учета влияния этого существенного фактора ниже приведены значения коэффициента трения, полученные при исследовании эффективности ряда распространенных смазок (табл. 17).

Коэффициент трения при скоростной горячей штамповке Ст45 при температуре 900 °С характеризуется следующими данными (в числителе пределы изменения, в знаменателе среднее значение f) [144] *:

Без смазки	0,29/0,29
Графит	0,16—0,28/—
Масло машинное	0,22—0,25/0,23
Поваренная соль	0,10—0,22/0,16
Мазут	0,12—0,19/0,16

* Поверхность инструмента обработана по восьмому классу

ТАБЛИЦА 17

КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ ПРИ ОСАДКЕ КОЛЬЦЕВЫХ ОБРАЗЦОВ [145]

Металл	Температура заготовки, °С	Расчетная температура контактного слоя, °С	Смазка			
			без смазки	солевая ¹	аквадаг	М-Г ²
Сталь 45	1000	778	0,37	0,23	0,18	0,29
	1100	852	0,43	0,27	0,25	0,37
	1190	918	0,43	0,33	0,25	0,31
1Х12Н2ВМФ	1000	750	0,40	0,10	0,12	—
	1100	815	0,37	0,14	0,26	—
	1190	870	0,39	0,26	0,20	0,28

Примечания: 1. Хлористого калия 6 %, хлористого натрия 8 %, нитрита натрия 2 %, кальцинированной соды 0,5 %, глицерина 4 %, уротропина 0,2 %, остальное вода 2. 70 % масла + 30 % графита.

Коэффициент трения при осадке ($d_0/h_0 = 6$) и штамповке турбинных лопаток из сплава ХН70ВМТЮ при температуре 1200 °С характеризуется следующими данными (в числителе и знаменателе f соответственно при осадке и штамповке) [146]:

Без смазки	0,40/0,40
Алюминиевый порошок с графитом	0,19/0,25
Препарат ВКГС	0,15/0,21
Препарат СБГ	0,14/0,19

В работе [147] указывается, что при горячей штамповке черных металлов с водным раствором (20 : 1) высокотемпературного жидкого стекла с графитом (1 : 2 по массе) коэффициент трения составляет $f = 0,14 \div 0,20$; при использовании водной суспензии графита (5—32 %) $f = 0,18 \div 0,27$.

При горячей осадке на прессе алюминиевого сплава АК6 с различными смазками применяли шлифованную поверхность бойков, фактор формы составлял $2 \leq d_0/h_0 \leq 13$, температура 400 °С. Коэффициент трения f характеризуется при этом следующими данными [92]:

Без смазки	0,48
Масло vapor T+10 % графита	0,09
Масло vapor T-20 % графита	0,09
Масляная суспензия коллоидного графита	0,10
Водная суспензия коллоидного графита	0,10
Церезин	0,16
Церезин + 10 % графита	0,09

При горячей листовой штамповке магниевых сплавов при температуре 250—350 °С с графитом, эмалями К-1 и К-2, а также штамповке Ti с препаратами В-0 и В-1, лаком, маслами с наполнителями коэффициент трения составляет $f = 0,12 \div 0,15$ [148].

В справочнике [149] приведены обобщенные данные по коэффициенту трения для основной операции *холодной листовой штамповки — вытяжки*.

Коэффициент трения при вытяжке металлов с применением различных смазок характеризуется следующими данными:

	Сталь 08 кп	12Х18Н9Т	Алюминий	Дуралюми- ний Д16М
Без смазки	0,20—0,25	0,30—0,35	0,25	0,22
Минеральное масло	0,15	0,25	0,15	0,16
Масло с наполнителями (мел, графит)	0,08—0,10	0,15	0,10	0,08—0,10
Оксисленный петролатум	—	0,10	—	—

При исследовании процесса глубокой вытяжки изделия из жаропрочного сплава ХН75МБТЮ с различными смазками получены следующие значения коэффициента трения [150]:

Масло машинное:	
100 %	0,15
с добавкой 10 % животного жира на фосфатированной поверхности	0,11—0,13
Лак ХВЛ-21 на заготовке, масло машинное на инструменте	0,10
Масло подсолнечное:	
100 %	0,11
90 %, масло машинное, 10 %	0,11—0,13
	0,11—0,13

Масло касторовое:

с добавкой 20 % наполнителя (графита, сернистого молибдена, тали ка, бентонитовой глины, слюды, окиси цинка, а также мыла) на фосфатированной поверхности с канифолью (1 : 1)	0,08—0,09 0,09 0,08
Композиция: окисленный петролатум 40 %, масло веретенное 40 %, графит 20 %	0,12
Композиция: окисленный петролатум 40 %, масло веретенное 20 %, графит 20 %, сера 7 %, спирт 1 %, вода 12 %	0,10
Окисленный петролатум с битумом (1 : 1)	0,07
Канифоль 90 %, стеариновая кислота 10 %	0,08
Эмульсия зеленого мыла:	
20 %-ная	0,18
10 %-ная с добавкой 10 % касторового масла	0,18

По данным работы [151] при холодной объемной штамповке на смазке Укринол 5/5 коэффициент трения составляет $f = 0,057$; на смазке В-32К $f = 0,050$.

Прокатка

Анализ накопленных экспериментальных данных показывает, что в подавляющем большинстве случаев *горячей прокатки* коэффициент трения находится в пределах: при захвате $f_3 = 0,3 \div 0,6$; при установившемся процессе $f_y = 0,2 \div 0,4$. Приведенные значения можно использовать как приближенные. При выборе величины f в пределах указанных границ следует учитывать конкретные условия прокатки и общий характер влияния основных факторов трения (см. гл. 6).

Для более точного, расчетного определения коэффициента трения при горячей прокатке стали рекомендуются формулы:

$$f_3 = k_{\Pi} k_M k_v (0,84 - 0,0004t^{\circ}); \quad (223)$$

$$f_y = k_{\Pi} k_M k_v (0,55 - 0,00024t^{\circ}), \quad (224)$$

где k_{Π} — коэффициент, учитывающий состояние поверхности и материал валков; k_M — коэффициент, учитывающий содержание углерода в стали; k_v — коэффициент, учитывающий скорость прокатки.

Значения коэффициентов k_{Π} , k_M и k_v приведены ниже:

Валки:

чугунные закаленные, шлифованные		0,9				
чугунные		1,0				
стальные		1,1—1,2				
стальные с насечкой		1,3—1,6				
Содержание С, %	0,05—0,2	0,2—0,3	0,3—0,5	0,5—0,8	0,8—1,2	
в формуле (223)	1,0	0,9	0,8	0,75	0,7	
k_M « » (224)	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	
v_B , м/с	0—1	2	2,5 3	4	≥ 5	—
k_v	1,0	0,9	0,75 0,65	0,55	0,5	—

В отдельных случаях помимо содержания С в стали надо учитывать влияние других элементов. Так, для автоматных сталей, содержащих повышенное количество S, коэффициент трения на 10—20 % ниже, чем для аналогичной углеродистой стали. При прокатке нержавеющей стали коэффициент трения может быть

в 1,3—1,5 раза выше, чем для низкоуглеродистой стали. Следует отметить, что приведенные рекомендации относятся к условиям, когда поверхность металла покрыта тонким слоем воздушной окалины. Если на поверхности металла присутствует толстый слой размягченной печной окалины, то коэффициент трения снижается в 1,5—2,0 раза. Особенно чувствителен к присутствию печной окалины коэффициент трения при установившемся процессе f_y .

При горячей прокатке с применением технологических смазок типа водомасляных смесей и эмульсий коэффициент трения снижается примерно в 1,4—1,8 раза (см. рис. 88).

В большинстве случаев при *холодной прокатке* с технологическими смазками коэффициент трения составляет: при захвате $f_3 = 0,1 \div 0,2$; при установившемся процессе $f_y = 0,03 \div 0,15$. Выбирая коэффициент трения в указанных пределах, следует учитывать, что наиболее низкие значения его соответствуют условиям прокатки на полированных (тонко шлифованных) валках с высокой скоростью при наличии вязкой, активной смазки.

Для расчетов при холодной прокатке в основном требуется знать коэффициент трения при установившемся процессе f_y . Его величину можно более точно определить с помощью нижеприведенных формул.

При прокатке на полированных (тонко шлифованных) валках с поверхностью 10—11-го классов применяют формулу [1]:

$$f_y = \frac{k_{CM} (1 + 0,5R_z)}{1 + 0,25\sqrt{v_{50}} - 0,005v_{50}} \left[0,07 - \frac{0,1v_B^2}{2(1 + v_B) + 3v_B^2} \right], \quad (225)$$

где R_z — высота неровностей на поверхности валка, мкм; k_{CM} — коэффициент, учитывающий природу смазки; v_{50} — кинематическая вязкость смазки при 50 °С, мм²/с; v_B — окружная скорость валков, м/с.

Коэффициент k_{CM} для растительных масел равен 1,0, для минеральных 1,4. При прокатке с эмульсией минерального масла за базовую принимают вязкость v_{50} масла индустриального 20.

Если в гладкие валки задают полосы с грубой поверхностью, то коэффициент трения повышается и зависит от обжатия. Для учета влияния шероховатости поверхности полос в этом случае рекомендуют дополнительную формулу

$$f_y = (1 \div 1,5) f'_y + 0,007(R_{zII} - R_z) \left[1 - \frac{0,3\varepsilon}{1 + 0,2\sqrt{\varepsilon} + 0,25\varepsilon} \right], \quad (226)$$

где f'_y — коэффициент трения, рассчитанный по формуле (225); R_{zII} — высота неровностей на поверхности полосы, мкм; ε — относительное обжатие, %.

При прокатке с высоковязкими смазками, как отмечалось ранее, f_y в некоторой мере зависит от температуры деформации и контактного давления. Для учета влияния температурных условий может быть использована формула

$$f_y = f_{y20} + a\sqrt{t^\circ - 20}, \quad (227)$$

где f_{y20} — коэффициент трения при температуре металла 20 °С; t° — температура прокатки, °С; a — эмпирический коэффициент. При прокатке на гладких валках $a = 0,0011 \div 0,0015$.

Учет контактного давления в основном необходим при $p_{cp} > 1000$ МПа. В этом случае применяют формулу

$$f_y = f'_y + 0,3(p_{cp} - 1000) \cdot 10^{-4}, \quad (228)$$

где f'_y — коэффициент трения, рассчитанный без учета давления; p_{cp} — среднее контактное давление в МПа.

При прокатке на слабошероховатых валках с поверхностью 7—9 классов для определения коэффициента трения служит формула [1]

$$f_y = \frac{k_{CM} [1 + (0,4 + 0,01\varepsilon) R_z]}{1 + 0,25\sqrt{v_{50}} - 0,005v_{50}} \left[0,07 - \frac{0,1v_B^2}{2(1 + v_B) + 3v_B^2} \right]. \quad (229)$$

Формула (229) действительна при $\varepsilon > 10\%$. Если шероховатость поверхности полосы значительно отличается от шероховатости валков, то применяют дополнительную формулу

$$f_y = f'_y + 0,25\varepsilon (R_{zII} - R_z) \cdot 10^{-3}, \quad (230)$$

где f'_y — коэффициент трения, рассчитанный по формуле (229).

Влияние температуры прокатки в случае необходимости учитывают формулой (227), причем принимают $a = 0,0035 \div 0,0073$ [1].

При прокатке на грубошероховатых валках с поверхностью 4—6 классов, как показывают опыты, вид смазки не оказывает большого влияния на f_y . Вместе с тем решающую роль играет шероховатость поверхности валков и величина обжатия. В связи с этим для расчета коэффициента трения рекомендуется формула [1]:

$$f_y = 0,015[1 + (1,5 + 0,05\varepsilon) \sqrt{R_z}]. \quad (231)$$

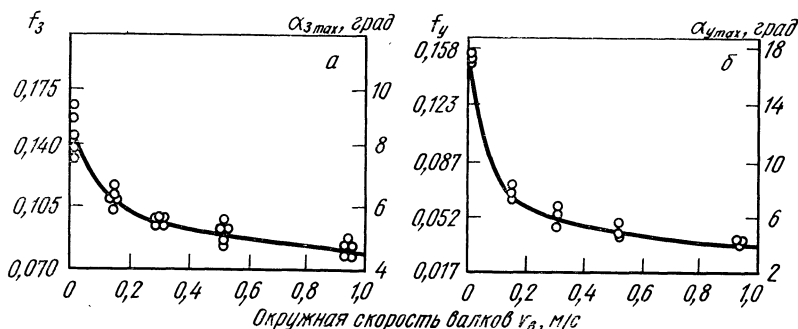


Рис. 103. Зависимость коэффициента трения от скорости при прокатке свинцовых образцов с хлопковым маслом [152]:

a — при захвате; *b* — при установившемся процессе

Формула (231) справедлива при изменении обжатия в пределах 10—30%. Если обжатие превышает 30%, то можно принимать значение f_y , соответствующее $\varepsilon = 30\%$. Предполагается, что прокатка ведется со смазкой, но вид смазки не конкретизируется.

Опыты свидетельствуют, что при прокатке на грубошероховатых валках коэффициент трения уменьшается с ростом коэффициента подпора n_σ . Формула (231) отвечает случаю, когда $n_\sigma \approx 1$ ($\rho_{cp} \approx \sigma_T$). Можно приближенно считать, что при прокатке стали увеличение контактного давления (вследствие роста n_σ) на 500 МПа приводит к уменьшению коэффициента трения на 0,02—0,03.

Прокатка свинца

Свинец широко используют в лабораторных условиях как материал, деформация которого при комнатной температуре подобна деформации стали при высоких температурах. Для выявления количественных закономерностей и расчетов по теоретическим формулам необходимо знать величину коэффициента трения при прокатке свинца. С этой целью могут быть использованы данные, приведенные в табл. 18.

Коэффициент трения при захвате f_3 определяли методом максимального угла захвата, а коэффициент трения при установившемся процессе f_y методом предельного обжатия. Все опыты проведены при окружной скорости валков 0,3 м/с. Опыты показали, что при изменении скорости от нуля до 1 м/с при прокатке на сухих валках коэффициент трения остается практически постоянным. При прокатке свинцовых полос со смазкой наблюдается обычное, четко выражен-

ТАБЛИЦА 18
КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ ПРИ ПРОКАТКЕ СВИНЦА (В ЧИСЛИТЕЛЕ — ПРЕДЕЛЫ, В ЗНАМЕНАТЕЛЕ — СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ)

Материал и твердость валков	Обработка поверхности валков	Класс шероховатости	Смазка	Коэффициент трения			
				при захвате f_3		при установившемся процессе f_3	
				чистые валки	освинцованные валки		чистые валки
Закаленная хромистая сталь, HB690	Шлифовка наждачной бумагой в стане	7	Без смазки	0,24—0,30 0,27	0,83—0,89 0,86	0,23—0,30 0,26	0,35—0,38 0,37
	Шлифовка на станке	7—8	Без смазки	0,24—0,32 0,28	—	0,28—0,29 0,28	—
	Шлифовка наждачной бумагой в стане	7	Керосин	0,15—0,17 0,16	0,22—0,28 0,25	0,12—0,17 0,14	0,18—0,20 0,19
	Шлифовка на станке	7—8	Хлопковое масло	0,11—0,13 0,12	Освинцевания не происходит 0,89—0,95	0,084—0,10 0,095	Освинцевания не происходит 0,55—0,57
	Шлифовка наждачной бумагой в стане	6	Без смазки	0,29—0,36 0,32	0,93	0,29—0,32 0,31	0,56—0,57 0,56
	Шлифовка на станке	7	То же	0,25—0,34 0,29	—	0,26—0,29 0,27	—
	Грубая обточка	4	То же	0,57—0,62 0,60	0,98—1,01 1,00	0,56—0,63 0,60	—
	Шлифовка наждачной бумагой в стане	7	То же	0,25—0,29 0,27	0,95—0,98 0,96	0,27—0,32 0,29	0,41—0,46 0,43
Серый чугун HB190	Шлифовка на станке	7	То же	0,24—0,28 0,26	—	0,27—0,30 0,28	—
	То же	7	Машинное масло	0,086—0,103 0,098	Освинцевания не происходит	0,52—0,063 0,059	Освинцевания не происходит
	То же	7	Хлопковое масло	0,092—0,118 0,103	То же	0,56—0,073 0,065	То же

ное его снижение с увеличением скорости (рис. 103). Графики на рис. 103 могут быть использованы для корректировки значений коэффициента трения с учетом скоростного фактора¹.

Следует обратить внимание на резкое изменение величины коэффициента трения в результате освинцевания валков. Поэтому при проведении прокаток на сухих валках для стабилизации условий трения необходимо тщательно очищать поверхность валков перед проведением каждого опыта. Применение слабых смазок типа керосина не предотвращает развития процесса освинцевания (табл. 18).

Волочение

Приведенные в табл. 19 данные отвечают обычным производственным условиям волочения с применением наиболее распространенных смазок [119]. Однако большинство значений коэффициента трения получено при малой скорости волочения на разрывной машине. Для определения величины коэффициента трения при волочении стальной низкоуглеродистой проволоки с учетом скорости может быть использована кривая на рис. 95.

Влияние вида технологической смазки и способа подготовки поверхности металла на коэффициент трения при волочении проволоки из Ст10 показано в табл. 20. Протяжку осуществляли через стальную волоку [153].

Т А Б Л И Ц А 19

КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ [119]

Обрабатываемый металл	Состояние металла	Материал волоки		
		сталь	твердый сплав	технический алмаз
Низкоуглеродистые стали	Отожженный	0,07	0,06	0,05
	Упрочненный	0,06	0,05	0,04
Высокопрочные стали	Отожженный	—	0,05—0,08	—
	Горячее волочение	—	0,13—0,18	—
Медь и сплавы на медноцинковой основе	Отожженный	0,08	0,07	0,06
	Упрочненный	0,07	0,06	0,05
Бронзы, никель и сплавы на никелевой и медноникелевой основе	Отожженный	0,07	0,06	0,05
	Упрочненный	0,06	0,05	0,04
Алюминий	Отожженный	0,11	0,10	0,09
	Упрочненный	0,10	0,09	0,08
Дуралюмины, сплавы типа магналей	Отожженный	0,09	0,08	0,07
	Упрочненный	0,08	0,07	0,06
Титан и его сплавы	Отожженный	—	0,10	—
	Упрочненный	—	0,08	—
	Горячее волочение	—	0,17—0,21	—
Цинк и его сплавы	—	0,11	0,10	—
Свинец	—	0,15	0,12	—
Вольфрам и молибден	Нагретые до 700—900 °С	—	0,25	0,20
	Холодный, 20 °С	—	0,15	0,12
Молибден	Отожженный	—	0,11—0,13	—
Цирконий	Отожженный	—	0,08—0,09	—
	Упрочненный	—	—	—

¹ Абсолютные значения коэффициента трения на рис. 103 меньше, чем в табл. 18 (для хлопкового масла). Это объясняется, главным образом, различием температур, при которых проводили исследования: 15—20 °С (рис. 103) и около 35 °С (табл. 18).

ТАБЛИЦА 20

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ И ВИДА
СМАЗКИ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ

Подготовка поверхности	Состав смазки	f
С окалиной Окалина удалена с поверхности строжки; дополнительная подготовка поверхности не про- изводилась	Без смазки	0,41
	Без смазки	0,33
	Алюминиевое мыло	0,125
	Подсолнечное масло	0,10
	Натриевое мыло синтетических жирных кислот	0,09
	Медное мыло	0,09
Травление+омеднение+извест- кование	Мыльный порошок (натриевое мыло)	0,08
	Мыльный порошок	0,062
Травление+желтение+обра- ботка в растворе буры	Мыльный порошок	0,037

ТАБЛИЦА 21

КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ ЛАТУННОЙ
ПРОВОЛОКИ

Смазка	Коэффициент трения		
	$\alpha = 2,8^\circ$; $\varepsilon = 27,3\%$	$\alpha = 3,0^\circ$; $\varepsilon = 47\%$	$\alpha = 6,1^\circ$; $\varepsilon = 48\%$
Натровое мыло	0,042	0,033	0,060
10 %-ный раствор эмульсола в воде	0,067	0,064	0,077
Касторовое масло	0,072	0,069	0,081
Суспензия графита в масле	0,088	0,095	0,096
Гипоидная смазка SAE-90	0,100	0,105	0,110

ТАБЛИЦА 22

КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ ПРИ ГОРЯЧЕМ ВОЛОЧЕНИИ
ТИТАНОВЫХ ПРОФИЛЕЙ С ГРАФИТОВОЙ СМАЗКОЙ

Подготовка поверхности	λ	Температура волочения, °С		
		600	700	750
Обработка бурой	1,11	0,058	0,068	0,119
	1,25	0,062	0,099	0,118
Остекление	1,11	0,090	0,128	0,135
	1,25	0,081	0,139	0,224

Примечание. Угол конусности волокна $\alpha = 6^\circ$; скорость волочения 3 м/мин.

Влияние вида смазки при волочении латунной проволоки показано в табл. 21 [154].

В работе [155] показано, что при холодном волочении труб с применением смазок типа растительного масла и торфосала f находится в пределах 0,1--0,15. Эти данные подтверждаются рекомендациями, приведенными в монографии [156] по выбору f при волочении труб:

Стали углеродистые и низколегированные	0,11—0,13
Латуни:	
Л62	0,11—0,12
Л070-1	0,10—0,12
Л68	0,09—0,12
Медь	0,12—0,15

Волочение профилей из Ti иногда производят при повышенной температуре. Соответствующие данные по f приведены в табл. 22 [157].

Прессование

При горячем прессовании стальных труб и профилей с применением стеклосмазок f лежит в пределах 0,025—0,050, причем чаще всего равен 0,030—0,035 [121]. Такие значения f получают при условии удаления окалины с поверхности металла. При наличии окалины f повышается.

В работе [155] показано, что при холодном волочении труб с применением смазок типа растительного масла и торфосала f находится в пределах 0,1—0,15. Эти данные подтверждаются рекомендациями, приведенными в монографии [156]; по выбору f при волочении труб:

Стали углеродистые и низколегированные	0,11—0,13
Латуни:	
Л62	0,11—0,12
Л070-1	0,10—0,12
Л68	0,09—0,12
Медь	0,12—0,15

Волочение профилей из Ti иногда производят при повышенной температуре. Соответствующие данные по f приведены в табл. 22 [157].

Прессование

При горячем прессовании стальных труб и профилей с применением стеклосмазок f лежит в пределах 0,025—0,050, причем чаще всего равен 0,030—0,035 [121]. Такие значения f получают при условии удаления окалины с поверхности металла. При наличии окалины f повышается.

Коэффициент трения при горячем прессовании цветных металлов и сплавов характеризуется следующими данными [158]:

	f		f
Медь	0,25	Бронза:	
Латунь:		БрАЖМЦ 10-3-1,5	0,29
Л68	0,18	БрАЖН 10-4-4	0,29
Л62 ($\leq 725^\circ\text{C}$)	0,20	БрОФ 4-0,25	0,27
Л62 ($> 725^\circ\text{C}$)	0,27	Алюминий	0,28
ЛС59 ($\leq 700^\circ\text{C}$)	0,22	Алюминиевые сплавы	0,35
ЛС59 ($> 700^\circ\text{C}$)	0,27	Магний	0,25
		Магниеые сплавы	0,28

Приведенные значения f характеризуют трение на стенках контейнера и в конической части матрицы при выдавливании без смазки. В случае применения смазки, в частности графито-масляной, f может быть понижен до величины 0,030—0,035 [121].

7.2. Определение показателя сил трения и средней удельной силы трения

В соответствии с формулой (16) под показателем сил трения понимают отношение величины удельной силы трения к пределу текучести деформируемого металла $f_{\sigma} = t/\sigma_{\tau}$. Чаще показатель сил трения выражают в виде отношения удельной силы трения к вынужденному пределу текучести или удвоенному сопротивлению сдвигу [см. формулы (17) и (18)] $f_{\sigma}^* = t/m\sigma_{\tau} = t/2\tau_c$.

Среднее значение показателя сил трения для всей контактной поверхности в очаге деформации может быть найдено путем теоретического построения эпюры сил трения (см. п. 4.7) и определения t_{cp} . Так в работе [159] получены значения f_{σ}^* для случая осесимметричной осадки (табл. 23). Аналогичные данные для случая плоской осадки прямоугольной полосы приведены в работе [38]. Таким же методом теоретического построения эпюр сил трения получены значения f_{σ}^* при прокатке (табл. 24) [1]. При расчете данных, учитывая дополнительное упрочнение поверхностного слоя металла, принято $t_{max} = 1,5\tau_c$.

В работе [39] предложены формулы для аналитического определения средней удельной силы трения, а следовательно, и показателя сил трения при прокатке. При выводе этих формул принято, что на участках скольжения силы трения изменяются по закону Амонтона, а нормальные давления по уравнениям (69) и (70). На участках постоянства сил трения принято $t = t_{max} = \tau_c$. Длину зоны прилипания l_{II} определяли по эмпирической формуле (121).

ТАБЛИЦА 23

ПОКАЗАТЕЛЬ СИЛ ТРЕНИЯ ПРИ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ОСАДКЕ

f	f_{σ}^* при значениях R/h_1									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,05	0,052	0,054	0,057	0,059	0,061	0,064	0,067	0,070	0,074	0,078
	0,052	0,054	0,057	0,059	0,061	0,064	0,067	0,070	0,074	0,078
0,10	0,110	0,120	0,130	0,140	0,150	0,170	0,190	0,210	0,240	0,270
	0,110	0,120	0,130	0,140	0,150	0,170	0,190	0,210	0,240	0,260
0,15	0,150	0,180	0,210	0,240	0,280	0,310	0,330	0,350	0,360	0,380
	0,150	0,180	0,210	0,240	0,280	0,310	0,340	0,370	0,390	0,410
0,20	0,200	0,250	0,290	0,330	0,370	0,390	0,400	0,420	0,430	0,430
	0,200	0,250	0,290	0,330	0,370	0,410	0,440	0,460	0,470	0,490
0,30	0,260	0,340	0,400	0,430	0,450	0,460	0,470	0,470	0,480	0,490
	0,260	0,340	0,390	0,440	0,480	0,510	0,530	0,540	0,550	0,550
0,40	0,260	0,380	0,440	0,460	0,480	0,480	0,490	0,490	0,490	0,490
	0,260	0,370	0,420	0,490	0,530	0,550	0,560	0,570	0,570	0,580
0,50	0,260	0,390	0,450	0,470	0,480	0,490	0,490	0,490	0,500	0,500
	0,260	0,380	0,450	0,510	0,540	0,560	0,570	0,580	0,580	0,580

Примечание. В числителе приведены значения f_{σ}^* , рассчитанные при условии $t_{max} = \tau_c$, в знаменателе — при условии $t_{max} = 1,2\tau_c$.

ПОКАЗАТЕЛЬ СИЛ ТРЕНИЯ ПРИ ПРОКАТКЕ

f_y	α	f_{σ}^* при значениях R/h_1					
		5	10	25	50	100	500
0,05	0,025	—	—	—	0,048	0,052	0,065
	0,05	—	—	0,048	0,050	0,054	0,070
	0,10	—	0,048	0,049	0,050	0,050	—
0,10	0,05	—	—	0,084	0,107	0,12	0,26
	0,10	—	0,089	0,103	0,12	0,13	—
	0,20	0,093	0,096	0,098	0,099	0,10	—
0,20	0,05	—	—	0,17	0,20	0,30	0,56
	0,10	—	0,15	0,22	0,27	0,38	—
	0,20	0,15	0,19	0,25	0,31	0,42	—
	0,30	0,18	0,20	0,24	0,28	0,32	—
	0,40	0,19	0,19	0,20	0,20	—	—
0,30	0,10	—	0,17	0,32	0,49	0,57	—
	0,20	0,18	0,27	0,43	0,55	0,59	—
	0,30	0,24	0,31	0,45	0,52	0,56	—
	0,40	0,27	0,32	0,41	0,47	—	—
	0,60	0,26	0,28	0,30	—	—	—
0,40	0,10	—	0,15	0,38	0,57	0,60	—
	0,20	0,16	0,30	0,55	0,62	0,66	—
	0,30	0,24	0,40	0,58	0,64	0,66	—
	0,40	0,31	0,45	0,56	0,64	—	—
	0,60	0,36	0,43	0,53	—	—	—
0,50	0,10	—	0,13	0,39	0,54	0,63	—
	0,20	0,13	0,30	0,57	0,65	0,70	—
	0,30	0,21	0,42	0,62	0,68	0,70	—
	0,40	0,29	0,50	0,64	0,68	—	—
	0,60	0,42	0,50	0,64	—	—	—

В зависимости от вида эюр сил трения применяют разные выражения для расчетного определения $t_{\text{ср}}$. Если на эюре отсутствуют участки постоянства сил трения (эюра II на рис. 62), то рекомендуется формула

$$t_{\text{ср}} = (\tau_c/l_d) (h_0 A_0 + h_1 A_1 + 0,5nql_{\text{п}}), \quad (232)$$

$$\text{где } \tau_c = 0,58\sigma_{\text{ср}};$$

$$A_0 = [(n - 2f_y)/(n - \alpha)] [(2f_y - \alpha)/(n - \alpha)]^{\alpha/2f_y - 1};$$

$$A_1 = [(n - 2f_y)/(2f_y + \alpha)] [(n + \alpha)/(2f_y + \alpha)]^{\alpha/2f_y},$$

$$n = t_{1-3}/t_{\text{max}} = t_{1-3}/\tau_c; \quad q = l'_{\text{п}}/l_{\text{п}},$$

где t_{1-3} — удельная сила трения на границе между зонами скольжения и прилипания (между участками 1 и 3 на эюре II, рис. 62); $l'_{\text{п}}$ — действительная длина зоны прилипания; $l_{\text{п}}$ — длина зоны прилипания, определяемая по формуле (121).

Значения t_{1-3} и $l'_{\text{п}}$ могут быть найдены с помощью графического построения эюры. Величина f_y , по смыслу вывода, представляет собой коэффициент трения в зонах скольжения.

В том случае, когда на дуге контакта есть участки постоянства сил трения (эпюра III на рис. 62), расчет $t_{ср}$ ведут по формуле

$$t_{ср} = (\tau_c/l_d) (l_d + h_0 A'_0 + h_1 A'_1 - 0,5 l_{II}), \quad (233)$$

где $A'_0 = (2f_y/\alpha) [(2f_y - \alpha)/(1 - \alpha)]^{(\alpha/2f_y)-1} - 1/\alpha$;

$$A'_1 = - (2f_y/\alpha) [(1 + \alpha)/(2f_y + \alpha)]^{(\alpha/2f_y) + 1} + 1/\alpha.$$

Путем построения эпюр сил трения при различных f_y и ϵ установлены те критические (граничные) значения параметра $l_d/h_{ср}$, при которых эпюра II типа переходит в эпюру III типа (рис. 62). Эти значения параметра $l_d/h_{ср}$ следующие [39]:

f_y	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$l_d/h_{ср}$	17,1/18,0	5,7/6,0	2,6/2,8	1,25/1,34	0

В числителе указаны величины, соответствующие обжатию $\epsilon = 0,1$, в знаменателе $\epsilon = 0,5$.

Если отношение $l_d/h_{ср}$ меньше или равно критической величине, то расчет средней удельной силы трения надо вести по формуле (232); в противном случае применяют формулу (233).

На основании расчетов по формулам (232) и (233) построен график, позволяющий непосредственно определять показатель сил трения $t_{ср}/m\sigma_T$ в зависимости от величины f_y , параметра $l_d/h_{ср}$ и обжатия ϵ (рис. 104). Различие численных значений f^*_σ , приведенных в табл. 24 и на рис. 104, обусловлено принятием разного уровня предельных сил трения на контакте: в первом случае $t_{max} = 1,5\tau_c$, во втором $t_{max} = \tau_c$.

В работе [39] рассмотрен также метод учета влияния натяжения концов полосы на среднюю удельную силу трения.

В работах [160, 161] для определения $t_{ср}$ при ковке и прокатке используют выражение (18), причём для расчета коэффициента ψ , который может быть назван удвоенным показателем сил трения, рекомендуют применять формулу

$$\psi = 2f^*_\sigma = f [1 + 0,25n (1 - f)\sqrt{f}], \quad (234)$$

где f — коэффициент трения скольжения; n — меньшее из отношений $l_d/h_{ср}$ или $b_{ср}/h_{ср}$.

Формула (234) не имеет строгого вывода. Она предложена на основании опытных данных и некоторых теоретических соображений. Во всех случаях, если известны f и коэффициент подпора n_σ , то показатель сил трения может быть найден из соотношений (174) или (177).

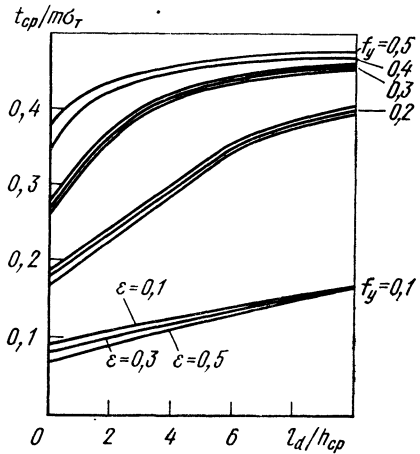


Рис. 104. График для определения величины показателя сил трения [39]

8. Классификация и физико-химические свойства смазок

8.1. Требования, предъявляемые к технологическим смазкам

Вещества, подаваемые на контактные поверхности в зону деформации, необходимые для нормального протекания или интенсификации процесса обработки, называют *технологическими смазками*.

Такие виды обработки давлением, как холодная или горячая прокатка ряда цветных металлов, волочение, прессование черных и тугоплавких металлов, листовая вытяжка, холодное выдавливание, горячая прокатка труб на длинной оправке и некоторые другие неосуществимы в промышленных масштабах без применения технологических смазок; подача смазок при горячей прокатке стали, горячей ковке и объемной штамповке, вырубных операциях листовой штамповки, гибочных операциях позволяет значительно улучшить технико-экономические показатели процесса.

Применение смазок обычно преследует несколько целей, что определяет основные *функциональные требования* к смазкам: 1) снижение сил трения на контакте; 2) уменьшение износа инструмента; 3) предотвращение схватывания и налипания металла на инструмент; 4) обеспечение чистоты и оптимальной шероховатости поверхности изделий; 5) охлаждение инструмента (для смазочно-охлаждающих жидкостей); 6) снижение теплопередачи между деформируемым металлом и инструментом; 7) уменьшение окисления металла и потерь легирующих элементов при обработке (для защитно-смазочных покрытий); 8) обеспечение более равномерного распределения деформации по объему деформируемого тела.

Удовлетворить одновременно всем указанным требованиям трудно. Некоторые из них противоречат друг другу. Например, увеличение толщины смазочного слоя между контактными поверхностями способствует снижению сил трения, но вместе с тем возрастает шероховатость поверхности изделий из-за деформирования поверхностного слоя металла смазкой. Поэтому в зависимости от конкретных условий и целей обработки стремятся добиться того, чтобы смазка удовлетворяла главным, первоочередным требованиям.

Важнейшей функцией смазки является уменьшение сил внешнего трения (коэффициента трения). Под *эффективностью смазки* чаще всего понимают именно ее *антифрикционную эффективность*. В некоторых случаях снижение сил трения ограничено устойчивостью процесса или другими причинами, например, условиями захвата при прокатке. Таким образом, смазка должна обеспечить оптимальную величину силы трения, которая не всегда является минимальной. Помимо функциональных, смазка должна удовлетворять ряду других требований технического, экономического и санитарно-гигиенического характера. Основные из них следующие: 1) стабильность состава и свойств; 2) удобство подачи ее на инструмент и заготовку; 3) простота приготовления и возможность регенерации; 4) простота удаления с поверхности изделий; 5) способность ее накапливаться на поверхности инструмента; 6) отсутствие вредного воздействия на металл и оборудование (коррозия и проч.); 7) нетоксичность, отсутствие неприятного запаха; 8) минимальное загрязнение рабочих мест; 9) отсутствие отрицательного воздействия на окружающую среду, в частности простота очистки сточных вод; 10) малая стоимость и недефицитность (для смазок массового потребления).

8.2. Основные типы технологических смазок

Смазки классифицируют по химическому составу, агрегатному состоянию, назначению и другим признакам. По агрегатному состоянию смазки можно разделить на несколько групп: масла и их производные, эмульсии, компаунды и пластичные смазки, твердые смазки.

По химическому составу и происхождению масла подразделяют на следующие подгруппы: а) минеральные масла; б) растительные и животные жиры; в) масла на основе синтетических жирных кислот.

Минеральные масла получают из нефти. В состав нефти входят в основном углеводороды трех классов: алифатические (парафиновые, называемые также алкановыми, или метановыми), которые характеризуются общей формулой C_nH_{2n+2} ; циклические нафтеновые и полинафтеновые типа C_nH_{2n} , C_nH_{2n-2} , C_nH_{2n-4} и т. д.; циклические ароматические типа C_nH_{2n-6} , C_nH_{2n-10} и т. д.

Молекулы алифатических углеводородов (АУ) представляют собой открытые цепи различной длины с метильными группами CH_3 на концах и метиленовыми группами CH_2 внутри: $CH_3-(CH_2)_n-CH_3$. АУ относятся к классу насыщенных (предельных) углеводородов.

Нафтеновые углеводороды (НУ) — основные компоненты масляных фракций нефти. Их молекулы имеют кольчатое (циклическое) строение. Содержащиеся в нефти НУ имеют циклы (кольца) с пятью и шестью углеродными атомами, а также комбинации, состоящие из соединения двух и трех колец (полинафтены).

Ароматические углеводороды (АрУ) также обладают циклическим строением. В нефти имеются как моноциклические АрУ типа бензола, так и полициклические, состоящие из нескольких колец, например, нафталин.

Кроме названных соединений, в состав нефти входят углеводороды смешанного строения, нафтеново-ароматические (асфальтовые), метаново-нафтеновые, метаново-нафтеново-ароматические, метаново-ароматические, а также кислородные соединения в виде смолисто-асфальтовых веществ (САВ) и нафтеновых кислот (НК).

Смолисто-асфальтовые вещества — полициклические соединения, содержащие в молекуле кислород или серу, или то и другое. Доля их не превышает 4—5 % в легких нефтях и достигает 10—20 % в тяжелых нефтях.

Нафтеновые кислоты являются производными нафтеновых углеводородов. Они образуются в результате замещения водорода карбоксильной группой $COOH$ в одной из метильных групп. Абсолютное количество кислот в нефтях невелико (менее 2,0—2,5 %). Максимальное их количество содержится в маловязких фракциях нефти (соляровых, веретенных).

Качество нефти как сырья для производства минеральных масел полностью зависит от характера содержащихся в ней углеводородов и кислородных соединений и от их относительного количества в смеси.

Перегоняя нефть при атмосферном давлении, от нее отбирают бензиновые, легроновые и керосиновые фракции, а в остатке получают мазут. При вакуумной перегонке мазута получают ряд фракций-дистиллятов (веретенный, машинный, автоловый, цилиндровый), отличающихся по вязкости, плотности, температуре кипения и другим свойствам. После отгонки дистиллятов от мазутов остается высоковязкий остаток — гудрон, полугудрон. Очисткой дистиллятов получают дистиллятные масла малой и средней вязкости, из гудрона производят более тяжелые и вязкие остаточные масла. Значительная доля масел получается смешиванием дистиллятных и остаточных масел в различных соотношениях.

По способу очистки масла можно разделить на масла серноокислотной и селективной очистки. Операция очистки необходима для удаления из дистиллятов остатка асфальто-смолистых веществ, части высокомолекулярных полициклических ароматических и нафтено-ароматических углеводородов с короткими алифатическими цепями, нафтеновых кислот, сернистых соединений и др. Очищенные масла должны содержать лишь небольшое количество смолистых веществ, являющихся естественными антиокислителями.

При очистке масла серной кислотой основная часть нежелательных веществ реагирует с кислотой, и продукты реакции (вместе с непрореагировавшей кислотой) осаждаются в виде так называемого кислого гудрона, который отделяют посредством отстаивания или центрифугирования. Оставшиеся в масле продукты реакции удаляют либо действием щелочи с последующей многократной промывкой масла водой (масла серноокислотной очистки), либо с помощью отбеливающей земли (масла кислотнo-контактоy очистки).

При очистке селективными (избирательными) растворителями применяются вещества, которые растворяют в себе некоторые определенные составные части масла, не затрагивая остальных. Такими веществами являются, например, нигробензол и фенол. Очищенную часть масла называют рафинатом, а раствор извлеченных веществ в растворителе — экстрактом.

Особым видом очистки является депарафинизация масел — удаление от дистиллятных и остаточных фракций содержащихся в них твердых углеводородов, повышающих температуру застывания масла.

Твердые углеводороды, выделяемые при депарафинизации веретенных и машинных фракций, называются *парафинами*. Для отделения парафина дистилляты охлаждают и подвергают фильтрации на фильтрпрессах. При этом на фильтре остается мягкий продукт (гач), в котором содержится 25—35 % масла. Из гача получают различные сорта товарного парафина.

Парафины являются основным сырьем для получения синтетических жирных кислот (СЖК). При депарафинизации остаточных, более термостойких фракций масел образуется продукт, называемый *петролатумом*. Он состоит из парафинов, церезинов и высокомолекулярных смазочных масел (около 25 %), его используют для получения синтетических поверхностно активных веществ и церезинов.

По назначению минеральные масла подразделяются на большое число групп (см. табл. 27). Для улучшения эксплуатационных свойств масел в них вводят различного рода присадки. Масла, содержащие присадки, иногда называют легированными.

Природные *растительные масла и животные жиры* представляют собой смеси сложных эфиров, образуемых глицерином (трехатомным спиртом) и высшими жирными кислотами. Сложные эфиры жиров называют *глицеридами*.

Спирты — это производные углеводородов, в которых атомы водорода замещены гидроксильной группой ОН. В зависимости от количества этих групп различают спирты одноатомные, двухатомные, трехатомные и т. д. Одноатомные предельные спирты имеют общую формулу $C_nH_{2n+1}OH$. Среди двухатомных спиртов (гликолей) широко известен этиленгликоль CH_2OH-CH_2OH . Между двумя, тремя и более молекулами этиленгликоля может протекать реакция с получением так называемых полиэтиленгликолей. Из трехатомных спиртов наиболее важным является глицерин $CH_2OH-CHOH-CH_2OH$ — густая бесцветная жидкость, смешивающаяся с водой в любых соотношениях.

Жирными или *карбоновыми кислотами* называются органические вещества (углеводороды), молекулы которых содержат одну или несколько карбоксильных групп $COOH$. В зависимости от количества этих групп различают кислоты одноосновные, двухосновные и т. д. В состав жиров входят одноосновные (монокарбоновые) кислоты. Они подразделяются на предельные (насыщенные), непредельные (ненасыщенные), циклические и др.

Предельные жирные кислоты ($C_nH_{2n}O_2$) имеют только одинарные связи между атомами углерода. В состав растительных и животных жиров в наибольшем количестве входят производные пальмитиновой $C_{16}H_{32}O_2$ и стеариновой $C_{18}H_{36}O_2$ кислот.

Непредельные жирные кислоты отличаются от предельных тем, что их молекулы имеют одну или несколько двойных связей атомами углерода: $C_nH_{2n-2}O_2$ (одна двойная связь), $C_nH_{2n-4}O_2$ (две), $C_nH_{2n-6}O_2$ (три двойные связи). Важнейшим представителем непредельных кислот с одной двойной связью является олеиновая кислота $C_{18}H_{34}O_2$. Ее структурная формула $CH_3-(CH_2)_7-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$.

Производные олеиновой кислоты в большом количестве входят в состав подсолнечного, хлопкового, оливкового и некоторых других растительных масел. Местоположение двойной связи в молекуле может меняться; так образуются изомеры, например, изоолеиновая кислота.

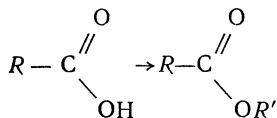
В особый ряд непредельных жирных кислот входит рициоловая кислота $C_{18}H_{34}O_3$, молекула которой имеет одну двойную связь и содержит одну дополнительную ОН-группу. Эта кислота составляет основу касторового масла. Предельные и непредельные кислоты с одним и тем же числом атомов углерода резко различаются по своим свойствам. Так, высокомолекулярные предельные кислоты

в обычных условиях являются твердыми веществами, а непредельные — жидкостями.

Все жирные кислоты (предельные и непредельные) относятся к категории поверхностно активных веществ. Благодаря наличию карбоксильной группы COOH молекулы жирных кислот полярны. Попадая на металлическую поверхность, молекулы прижимают к ней активными группами COOH , образуя упорядоченные, прочные граничные слои. При большой длине молекул такие слои существенно снижают силы трения.

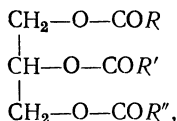
Эфиры бывают простыми и сложными. Простые эфиры представляют соединения двух одновалентных углеводородных радикалов с атомом кислорода. Структурная формула простых эфиров $R-O-R'$, где R и R' — углеводородные радикалы CH_3 (CH_2) $_n$.

Сложные эфиры карбоновых кислот можно рассматривать как продукты замещения гидроксила кислоты на спиртовый остаток:



Сложные эфиры образуются в результате реакции *этерификации* — взаимодействия спирта с кислотой. Названия сложных эфиров производятся от названий тех кислот и спиртов, которые образуют эфир.

В состав природных жиров — растительных и животных — входят глицериды — пальмитины, стеарины, олеины и др. Как правило, это полные эфиры (триглицериды), имеющие структурную формулу:



где R , R' , R'' — углеводородные радикалы жирных кислот.

Иногда встречаются неполные эфиры, ди- и моноглицериды, например, моностеарин $\text{CH}_2\text{OH}-\text{CHON}-\text{CH}_2$ ($\text{OCOC}_{17}\text{H}_{35}$).

Большинство глицеридов растительных масел является разнокислотным, т. е. радикалы R , R' , R'' образованы различными кислотами. Жиры, содержащие глицериды непредельных жирных кислот, обычно бывают жидкими (растительные масла), содержащие глицериды предельных кислот — твердыми. К жирам относятся также различные виды воска, представляющего собой смесь сложных эфиров высших жирных кислот и одноатомных высших спиртов.

Растительные масла получают из семян или плодов прессованием или экстракцией, т. е. действием органических растворителей. Помимо триглицеридов, в состав жиров после извлечения из семян входят в различном количестве разнообразные примеси: белковые, слизистые и смолистые вещества, фосфатиды, свободные жирные кислоты и др. Для их удаления жиры обязательно рафинируют. Существуют следующие методы рафинации: механические (отстаивание, центрифугирование и фильтрация); химические (сернокислотная рафинация, гидратация — промывка водой, щелочная рафинация, нейтрализация свободных жирных кислот этерификацией др.); физико-химические (адсорбционная рафинация, дезодарация — удаление летучих веществ, рафинация селективными растворителями и др.). Остатки рафинации — *соапстоки* — содержат мыла, нейтральные жиры и примеси, извлеченные из жира.

В состав рафинированных масел, кроме глицеридов, в небольшом количестве входят свободные жирные кислоты, а также фосфатиды (глицериновые эфиры, в молекуле которых вместо третьего остатка жирной кислоты имеется остаток фосфорной кислоты). Животные жиры получают вытапливанием, экстрагированием или прессованием из любых видов животного жиросодержащего сырья.

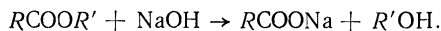
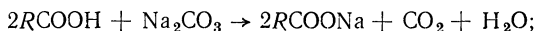
При воздействии на жиры или жирные кислоты щелочью образуются мыла, которые представляют собой соли жирных кислот:



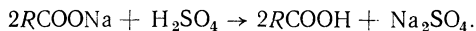
Обычные твердые мыла состоят в основном из смеси натриевых солей пальметиновой, стеариновой и олеиновой кислот. Если в качестве щелочи использовать KOH, то образуется жидкое калиевое мыло. Мыла, как и жирные кислоты, — поверхностно активные вещества (ПАВ).

Синтетические жирные кислоты (СЖК) получают жидкофазным окислением нефтяного парафина кислородом воздуха в присутствии катализатора — перманганата калия [163]. Нагретый воздух пропускают через расплавленную массу парафина при 110—130 °С в течение 20—30 ч до превращения исходных продуктов на 30—35 %. В результате реакции образуется смесь, %: 30—35 жирных кислот и эфиров, 4—5 водорастворимых кислот и 59—62 неомыляемых, в состав которых входит 16—20 спиртов, 7—10 кетонов и других кислородсодержащих соединений, а также непрореагировавший парафин.

Далее свободные кислоты омыляют водным раствором кальцинированной соды, а эфиры — едким натром, превращая их в натриевые мыла:



Оставшийся парафин и неомыляемые кислородсодержащие вещества отделяют и возвращают для повторного окисления. Полученное техническое мыло, водный раствор которого называют мыльным клеем, обрабатывают концентрированной (92—96 %) серной кислотой:



В результате получают смесь жирных кислот («сырые» кислоты) фракционного состава от C₅ до C₂₅ и выше. Эту смесь путем вакуумной дистилляции разгоняют на фракции C₅—C₆, C₇—C₉, C₁₀—C₁₆, C₁₇—C₂₀. Кубовые остатки СЖК содержат фракции C₂₁ и выше.

В состав товарных СЖК, в отличие от природных, входят не только нормальные монокарбоновые кислоты с четным числом атомов углерода, но и кислоты с нечетным числом атомов углерода, кислоты изостроения, дикарбоновые кислоты и некоторые другие. Часть из них имеет специфический неприятный запах.

Все товарные фракции СЖК вызывают коррозию стали, особенно фракция C₇—C₉. Поэтому использование СЖК в натуральном виде в качестве технологических смазок встречает затруднения. В основном в качестве смазок применяют сложные эфиры СЖК.

Эмульсии

Эмульсией называется достаточно устойчивая система из двух жидких фаз, одна из которых распределена в виде мельчайших капелек в другой. Жидкость, образующую капельки, называют дисперсной фазой, остальную часть — дисперсионной (непрерывной) средой. Наиболее употребительны эмульсии типа масло—вода.

Из-за большого поверхностного натяжения вода не смачивает масло, которое стремится сосредоточиться на поверхности воды в виде отдельной фазы. Для получения устойчивых эмульсий с концентрацией дисперсной фазы выше 0,1 % необходимо присутствие в растворе *эмульгатора*. Растворяясь, эмульгатор уменьшает поверхностное натяжение воды и его раствор смачивает гидрофобные частицы масла. В результате на поверхности капелек масла образуется коллоидно-адсорбционная пленка эмульгатора с достаточно высокой вязкостью и прочностью. Таким образом, капельки масла оказываются изолированными одна от другой и при механическом перемешивании равномерно распределяются в воде, образуя стабильную эмульсию.

По степени диссоциации в воде эмульгаторы подразделяются на ионогенные и неионогенные. Ионогенные вещества диссоциируют в воде и по характеру ионов подразделяются на анионоактивные и катионоактивные. Катионоактивные эмуль-

гаторы образуют стабильные эмульсии в кислой среде и поэтому, во избежание коррозии, при обработке металлов давлением обычно не применяются. Широкое применение находят анионоактивные эмульгаторы: натриевые, калиевые, триэтаноламинные соли жирных и нафтеновых кислот. Они обладают высокой эффективностью, но чувствительны к электролитам и снижают эффективность в жесткой воде. Неионогенные эмульгаторы не диссоциируют в воде и менее чувствительны к электролитам и к жесткости воды.

Стабильные эмульсии с повышенными технологическими свойствами получают при совместном применении анионоактивных и неионогенных эмульгаторов в различных пропорциях. Иногда — с помощью ультразвуковых колебаний, либо одновременным введением эмульгатора и действием ультразвука. Одной из разновидностей эмульсий являются, так называемые, водорастворимые масла (коллоидные дисперсии): молекулы минерального масла (а также маслорастворимых ингибиторов коррозии) полностью включаются в мицеллы (молекулярные агрегаты) эмульгатора и при растворении эмульсола в воде образуются прозрачные водные мицеллярные растворы. В качестве эмульгаторов в таких растворах используют амины жирных кислот, сульфонаты и в качестве связывающих — гликоли и др.

Смазочные и эксплуатационные свойства эмульсий зависят от вида диспергированного вещества (масла), его концентрации, типа и количества эмульгатора, наличия примесей, жесткости воды и других факторов. В качестве дисперсной фазы используют минеральные и растительные масла, животные жиры, синтетические продукты, их смеси, отходы производства растительных масел; иногда в состав эмульсий вводят мелкодисперсные порошки твердых веществ. Концентрация масла в эмульсиях, применяемых при обработке давлением, в большинстве случаев находится в пределах от 1 до 10 %. При концентрациях выше 25% в растворе появляются обратные дисперсии воды в масле и возможно образование студней. При концентрации более 70 %, как правило, образуются обратные эмульсии воды в масле.

В цехах по обработке давлением водные эмульсии минеральных масел изготавливают из эмульсолов: коллоидных растворов эмульгатора в масле. В некоторых случаях находят применение малостабильные (метастабильные) эмульсии, а иногда просто механические смеси масла с водой. Такие смеси получают путем постоянного интенсивного перемешивания в мешалках, циркуляцией или барботированием.

Компаунды и пластичные смазки

Смеси минеральных масел с растительными или синтетическими продуктами в различных соотношениях называют компаундами. Растительные масла или синтетические продукты вводят в минеральное масло для повышения эффективности смазки без значительного увеличения вязкости. Установлено, что указанные добавки заметно изменяют физические и смазочные свойства основного компонента лишь тогда, когда их концентрация составляет не менее 10 %.

К пластичным (консистентным) относят смазки, полученные загущением масел, в основном минеральных, гидротированными натриевыми, кальциевыми, литиевыми, бариевыми, алюминиевыми мылами природных и синтетических жирных кислот, а также парафином, церезином, воском, вязкостными присадками (полнизобутиленом разных марок, винилолом), загустителями (силикогелем). В некоторых случаях в качестве дисперсионной среды пластичных смазок используют силиконовые жидкости.

Для повышения антифрикционных свойств, способности сохраняться на контакте, стойкости против окисления, химической стабильности, противозносных и противозадирных свойств в компаунды и пластичные смазки вводят порошкообразные наполнители: графит, дисульфид молибдена, тальк, серу, слюду, мел, сажу, глину; органические наполнители: древесную муку или опилки, отруби и другие компоненты, а также поверхностно-активные вещества в отдельности или в различных комбинациях и соотношениях.

Эту группу смазок можно разделить на две подгруппы: сухие твердые смазки и наполнители; твердые смазки, размягчающиеся или плавящиеся в процессе деформации. Сухие твердые смазки отличаются тем, что они не меняют своего агрегатного состояния в процессе работы.

Графит — минерал, гексагональная полиморфная модификация углерода. Имеет слоистое, чешуйчатое строение, жирный на ощупь. Природный кристаллический графит поставляется в виде концентрата марок А и Б, получаемого обогащением графитовых руд. Концентрат содержит не более, %: 7—9 золы, 1 влаги, 1 летучих веществ, 0,2 серы, не менее 92—90 % углерода. Графит получают также термической обработкой каменного угля (антрацита). По ГОСТ 17022—76 графит поставляется различных марок, в том числе графит смазочный ГС-1, ГС-2, ГС-3 и ГС-4, графит специальный малоазольный ГСМ-1 и ГСМ-2 (для коллоидно-графитовых препаратов), графит карандашный ГК-1, ГК-2, ГК-3.

Дисульфид молибдена MoS_2 получают из природных минералов (молибденового блеска) либо синтетическим путем. Имеет вид серого порошка. Кристаллизуется к гексагональной сингонии. В соединении MoS_2 атомы молибдена расположены между двумя слоями серы. Силы межатомных связей в одной плоскости больше, чем между двумя плоскостями. Поэтому расщепление всегда происходит между слоями, как в типичной слоистой структуре. Как и графит, дисульфид молибдена обладает высокой адгезией по отношению к металлам.

Слюда — минерал пластинчатого строения, сложный по химическому составу. Включает алюмосиликаты, щелочные металлы (Na, Mg) и другие элементы. Техническая слюда поставляется по ГОСТ 10698—80 разных марок, в том числе дробленая и молотая марок СММ (из мусковита) и СМФ (из флогонита), СММ ЭК (для компаундов) и др.

К подгруппе твердых смазок, размягчающихся или плавящихся в процессе деформации, относятся стекла, эмали, шлаки металлургические, природные минералы и горные породы, соли, сварочные флюсы. Эти смазки не горят, не дают вредных газовых выделений, но они применимы только в определенном температурном диапазоне. При температурах ниже температуры плавления (размягчения) они превращаются в абразив.

Стекла — в широком смысле, аморфные тела различного химического состава, получаемые переохлаждением из расплава. Стекловидные вещества изотропны и характеризуются постепенным переходом из твердого состояния в вязкое и далее в жидкое при повышении температуры. Изменение свойств обратимо при охлаждении от высоких температур. Условно принято считать, что переход из твердого в вязкое состояние происходит при вязкости 10^8 Па·с (10^9 П), а в жидкое состояние при вязкости 10^3 Па·с (10^3 П). Соответствующие температуры обозначаются T_g и T_f . Стекла, у которых интервал между температурами перехода T_g и T_f достаточно велик, называют «длинными», стекла с близкими значениями T_g и T_f — «короткими». Если $T_g < 1000$ °С, то стекла называют низкотемпературными, а если $T_f > 1000$ °С — высокотемпературными. Выдержка при определенной температуре приводит к экзотермической кристаллизации стекла.

Наиболее распространены *силикатные стекла*, получаемые при сплавлении природных силикатов с различными материалами. Основой всех силикатных соединений является кремнезем SiO_2 , при плавлении которого получают однокомпонентное силикатное стекло. Оно образует расплав при температуре 1730 °С и обладает весьма высокой вязкостью вплоть до 2000 °С.

Кроме SiO_2 , стеклообразующими веществами являются борный ангидрид B_2O_3 , фосфорный ангидрид P_2O_5 и другие окислы. Соответствующие стекла называются боратными, фосфатными и т. д.

Некоторое применение получили двухкомпонентные стекла — искусственные соединения Na_2O и SiO_2 , K_2O и SiO_2 (натриевое растворимое стекло, или гидросиликат натрия $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2$, и калиевое растворимое стекло, или гидросиликат калия $\text{K}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2$), соединение $\text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$. Названные материалы, кроме последнего, — низкотемпературные смазки; боросодержащее стекло можно использовать в широком интервале температур обработки, но оно отличается высокой стоимостью и трудоемкостью изготовления.

К природным двухкомпонентным силикатным системам относятся глины различного состава, в частности каолиновая $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и бентонитовая $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, а также асбест и тальк. Глины обладают способностью набухать и диспергировать в воде с образованием устойчивых водных суспензий. Асбест и тальк представляют собой минералы $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$; они обладают высокими теплоизоляционными свойствами, благодаря чему их вводят в состав высокотемпературных смазок. Для этой же цели используют циркон $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$.

Из трехкомпонентных природных соединений получили некоторое промышленное внедрение горные породы — нефелин $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, альбит (натриевый полевой шпат) $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$, ортоклаз (калиевый полевой шпат) $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$, лепидолит (литиевая слюда) $\text{LiAl}(\text{OH})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$, вермикулит $(\text{MgFe})_3(\text{OH})_2 \cdot [(\text{Si}, \text{Al}, \text{Fe})_4\text{O}_{10}] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, данбурит $\text{CaO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ и другие, которые используют либо в отдельности, либо как составную часть смазок.

Природные минералы и искусственные двух- и трехкомпонентные системы чаще всего не удовлетворяют в должной мере требованиям, предъявляемым к технологическим смазкам. В связи с этим во многих случаях синтезируют системы, содержащие до десяти и более компонентов.

При выборе химического состава смазки учитывают характер влияния различных компонентов на технологические свойства, и прежде всего на вязкость и «длину», а также на смачиваемость и кристаллизационную способность [164].

Сложные стекла классифицируют по природе основного стеклообразующего окисла. В основное стекло последовательно входят окислы одновалентных элементов (Li_2O , Na_2O , K_2O), затем двухвалентных главной группы (BeO , MgO , CaO , BaO) и побочных групп (ZnO , PbO), далее окислы высших валентностей. Окислы перечисляют в порядке возрастания их молярной концентрации. Основным стеклообразующим окисел ставится в конце термина. Каждой марке стекла присваивают цифровой или буквенно-цифровой индекс.

В некоторых случаях находят применение обычные промышленные стекла (табл. 25).

Эмали (стеклоэмали) — непрозрачные, обычно цветные стекла, предназначенные для нанесения на металл для защиты от коррозии и с декоративной целью.

ТАБЛИЦА 25

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТЕКОЛ [164]

Стекло	Содержание компонентов, % по массе			
	SiO_2	Na_2O	K_2O	MgO
Оконное	70,4—72,8	12,9—16,8	0—0,67	0,13—3,81
Бутылочное	70,5—74,5	14,5—16,5	—	0,4—5,2
Пирекс	80,0	4,12	0,24	0,04
Для стеклоткани № 1	53,2—54,8	0,5—0,8	—	4,5—5,0
Для стеклоткани № 2	71,0	15,0	—	3,0
Стекло	Содержание компонентов, % по массе			
	CaO	Fe_2O_3	Al_2O_3	B_2O_3
Оконное	0,39—8,64	0,06—1,13	0—1,36	—
Бутылочное	6,4—9,39	0,06—0,11	0,2—0,5	—
Пирекс	—	0,06	2,07	13,2
Для стеклоткани № 1	16,5—17,5	≤0,6	14,2—15,7	7—10
Для стеклоткани № 2	8,0	—	3,0	—

Стекло смазки используются в виде порошков с размером частиц от 0,1 до 4 мм, стеклоткани или в виде водных и спиртовых суспензий. Для удаления стеклосмазок с поверхности готовых изделий приходится применять специальные меры, в том числе травление в кислотах и щелочах.

Шлаки металлургические — неметаллические фазы, образующиеся при выплавке чугуна, стали, ферросплавов и представляющие собой силикатные соединения, близкие по составу и свойствам к стеклам. Доменные шлаки состоят в основном из окислов: SiO_2 (38—50 %), CaO (38—48 %), Al_2O_3 (6—22 %) и MgO (2—12 %); в небольших количествах они содержат FeO , MnO , а также сернистые соединения. Окислы образуют различные сложные соединения (типа природных минералов), которые в твердом состоянии имеют кристаллическое либо стекловидное строение. Температура затвердевания доменных шлаков 1135—1540 °С (чаще в пределах 1200—1400 °С) [165, 166].

Примерно половину всех доменных шлаков подвергают гранулированию водой или воздухом. Гранулированные шлаки, в основном, находятся в стеклообразном состоянии. Шлаки можно применять в качестве технологической смазки при температуре обработки, которая на 50—100 °С ниже температуры плавления шлака. В этом случае шлак действует как смазка за счет выплавления эвтектических соединений [164]. При использовании гранулированных шлаков происходит разогрев смазки за счет тепла кристаллизации. Для усиления этого эффекта предложено применять смазки на основе шлаков, а также стекол, с экзотермическими добавками [167]. Один из основных недостатков шлаковых смазок заключается в непостоянстве свойств, вызванном колебаниями химического состава.

Флюсы сварочные — синтетические силикатные соединения, состоящие преимущественно из окислов SiO_2 и MnO с добавками K_2O , Na_2O , CaO , MgO , Al_2O_3 , TiO_2 , FeO , CaF_2 и других компонентов. Флюсы поставляют по ГОСТ 9087—69 в виде порошка с размером гранул 0,35—4,0 мм. Температура плавления флюсов не превышает 1200 °С, вязкость при температуре плавления составляет 0,15—0,70 Па·с [168]. Флюсы отличаются постоянством химического состава и хорошей жидкотекучестью при температуре деформации.

Природные минералы и горные породы, используемые для приготовления смазок, имеют температуру плавления в интервале 1000—1200 °С. Они характеризуются низкой теплопроводностью в жидком состоянии и незначительным изменением вязкости при изменении температуры расплава [169].

Неорганические соли — кристаллические вещества природного или синтетического происхождения. В процессах обработки давлением наибольшее распространение получили соли соляной, ортофосфорной, а также азотной и азотистой кислот. Солевые смазки применяются в виде порошков или водных растворов. Для достижения требуемой температуры плавления используют смеси солей — солевые эвтектики. Если соль используется в качестве среды для безокислительного нагрева заготовок, то остающийся на поверхности слой служит в дальнейшем технологической смазкой. Солевые смазки легко удаляются с поверхности изделий, но часто обладают сильным коррозионным действием.

8.3. Показатели физико-химических свойств смазок и методы их определения

Метод отбора проб для испытаний должен обеспечивать усреднение свойств смазки по всему объему сосуда (резервуара) и регламентирован ГОСТ 2517—80.

Химические свойства

Содержание свободных кислот в масле характеризуется *кислотным числом*. Оно показывает, какое количество едкого кали КОН в миллиграммах требуется для нейтрализации кислот в 1 г масла. Определяется титрованием по ГОСТ 11362—76, ГОСТ 6707—76, ГОСТ 6243—75, ГОСТ 5476—80.

Содержание свободных щелочей характеризуется *щелочным числом*. Его величина выражает количество едкого кали в миллиграммах, эквивалентное коли-

честву соляной кислоты, израсходованной на нейтрализацию всех основных соединений, содержащихся в 1 г смазки. Определяется титрованием по ГОСТ 11362—76, ГОСТ 6707—76.

Содержание свободных жирных кислот и других титруемых щелочью веществ в растительном масле (кислотность) выражают также в процентах по массе в пересчете на олеиновую кислоту или едкий натр.

Содержание в масле свободных и связанных в виде триглицеридов жирных кислот, способных омыляться в условиях испытания, характеризуется *числом омыления*. Под этим числом понимают количество едкого кали в миллиграммах, необходимое для разрушения сложнэфирных связей в 1 г масла и нейтрализации выделенных при этом и свободных жирных кислот. Число омыления определяется по ГОСТ 17362—71, ГОСТ 5478—64. Содержание в масле связанных в виде триглицеридов жирных кислот характеризуют *эфирным числом*. Под этим числом понимают количество едкого кали в миллиграммах, необходимое для разрушения сложнэфирных связей в 1 г масла и нейтрализации выделенных при этом жирных кислот.

Число нейтрализации жирных кислот выражается количеством едкого кали в миллиграммах, необходимым для нейтрализации 1 г смеси жирных кислот, выделенных из масла.

Содержание в масле непредельных соединений (степень ненасыщенности масла) характеризуется *иодным числом*. Иодное число выражается в граммах иода, эквивалентного состоящему из галогенов реагенту, присоединившемуся к 100 г масла. Определяется для растительных масел титрованием по ГОСТ 5475—59. *Родановое число* характеризует содержание в растительном масле непредельных соединений, выражается в граммах иода, эквивалентного родану, присоединившемуся к 100 г масла.

Гидроксильное число и *ацетильное число* характеризуют содержание в растительном масле гидроксилсодержащих соединений. Гидроксильное число выражается в миллиграммах едкого кали, необходимого для нейтрализации уксусной кислоты в 1 г масла, выделяющейся после гидролиза избытка ацетилизирующего реагента. Ацетильное число выражается в миллиграммах едкого кали, необходимого для разрушения сложнэфирной связи между уксусной кислотой и гидроксильной группой в 1 г масла и нейтрализации выделившейся при этом уксусной кислоты.

Перекисное число — процентное содержание иода, эквивалентного иодистоводородной кислоте, прореагировавшей в стандартных условиях с перекисной или гидроперекисной группами масла.

Степень окисленности — количественное содержание в масле кислородсодержащих группировок, образовавшихся в результате окисления жирных кислот, а также их полимеризации и конденсации.

Карбонильное число — величина, определяемая (в условных процентах) по цвету избытка непрореагировавшего реагента или продуктов взаимодействия, образовавшихся в стандартных условиях при действии на альдегидные группы масла специфическими реагентами, к которым относятся бензидин, гидроксимин 2,4 динитрофенилгидразин, флюороглюцин; определяется по ГОСТ 23527—79.

Содержание мыла — показатель, характеризующий эффективность отделения от масла омыленных жирных кислот после проведения щелочной нейтрализации и промывки рафинированного растительного масла, выражается количеством содержащихся в масле следов солей жирных кислот в пересчете на олеиновый натрий. Количество *нежировых примесей* характеризуется содержанием в масле веществ, нерастворимых в петролейном эфире. Количество *неомыляемых веществ* характеризуется содержанием в масле сопутствующих веществ, не реагирующих со щелочами и не разрушающихся при омылении масла (парафинов, высокомолекулярных спиртов, углеводов, примесей, обуславливающих вкус, запах, цвет смазки), определяется по ГОСТ 5479—64.

Содержание *воды* в масле определяют по ГОСТ 2477—65 путем удаления при нагревании влаги из раствора масла в бензине или толуоле. Количество *водорастворимых минеральных кислот и щелочей* определяют титрованием водной вытяжки смазки по ГОСТ 6307—75. Если водородный показатель $\text{pH} < 4,5$, вытяжка считается кислой, при $4,5 < \text{pH} < 5$ — слабокислой, при $9 < \text{pH} < 10$ — слабо щелочной, при $\text{pH} > 10$ — щелочной; в интервале $5 < \text{pH} < 9$

В вытжке отсутствуют водорастворимые кислоты и щелочи. Процентное содержание *механических примесей* определяют по ГОСТ 1036—75 путем экстрагирования смазки спиртобензольной смесью с последующим определением массы водонерастворимого осадка на фильтре.

Коксовое число — процентное содержание массы остатка (кокса), образующегося при разложении масла, нагреваемого без доступа воздуха (ГОСТ 8859—74). *Зольность* определяется по ГОСТ 1461—75 путем прокаливания кокса до получения постоянной массы. Содержание *серы* определяют по ГОСТ 1437—75, *фосфора* — по ГОСТ 9827—75, *хлора* — по ГОСТ 20242—74.

Ряд других показателей для растительных масел оговорен в ГОСТ 18848—73. *Стабильность против окисления* по ГОСТ 5734—76 характеризуют изменением содержания свободных кислот или свободных щелочей в смазке, нанесенной на металлическую пластинку и выдержанной заданное время при температуре испытания. *Коррозионное действие* по ГОСТ 19199—73, ГОСТ 9088—77 определяют по потере массы металлических пластинок, многократно погружаемых в масло, нагретое до 140 °С, после 50 ч испытаний. *Коррозионная агрессивность эмульсий* определяется по ГОСТ 6243—75 визуально: эмульсия считается агрессивной, если после 4 ч выдержки на чугунной пластине под каплей эмульсии возникает потемнение.

Физические свойства

Плотность (масса единицы объема, кг/м³) определяется по ГОСТ 3900—47 взвешиванием заданного объема продукта либо, если вязкость $\nu \leq 200$ мм²/с, при помощи ареометра (нефтеденсиметра).

Вязкость динамическая (сопротивление сдвигу) — сила сопротивления, возникающая при взаимном относительном перемещении слоев жидкости с определенной скоростью. Жидкости, у которых сопротивление сдвигу прямо пропорционально скорости скольжения, называют ньютоновскими, все остальные — неньютоновскими.

Вязкость кинематическая — отношение динамической вязкости жидкости к ее плотности.

Для перевода единиц вязкости (табл. 26) можно пользоваться следующими соотношениями: 1 Па·с = 10 П = 10³·сП; 1 м²/с = 10⁶ Ст = 10⁶ сСт, 1 мм²/с = 1 сСт.

Для экспериментального определения вязкости применяются вискозиметры разных типов и конструкций [171, 172]. Кинематическую вязкость нефтепродуктов определяют по ГОСТ 33—66 (перездание 1978 г.) при помощи капиллярных вискозиметров ВПЖ-1, ВПЖ-2, ВПЖ-4, ВНЖ и ВПЖМ по ГОСТ 10028—67 и вискозиметров Пинкевича для ньютоновских жидкостей с вязкостью от 0,6 до 30 000 сСт. При испытании измеряют время течения смазки между специальными метками при заданной температуре.

Если невозможно определить вязкость по ГОСТ 33—66, используют условные единицы вязкости: градусы ВУ по ГОСТ 6258—52 — отношение времени истечения смазки при температуре испытания ко времени истечения 200 мл дистиллированной воды при 20 °С; условную вязкость по ГОСТ 11503—74 — время протекания определенного количества битума через калиброванное отверстие виско-

Т А Б Л И Ц А 26

ЕДИНИЦЫ ВЯЗКОСТИ

Вязкость	Обозначение	Размерность в разных системах		
		СИ (SI)	СГС (CGS)	МКС (MKS)
Динамическая	η	Па·с	Дин·с/см ² (пуаз)	кгс/м ²
Кинематическая	ν	м ² /с	см ² /с (стокс)	м ² /с

зиметра при заданной температуре. Для пластичных смазок вязкостью от 10 до 10^6 П определяется сопротивление сдвигу на пластовискозиметре по ГОСТ 9127—59 или предел прочности по ГОСТ 7143—73. При низкой температуре испытания по ГОСТ 1929—51 определяют время перемещения порции смазки, находящейся под давлением, через метки калиброванного трубопровода, либо число оборотов внутреннего цилиндра ротационного вискозиметра за 1 с, и полученные результаты сравнивают с данными для эталонной жидкости.

За рубежом в качестве условных единиц вязкости используются: секунды Сейболта — Универсал (США), секунды Редвуда № 1 (Англия), градусы Энглера (последние практически совпадают с градусами ВУ). Имеются таблицы и формулы для пересчета различных условных единиц вязкости в кинематическую вязкость ν [141, 173]. Например, при $\nu > 120$ сСт применяется формула $ВУ = 0,135 \nu$.

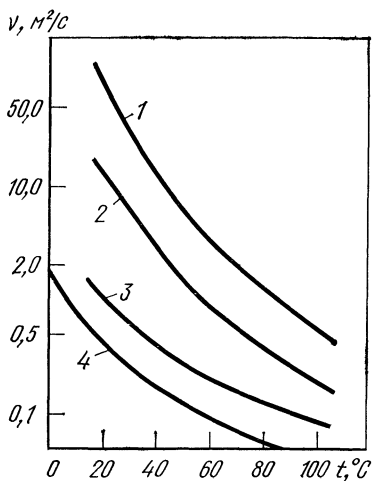


Рис. 105. Влияние температуры на вязкость масел:

1 — цилиндрического 52; 2 — касторового; 3 — подсолнечного; гидрогенизированного; 4 — индустриального 12

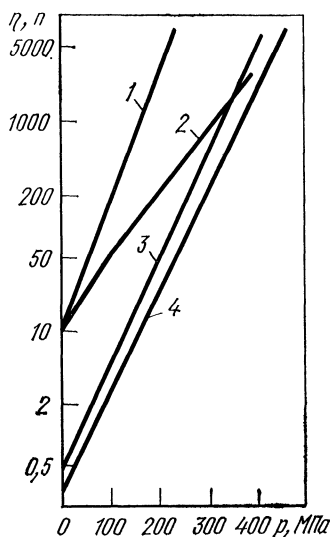


Рис. 106. Влияние давления на вязкость масел [174]:

1 — авиационного МС-20; 2 — касторового; 3 — веретенного АУ; 4 — трансформаторного

С повышением температуры вязкость масла резко уменьшается (рис. 105). Зависимость кинематической вязкости от температуры обычно выражают эмпирической формулой Вальтера:

$$\lg \lg (\nu + 0,6) = a - b \lg T, \quad (235)$$

где ν — кинематическая вязкость, $\text{мм}^2/\text{с}$; T — абсолютная температура, К; a и b — эмпирические коэффициенты, зависящие от состава масла.

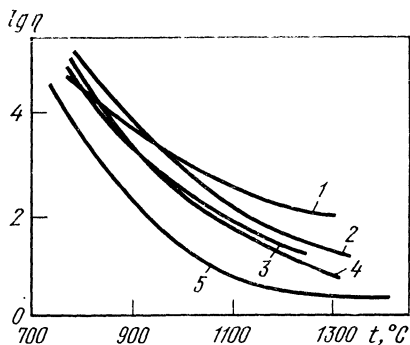
Как правило, требованиям эксплуатации лучше удовлетворяют те масла, у которых зависимость вязкости от температуры выражена более слабо. Для оценки интенсивности влияния температуры на вязкость масла применяется ряд показателей (индексов). Одним из них является отношение ν_{50}/ν_{100} , где ν_{50} и ν_{100} — кинематическая вязкость соответственно при 50 и 100 °С. Значительное распространение получил индекс вязкости Дина—Дэвиса (ИВ) [173].

С повышением давления вязкость масел увеличивается (рис. 106). Влияние давления на вязкость учитывается чаще всего с помощью формулы

$$\eta_p = \eta_0 \exp \theta p, \quad (236)$$

где η_p — динамическая вязкость при давлении p , МПа; η_0 — динамическая вязкость при атмосферном давлении; θ — пьезокоэффициент вязкости, МПа⁻¹. Значения θ находятся в пределах $(1,5 \div 4) \cdot 10^{-6}$ для нефтяных масел и $(1,0-1,5) \times 10^{-6}$ для растительных и животных жиров.

Зависимость вязкости от давления у минеральных масел выражена более резко, чем у растительных и животных жиров. Для однопипных масел пьезокоэффициент вязкости, как правило, тем больше, чем выше вязкость масла. С повышением температуры θ уменьшается. Величина θ также немного уменьшается с ростом давления. Справедливость формулы (236) при давлениях порядка 500—



700 МПа и выше сомнительна [133]. При достижении определенного давления масло превращается в твердое (или квазитвердое) тело. По некоторым данным [175], затвердевание углеводородного масла при комнатной температуре происходит при давлении 700 МПа, а растительного масла при 2000 МПа.

Вязкость масляных смесей не подчиняется закону аддитивности. Теоретически вязкость смеси двух масел определяют с помощью специальных номограмм или формул [141, 173].

Рис. 107. Вязкость стекол в зависимости от температуры:

Кри- вая	Индекс	Содержание компонентов, %								
		SiO ₂	B ₂ O ₃	Na ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	прочие	
1	13в	63,5	14,3				4,4	15,6	—	2,2 F
2	176	61	12	15	6				3	3
3	209	40	35	5	5				5	10BaO
4	185в	60	20	12	5				3	
5	10с	57—61	17—18	18—20	4—5					

Вязкость эмульсий $\eta_{эм}$ можно определить по формуле Тейлора:

$$\eta_{эм} = \eta_d \left[1 + 2,5\varphi \left(\frac{\eta_{\phi} + 0,4\eta_d}{\eta_{\phi} + \eta_d} \right) \right], \quad (237)$$

где η_d — вязкость дисперсионной среды; η_{ϕ} — вязкость дисперсной фазы; φ — отношение объема дисперсной фазы по всему объему эмульсии.

Динамическая вязкость воды при 20 °С составляет 1,005 сП. Вязкость водомасляных эмульсий низкой концентрации (до 5—10 %) почти не отличается от вязкости воды.

Вязкость стекол (рис. 107) и других силикатных соединений экспериментально определяют в основном на ротационных вискозиметрах (η , Па·с). При исследовании вязкости шлаков в области температур между солидусом и ликвидусом определяют условную вязкость, так как в этом интервале шлак состоит из жидкой и твердой фаз. Данные по вязкости трехкомпонентных силикатных систем (шлаков) имеются в работе [166].

Скорость размягчения стекла и его способность растекаться по твердой поверхности характеризуют *плазкостью*. Мерой плазкости служит длина капли, растекающейся по наклонной металлической или керамической пластинке за определенное время при заданной температуре [164]. Смазочные свойства силикатных соединений зависят также от поверхностного натяжения расплава, которое может быть найдено по краевому углу, образуемому каплей.

Степень мягкости пластичных (консистентных) смазок оценивают с помощью *пенетрации* — погружением стандартного конуса. Численно характеризуется глубиной погружения в смазку конуса под нагрузкой 1,5 Н за 5 с при 25 °С.

Физико-химические свойства

Температура вспышки в открытом тигле $t_{вс}$ — температура, при которой пары смазки образуют с воздухом смесь, вспыхивающую при поднесении к ней пламени. (ГОСТ 4333—48).

Температура вспышки в закрытом тигле $t'_{вс}$ — температура, при которой пары смазки вспыхивают, но скорость образования газовой смеси недостаточна для последующего горения (ГОСТ 6356—75).

Температура воспламенения $t_{в}$ — температура, при которой продукт загорается и горит не менее 5 с (ГОСТ 4333—48).

Температура каплепадения $t_{кп}$ — температура, при которой происходит падение первой капли или касание дна прибора столбиком нефтепродукта, нагреваемого в определенных условиях (ГОСТ 6793—74).

Температура застывания $t_{з}$ — температура, при которой предварительно нагретый и охлажденный с заданной скоростью продукт остается неподвижным в течение 5 с при наклоне пробирки, в которой он находится (ГОСТ 20287—74).

Температура плавления $t_{пл}$ — температура, при которой растительное масло, перейдя из твердого состояния в жидкое, становится полностью прозрачным (ГОСТ 18848—73).

Стабильность масел оценивают в соответствии с ГОСТ 11063—77 по нарастанию вязкости после выдержки за определенное время при 200 °С. Механическую стабильность пластичных смазок определяют по изменению предела прочности на разрыв в результате интенсивного деформирования смазки в зазоре между ротором и статором тиксометра и при последующем тиксотропном восстановлении (ГОСТ 19295—73). Коллоидная стабильность по ГОСТ 7142—74 характеризуется количеством масла, отпрессованного из пластичной смазки на пенетрометре. *Число дисмульгации* — время, в секундах, в течение которого из эмульсии нефтяного масла, замумлированной сухим паром, выделяется определенное количество масла (ГОСТ 12068—66).

8.4. Смазочные материалы и их физико-химические свойства¹

Нефтепродукты

Плотность минеральных масел (табл. 27) в большинстве случаев находится в пределах 0,88—0,92. Кроме масел, в качестве смазок и их компонентов используется также мазут, который выпускается шести различных марок (ГОСТ 10585—75), содержит до 1,5 % воды и 0,5—3,5 % серы; зольность не выше 0,14 %; механических примесей до 0,8 % (до 2 % у мазута 100); температура вспышки в открытом тигле $t_{вс} = 80 - 110$ °С; температура самовоспламенения $t_{св} = 350$ °С; температура застывания $t_{з} = 10 - 25$ °С; вязкость $\nu_{50} = (28 - 29)$ мм²/с, $\nu_{100} = 6,5 - 9,5$ мм²/с.

Гудрон масляный (ТУ 38 УССР 2-01-181—74) содержит до 0,5 % воды и 0,3% механических примесей; $t_{вс} = 250 - 260$ °С; ВУ при 100 °С в пределах 18—45 град.

Битумы представляют собой смеси углеводородов и их кислородных, сернистых и азотистых производных твердой или полутвердой консистенции черного цвета; получают в основном окислением остаточных продуктов прямой перегонки нефти с различными добавками. Выпускают битумы нефтяные, дорожные вязкие, асфальтовые (ГОСТ 22245—76), нефтяные дорожные жидкие (ГОСТ 11955—74), строительные (ГОСТ 6617—76) и специальные (ГОСТ 21822—76).

¹ Численные значения показателей относятся к продукции низшего сорта, если нет других указаний.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕФТЯНЫХ МАСЕЛ

Марка (название)	Кинематическая вязкость при t °С, мм ² /с			$t_{вс}$, °С	t_3 , °С	Кислот- ное число	Коксо- вое число	Золь- ность, % не более
	20	50	100					
И-5А (велосит)	—	4—5		120	—25	0,05	—	0,005
И-8А (вазелиновое)	—	6—8		130	—20	0,05	—	0,005
И-12А (ИС-12, веретенное 2)	46	10—14	3,6	165	—30	0,05	—	0,005
И-20А (ИС-20, веретенное 3)	91	17—23	5	180	—15	0,05	—	0,005
И-25А (ИС-25)	—	24—27		190	—15	0,05	0,15	0,005
И-30А (ИС-30, шинное Л)	—	28—33		190	—15	0,05	0,15	0,005
И-40А (ИС-45, шинное С)	—	35—45		200	—15	0,05	0,15	0,005
И-50А (ИС-50, шинное СУ)	—	47—55	8,5	200	—20	0,05	0,20	0,005
И-70А (ИС-65)	—	65—75		200	—10	0,05	0,40	0,005
И-100 (ИС-110)	—	90—118		210	—10	0,05	0,45	0,005

Масла индустриальные общего назначения, ГОСТ 20799—75

Трансформаторные масла¹, ГОСТ 982—80

ТК	30	9,6	3,0	135	—45	0,05	—	—
Т-750	—	8	—	135	—55	0,01	—	—
Т-1500	—	8	—	135	—45	0,01	—	—

Масла цилиндры легкие, ОСТ 380185—75

Ц-11 (цилиндровое 2)	870	95	9—13	218	—	0,30	0,8	0,03
Ц-24 (вискозин)	5180	230	20—28	240	—	0,48	2,5	0,05

Масла цилиндры тяжелые, ГОСТ 6411—76

Ц-38 (цилиндровое 6)	—	—	32—50	300	17	Не норм.	2,5	0,015
Ц-52 (вапор)	8550	550	50—70	310	—5	0,4	2,5	0,010

Масла авиационные, ГОСТ 21743—76

МС-14	—	—	14	220	—30	0,25	0,45	0,003
МС-20	1240	151	20	270	—18	0,03	0,29	0,003
МС-20с	—	152	20	270	—18	0,05	0,45	0,003
МК-22	1500	175	22	250	—14	0,10	0,70	0,004

Масла высокой очистки

Веретенное АУ (ГОСТ 1642—75)	47	12—14	3,6	163	—45	0,07	—	0,005
П-28 (масло для прокатных станов, брайтсток, ГОСТ 6480—78)	3610	257	26—30	285	—10	0,08	1,0	—

Марка (название)	Кинематическая вязкость при t °С, мм ² /с			$t_{вс}$, °С	t_3 , °С	Кислотное число	Коксовое число	Зольность, % не более
	20	50	100					
ПС-28 (масло для прокатных станов, ГОСТ 12672—77)	—	—	26—30	250	—10	0,02	1,2	—
Приборное МАП (ГОСТ 1805—76)	—	6,5—8		125	—60	0,05	—	0,005
АМГ-10 (ГОСТ 6794—75)	21	10	4,7	92	—70	0,05	—	—
Парфюмерное (ГОСТ 4225—76)	—	16—23		175	Не норм.	0,03	—	0,004
Вазелиновое медицинское (ГОСТ 3164—78)	—	28—36		185	—5	—	—	—

¹ ТК изготавливается без присадки по спецзаказам для общетехнических целей; Т-750 содержит $\geq 0,3$, а Т-1500 $\geq 0,4$ % ионола.

Парафин (ГОСТ 23683—79) — смесь предельных углеводородов состава $C_{19}H_{40}$ — $C_{35}H_{72}$; белое кристаллическое воскоподобное вещество без запаха, выпускают различных марок, в том числе технической очищенный Т, для синтеза СЖК марки С и др.; $t_{пл} = 52$ — 54 °С. При депарафинизации дизельных топлив получают мягкие и жидкие парафины ($t_{пл} = 24$ — 26 °С [162]).

Хлорпарафин (ТУ 61-01-568—71) — продукт, получаемый при хлорировании твердых парафинов, содержит до 30—50 % Cl.

Церезин (ГОСТ 2488—79) — смесь твердых предельных углеводородов разного класса, в основном парафиновых и нафтеновых — однородная масса белого или желтого цвета, выпускается в соответствии с температурой каплепадения $t_{кп}$ марок 65, 70, 75 и 80. Церезин синтетический высококалвий (ГОСТ 7658—74) получают синтезом окиси углерода и водорода; $t_{кп} \approx 100$ °С.

Озокерит (горный воск) — природный нефтяной битум, смесь твердых насыщенных углеводородов желтого, бурого или зеленоватого цвета; $t_{пл} = 52$ — 85 °С. Композиция озокеритовая (ГОСТ 780—76) — сплав озокерита, парафина и нефтяного церезина; $t_{кп} = 64$ °С.

Петролатум — смесь парафинов и церезинов с некоторым количеством вязких масел, продукт светлокорицевого цвета; $t_{вс} = 230$ — 250 °С; $t_{кп} = 55$ °С; кислотное число 0,1. Методом окисления воздухом при 140—160 °С в присутствии перманганата калия получают окисленный петролатум — однородный продукт вязкостью $\nu_{100} = (10$ — $16)$ мм²/с, кислотное число ≤ 37 , число омыления ≤ 130 , содержащий до 2 % воды.

Сульфозфрезол (ГОСТ 122—54) — смесь дистиллятного масла средней вязкости и осерненного остаточного масла высокой вязкости — стабильная смазочно-охлаждающая жидкость для обработки металлов резанием и давлением без коррозионного действия, не содержит воды и водорастворимых кислот и щелочей, $\nu_{50} = (20$ — $25)$ мм²/с; $t_{вс} = 160$ °С.

Кислоты нефтяные (ГОСТ 13302—77) — продукт сернокислотной очистки светлых и масляных дистиллятов, используются в качестве эмульгаторов, присадок и растворителей. **Асидол** (марки А-1, А-2) — продукт разложения натриевых солей нефтяных кислот — содержит 42—50 % нефтяных кислот, 57—45 % минерального масла, 3—4 % воды; кислотное число 185—210. **Асидол-мылонафт** — смесь нефтяных кислот и их натриевых солей, жидкость от светло- до темно-коричневого цвета — содержит 75—45 % нефтяных кислот, 9 % минерального масла, 1—2 % минеральных солей, 0,7—1,0 % сульфатов, 0,3—1,0 % хлоридов. **Мылонафт** — натриевые соли нефтяных кислот — маэобразное вещество от

соломенно-желтого до темно-коричневого цвета; содержит не менее 43 % нефтяных кислот, 9—15 % неомыляемых веществ, до 2 % хлоридов и 2—4 % других минеральных солей; кислотное число 190—220.

Продукты растительного и животного происхождения

Все указанные в табл. 28 масла, кроме касторового, употребляются в качестве пищевых продуктов. Плотность растительных масел в пределах от 0,91 до 0,97.

Масло касторовое техническое (ГОСТ 6757—73) получают из семян клещевины, цвет — от бесцветного до темно-желтого; используют в медицине и как смазочный материал. **Сульфинированное касторовое** (ализариновое) масло (ГОСТ 6990—75) — густая прозрачная жидкость, содержит 66—68 % общего жира, может служить эмульгатором.

Кокосовое масло получают из копры (высушенной мякоти плодов кокосовой пальмы), цвет белый до желтоватого, применяют в мыловарении.

Конопляное масло (ГОСТ 8989—73) — из семян конопли, цвет желто-зеленый, используют для производства олиф, лаков и красок.

Кориандровое масло — из семян кориандра после извлечения из них эфирных масел, цвет зеленовато-бурый; используют для производства олеиновой кислоты.

Кукурузное (маисовое) масло (ГОСТ 8808—73) — из зародышей кукурузы, цвет золотисто-желтый, ценный пищевой продукт.

Льняное масло (ГОСТ 5791—66) — из семян льна, цвет желтый до бурого, используют для изготовления олиф, лаков.

Пальмовое масло — из мякоти плодов масличной пальмы, цвет темно-желтый до темно-красного, постоянно применяется в качестве технологической смазки и для производства мыл.

Подсолнечное масло (ГОСТ 1129—73) — из семян подсолнечника, цвет светло-желтый, широко распространенный пищевой продукт, а также используют для производства олиф, лаков и мыл.

Рапсовое масло — из семян рапса, цвет бурый, используют для производства мыл и олиф.

Соевое масло (ГОСТ 7825—76) — из бобов сои, цвет от светло- до темно-желтого.

Сурепное масло — из семян сурепицы, цвет бурый, используют для производства мыл и лаков.

Хлопковое масло (ГОСТ 1128—75) — из семян хлопчатника, цвет красно-бурый до буро-черного, используют для производства олеиновой кислоты, распространенный пищевой продукт.

Сульфитный щелок (сульфит — целлюлозный) — раствор, образующийся при сульфитной варке целлюлозы, содержит 10—14 % углеводов и солей лигносульфоновых кислот, в том числе 3—3,5 % сахаров. После утилизации сахаров и упаривания остатка получают сульфитно-спиртовую барду, содержащую до 50 % сухих веществ. Побочным продуктом сульфитной варки целлюлозы является сульфатное мыло, переработкой которого получают *талловое масло*. Оно состоит в основном из смоляных и неопределенных жирных кислот [176]. По внешнему виду представляет собой темную вязкую жидкость. Из таллового масла получают жирные кислоты и канифоль.

Кислоты жирные талловые (ГОСТ 14845—79) содержат от 2—3 (марки А) до 18—20 % (марки Б) смоляных кислот, 4—5 % неомыляемых веществ, кислотное число 185, иодное число 150, используют для производства олиф, красок, эмульсолов. **Канифоль** сосновая (ГОСТ 19113—73) и талловая (ГОСТ 14201—73) — прозрачные стекловидные вещества, состоящие из смоляных кислот, общая формула которых $C_{20}H_{30}O_2$; содержат не более 0,2 % воды, 0,07—2,0 % золы, 0,1 % механических примесей, 6,0—10,5 % неомыляемых веществ, кислотное число 140—165, температура размягчения 54—60 °С; используют в целлюлозно-бумажной промышленности, мыловарении.

При переработке торфа (торфяного битума) получают *торфяной воск* ($t_{пл} = 50—75$ °С) и *торфяную смолу* (жидкий продукт).

Животные жиры (табл. 29), не пригодные для пищевых целей, делятся на 3 сорта (ГОСТ 1045—73); цвет от матово-белого до темно-коричневого; содержат

СОСТАВ И ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА РАСПРОСТРАНЕННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ

Масло	Содержание триглицеридов жирных кислот, %				Вязкость при $t, ^\circ\text{C}$, мм ² /с			Кисло- тное	Число омы- ления	Мо- номерное число	Содержание веществ, %		$t_{\text{вс}}, ^\circ\text{C}$	$t_3, ^\circ\text{C}$	
	паль- мито- новой	стеа- рино- вой	олеи- новой	лино- левой	лино- лео- вой	20	при				неомы- ляе- мых	вля- ги, ле- тучих			
							50								100
Касторовое *1	—	3	3—9	2—3	—	1300— 1400	110— 150	19	3—5	184— 195	82—91	1,0	0,15— 0,3	240	—16
Кокосовое *2	4,3— 4,7	0,8— 5	2— 10,3	1	—	—	—	—	—	246— 268	8—10	—	—	—	19—23
Копыльное . .	6—10	1,7— 5,6	6—16 36—50	15—18	—	—	—	—	—	190— 194	140— 143	—	—	—	—
Кукурузное . .	8—11	2,5— 4,5	30—49 40—56	—	—	—	—	—	0,25— 0,5	188— 193	111— 133	0,8— 2,0	0,08— 0,2	225	—27
Кориандровое**	8	—	32	1	—	82	25—28	8	—	188— 206	88— 100	—	—	—	0—(-4)
Льняное	8	—	13—29	15—30	44—61	56	—	—	2,5— 5,0	117— 170	174— 183	1,0	0,3	240	—
Пальмовое . .	32—40	8—10	~50	—	—	—	28—30	8—9	8—14	190— 223	30—57	0,3— 1,0	—	250	31—41
Подсолнечное	3,5— 6,4	1,6— 4,6	24—40 46—62	—	—	45—70	19—24	7—8	6	186— 194	125— 145	1,3	0,3	225	(-16)— (-18)
Рапсовое *4	—	1,6	~20	14	2—3	—	—	—	6	165— 180	94— 106	1,5	0,25	230	(-4)— (-10)
Созное	2,5— 6,5	4,4— 7,3	23—29 51—57	3—6	—	—	—	—	0,3— 1,5	188— 195	120— 140	1,0	0,20	225	(-8)— (-18)
Сурепное *5 . .	4— 4,5	2	15—32	15—21	8—10	—	—	—	—	173— 181	105— 122	—	—	—	—8
Хлопковое *6	20—22	2	30—35	40—48	—	65	24—28	7—8	0,1— 0,5	194— 196	101— 116	1,0	0,20	—	—1

*1 80—88 % рициновой кислоты; *2 44—52 % лауриновой и 16,5—20 % миристиновой кислоты;

*3 53 % петрозелиновой кислоты; *4 47—50 % эруковой кислоты; *5 38—50 % эруковой кислоты; *6 Содержит пигмент госсипол.

СОСТАВ И ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ЖИВОТНЫХ ЖИРОВ

Жир	Содержание триглицеридов кислот, %				Число омыления	Иодное число	$t_{пл}, ^\circ\text{C}$	$t_3, ^\circ\text{C}$
	пальмитиновой	стеариновой	олеиновой	линолевой				
Говяжий	27—29	24—29	43—44	2—5	193—200	32—47	42—52	34—38
Бараний	25—27	25—31	34—43	3—4	191—206	35—46	44—55	34—35
Свиной	25—30	12—18	41—48	5,7—7,8	193—200	46—66	28—48	22—32

Т А Б Л И Ц А 30

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ ЖИРОВ ИЗ МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ И ЖИВОТНЫХ ВОСКОВ

Жир	Кислотное число	Число омыления	Иодное число	$t_{пл}, ^\circ\text{C}$	Содержание неомыляемых веществ ¹ , %
Рыбий	20	—	—	—	0,5—1,0
Усатых китов	10	175—225	94—145	—	2,5
Зубатых китов (кашалотовый)	6	125—150	62—92	—	28—40
Стеарин	3	175—200	110—145	53—65	3,0
Спермацетовый	2	126—146	44—68	—	34—45
Ланолин	1—2	85—100	15—18	35—37	—

¹ Допускается содержание антиокислителя (ионола) не более 0,12 %.

не более 0,5—1,5 % влаги; 0,5—1,25 % неомыляемых веществ; кислотное число 10—25. Жиры технические морских млекопитающих и рыб (табл. 30) выпускают по ГОСТ 1304—76.

Стеарин — твердая фракция, остающаяся после холодной фильтрации жиров. *Спермацетовый жир* (ГОСТ 1306—66) — жидкость желтого цвета, получаемая методом вытапливания из спермацетового мешка головы кашалота, подвергнутая очистке путем отстаивания и сепарации. *Ланолин* — желтая масса, получаемая при промывке шерсти овец с последующей очисткой.

Жирные кислоты и спирты

Жирные (карбоновые) кислоты образуют обширный класс соединений [176]. В чистом виде в качестве смазок или добавок к ним используются в основном две кислоты: олеиновая и стеариновая (табл. 31).

Олеиновая кислота (ГОСТ 7580—55) выпускается трех марок: А ($t_3 = 10^\circ\text{C}$), Б ($t_3 = 16^\circ\text{C}$) и В ($t_3 = 34^\circ\text{C}$). Кислота марок А и Б — дистиллированная, прозрачная жидкость от желтого до светло-коричневого цвета; марки В — недистиллированная, непрозрачная, темно-коричневого цвета.

Стеариновая кислота — бесцветное кристаллическое вещество; $t_{пл} = 67—69^\circ\text{C}$; $t_н = 376^\circ\text{C}$. Кислота стеариновая техническая (ГОСТ 6484—64) — порошок белого цвета, кроме фракции C_{18} содержит примеси других фракций.

ТАБЛИЦА 31

СВОЙСТВА ОЛЕИНОВОЙ И СТЕАРИНОВОЙ КИСЛОТ

Кислота	Плотность	Кислотное число	Число омыления	Иодное число	Эфирное число	$t_3, ^\circ\text{C}$	Содержание, %, не более		
							неомыляемых	зола	влаги
Олеиновая	0,9	175—200	Не стандартизовано	80—105	Не стандартизовано	10—34	3,5—6,5	0,1—0,2	0,5
Стеариновая	0,85 *	198—210	200—213	18—32	3,0	53—65	0,5—0,7	0,02	0,2

* При температуре 70 °С.

Двухатомные спирты (гликоли) представляют собой бесцветные вязкие жидкости, хорошо растворимые в воде. *Этиленгликоль* (ГОСТ 19710—74) имеет плотность 1112,7—1115,0 кг/м³; содержит до 0,03 % зола и 0,8 % воды; $t_{пл} = -12,3$ °С; $t_R = 192-193$ °С; $t_{св} = 380$ °С; токсичен. Конденсацией этиленгликоля с окисью этилена получают полигликоли. *Диэтиленгликоль* $(\text{ONCH}_2\text{CH}_2)_2\text{OH}$ (ГОСТ 10136—77) имеет плотность 1116—1117 кг/м³; содержит 0,1—0,4 % воды, 0,6—2,6 % органических примесей, число омыления 0,1—0,4; $t_{св} = 134$ °С; $t_{св} = 379$ °С.

Трехатомный спирт *глицерин сырой* (ГОСТ 6823—77) — сиропообразная бесцветная нетоксичная жидкость, содержит 78—86 % чистого глицерина. *Глицерин дистиллированный* (ГОСТ 6824—76) выпускается нескольких сортов. Второй сорт имеет плотность 1232,2 кг/м³; содержит 88 % чистого глицерина, не более 0,25 % зола и 0,25 % нелетучих органических остатков, $t_R = 290$ °С.

Пентоэритрит С $(\text{CH}_2\text{OH})_4$ — четырехатомный спирт, бесцветное кристаллическое вещество; $T_{пл} = 263$ °С. Пентоэритрит технический (ГОСТ 9286—76) — бесцветный кристаллический порошок, содержит не более 0,3 % воды и летучих веществ, 0,05 % зола; $t_{пл} = 180-250$ °С; $t_{св} = 640$ °С. Применяют для изготовления красок и смазочных материалов. Вызывает раздражение верхних дыхательных путей.

Синтетические жирные кислоты (СЖК) и спирты

СЖК (табл. 32) фракций до $\text{C}_{10}-\text{C}_{13}$ — прозрачные маслянистые жидкости, бесцветные или слегка желтоватые, без запаха, $\text{C}_{16}-\text{C}_{18}$ — мазеобразный продукт, $t_3 = 34$ °С; $\text{C}_{17}-\text{C}_{20}$ — твердый однородный продукт от белого до светло-желтого цвета со слабым специфическим запахом, $t_3 = 44-53$ °С; C_{21} и выше (ГОСТ 8622—57) — от мазеобразной до твердой консистенции, от светло- до темно-коричневого цвета. СЖК умеренно токсичные вещества с коррозионным действием. Используются для приготовления мыл, моющих средств, алифатических аминов, синтеза первичных спиртов, смазок.

Синтетические спирты (табл. 32) — прозрачные жидкости, иодное число 1,0, гидроксильное число 250—290, $t_{св} = 245-248$ °С, умеренно токсичные вещества, используются для приготовления ПАВ.

Эмульгаторы, поверхностно активные вещества и присадки

Алкилы — одновалентные радикалы насыщенных углеводородов: метил CH_3 , этил C_2H_5 , амил C_5H_{11} и др. *Алкилсульфаты* (сульфоэферы) — алкиловые эфиры серной кислоты; подразделяются на *алкилсерные кислоты* $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{O}-\text{SO}_2\text{OH}$ (сиропообразные гигроскопические жидкости) и *диалкилсульфаты*

СОСТАВ И СВОЙСТВА ТОВАРНЫХ ДИСТИЛЛИРОВАННЫХ СЖК И СИНТЕТИЧЕСКИХ ЖИРНЫХ ПЕРВИЧНЫХ СПИРТОВ

Фракция	Кислотное число	Эфирное число	Карбонильное число	Содержание, %, не более				
				неомыляемых	воды	фракций		
						основной	низших	высших

Синтетические жирные кислоты, ГОСТ 23239—78

C ₅ —C ₆	430—500	—	—	—	6,0	—	—	—
C ₇ —C ₉	370—410	—	—	1,0	1,5	—	—	—
C ₅ —C ₉	430—440	—	—	—	1,8	—	—	—
C ₉ —C ₁₀	330—370	—	—	1,2	1,5	—	—	—
C ₁₀ —C ₁₃	275—300	5,0	12	1,5	0,5	—	—	—
C ₁₀ —C ₁₆	240—260	4,5	12	2,1	1,0	78,5	8	21
C ₁₂ —C ₁₆	235—265	5,0	12	2,0	1,0	—	—	—
C ₁₇ —C ₂₀	195—210	6,5	14,5	4,5	0,5	50,6	41,8	24,4
C ₂₁ и выше	≥100	—	—	—	—	—	≥85	СЖК

Синтетические жирные первичные спирты, ГОСТ 19937—74

C ₁₀ —C ₁₈	0,1	1,3	1,0	—	0,3	—	6	4
C ₁₂ —C ₁₆	0,1	1,0	1,5	—	0,3	—	7	8

(C_nH_{2n+1}) SO₂ (маслообразные бесцветные жидкости), применяемые для алкилирования (введения алкильной группы в органические соединения) аминов и фенолов. Натриевые соли алкилсерных кислот — моющие средства; алкилфенолы — моющие, смачивающие, эмульгирующие вещества.

Эмульгаторы неионогенные ОП-7, ОП-10 (ГОСТ 8433—57) — продукты обработки моно- и диалкилфенолов окисью этилена (оксипропилированные алкилфенолы), маслообразная жидкость или паста от светло-желтого до светло-коричневого цвета, содержат до 0,5 % воды. ДС РАС (ТУ 38-107-64—75) — продукт сульфирования парафинового, керосинового или газойлевого дистиллята нефти (алкиларилсульфонат), содержит не менее 45 % солей сульфокислот, ПАВ.

Дисон — смесь натриевых мыл СЖК и скрубберной пасты (1 : 1), моющее вещество.

Амины — продукты замещения атомов водорода в аммиаке органическими радикалами (аминоспирты). Амины алифатического (жирного) ряда получают алкилированием аммиака. Этанолламины — бесцветные вязкие жидкости:

	t _{пл.} °С	t _{к.} °С	η _{20.} сП
Моноэтанолламин ОНСН ₂ СН ₂ N	10,5	171	24
Диэтанолламин (ОНСН ₂ СН ₂) ₂ NH	27,8	271	380
Триэтанолламин (ОНСН ₂ СН ₂) ₃ N	21,2	360	1013

Этанолламины используются в производстве моющих средств, как ингибиторы коррозии и в качестве эмульгаторов.

Уротропин технический (гексаметилентетраамин) (СН₂)₆ N₄ (ГОСТ 1381—73) порошок белого цвета, содержащий 99,5—98 % аминов и 0,5—2 % воды.

Амиды карбоновых кислот — производные кислот, в которых гидроксил карбоксильной группы замещен NH₂-группой. Например, амид угольной кислоты карбонид (NH₂)₂СО (мочевина), синтезируется из аммиака и двуоксида углерода.

ОС-20 (ГОСТ 10730—76) — смесь полиоксипропиленгликолевых эфиров высших жирных спиртов, воскообразное твердое вещество от желтого до светло-

коричневого цвета. Неионогенное ПАВ с умеренно токсичными свойствами. Применяется как эмульгатор и стабилизатор суспензий.

Стеарокс-6 (ГОСТ 8980—75) — смесь полиоксэтиленгликолевых эфиров стеариновой кислоты с добавкой 5—10 % препарата ОС-20 или 5 % ОП-7, сиропообразная или пастообразная масса желтого или светло-коричневого цвета, число омыления 80—88, иодное число 1,8, содержит до 0,5 % золь и 0,5 % влаги; $t_{пл} = 32—33$ °С, $\nu_{50} = 11,4$ мм²/с, неионогенный эмульгатор.

Стеарокс-920 — смесь полиоксэтиленгликолевых эфиров СЖК фракций С₁₇—С₂₀, число омыления 91, иодное число 1,8, $t_{пл} = 26—28$ °С.

Кверл 6897 (моющее средство фирмы «Квакер», Голландия) — водный раствор нитрита натрия, полифосфата натрия, анионоактивного (сульфонат) и неионогенного ПАВ, прозрачная негорючая жидкость голубого цвета, содержащая 85 % воды и не разрушающаяся на холоде, кислотное число 6,8, число омыления 15,4, $t_3 = -4$ °С, $\nu_{50} = 9,7$ мм²/с.

Эстолиды — эфиры оксигирных кислот (например, 12-оксистеариновой кислоты), получаемые при нагревании оксигирных кислот при температуре 100—150 °С до снижения кислотного числа с 170—180 до 45—50, при этом молекулы оксикислоты вступают в соединение между собой, образуя полимерную цепочку, что обуславливает их высокие смазочные свойства. *Дифенилоксид* (С₆Н₅—О—С₆Н₅) — дифениловый эфир, являющийся побочным продуктом при производстве фенола гидролизом хлорбензола, применяется для улучшения охлаждающей способности смазки. *Трибутилфосфат* — трибутиловый эфир фосфорной кислоты (С₄Н₉О)₃РО, служит антикоррозионной и антиокислительной присадкой.

Присадка ДФ-11 (ГОСТ 24216—80) — 50 %-ный раствор диалкилтиофосфата цинка в веретенном масле: многофункциональная присадка с преобладанием противоизносных и антиокислительных свойств.

Ионол технический (ГОСТ 10894—76) — 2,6 дитретичный бутилпаракрезол, белый кристаллический порошок, $t_{пл}$ около 70 °С, антиокислительная присадка.

Присадку МНИ-7 (ГОСТ 10584—79) получают окислением церезина марок 75 или 80, однородный вязкий продукт, от светло-коричневого до коричневого цвета, кислотное число 55—75, число омыления 120—175, $t_{кп} = 65$ °С, $t_{вс} = 250$ °С, применяется для улучшения защитных свойств пластичных смазок.

Присадка сульфонатная СБ-3 (ГОСТ 10534—78) содержит серы не менее 0,9 %, бария 3,7 %, воды не более 0,1 %, механических примесей 0,12 %, щелочное число 10—20, $t_{вс} = 210$ °С, $\nu_{100} = (13—16)$ мм²/с; улучшает моющие и диспергирующие свойства моторных масел.

В табл. 33 приведена характеристика ряда стандартизованных антикоррозионных присадок, вводимых в минеральные масла, предназначенные для консервации изделий.

Эмульсолы (табл. 34)

В качестве основы эмульсолов применяют в большинстве случаев минеральные масла сравнительно небольшой вязкости (типа И-20А, И-12А, трансформаторного). Эмульгаторами служат либо мыла нафтенных, сульфонафтенных кислот и СЖК, либо неионогенные продукты (типа стеарокса), либо их комбинации. При необходимости в эмульсолы вводят различные присадки: жировые — для снижения сил трения, антикоррозионные (нитрит натрия, полифосфат натрия, триэтаноламин и др.), смачиватели (типа ОП-7), полирующие (крезиловые кислоты и др.), антипенные (циклогексанол и др.), противобактерицидные (нитрофурановые соединения, метриолат, сульфат меди, нитрат кобальта и др.).

Пластичные смазки, компаунды

Салидол синтетический (ГОСТ 4366—76) включает масла индустриальные вязкостью $\nu_{50} = (17—33)$ мм²/с и кальциевые мыла СЖК, полученные с добавлением до 6 % окисленного деароматизированного нефтяного дистиллята и 1 % низкомолекулярных водорастворимых кислот; однородная мазь от светло- до темно-коричневого цвета. *Салидол жировой* (ГОСТ 1033—79) — водостойкая гидрати-

АНТИКОРРОЗИОННЫЕ ПРИСАДКИ К МИНЕРАЛЬНЫМ МАСЛАМ

Присадка	ГОСТ или ТУ	Состав	Вязкость ν_{100} , мм ² /с	Зольность, %	$t_{вс}$, °С	t_3 , °С	Щелочное число	Количество присадки 1, %
НГ-203А	12328—66	Раствор нефтяного сульфоната кальция и окисленного петролатума в очищенных минеральных маслах	25—50	3,0	180	—20	4	10—20
НГ-204	18974—73	Нитрованное масло, окисленный петролатум и пирополимеры	80—160	—	—	<—20	1	10—20
НГ-204У	18974—73	Нитрованное масло, окисленный петролатум, парафин, кальциевые и алюминевые соли СЖК	15—140	1,5	140	<—20	2	10—25
НГ-208	38-101187—71	Масло АС-9,5, нитрованное масло, окисленный петролатум, парафин, кальциевые и алюминевые соли СЖК	10—12	1	200	—30	1,5	10—15
Акор-1	15171—70	Нитрованное масло, стеариновая кислота и сульфокислоты	70—80	3,5	—	—	60	5—20
КП-2	38-1019—70	Композиция на основе алкилфенолятов и сульфонов металлов (Са) и СЖК	30	10	—	<10	70	5—10
ЖКБ	38-1-УССР-67—69	Масло И-20А или И-12А и 30 % конденсата СЖК фракций С ₂₀ и выше с триэтанололамином	14,3	—	172	—	5,7	50

1 Добавляется в масло для промасливания

рованная смазка, полученная загущением очищенного или выщелоченного минерального масла кальциевыми мылами естественных жиров (саломаса, хлопкового масла и др.), однородная мазь от светло-желтого до темно-коричневого цвета, содержащая 9—11 % кальциевых мыл, до 3 % воды и 0,2 % механических примесей, $t_{\text{кп}} = 75^\circ\text{C}$.

Вазелин технический — низкоплавкая пластичная смазка, получаемая сплавлением петролатума, парафина и церезина с маслами индустриальными, Ц-11, кубовыми отходами приборных масел и тяжелыми парафиновыми и озокеритовыми дистиллятами, однородная мазь от светло- до темно-коричневого цвета, $\nu_{70} = 20 \text{ мм}^2/\text{с}$.

Смазка *технологическая СП-3* (59ц, ГОСТ 5702—75) — пластичная смазка, содержащая 9,5—10,5 % олеиновой кислоты, 5,5—6,5 % триэтаноламина, остальное трансформаторное масло; кислотное число не более 26, зольность 0,05 %, вода и механические примеси отсутствуют. Образует стабильную эмульсию и не оказывает коррозионного действия.

Смазка пластичная *ПВК* (пушечная, ГОСТ 19537—74) содержит 35—25 % масла ДС-11, 60—70 % петролатума, 3—5 % церезина, 0,9—1,1 % присадки МНИ-7, мазеобразная масса от желтого до коричневого цвета, кислотное число до 0,5—1,0, механических примесей до 0,07 %, воды и водорастворимых кислот нет, $\nu_{60} = 40 \text{ мм}^2/\text{с}$. Применяется для защиты от коррозии.

Смазка *ГОИ-54п* (ГОСТ 3276—74) содержит 26—30 % церезина марки 75 или 80, 1—1,4 % присадки МНИ-7, остальное масло приборное МВП, однородная мазь от светло-желтого до темно-коричневого цвета; кислотное число 0,6—0,9, механических примесей 0,015 %, воды нет, $t_{\text{кп}} = 60^\circ\text{C}$. Предназначена для смазывания и защиты от коррозии механизмов, работающих при температуре от -40 до 50°C .

Смазка *КРПД* содержит 10 % олеиновой кислоты, 4 % триэтаноламина, остальное минеральное масло И-20А.

Смазка *1—13 жировая* (ГОСТ 1631—61) содержит 19,5—22,5 % касторового масла, 0,5—1,5 % извести строительной воздушной (в пересчете на СаО), натра едкого — до полного омыления жиров, остальное смесь различных минеральных масел вязкостью $\nu_{50} \geq 19 \text{ мм}^2/\text{с}$, однородная слабозернистая мазь от светло-желтого до коричневого цвета, содержит не более 0,2 % свободной щелочи и 0,75 % воды, $t_{\text{кп}} \geq 120^\circ\text{C}$, $t_3 \leq 38^\circ\text{C}$.

Смазка *ЖКБ-1* (ТУ 38 УССР 2-01-4-8-75) состоит из продукта конденсации СЖК фракции C_{21} и выше с триэтаноламином ($15 \pm 1\%$) и минеральных масел И-12А и И-20А в любом соотношении (остальное), содержит не более 0,04 % механических примесей, $\nu_{50} = 50 \text{ мм}^2/\text{с}$; $t_3 = 15^\circ\text{C}$.

Полимерные материалы

Полиизобутилен высокомолекулярный $[\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{CH}_2]_n$ (ГОСТ 13303—67) — вязкая жидкость или твердое каучукообразное вещество от белого до светло-серого цвета; содержит до 0,3% золы и 1,1 % легколетучих продуктов; температура хранения не выше 25°C . Используется для загущения смазок и как смазочный компонент.

Фторопласт-4 (политетрафторэтилен, ГОСТ 10007—72) — синтетический термопластичный полимер, продукт полимеризации тетрафторэтилена, кристаллический, легко комкующийся порошок белого цвета, плотность 2190—2210 $\text{кг}/\text{м}^3$, $t_{\text{пл}} = 327^\circ\text{C}$, при температуре выше 260°C могут выделяться летучие продукты.

Полиакриламид $(\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CONH}_2)_n$ — карбоцепной полимер, растворимый в воде. При температуре свыше 100°C происходит разложение с выделением аммиака. Используется в качестве коагулянта.

Неорганические вещества

Известь — продукт обжига кальциевых и магниевых карбонатных пород (известняка, мела и др.). Различают известь воздушную негашеную СаО и гидратную (гашеную) Са(OH)₂ (ГОСТ 9179—77), а также натровую (смесь Са(OH)₂

СОСТАВ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСПРОСТРАНЕННЫХ ЭМУЛЬСОРОВ

Наименование, марка	ГОСТ или ТУ (фирма, страна)	Состав	Плотность кг/м ³	t _м , °С	t _{вс} , °С	v ₅₀ , мм ² /с	Число омыления	Кислотное число	Иодное число	Коксовое число
Э-2 (Б)	1975--53	Раствор натриевых мыл нефтяных кислот (7—10 %) в минеральном масле И-20А (75±5 %), стабилизированный водой	950	-3— -5	157	58	14—16	≤6	8—11	1,9
ЭТ-1	ВТУ ТН-8—60	Раствор натриевых мыл кислот таллового масла в минеральном масле вязкостью v ₅₀ = (17—25) × 10 ⁻⁶ м ² /с, стабилизированный водой и спиртом	990	0—3	166	64	10—12	≤6	11—14	2,0
ЭТ-2	ВТУ ТН-8—60	То же, что и ЭТ-1, с заменой части кислот таллового масла масляным асидолом	940	0+1	170	60	10—12	2—6	10—12	2,0
ЭТ-2У	ВТУ 38 УССР 2-01-299—78	Минеральное масло И-20А (82,5—84,2 %), талловое масло (15 %), триэтаноламин (1,8—3,5 %)	900— 990	3	150	33	28	15—23	38	0,3—0,7
Т	ТУ-6-14-254—74	Минеральное масло И-12А (85 %), триэтанолминовая соль	882	0+3	125	25	30—40	≤8	9—10	0,04

ЭГТ	ТУ 38-101149—75	990	5	165	72	14,0	2,8	34	2,1
		олеиновой кислоты (12 %)							
		Минеральное масло И-20А (83,7 %), талловое масло (7 %), госсиполовая смола (7 %), полиглицоль (1,5 %), NaOH (0,8 %)							
ЭП-29	ТУ 38 УССР 2-01-353—80	935	18	177	48	30—60	5,0	43	0,68
		Минеральное масло И-20А (71 %), СЖК С ₁₀ —С ₂₀ (10 %), триэтанолмин (4 %), конденсат СЖК С ₂₁ и выше с триэтанолмином (5 %), стеарокс-6 (10 %)							
ОМ	ТУ 38 УССР 2-01-270—77	918	12	188	32,3 *1	22,4	18—20	0,2	0,44— 0,66
		Минеральное масло И-20А (81 %), СЖК С ₁₀ —С ₂₀ (10 %), триэтанолмин (4 %), стеарокс-6 (5 %)							
Квакерол 4СВ	Фирма «Квакер-Кемикал» (Голландия)	930	—10	132— 186	36,6 *2	76	9,2— 12,4	22,8	0,7
		Смесь минерального масла с растительными, животными жирами, присадками сернистых соединений, анионоактивными эмульгаторами							
Квакерол 1137	Фирма «Квакер-Кемикал» (Голландия)	—	—15	—	40,6 *3	39,7	35	0,20	—
Прозойль-3А	Фирма «Мобил-ойл» (Австрия)	—	—	156	24,0	—	17,4	—	—
		Маловязкое минеральное масло с неионогенным эмульгатором							

Наименование, марка	ГОСТ или ТУ (фирма, страна)	Состав	Плотность кг/м ³	t _м , °С	t _{вс} , °С	ν ₅₀ , мм ² /с	Число омыления	Кислотное число	Иодное число	Коксовое число
Прозойль-552М	Фирма «Мобил-ойл» (Австрия)	Нет св.	—	-7	—	—	67,3	—	—	—
Крода-84	(Англия)	То же	—	-10	189	19,1	21,2	—	—	—
Шеллуб-133	(Англия)	»	—	-24	—	19,7	60,9	—	—	—
БП-РО 6161	(ФРГ)	»	—	-10	—	—	—	—	—	—
Роллуб ТХ	(ФРГ)	»	—	-20	215	30,4	16,2	—	—	—
W-9А	(ГДР)	Маловязкое минеральное масло, загущенное эмульгированной смесью ионогенных и неионогенных эмульгаторов с до-бавкой жиров и ингибиторов коррозии	—	-18	—	—	21,4	—	—	—
W-9В	(ГДР)	То же	—	-18	—	—	25	—	—	—
ЕОТ	(ЧССР)	Подшипниковое масло В (84,3%), олеиновая кислота (10%), дитриэтанол-амин (5,7%)	—	—	—	—	—	—	—	—
Walzol Ру-	(НРБ)	Нет св.	—	-16	171	13,5	9,7	—	—	—
СТИЛЛО		То же	895	—	—	8,3	5,8	0,4	17,6	—

*1 Индекс вязкости ИВ-78; ** ИВ-100; *** ИВ-75. См. также смазку СП-3 (59 п.).

с NaOH). Раствор гашеной извести в воде называют известковой водой, суспензию — известковым молоком.

Натр едкий технический NaOH (каустическая сода, ГОСТ 2263—79) — белая твердая непрозрачная гигроскопическая масса, плотность 2130 кг/м³; $t_{пл} = 320$ °С. Выпускается в твердом виде [марок: ТР (ртутный), ТХ-1 и ТХ-2 (химический), ТД (диафрагменный)] и в виде растворов. Применяется при эмульгировании для образования мыл.

Карбонат натрия Na₂CO₃ (кальцинированная сода, ГОСТ 5100—73) — бесцветный или белый мелкокристаллический порошок; плотность 2530 кг/м³; $t_{пл} = 853$ °С. Сода кальцинированная техническая из нефелинового сырья поставляется по ГОСТ 10589—73, применяется как и NaOH.

Гидрокарбонат натрия (пищевая сода) NaHCO₃ — белый кристаллический порошок, при 100—150 °С превращается в Na₂CO₃, плотность 2160—2220 кг/м³.

Нитрат натрия (натриевая селитра) NaNO₃ — бесцветное кристаллическое вещество плотностью 2260 кг/м³. Нитрат натрия технический (ГОСТ 828—77Е) — белые прозрачные кристаллы с сероватым оттенком, содержит до 1 % влаги, 0,04 % нерастворимых в воде веществ, 0,5 % хлористых солей, токсичен.

Нитрит натрия NaNO₂ (ГОСТ 19906—74) — бесцветное или слегка желтоватое кристаллическое вещество плотностью 2170 кг/м³, $t_{пл} = 271$ °С, токсичен. Применяется в качестве ингибитора коррозии.

Триполифосфат натрия Na₅P₃O₁₀ (ГОСТ 13493—77Е) — продукт переработки ортофосфорной кислоты, порошок белого цвета. Технический триполифосфат содержит в зависимости от марки от 94 до 88 % Na₅P₃O₁₀, не более 0,1—0,15 % нерастворимых в воде веществ. Используется для приготовления моющих средств.

Тринатрийфосфат (ГОСТ 201—76) Na₃PO₄ · H₂O — одноводный и Na₃PO₄ · 12H₂O — двенадцативодный, выпускается в виде порошка.

Бура Na₂B₄O₇ · 10H₂O (тетраборат натрия, ГОСТ 8429—77) — кристаллическое порошкообразное вещество.

Стекло натриево-жидкое (ГОСТ 13078—81) — густая жидкость желтого или серого цвета, до коричневого; плотность 1360—1500 кг/м³, содержание кремнезема около 30 %, окиси натрия 10—12 %, серного ангидрида (в пересчете на серу) до 0,40 %.

Силикогель — высушенный гель кремниевой кислоты. Силикогель технический $mSiO_2 \cdot nH_2O$ (ГОСТ 3956—76) — стекловидные прозрачные или матовые зерна размером от 0,2—0,5 до 2,8—7,0 мм, бесцветные или темные.

Циркония двуокись ZrO₂ (ГОСТ 21907—76) — мелкодисперсный порошок белого цвета, минерал; $t_{пл} = 2900$ °С. Используется в производстве огнеупоров.

Смазки с графитом и сернистым молибденом

Сухие коллоидно-графитовые препараты С-1 и С-2 содержат искусственный высокодисперсный малозольный графит (термографит) с размером частиц соответственно до 4 и до 15 мкм, зольностью 1,0—1,5 %, влаги до 0,3 %. Падение концентрации на 40 % у марки С-1 происходит после отстаивания в течение 1 ч, у марки С-2 — через 26 мин.

Коллоидно-графитовый препарат ВКГС-0 (ОСТ 6.08-5—78) представляет собой суспензию высокодисперсного графита в воде, стабилизированную аммиачным раствором сульфитно-спиртовой барды; содержит до 24 % сухого остатка, 6,5 % зола (в сухом остатке), не менее 20 % графита; падение концентрации графита после отстаивания в течение 8 ч не более 7 %.

Воднографитовый препарат АГ-1 — суспензия мелкодисперсного графита в воде с антикоррозийными, стабилизирующими и антифрикционными добавками, выпускается по ТУ 08-181—70.

Воднографитовые препараты ОГВ-50, ОГВ-75, изготавливаются по ТУ-21-25-147—75 в виде суспензии тонкоchешуйчатого графита с размером частиц до 2 мкм, выкристаллизовавшихся из жидкого чугуна при охлаждении.

Аналогами препаратов ОГВ и Графитол являются зарубежные смазки Аквадаг, dag 550, «Дельта-31», «Дельта-144». Ниже приведены сравнительные показатели некоторых графитовых смазок:

Показатели Внешний вид	ОГВ	Графитол	Аквадаг
	Вязкий продукт черного цвета с запахом аммиака	В-2 Черная жидкость	
Содержание золы, % (не более)	0,3	0,3	0,3
Содержание сухого нелетучего осадка, %	16	7—8	16—18
Стойкость дисперсии, мчн (не менее)	50	75	75
pH среды	10,5—11,0	7,5—11,0	7,5—10,0

Коллоидно-графитовые препараты масляные марок МП, МС и М выпускались по ГОСТ 5962—67 в виде концентрированной суспензии термографита в минеральном масле с содержанием графита не менее 23—24 %. Падение концентрации графита после отстаивания в течение 1 ч составляет 70 % у препарата МП и 14 % у препарата МС.

Аналогом зарубежной смазки Esp 390/6, содержащей 40 % коллоидного графита в масле с добавками является смазка Укринол-7, выпускаемая по ТУ 21-25-106—73 [399].

Паста ВНИИ НП-232 (молибденит, ГОСТ 14068—79) — однородная мазь от темно-серого до черного цвета, смесь минерального масла с сернистым молибденом, коллоидная стабильность (выделенное масло) не более 4 %; $t_{вс} = 158^\circ\text{C}$, $t_{св} = 320^\circ\text{C}$ (для минерального масла). Смазка «Моликот» содержит 70 % MoS_2 , 25 % минерального масла и 5 % стабилизатора.

9. Способы получения технологических смазок

9.1. Получение эмульсионных смазок

Эмульсолы получают перемешиванием исходных компонентов при определенном температурном режиме. Например, для получения эмульсола Ом в емкость объемом 10 м³, оснащенную мешалкой и обогревом, заливают поочередно масло И-20А, подогретые до 60 °С, СЖК фракций С₁₀—С₂₀, стеарокс-6. Для выпаривания воды смесь выдерживают 4,5 ч при температуре 100—110 °С, охлаждают до 80 °С, добавляя триэтаноламин и перемешивают 2,5 ч. Готовый эмульсол проверяют на соответствие требованиям технических условий (см. табл. 34).

При поступлении эмульсола на завод перед сливом отбирают пробы для анализа согласно ГОСТ 2517—80 на расстоянии 250 мм и 1/3 высоты от дна цистерны и смешивают в равных количествах. На крупных заводах эмульсол хранят в баках, объем которых превышает 50—60 м³.

Эмульсолы подвержены расслаиванию. При хранении свыше 10 сут перед пуском в работу эмульсол должен быть тщательно перемешан. Однако это не всегда приводит к исправлению эмульсола. Поэтому при перемешивании необходимо добавить 0,1—0,2 % -ный водный раствор кальцинированной соды или 2—3% -ный раствор неионогенного эмульгатора. Эмульсию можно приготовить, не исправляя эмульсола, если подавать его в воду, содержащую 0,1—0,2 % щелочи [186].

Приготовление *эмульсий* в цехах по обработке металлов давлением производится разбавлением эмульсолов до требуемой концентрации в рабочих емкостях, либо вначале в промежуточных емкостях, откуда концентрированная эмульсия поступает в рабочие баки, где доводится до требуемой концентрации.

На заводе «Запорожсталь» концентрированная 15 % -ная эмульсия готовится в двух баках емкостью по 20 м³. В бак заливают воду на 2/3 его объема, подогревают до 40—50 °С, для перемешивания воды включают один из двух насосов типа ЗК-6а производительностью 45 м³/ч при давлении 0,54 МПа. Эмульсол из приемного бака насосом ЭШГ 20/10 производительностью 14 м³/ч при давлении 1 МПа

подается в один из трех баков — мерников объемом по 1,5 м³ и оттуда — во всасывающий патрубок насоса, работающего на перемешивание. Для хранения и подачи (при необходимости) моющих, бактерицидных, жировых или других присадок имеется бак объемом 2 м³, оборудованный подогревом и насосом производительностью 6 м³/ч при давлении 1,3 МПа.

Для нейтрализации свободных органических кислот в эмульсию добавляют кальцинированную соду в количестве 1,88 К_ч, г на 1 кг эмульсола (К_ч — кислотное число). Критерием необходимости омыления служат результаты испытаний эмульсий на коррозионную стойкость и стабильность.

После введения в бак концентрированной эмульсии всех компонентов добавляется вода до полного объема и эмульсия перемешивается не менее 2 ч, затем отбирается проба из среднего уровня бака для определения концентрации эмульсола и всех добавок.

В эмульсионных системах объемом 1000 м³ и более эмульсии также готовятся в два этапа: вначале 100—150 м³ концентрированной 20—30 %-ной эмульсии, которая затем подается в рабочие баки и в них доводится до требуемой концентрации.

Перед приготовлением технологической эмульсии рабочие баки промывают водой, нагретой до 40—50 °С. Затем подают концентрированную эмульсию в количестве, необходимом для получения эмульсии требуемой концентрации. Расход эмульсии можно определить по мерной линейке. Бак заполняют водой до полного объема, эмульсию перемешивают насосом не менее 30 мин и отбирают пробу на анализ. После перемешивания эмульсия должна 2—3 ч простоять без движения для того, чтобы незаэмульгированные частицы ушли в осадок или всплыли.

Для приготовления эмульсии полимеризованного хлопкового масла в нагретую до 90—95 °С воду небольшими порциями засыпают кальцинированную соду в количестве 8—10 % от требуемой массы масла. После полного растворения соды и перемешивания (возможно острым паром) в бак заливают небольшими порциями подогретое до 50—60 °С полимеризованное хлопковое масло. Во время и после заливки смесь перемешивают до получения однородной эмульсии светло-коричневого цвета, не выделяющей масла на своей поверхности. Готовая эмульсия через фильтр подается в рабочий бак промасливающей системы травильных линий.

Эмульсии для мокрого волоочения готовят в общем цеховом баке объемом 2—5 м³, расположенном выше уровня рабочих баков волоочильных станков. Иногда на баке устанавливают вибратор, обеспечивающий тонкое эмульгирование смазки, и фильтры тонкой очистки. Эмульсия постоянно перегоняется через вибратор и фильтры.

Для приготовления мыльной эмульсии мыльную стружку засыпают в бак с кипящей водой и кипятят 5—6 ч при постоянном перемешивании. Для получения мыльно-масляной эмульсии после полного растворения мыла засыпают кальцинированную соду и через 10 мин из мерных баков подают небольшое струей масло (например, вазелиновое), а затем олеиновую кислоту и всю массу перемешивают.

9.2. Получение технологических смазок путем гидрогенизации растительных жиров

Гидрогенизация — процесс насыщения водородом радикалов ненасыщенных жирных кислот в присутствии катализатора. При гидрогенизации ненасыщенные жирные кислоты могут превращаться в насыщенные твердые высокоплавкие кислоты, например, олеиновая кислота переходит в стеариновую: $C_{18}H_{34}O_2 + H_2 = C_{18}H_{36}O_2$.

На практике этот процесс используют для повышения температуры плавления, т. е. для превращения жидких жиров в твердые. Гидрогенизации подвергают в основном растительные масла, содержащие значительное количество ненасыщенных жирных кислот. С повышением степени гидрогенизации смазочная способность масел улучшается, однако повышение температуры плавления ухудшает их технологичность. Гидрогенизацию обычно прекращают при достижении жиром определенных физико-химических свойств (в частности, температуры плавления); до полного насыщения жира водородом процесс ведут крайне редко.

Гидрогенизацию растительных жиров осуществляют на масложировых заводах, оснащенных автоклавами или аппаратами колонного типа и специальным оборудованием для получения водорода, приготовления катализатора, рафинирования исходных жиров и готового продукта.

Смазку ПКС-1 получают в автоклавах емкостью 6 м³ путем гидрогенизации рафинированного подсолнечного масла по режиму: нагрев до температуры 120—130 °С, подача 350 л свежего масляного формиат-никелевого катализатора с концентрацией металлического никеля 4 %, активностью не ниже 47 %, затем пропускание через всю толщу масла электролитического циркуляционного водорода под давлением 0,01 МПа. Через 2—3 ч температуру массы в автоклаве повышают до 135 °С и продолжают гидрирование до получения продукта с температурой плавления 28—33 °С и снижения коэффициента преломления масла по отношению к первоначальному на 0,0040. На конечной стадии содержимое автоклава на фильтрпрессах освобождается от катализатора и собирается в баке — приемнике [187].

Гидрогенизацию кориандрового масла производят непрерывным процессом в аппаратах колонного типа по режиму: температура процесса в колоннах 180—210 °С; температура масла, подаваемого в смеситель, 215—220 °С; температура водорода 130 °С; количество пропускаемого масла 4 т/ч, электролитического водорода 380 м³/ч; расход свежего и отработанного металлического никеля 0,5 кг/т. Гидрогенизация производится под давлением 0,5—0,6 МПа [177].

Известна смазка ТСХМ, полученная гидрогенизацией хлопкового масла, в которое для повышения содержания свободных жирных кислот перед гидрогенизацией добавляют 5—15 % жирных кислот, выделенных из соапстоков хлопкового масла [178]. Гидрогенизацию ведут 2—4 ч при 140—270 °С под давлением 0,03—0,8 МПа в присутствии катализатора. В качестве смазки может быть использовано и гидрогенизированное томатное масло ГТМ [179] полученное по режиму: гидратация паром (для отделения гидрофильных веществ), сушка, введение никелевого масляного катализатора при температуре 170—180 °С и гидрогенизация при 200—220 °С. Известны попытки подвергать гидрогенизации талловое масло [180], а также жирные кислоты таллового масла с последующим омылением полученного продукта [181].

ТАБЛИЦА 35

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СМАЗОК, ПОЛУЧЕННЫХ ГИДРОГЕНИЗАЦИЕЙ

Показатель	ПКС-1	Кориандр-2	ТСХМ	ГТМ	МБС	МБС после гидрогенизации
Вязкость при 50 °С, мм ² /с	28—30	27—30	—	—	—	—
То же, при 100 °С, мм ² /с	8—9	8—10	10	—	—	—
Число омыления	196	190	190	—	200—220	216
Иодное число	85—95	81	85	80	—	—
Кислотное число	0,3—2,0	6—10	18	—	10—20	16,2
Температура плавления, °С	28—33	28—32	32	32	—	33
Температура вспышки, °С	250—290	285	—	—	220—250	260
Содержание влаги, %	0,04	0,28	—	—	—	—
Содержание золы, %	0,043	0,027	—	—	—	—
Коэффициент преломления	1,4626	1,4620	—	1,4613—1,4610	—	—

Получаемые смазки (табл. 35) отличаются от исходных масел более высокой вязкостью и температурой плавления, повышенным содержанием твердых кислот, снижением иодного числа, т. е. таким изменением характеристик, которое способствует улучшению смазочной способности. С повышением степени гидрогенизации увеличивается термическая стойкость масла.

Антифрикционная эффективность смазок ПКС-1 и кориандр-2, по данным Н. И. Осейко, выше, чем пальмового масла, а смазки ТСХМ и ГТМ превосходят кориандр-2.

Возможно получение технологических смазок путем микробиологической трансформации парафиносодержащих нефтепродуктов с последующей гидрогенизацией. Микробиологическая трансформация осуществляется посредством выращивания дрожжей *Candida Tropicalis* с добавкой минеральных солей. Парафины вводят из расчета 1—2 % от общего количества среды. Полученную биомассу отделяют, экстрагируют и после отгонки растворителей получают биожир, который очищают от примесей. Получаемая смазка МБС содержит 60—80 % глицеридов насыщенных и ненасыщенных жирных кислот примерно в равных количествах и 10—20 % фосфатидов.

Для повышения эффективности смазку МБС гидрогенизируют при 200 °С под давлением электролитического водорода до 0,7 МПа в присутствии медно-никелевого катализатора. После гидрогенизации содержание насыщенных кислот возрастает до 80 %, а ненасыщенных снижается до 20 %. По чистоте поверхности прокатываемых лент и коэффициенту вытяжки гидрогенизированная смазка МБС превосходит пальмовое масло.

Для улучшения свойств смазку МБС подвергают также обработке ацетоном в соотношении 1 : 5 при температуре 10—25 °С с последующим отделением осадка фосфолипидов и белковых веществ [183, 184].

9.3. Получение смазок уплотнением (полимеризацией) органических веществ

Уплотнение или *полимеризация* органических веществ — процесс, при котором происходит соединение молекул непредельных углеводородов в более крупные молекулы в результате замыкания углеводородных цепей по месту двойных связей. Уплотнение органических веществ может происходить под влиянием высокой температуры, тихого разряда электричества, действия кислорода воздуха, хлористой и элементарной серы и других факторов. Продукт, получаемый в результате полимеризации, отличается от исходного повышенными значениями вязкости, молекулярной массы, кислотного числа, меньшей степенью ненасыщенности. Полимеризации подвергают как обычные непредельные углеводороды, так и растительные и животные жиры, в состав которых входят ненасыщенные жирные кислоты (свободные или в виде триглицеридов). Наиболее часто применяются смазки, получаемые уплотнением растительных жиров и их продуктов,

Термическое уплотнение жиров (без доступа воздуха) осуществляется при 250—350 °С. Одно из возможных направлений полимеризации приводит к образованию шестичленных циклов, у которых имеются боковые цепи. К циклизации способны, по-видимому, только те молекулы, двойные связи которых не изолированы, т. е. находятся в сопряженном положении (две двойные связи в молекуле углеводорода разделены одной простой связью: $>C=C-C=C<$). А так как к полимеризации способны и кислоты, двойные связи которых изолированы (линолевая, линоленовая), то можно считать, что полимеризации предшествует изомеризация — перемещение изолированных двойных связей вдоль углеводородной цепи в направлении образования сопряженных двойных связей.

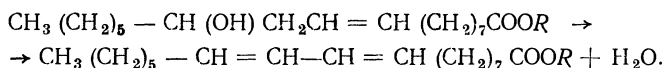
Полимеризация может идти как при участии кислотных остатков одной и той же молекулы триглицерида (внутримолекулярная полимеризация), так и при участии кислотных частей различных молекул триглицеридов (внемолекулярная полимеризация). Внутримолекулярные реакции протекают в начальной стадии полимеризации и сопровождаются резким уменьшением иодного числа; в дальнейшем проходят внемолекулярные реакции, при которых иодное число снижается незначительно, а вязкость быстро повышается. Под влиянием высокой темпера-

туры при полимеризации происходит также частичное расщепление триглицеридов и превращение их в диглицериды с освобождением свободной жирной кислоты и соответственным увеличением кислотного числа.

Для ускорения процесса применяют катализаторы (например, сиккативы — свинцовые, марганцевые и другие мыла жирных и смоляных кислот) или добавки полимеризованных продуктов. Уплотнение масел посредством окисления кислородом воздуха, продуваемого при температуре 100—200 °С, называют *оксидированием*. При этом увеличивается содержание в масле оксикислот, а следовательно, и свободных жирных кислот.

Процессы уплотнения жиров серой и хлористой серой зависят от температуры и природы жиров. На холоде сера с жирами не реагирует. При нагревании до 130—150 °С сера поглощается маслом, при этом особенно активно реагируют с серой глицериды ненасыщенных жирных кислот. При умеренных температурах наблюдается только присоединение серы по месту двойных связей жирных кислот, при 200 °С и выше идет также реакция замещения водорода серой.

При нагревании касторового масла выше 200 °С в присутствии катализаторов процессу полимеризации предшествует *дегидратация* масла, при которой глицериды рицинолевой кислоты переходят путем отщепления группы ОН в изомер линолевой кислоты (с понижением вязкости):



Образующийся продукт далее полимеризуется. Изменяя степень полимеризации, можно получить различные физико-химические свойства и смазочную способность масел.

Среди термоуплотненных масел наибольшее распространение в качестве технологической смазки получило *полимеризованное хлопковое масло* (табл. 36) [185].

При производстве белой жести в агрегатах горячего лужения используют хлопковое масло. В процессе эксплуатации оно находится при температуре 240—260 °С, полимеризуется и периодически заменяется. Отработанное хлопковое масло (ОХМ) является отходом производства и после очистки на центрифуге может служить дешевой и эффективной технологической смазкой.

С увеличением степени термического уплотнения коэффициент трения уменьшается, а толщина слоя смазки в очаге деформации и коэффициент вытяжки растут. Особенно резкое снижение коэффициента трения соответствует начальной стадии полимеризации до достижения вязкости 300 мм²/с при 50 °С (50 мм²/с

Т А Б Л И Ц А 36

СВОЙСТВА ХЛОПКОВОГО МАСЛА РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ ТЕРМОУПЛОТНЕНИЯ

Показатель	Состояние масла						ОХМ
	натуральное	термоуплотненное в разных условиях				в промышленных котлах ¹	
		в лаборатории при 220—240 °С, с выдержкой, ч					
		64	80	96	112		
Вязкость ν_{50} , мм ² /с . . .	28,2	160	301	700	1300	Нет данных	660
То же ν_{100} , мм ² /с . . .	7,1	30	50	120	220	83	96
Число омыления	194	204	211	211	209	196	153
Кислотное число	0,10	1,29	1,72	1,72	1,93	21,6	44
Иодное число	104	71	65	65	55	68	64

¹ При 230—250 °С.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СМАЗОК ПОСЛЕ РАЗЛИЧНОЙ ОБРАБОТКИ

Состояние масла	ν_{80} , мм ² /с	ν_{100} , мм ² /с	Кислот- ное число	Иодное число	$t_{пл}$, °С	Кэффи- циент вытяж- ки λ
<i>Подсолнечное масло</i>						
Натуральное . . .	23,5	7,7	0,40	128	—	—
Гидрогенизирован- ное	31,5	9,1	0,33	90	26	2,15
Полимеризованное	52,9	14,0	1,05	103	—	2,29
Гидро-полимеризо- ванное	57,4	14,5	0,90	73	33	2,40
<i>Хлопковое масло</i>						
Натуральное . . .	23,9	7,8	0,10	107	—	—
Гидрогенизиро- ванное	31,8	9,0	0,39	97	29	—
Полимеризованное	64,0	15,5	1,03	90	—	—
Гидро-полимеризо- ванное	61,8	14,8	1,05	82	29	—

при 100 °С.) Оптимальная степень полимеризации должна уточняться в зависимости от конкретных условий деформации.

Получение термоуплотненного кориандрового масла в промышленных условиях производится в вакуум-аппаратах, снабженных устройством для нагрева и мешалкой с небольшим числом оборотов (40—100 об/мин). Нагрев кориандрового масла ведут до температуры 300 °С при перемешивании, с последующим созданием вакуума и выдержке при этой температуре до получения заданных физико-химических свойств. По окончании процесса продукт охлаждают, фильтруют и сливают в тару [188]. Рекомендуется применение в качестве технологической смазки осерненного кориандрового масла.

В зарубежной практике при разработке эффективных смазок также используются процессы, повышающие вязкость масел. Применяется химическая обработка говяжьего жира, повышающая его вязкость в 4 раза и снижающая коэффициент трения с 0,058 до 0,043 [189].

Рекомендуется получение эффективных смазок сочетанием процессов термоуплотнения и гидрогенизации растительных жиров [190]. При гидрогенизации ненасыщенные жирные кислоты переходят в насыщенные с резким повышением температуры плавления и незначительным изменением молекулярной массы и вязкости. При полимеризации снижается степень ненасыщенности глицеридов за счет укрупнения их молекул по месту двойных связей, без образования глицеридов насыщенных жирных кислот из ненасыщенных; в результате резко повышается молекулярная масса и вязкость продукта при неизменной температуре плавления. Чрезмерное повышение вязкости и температуры плавления затрудняет применение смазок. При одной и той же вязкости глицериды насыщенных жирных кислот имеют более высокую смазочную эффективность, чем ненасыщенные. Следовательно, эффективность смазки при заданной (оптимальной) вязкости, достигнутой полимеризацией, может быть еще усилена за счет увеличения содержания насыщенных глицеридов, т. е. путем гидрогенизации.

Практически обработка заключается в том, что растительные жиры подвергают гидрогенизации до достижения температуры плавления 15—32 °С, затем

полученный продукт подвергают полимеризации. Изменяя степень гидрогенизации и полимеризации, можно получить различные физико-химические, а следовательно и смазочные свойства продукта (табл. 37).

Гидро-полимеризованная смазка отличается от гидрогенизированного масла более высокой вязкостью и несколько меньшим иодным числом, а от полимеризованного — меньшим иодным числом. Достигнутое изменение характеристик обеспечивает более высокие смазочные свойства, о чем свидетельствует рост коэффициента вытяжки при холодной прокатке.

9.4. Смазки на основе отходов производства растительных жиров

В качестве смазок, заменяющих растительные масла, находят применение их мыластоки, например, касторовый мыласток (кислотное число 159, иодное число 53, ацетильное число 167). Он применяется в виде 8—10 %-ной эмульсии; по смазочной способности несколько уступает касторовому маслу.

При щелочной рафинации касторового масла из получаемого мыльно-щелочного раствора выделяют смесь жирных кислот, получающую название *касторин* ($\nu_{60} = 99 \text{ мм}^2/\text{с}$, $\nu_{100} = 15 \text{ мм}^2/\text{с}$, число омыления 180, кислотное число 146, иодное число 75). По своей эффективности касторин заметно превосходит смазку ПКС-1.

При нейтрализации мыластоков подсолнечного масла и растительных саломасов в мыльно-щелочной среде получают так называемые *мыльно-щелочные растворы*. Для мокрого волочения проволоки предложена водная эмульсия смеси продуктов МЩРМ и МЩРС (табл. 38) в соотношении 1 : 7 (смазка ЗВС-1). Эмульсия содержит 1 % мыла, состоящего из натриевых солей (в %): 20 стеариновых, 9 пальмитиновых, 11 олеиновых, 8 изоолеиновых, 52 линолевых.

Из мыластоков растительных масел выделяют жирные кислоты разнообразного состава. В натуральном виде они, как правило, не могут применяться в качестве технологической смазки, так как представляют собой низкомолекулярные ненасыщенные жирные кислоты с низкой смазочной эффективностью. Для получения удовлетворительных смазок их подвергают специальной обработке — термоуплотнению, омылению, осернению, полиэтерификации и др. Так, путем термоуплотнения вязкость продукта при 50 °С может быть повышена с 29 до 80—350 $\text{мм}^2/\text{с}$, в результате чего смазочная способность его значительно возрастает.

Известны смазки на основе жирнокислотных отходов производства себациновой кислоты (ОПСК) [191]. Жирнокислотные фракции получают в процессе пиролиза касторового масла при температуре 210—225 °С и давлении 2,0—2,5 МПа. ОПСК представляют собой жирнокислотную фракцию, оставшуюся после отделе-

ТАБЛИЦА 38

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВОДНЫХ МЫЛЬНО-ЩЕЛОЧНЫХ РАСТВОРОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ МЫЛАСТОКОВ

Мыласток	Содержание основных компонентов в воде				Титр жирных кислот, град
	мыло в пересчете на олеат натрия, %	нейтральный жир, %	фосфатиды, %	свободная щелочь, г/л	
Масла подсолнечного (МЩРМ)	8—11	0,48—0,70	0,046—0,070	0,08—3,0	10—14
Саломаса пищевого (МЩРС)	7—9	0,1—0,4	0,011—0,020	1,0—2,0	52—55

ния из полученных жирных кислот (в виде себацианата натрия) рицинолевой кислоты.

Физико химические показатели ОПСК, поставляемых Невинномыским химкомбинатом по ТУ СТП-21—69, следующие: $\nu_{100} = (54,5—70)$ мм²/с; коэффициент преломления при 40 °С 1,4680—1,4720, кислотное число 150—170; число омыления 160—185; иодное число 34—45. Состав, %: 5—20 влаги, 5—10 стеариновой кислоты, 5—10 диоксистеариновой, 25—50 олеиновой, 15—20 линолевой, а также продукты полимеризации, сложные эфиры, в том числе триглицериды. Смазка ОПСК по антифрикционной эффективности превосходит касторовое и пальмовое масла.

Для удаления влаги и дополнительного повышения смазочных свойств ОПСК подвергают термоуплотнению при температуре 180—200 °С в течение 40 ч (смазка ОТУ) или термоуплотнению с последующим осернением при температуре 220—250 °С элементарной серой в количестве 8 % от массы жирных кислот (смазка ОТС). Эти смазки, особенно ОТС, обладают высокими смазочными свойствами при тяжелых режимах деформации. Возможны также и другие режимы обработки ОПСК [192].

Для получения эмульсий на основе ОПСК этот продукт обрабатывают щелочью до полного или частичного (не менее 25 %) омыления свободных жирных кислот. Обработкой в 20 %-ном растворе каустической соды при 75—85 °С в течение 2 ч получают смазку ТМ-1, содержащую 25—35 % мыла и 0,05—0,10 % свободной щелочи. С уменьшением содержания омыляемых кислот смазочная эффективность растет. Применяют также этерификацию ОПСК глицерином или этерификацию с последующим омылением (на 10—15 % по кислотному числу) полученного глицеринового эфира [193, 194].

Известно получение смазки на основе гудронов (число омыления 120—180, кислотное число 35—60), образующихся в виде остатка после дистилляции (разделения) при 220 °С жирных кислот, выделенных из soapстоков растительных масел. В процессе дистилляции происходит частичная полимеризация, поэтому в составе гудронов имеется 10—30 % полимеризованного остатка. Для получения смазки омыляют все свободные жирные кислоты или их же и 25 % нейтрального жира (50 % по числу омыления) щелочами NaOH или LiOH; при этом получают мыла, нейтральный жир и продукты полимеризации (смазки МГ-1; МГ-2).

В качестве смазки применяется также смесь ОПСК с гудронами или глицериновый эфир ОПСК с гудроном глицерина, добавками 3—5 % хлорида меди и хлорида аминопарафина, а также других компонентов.

Известна смазка, получаемая окислением концентрата сланца в водно-щелочной среде (количество щелочи 30—50 % от органической массы концентрата сланца) при температуре 180—220 °С и давлении 3—5 МПа с последующим отделением жидкой фазы и обработкой ее гудронами [195].

Путем полиэтерификации жирных кислот, выделенных из soapстоков растительных масел, получена смазка «Металлургическая» [196]. Для ее изготовления жирные кислоты загружают в котел, включают обогрев и перемешивание. При температуре 100 °С нагрев замедляют для выпаривания влаги. По окончании выпаривания, что определяется прекращением вспенивания, нагрев продолжают и небольшими порциями в котел загружают пентаэритрит в количестве 4—7 % от жирных кислот. Нагрев ведут до 230—250 °С, затем делают выдержку для проведения этерификации и полимеризации с образованием полимеризованных эфиров жирных кислот. Длительность выдержки определяется достижением требуемых свойств. Полученную смазку охлаждают и фильтруют. По эффективности она значительно превосходит исходные жирные кислоты (табл. 39). Для уменьшения времени полиэтерификации при производстве высоковязких смазок в качестве исходного сырья применяют смесь маловязких жирных кислот и ОПСК. Смазку «Металлургическая» можно также изготавливать путем полиэтерификации высококислотных нестандартных растительных масел.

Разработаны смазки на основе продуктов взаимодействия жиросодержащих отходов (ОПСК, гудрон и др.) или карбоновых кислот фракций $C_7—C_{25}$ (soapстоков, технического жира, СЖК и др.) с диэтаноломином с добавлением продукта стеарокс-6 и минерального масла [197]. Взаимодействие жиросодержащих отходов или карбоновых кислот с диэтаноломином, взятых в соотношении 10 :

СРАВНЕНИЕ СВОЙСТВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ И СМАЗКИ
 «МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ»

Смазка	ν_{80}	ν_{100}	Чис- ло омы- ления	Кис- лотное число	Иод- ное число	$t_{вс}$, °С	λ
	мм ² /с						
Жирные кислоты «Металлургическая»	12,7	4,4	200	200	142	192	1,6
	Нет данных	70—90	170	30—50	65—80	205—212	2,3

: (2,5 ÷ 4,5), осуществляют перемешиванием компонентов при температуре 110—140 °С с выдержкой при этой температуре до получения заданных свойств. Например, смазка состава 96 % продукта взаимодействия жиросодержащих отходов с диэтаноломином; 1 % стеарокса-6; 3% трансформаторного масла имеет вязкость 21 мм²/с при 100 °С, кислотное число 14,7, число омыления 164. Такие смазки могут применяться как в натуральном виде, так и в виде эмульсии.

Известны смазки на основе гидролизного лигнина — отхода спиртового и дрожжевого производства, получаемого при переработке древесины методом гидролиза. Лигнин представляет собой природный полимер с разветвленными макромолекулами, состоящий из продуктов полимеризации ароматических спиртов, нерастворим в воде и органических растворителях, вырабатывается в виде рассыпчатой массы с размером зерен 0—40 мм.

Из-за неудовлетворительной очистки, недостаточной дезодорации и других причин смазки на основе отходов производства растительных жиров имеют сравнительно узкое применение.

9.5. Получение смазок на основе синтетических жирных кислот

Эфиры СЖК получают этерификацией СЖК примерно по следующему режиму: 30 % спирта (например, этиленгликоля или ди-триэтиленгликоля) смешивают с 70 % СЖК различных фракций (в основном C_{17} — C_{20} и C_{10} — C_{16}), реакция проводится при температуре 150 °С в присутствии катализатора (ZnO , Al_2O_3), после чего летучие продукты отгоняются под вакуумом. Применяя различного рода спирты (одноатомные, двухатомные и т. д.) и СЖК разных фракций, можно получить технологические смазки с различными свойствами (табл. 40).

При получении синтетических сложных эфиров реакция этерификации двух- и трехосновных спиртов идет не до конца. Содержание свободных жирных кислот составляет 5—10 %. Имеется много неполных эфиров и низкомолекулярных продуктов, что приводит к самоэмульгированию и высокой испаряемости смазки при эксплуатации [186].

Избыток свободных жирных кислот ухудшает охлаждение, эмульгирование снижает смазочную способность при нанесении смазки в виде механической смеси с водой и затрудняет разложение отработанных эмульсий, высокая испаряемость приводит к термическому разложению смазки в очаге деформации. По этим причинам эфиры СЖК в качестве технологической смазки широкого применения не получили.

Для изготовления эмульсолов широко применяют продукт конденсации СЖК различных фракций (преимущественно C_{10} — C_{20}) и триэтанолamina, улучшающий смазочные свойства эмульсий при прокатке.

В состав смазки для промасливания Темп-3 и консервационной смазки ЖКБ входит продукт конденсации СЖК фракции соответственно, C_{21} и C_{17} — C_{20} , и выше (кубового остатка) и триэтанолamina.

Продукт конденсации СЖК фракции C_{18} — C_{25} и триэтанолamina, производимый Шебекинским химкомбинатом по ТУ 38-30703—70, является эмульсион-

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СИНТЕТИЧЕСКИХ ЖИРОВ И СМАЗКИ ПКС-1 [186]

Смазка	Состав	Число омыления	Кислое число	Иодное число	Температура плавления, $t_{пл}$, °С	Средняя удельная сила трения при прокатке *, МПа
ЛЗ-142	Триэтиленгликолевый эфир СЖК фракций $C_{17}-C_{20}$	155	16	Нет данных	42	24
ЛЗ-215	Триэтаноламиновый эфир СЖК фракций $C_{17}-C_{20}$	160	20	То же	48	22
СТП-1	Триэтиленгликолевый эфир СЖК фракций $C_{17}-C_{20}$ и олеиновой кислоты (в соотношении 4 : 1)	170	15	30	33	26
СТП-4	Эфир смеси вторичных спиртов и СЖК фракции выше C_{20}	110	18	Нет данных	28	23
ПКС-1	Гидрогенизированное подсолнечное масло	200	2	90	25	32

* Скорость прокатки 5 м/с.

ной смазкой А-20, применяемой при горячей прокатке. Для процессов волочения проволоки и труб в качестве технологических смазок используют натровые мыла СЖК различных фракций, преимущественно $C_{10}-C_{20}$ и C_{21} и выше.

Омыление СЖК производят каустической содой при температуре 150—200 °С с последующей выдержкой полученного продукта при 300—320 °С, до полного омыления и удаления влаги. Для получения смазки Т-1 кубовые остатки СЖК фракций C_{21} и выше, поставляемые Волгодонским химкомбинатом по ОСТ 380-190—75, омыляют 40 %-ным раствором соды при температуре 90—95 °С. Процесс длится 3 ч при постоянном перемешивании. Готовая смазка содержит 20—30 % мыла и 0,08—0,10 % свободной щелочи.

Смазки СВС-1, СВС-10, СВС-17, ИС-1 изготавливают из различных фракций, а также сырых (смеси) СЖК путем растворения в воде промежуточного продукта (мыльного плава) до образования мыльного клея с последующим распылением раствора в сушилке и получением мелкозернистого мыльного порошка с влажностью не более 1 %. На Винницком масложиркомбинате изготавливают смазку СВС-20, содержащую 20 % СЖК фракций $C_{10}-C_{16}$; 30 % СЖК фракций $C_{17}-C_{20}$ и 50 % гудрона (кубового остатка от дистилляции жирных кислот технического жира), и смазку ТС-21, содержащую по 10 % СЖК фракций $C_{10}-C_{16}$ и $C_{17}-C_{20}$ и 80 % сырых и дистиллированных жирных кислот технического жира II и III сортов. По температурной стойкости смазки СВС-20 и ТС-21 близки к порошку натрового мыла.

При производстве высших жирных спиртов по методу А. И. Башкирова прямым окислением легких парафинов и парафинов средней фракции в присутствии борной кислоты наряду с основными продуктами (спиртами) образуются также эфиры, кислоты, кетоны, которые в основном концентрируются в дистил-

ляционном (кубовом) остатке [162]. При обработке последнего серной кислотой от него отделяется смесь карбоновых кислот и неомыляемых соединений. Этот продукт после удаления серной кислоты и дистилляции этифицируют добавкой необходимых количеств спиртов различных фракций в присутствии катализатора. Полученные вещества — эфиры синтетических жирных спиртов — используют для приготовления технологических смазок, например Мэван и др. Однако эти смазки широкого промышленного применения не нашли.

При дополнительном омылении кубового остатка, после дистилляции и ректификации сырых первичных спиртов, получают смазку Олон технический ($t_{пл} = 38-40^\circ\text{C}$, кислотное число 110—120, число омыления 107—115, содержание мыла более 20 %). Продукт производится на Шебекинском химкомбинате по ТУ 38-30761—7 и применяется в виде эмульсии [198].

9.6. Получение мыльного порошка

Поставляемую по ТУ РСТ УССР 495—78 стружку натриевого мыла сушат на жаровнях при температуре 80—100 °С до влажности 1—3 %, и подвергают размолу в шаровых барабанах до получения частиц размером порядка 2,5 мкм. При использовании мыла с наполнителями в барабаны вместе с мыльной стружкой засыпают порошок талька, молотую гашеную известь. Смесь мыльного порошка с MoS_2 получают перемешиванием в галтовочных барабанах либо размолом массы, полученной сплавлением мыла с MoS_2 . Последний способ обеспечивает получение более эффективной смазки. Сплавлением натриевого мыла с известью можно получить смазку, содержащую кальциевое мыло.

9.7. Получение смазок с наполнителями

Наполнители вводят в готовые смазки или в процессе приготовления смазки. Если при использовании наполнителя требуется сохранить постоянство реологических свойств основы смазки, то его вводят в готовую смазку при ее гомогенизации. Если же наполнитель должен принять участие в формировании структуры смазки, то его следует вводить в процессе приготовления смазки, т. е. при температуре, превышающей температуру плавления загустителя. Свойства смазок можно варьировать подбором наполнителей и изменением соотношения между наполнителем и загустителем. Способ введения наполнителя практически не сказывается на эффективности смазок.

Для повышения активности наполнителей их предварительно отмывают от примесей, подвергают термообработке, кипячению в воде и других растворителях, активизации щелочами и т. п.

Для получения смеси масла с тальком в бак, оборудованный механической мешалкой, загружают требуемое количество масла, небольшими порциями добавляют тальк и перемешивают до получения однородной массы. Для получения смеси мыла с серой и водой в емкость загружают мыло и воду, смесь подогревают острым паром до получения однородной массы (часть воды поступает за счет конденсации пара), затем добавляют серу. Кусковую серу предварительно измельчают на краскотерке.

9.8. Получение силикатных смазок

Стеколосмазки получают либо из боя промышленного стекла, либо путем варки стекол специального состава. Сырьем для шихты служат кварцевый песок SiO_2 , кальцинированная сода Na_2CO_3 , глинозем Al_2O_3 , каолин $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, натриевый полевой шпат $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, натриевая селитра NaNO_3 , кремнефосфористый натрий Na_2SiP_6 , доломит (углекислый магний) MgCO_3 , периклаз (окись магния) MgO , барий азотнокислый $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, витерит (углекислый барий) BaCO_3 , криолит Na_3AlF_6 , рутил (двуокись титана) TiO_2 , калий азотнокислый KNO_3 , поташ K_2CO_3 , калиевый полевой шпат, мел или известняк CaCO_3 , плавиковый шпат (фтористый кальций) CaF_2 , цинковые белила (окись цинка) ZnO , сурик свинцовый (закись свинца) Pb_2O_4 , борная кислота H_3BO_3 , бура кристаллическая (тетраборнокислый натрий) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ и кальцинирован-

ная $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, двуокись циркония ZrO_2 и циркон $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$. В состав многих стеклосмазок входит борный ангидрид, поэтому для приготовления смазок иногда используют бораты различных металлов, имеющих температуру плавления от 650 (борат свинца $\text{PbO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) до 1250 °С (борат циркония $\text{ZrO}_2 \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Шихтовые материалы дробят, просеивают и тщательно перемешивают [164].

Для варки специальных стекол используют небольшие ваннные печи емкостью до 500 кг, а также тигельные и горшковые печи. В зависимости от состава шихты температура варки обычно от 1180 °С до 1500 °С. После выдержки в течение 3—4 ч стекломассу выливают в воду с получением гранулята (эрклез). Гранулят можно кристаллизовать выдержкой при заданной температуре. Иногда в качестве стеклосмазок используют непроварившуюся стекломассу (фриту). Фрита, в отличие от *эрклеза*, неоднородна по составу, содержит частицы нерасплавившегося песка и другие включения.

Гранулят или фриту подвергают помолу на щековых дробилках. Полученные гранулы размером более 5 мм размалывают на валковых или молотковых мельницах и рассеивают на фракции. Максимальный размер частиц после такого помола 1,0 мм, минимальный — 0,1 мм. Для получения более тонкого помола используют бегуны, шаровые и вибрационные мельницы. Стекло тонкого помола идет на приготовление суспензий. Металлургические гранулированные шлаки просеивают и обрабатывают в магнитных сепараторах для удаления железосодержащих частиц.

Природные минералы дробят до фракций, обеспечивающих механическое отделение ненужных пород, а затем плавят. Сплавленную и тщательно перемешанную массу охлаждают и измельчают, обогащают порошкообразными добавками до 3—5 % (окисью натрия, окисью кальция, плавиковым шпатом, снижающими температуру плавления смазки, борным ангидридом). Полученную смесь снова плавят, охлаждают и измельчают. В зависимости от исходного состава требуемых свойств и количества добавок плавления и измельчение массы проводятся от 3 до 5 раз [199].

Для производства смазочных шайб порошок стекла, горных пород или шлака смешивают с водным раствором натриево-содового или сульфатного стекла (10 весовых частей порошка, 1 часть жидкого стекла, 1—2 части воды). Полученная густая паста формируется в шайбы в штампах на вертикальных прессах. Отформованные шайбы просушивают в сушильном шкафу [164]. Стеклосмазки изготавливают Днепропетровское объединение по производству стройматериалов (основной поставщик), Московский опытный и Ленинградский стекольные заводы, Государственный институт стекла.

Для приготовления стеклянных суспензий в смесь стеклосмазки и стабилизатора (Часов-Ярская глина в количестве 3—12 % от массы порошка) добавляют воду и крепитель (казеиновый клей в количестве 2 % от массы порошка), смешивают в шаровой мельнице с применением фарфоровых шаров диаметром 30—40 мм в течение 6—8 ч. Полученную массу процеживают через сита и разбавляют водой до плотности 1600—1620 кг/м^3 для штамповки и 1700—1750 кг/м^3 для прессования (примерно 4,0 кг воды на 1 кг порошка). Если в качестве крепителя используется сульфитно-спиртовая барда или жидкое стекло (8—12 % от объема суспензии), то их добавляют в массу непосредственно перед употреблением [146].

10. Методы исследования технологических свойств смазок

10.1. Определение антифрикционной эффективности смазок

Антифрикционная эффективность характеризует степень снижения сил трения в присутствии смазки. Для определения антифрикционной эффективности технологических смазок применяются стандартные испытания на машинах трения, например на четырехшариковых машинах [4]. Однако при таких испытаниях контакт трущихся поверхностей в большинстве случаев является точечным

или линейным, кроме того отсутствует значительная пластическая деформация одного из трущихся тел. Полученные при таких испытаниях результаты могут служить лишь для приближенной оценки эффективности смазки при обработке металлов давлением.

Наиболее надежные данные по эффективности смазок могут быть получены лишь при испытаниях в том процессе, для которого они предназначены, так как условия поступления смазки в очаг деформации в разных процессах могут резко различаться.

Все методы определения антифрикционной эффективности смазок можно разделить на прямые и косвенные. К прямым относятся те методы, которые основаны на измерении непосредственно сил трения или коэффициента трения. Косвенные методы основаны на исследовании влияния смазки на параметры, зависящие от трения, — деформационные, кинематические или энергосиловые.

Прямые методы исследования эффективности

Применение этих методов в разных вариантах требует измерения или силы трения в каждой точке контактной поверхности, т. е. определения эпиюры сил трения или средней удельной силы трения (коэффициента трения). Оценка эффективности смазок, основанная на исследовании распределения сил трения по контактной поверхности, не получила широкого распространения из-за сложности эксперимента и недостаточной точности.

Более удобна оценка эффективности смазок по измерениям средней удельной силы трения $t_{ср} = T/F_k$.

Величина полной силы трения может быть определена методами осадки со сдвигом, принудительного торможения и крутящего момента при прокатке, разрезной волоки, двух месдоз при прессовании (см. гл. 5). В ряде случаев величина $t_{ср}$ может быть найдена по усилию деформации. Для вывода расчетных формул используется дифференциальное уравнение равновесия сил. В работе [83] для процесса прокатки получена формула:

$$t_{ср} = (P_{пог} - \sigma_{т_{эф}} \sqrt{R_c \Delta h}) 2h_{ср} / R_c \Delta h, \quad (238)$$

где $P_{пог}$ — давление на единицу ширины прокатываемой полосы (погонное давление); R_c — радиус валков с учетом сплющивания; $\sigma_{т_{эф}}$ — средний «эффективный» предел текучести:

$$\sigma_{т_{эф}} = \sigma_{т_{ср}}^* (q_0 - q_1) / 2;$$

q_0 и q_1 — соответственно заднее и переднее удельное натяжение концов полосы.

В формуле (238) основной экспериментально определяемой величиной является только давление на валки. При выводе этой формулы сделан ряд допущений, снижающих точность расчета $t_{ср}$.

Из всех прямых методов оценки эффективности смазок наиболее часто применяется исследование коэффициента трения (среднего на контактной поверхности). Способы определения этого показателя описаны в гл. 5.

Косвенные методы исследования эффективности

Преимуществом косвенных методов является простота экспериментов, недостатком — то, что получаемые результаты пригодны в основном для выводов качественного характера. Количественные выводы зависят от частных условий проведения опытов: размеров образцов, выбранной величины обжатия, конструкции деформирующей машины и др.

При использовании косвенных методов необходимо проводить опыты при таких параметрах деформации, при которых существует ярко выраженная зависимость между фиксируемым показателем и силами трения. В большинстве случаев это условие сводится к тому, что должно быть обеспечено достаточно большое отношение длины контактной поверхности к средней толщине полосы в очаге деформации. Так, при прокатке отношение $l_d/h_{ср}$ должно быть выше 2—3.

Чем меньше бочкообразность, тем лучше испытываемая смазка по своему антифрикционному действию. Достаточно наглядные результаты получаются при $d_0/h_0 = 0,5 - 1,0$, $\epsilon = 30 - 50\%$.

Метод осадки кольца. Эффективность смазки оценивается по изменению внутреннего диаметра d_0 . Показателем служит величина $e = (d_0 - d_1)/d_0$. Чем меньше e , тем эффективнее смазка. При очень низких значениях коэффициента трения величина e становится отрицательной, т. е. внутренний диаметр кольца при осадке увеличивается.

Усилие деформации. Смазка, снижая подпирющие силы трения, способствует уменьшению усилия, необходимого для осуществления деформации. В тех случаях, когда усилие деформации мало зависит от величины сил трения, при испытании смазок используют дополнительные показатели. Например, при оценке смазок в операциях листовой штамповки дополнительным показателем может служить величина вытяжки, при которой наступает разрушение металла [200]. В некоторых случаях рекомендуется оценивать эффективность смазок по удельному расходу энергии на деформацию [201].

Прокатка

Исследование коэффициента вытяжки. Опыты заключаются в последовательной прокатке одинаковых образцов с разными смазками при постоянной установке валков. Для каждого образца определяют коэффициент вытяжки $\lambda = l_1/l_0$, где l_0 и l_1 — длина образца соответственно до и после прокатки.

Чем эффективнее смазка, тем ниже давление на валки и тем меньше упругая деформация деталей рабочей клетки стана. За счет уменьшения «пружины» клетки растут обжатие и вытяжка. Абсолютные значения λ зависят от начальной установки валков и жесткости стана. Если бы рабочая клетка была совершенно жесткой системой, то коэффициент вытяжки при испытании разных смазок был бы одинаковым, так как зазор между валками оставался бы постоянным (не смотря на изменение усилия прокатки).

Для оценки смазок можно сравнивать не только коэффициенты вытяжки, но и обжатия (абсолютные или относительные). Однако измерение толщины образцов осуществляется труднее и менее точно, чем их длины. Для повышения точности измерений целесообразно на продольной оси образца делать специальные засечки или небольшие отверстия (диаметром 2—3 мм), между которыми измеряют расстояние l_0 и l_1 . Следует применять достаточно тонкие образцы и устанавливать валки так, чтобы даже при отсутствии смазки обжатие было не слишком малым. При прокатке на валках диаметром 150—200 мм начальная толщина образцов должна быть не более 1,0—1,5 мм.

Иногда для получения более контрастных результатов при исследовании эффективности смазок образцы прокатывают в несколько проходов. В итоге об эффективности смазки судят по полному коэффициенту вытяжки или суммарному обжатию.

Исследование опережения. В теории прокатки известна следующая зависимость между опережением S и коэффициентом трения:

$$S = (\alpha^2 R / 4 h_1) (1 - \alpha / 2 f_y)^2. \quad (239)$$

Из этой зависимости видно, что с уменьшением коэффициента трения опережение также уменьшается. Следовательно, исследуя опережение при прокатке с разными смазками, можно судить об их сравнительной антифрикционной эффективности. Опережение достигает значительной величины только при прокатке тонких полос. Кроме того, зависимость опережения от коэффициента трения проявляется в значительной мере лишь в диапазоне $\alpha/f_y = 0,5 - 2$. Для получения более надежных выводов обжатие при прокатке образцов с разными смазками должно быть одинаковым (за счет изменения установки валков при испытании каждой новой смазки).

При прокатке в валках с гладкой поверхностью и при наличии высокоэффективной смазки иногда наблюдается отрицательное опережение (скорость выхода

металла меньше окружной скорости валков). Процесс прокатки с отрицательным опережением изучен недостаточно.

При исследовании усилия прокатки экспериментально определяют полное давление на валки P и затем рассчитывают среднее контактное давление:

$$p_{ср} = P/b_{ср} \sqrt{R\Delta h}, \quad (240)$$

где $b_{ср}$ — средняя ширина полосы в очаге деформации.

Чем меньше $p_{ср}$, тем эффективнее технологическая смазка. Для получения более отчетливых результатов прокатка должна проводиться при условии $l_d/h_{ср} > 2-3$, но лучше, если это отношение будет выше 4—5.

Для исследования удельного расхода энергии стан должен быть оборудован аппаратурой для измерения расхода энергии (мощности). Точность метода несколько ниже, чем при определении давления, так как измеряемый параметр включает в себя потери в главной линии стана, почти не зависящие от внешнего трения в очаге деформации.

Волочение и прессование

Обычным методом оценки эффективности смазки при волочении является экспериментальное определение усилия волочения или удельного расхода энергии. В производственных условиях эффективность смазки часто оценивают по стойкости волок или числу обрывов (в единицу времени или по отношению к определенному объему продукции). При прессовании показателем эффективности смазки в основном служит усилие прессования. Параллельно исследуют состояние поверхности изделий, матрицы и контейнера (отсутствие задиров). О эффективности смазок в процессе выдавливания можно судить по искажению координатной сетки, нанесенной в плоскости разреза составных образцов [199]. Распределение деформации в объеме деформируемого тела может служить качественной характеристикой влияния смазки на силы трения и в других процессах обработки металлов давлением.

Исследование эффективности методом нанесения мерных слоев

Анализируя действие смазки, как антифрикционной среды, следует различать физическую эффективность, определяющую толщину формируемого смазочного слоя, и химическую эффективность, характеризующую строение, прочность и адгезионную способность этого слоя [133].

Все существующие прямые и косвенные методы исследования эффективности смазок при обычном их применении не позволяют разграничить влияние физических и химических факторов. Обычно в опытах смазка подается на образцы и инструмент с большим избытком. При этом на контактных поверхностях в очаге деформации формируется смазочный слой различной толщины для разных смазок (в зависимости от их вязкости).

Метод нанесения мерных слоев позволяет выделить и оценить истинную химическую эффективность смазок. Он заключается в сравнении коэффициентов трения, удельных сил трения или других (косвенных) показателей при деформировании с разными смазками и одинаковой толщиной слоя смазки на контактных поверхностях. С этой целью на поверхность образцов перед деформированием наносят мерный, заранее выбранный слой смазки. Толщина наносимого слоя должна быть меньше той предельной толщины, которая образуется при обычной обильной подаче смазки.

Нанесение мерных слоев смазок на образцы осуществляется с помощью растворов заданной концентрации. Хорошими растворителями для минеральных и растительных масел являются чистый авиационный бензин, четыреххлористый углерод и др. После нанесения раствора на образец растворитель испаряется и на поверхности металла остается слой масла определенной толщины.

Для нанесения на одну поверхность образца слоя смазки толщиной ξ требуется масла (по массе) $q = \xi F \rho$, где F — площадь одной деформируемой поверхности образца; ρ — плотность масла.

Раствор можно наносить на образец с помощью микропипетки. Допустим, что для покрытия одной стороны образца из микропипетки выпускается 0,1 мл раствора. Тогда для приготовления, например, 100 мл раствора требуется масла $Q_{100} = 100q/0,1$.

При исследовании зависимости между химическим составом смазки и ее антифрикционной эффективностью следует наносить на поверхность образцов относительно тонкие слои смазки, чтобы трение было в основном граничным.

10.2. Исследование противозносных и противозадирных свойств смазок

Лабораторные исследования влияния смазки на износостойкость инструмента связаны с большими трудностями, так как необходимо создание специальных установок, в достаточной степени моделирующих условия трения при обработке давлением и позволяющих вести длительные испытания с определением износа.

Для исследования износостойкости валковых материалов и действия технологических смазок при горячей прокатке используются специальные испытательные установки ДМетИ, УкрНИИМета (рис. 108) [202]. Прокатываемый

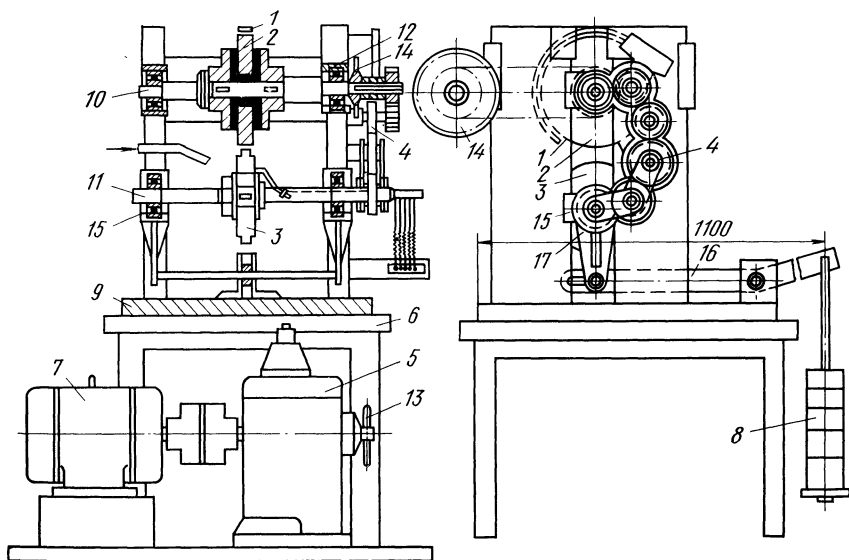


Рис. 108. Установка для исследования износостойкости валковых материалов при высоких температурах УкрНИИМета:

1 — индуктор; 2 — трущийся диск; 3 — испытуемый диск; 4 — шестерни; 5 — редуктор; 6 — стол; 7 — двигатель; 8 — груз; 9 — станина; 10 — верхний вал; 11 — нижний вал; 12 — неподвижные подушки; 13 и 14 — звездочки; 15 — подвижные подушки; 16 — рычаг; 17 — вилка

металл имитирует диск 2, который может нагреваться от индуктора 1 до температуры 100 °С. Диаметр диска 230 мм, ширина 40 мм. Верхний вал 10, на котором закреплен диск 2, может вращаться с различной скоростью благодаря наличию коробки передач 5 и сменным звездочкам 13 и 14 цепной передачи от асинхронного двигателя мощностью 4,5 кВт ($n \approx 1440$ об/мин). На нижнем валу 11 помещается диск 3, имитирующий прокатный валок. Его диаметр может изменяться в пределах 100—250 мм. Он охлаждается водой или смазкой.

Во время испытаний нижний диск 3 прижимается к верхнему диску 2 с помощью рычага 16 и съемного груза 8. Установка позволяет испытывать образцы

при контактном давлении от 10 до 180 МПа, скорости скольжения от 0,1 до 3 м/с и температуре трущего диска от 20 до 900 °С. Износ определяется по уменьшению массы диска 3.

Для оценки противоизносных свойств смазки в производственных условиях фиксируют изменение стойкости рабочего инструмента. Противоизносные свойства смазки (*экранирующую способность*) характеризуют способность смазки предотвращать развитие процесса схватывания в зоне контакта с образованием различного рода наростов на поверхности инструмента.

Для исследования противоизносных свойств смазки необходимо создание таких условий, когда достаточно велик путь скольжения между трущимися телами. При осадке со сдвигом показателем может служить длина пути, который проходит образец до возникновения очагов схватывания на поверхности бойков. При прокатке о противоизносных свойствах смазки можно судить по состоянию поверхности валков в опытах с принудительным торможением образцов.

Предложена методика, которая заключается в последовательной протяжке ряда колец через отверстие в толстостенной втулке, изготовленной из деформируемого металла. Диаметр кольца (инструмента) при каждой протяжке несколько увеличивают, например на 0,2 мм [203]. Показателем экранирующей способности смазки служит число циклов деформации до возникновения схватывания, о чем можно судить по резкому возрастанию усилия протягивания.

10.3. Дополнительные технологические испытания смазок

В зависимости от конкретных условий обработки давлением возникает необходимость в определении ряда дополнительных нестандартизованных показателей [133].

Коррозионную стойкость смазки характеризуют по ее способности защищать металлические поверхности от атмосферной и других видов коррозии. При испытании в эксикатор, дно которого залито водой с температурой 90—95 °С, помещают пачки из пяти-шести стальных пластинок, предварительно смоченных испытываемой смазкой. Через сутки эксикатор открывают и визуально оценивают состояние поверхности пластин. Затем вновь заливают в эксикатор горячую воду и проводят очередной суточный цикл выдержки.

Для оценки *способности эмульсии удерживать в объеме механические примеси* без оседания их на поверхность металла в эмульсию вводят при перемешивании мелкие металлические частицы, а затем измеряют их количество, отложившееся на полированной поверхности стального стержня, погруженного в раствор.

Моющие свойства эмульсий и других смазок определяют по количеству загрязнений, остающихся на поверхности изделия после деформации.

Для определения *способности смазки удаляться с поверхности металла* при обезжиривании, травлении, термической обработке и других операциях проводят, например, отжиг в промышленных колпаковых печах пластинок холоднокатаной автолистовой стали, смоченных исследуемой смазкой (эмульсией) и сложенных в пачки, плотно сжатые струбцинами, с последующей визуальной оценкой поверхности.

Для проверки эффективности *действия бактерицидных присадок* в эмульсию вводят бактерии из загрязненной среды и проводят испытания как без доступа воздуха, так и с аэрацией. При этом периодически контролируют рост количества бактерий в пробах с бактерицидами и без бактерицидов. Следует отметить, что все технологические испытания новых смазок ведут, как правило, в сравнении с результатами испытаний уже хорошо известных, апробированных на производстве смазок.

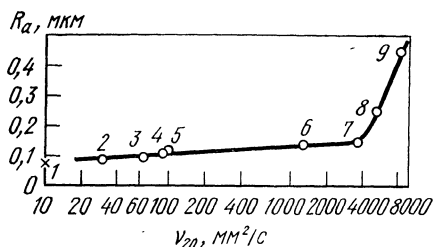
10.4. Деформация поверхности металла смазкой

В некоторых случаях одним из важных требований к смазке является обеспечение необходимой шероховатости, а также внешнего вида поверхности изделий после обработки давлением. Поэтому при выборе смазки контролируется микрорельеф поверхности изделий. Занимая определенный объем, смазка вжимается

в поверхность металла, вследствие чего изменяется микрорельеф поверхности и структура приконтактного слоя. При наличии между контактными поверхностями толстой разделительной смазочной пленки вся деформация металла осуществляется под воздействием смазки, т. е. аналогично процессу жидкой штамповки. При прокатке на сухих валках и с керосином поверхность металла получается блестящей, а при прокатке с касторовым или машинным маслом — матовой [204].

Рис. 109. Зависимость поперечной шероховатости поверхности холоднокатаных образцов из стали 08 кп от вязкости смазки:

1 — без смазки; 2 — трансформаторное масло; 3 — хлопковое масло; 4 — И-20А; 5 — ПКС-1; 6 — касторовое масло; 7 — П-28; 8 — Ц-24; 9 — Ц-52
Толщина образцов 2,2 мм, обжатие 27—30 %. Поверхность валков полированная, $R_a = 0,07-0,08$ мкм, исходная поверхность образцов травленая, $R_a = 0,4$ мкм



Микрорельеф поверхности металла при прокатке с вязкой смазкой резко отличается от такового при деформации на сухих валках. Высота неровностей при прокатке со смазкой больше, это различие особенно значительно при прокатке на гладких валках. При прокатке с вязкой смазкой шероховатость поверхности полос в продольном направлении становится больше, чем в поперечном. Конечная шероховатость поверхности металла (рис. 109) зависит не от химических свойств смазки, а от ее вязкости. Шероховатость металла возрастает с увеличением вязкости смазки. Это объясняется тем, что с повышением вязкости возрастает количество смазки, поступающей на контактные поверхности.

11. Определение толщины слоя смазки в очаге деформации

11.1. Экспериментальные методы исследования толщины слоя смазки

Весовой метод. После обработки образцы, отобранные от изделия, взвешивают, затем с помощью растворителя (бензина, эфира и др.) удаляют смазку и взвешивают повторно. Толщина слоя на поверхности $\xi_{обр} = G/\rho F$, где G — масса удаленной смазки; ρ — ее плотность; F — площадь основных поверхностей образца. При условии, что толщина слоя, остающегося на поверхностях инструмента и изделия, одинакова, толщина слоя смазки между контактными поверхностями $\xi = 2\xi_{обр}$ (для прокатки и волочения это толщина слоя на выходе из очага деформации).

Погрешности метода связаны с тем, что распределение смазки между поверхностями металла и инструмента не всегда одинаково; величина G может включать в себя массу всех загрязнений смазки (продуктов износа и др.). Для получения более правильных результатов необходимо отделить смазку от прочих веществ, находящихся на поверхности металла. Иногда образец ополаскивают в эфире, который растворяет масло, а нерастворимые вещества остаются на образце. Однако частичный смыв таких веществ при этом трудно предотвратить.

Капельный метод предложен А. П. Грудевым в 1960 г. [206]. В процессе деформации капля смазки растекатся, образуя пятно площадью $F_{см}$. Измерив площадь пятна после деформации, можно найти толщину смазки в очаге деформации $\xi = V/F_{см}$. При прокатке на сухую поверхность полосы наносят каплю смазки, а после прокатки измеряют площадь образовавшегося пятна. В результате опыта определяется толщина слоя смазки на выходе из очага деформации ξ_1 . При горячей прокатке каплю смазки можно наносить на поверхность валка и измерять площадь пятна на его поверхности.

При увеличении объема капли от 5 до 50 мм³ толщина слоя ξ_1 остается практически постоянной. Можно полагать, что при дальнейшем увеличении объема наносимой смазки вплоть до обильной подачи, толщина слоя смазки в очаге деформации не изменяется [133]. Результаты измерений не зависят от распределения смазки между инструментом и изделием и от наличия загрязнений в смазке и практически не зависят от формы капли. При нанесении капли при помощи микропипетки с мерными делениями часть смазки может оставаться на ее стенках. Для повышения точности опытов необходимо рассчитывать объем капли по результатам взвешивания микропипетки до и после нанесения смазки.

При использовании маловязких смазок, в частности, эмульсий, толщина слоя смазки очень мала. В этом случае пятно на поверхности образца плохо заметно. Для выявления контуров пятна оно может быть окрашено с помощью мелкодисперсных порошков окислов тяжелых металлов (цинка, меди). Порошок равномерно наносят на поверхность образца. На смазанном участке порошок прилипает к поверхности образца, а с остальной поверхности удаляется струей воздуха. Капельный метод не применим при волочении и в других процессах, где происходит интенсивное скольжение одной трущейся поверхности по другой.

11.2. Теоретическое определение толщины слоя смазки между контактными поверхностями

В основу расчетного определения толщины слоя смазки в очаге деформации положены уравнения гидродинамики и закон жидкостного трения (25)

Формирование смазочного слоя в процессе осадки

Допустим, на торцовую поверхность цилиндрического тела нанесен слой вязкой жидкости начальной толщиной ξ_0 (рис. 110). Согласно теоретическому анализу [207], в любой момент времени толщина слоя смазки определяется из выражения:

$$\xi = \sqrt{\frac{A\xi_0^2 v_{MK}}{2PR\xi_0^2 (1 - e^{-2v_{MK}g/R}) + Av_{MK}e^{-2v_{MK}g/R}}}, \quad (241)$$

где $A = 3\pi\eta R^4$; v_{MK} — горизонтальная скорость перемещения кромки тела; g — продолжительность сжатия, с; P — сила сжатия.

$$P = (A/2\xi^3) (v_{MK}\xi/R - v_{CM}), \quad (242)$$

где v_{CM} — скорость сжатия слоя смазки (разность между скоростью опускания бойка и скоростью осадки тела).

Для нахождения величины ξ необходимо совместное решение уравнений (241) и (242).

На той стадии, когда деформация обрабатываемого тела отсутствует, т. е. $v_{MK} = 0$, действительна формула:

$$\xi = \sqrt{A\xi_0^2/(4P\xi_0^3 + A)}. \quad (243)$$

При сжатии слоя смазки давление p распределяется на контактной поверхности по куполообразной кривой (см. рис. 110). Аналогично распределяется упругая деформация инструмента и обрабатываемого тела. В связи с этим смазочный слой имеет чечевицеобразную форму. В определенный момент при осадке происходит смыкание поверхностей инструмента и металла по периметру, и некоторый объем смазки W замыкается между поверхностями. Подробно этот вопрос рассмотрен в работе [11].

Получена формула для определения оптимальной вязкости смазки, при которой торец заготовки после осадки остается плоским:

$$\eta = 0,2 \frac{K^3}{v_0 R^2} - \left(\frac{1 - e^{\theta W/\pi K R^2}}{R} \right)^4, \quad (244)$$

где K — коэффициент пропорциональности в выражении, связывающем суммарную линейную деформацию поверхностей инструмента и тела Δ с давлением p , $\Delta = Kr$. В работах [11, 208] приведены теоретические решения задачи по определению толщины разделительного слоя смазки в процессах листовой штамповки (вытяжки).

Формирование смазочного слоя при прокатке

При входе в очаг деформации поверхности валка и полосы образуют сужающуюся щель, которая заполняется смазкой (рис. 110). Создается так называемый *масляный (смазочный) клин*.

При движении твердой поверхности примыкающий к ней слой жидкости движется с той же скоростью и поверхности вращающегося валка и полосы

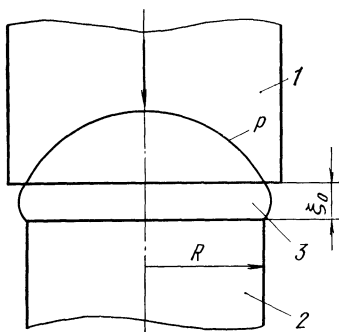


Рис. 110. Схема сжатия слоя смазки при осадке:

1 — боек; 2 — деформируемое тело; 3 — смазка

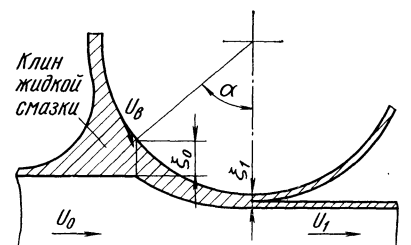


Рис. 111. Смазочный клин на входе в очаг деформации при прокатке

нагнетают смазку в сужающийся предочаговый зазор. В смазочном клине возникает давление, растущее по мере приближения к вершине клина (к плоскости входа в очаг деформации). Это давление способно уравновешивать внешнюю нагрузку. Если в вершине смазочного клина давление достигает величины предела текучести металла, то слой смазки соответствующей толщины будет входить в очаг деформации. Таким образом, в предочаговой зоне действует своеобразный гидродинамический насос, нагнетающий смазку в очаг деформации.

Анализ условий равновесия элементарного объема смазки, выделенного в смазочном клине, с учетом влияния давления на вязкость, приводит к следующей формуле для определения толщины слоя смазки на входе в очаг деформации [133]:

$$\xi_0 = 3\eta_0\theta (v_B + v_0)/\alpha \left[1 - e^{-\theta (\sigma_T^* - q_0)} \right], \quad (245)$$

где q_0 — удельное заднее натяжение полосы.

На количество захватываемой смазки влияет шероховатость поверхностей валков и прокатываемого металла. С учетом этого фактора формула для определения толщины слоя смазки принимает вид

$$\xi_0 = 3\eta_0\theta (v_B + v_0)/\alpha \left[1 - e^{-\theta (\sigma_T^* - q_0)} \right] + K_{III} \Sigma R_z, \quad (246)$$

где K_{III} — коэффициент, отражающий влияние шероховатости поверхностей на захват смазки; ΣR_z — суммарная высота неровностей на поверхностях валков и полосы.

Согласно экспериментальным исследованиям, величина K_{III} находится в пределах 0,09—0,15 [133]. Она несколько повышается с уменьшением обжатия и

с увеличением вязкости смазки. От свойств прокатываемого металла K_{III} практически не зависит. При измерении шероховатости (ΣR_z) игла профилометра должна перемещаться вдоль направления прокатки.

Толщина слоя смазки изменяется по дуге контакта. Исходя из условия постоянства секундных объемов и зная толщину слоя смазки в плоскости входа ξ_0 , можно определить толщину слоя смазки в любом поперечном сечении очага деформации [133]:

$$\xi_x = \xi_0 (v_B + v_0)/(v_B + v_x), \quad (247)$$

где v_x — скорость полосы в сечении x .

Связь между толщиной слоя смазки на входе и на выходе из очага деформации выражается формулой:

$$\xi_1 = \xi_0 (v_B + v_0)/(v_B + v_1) \quad (248)$$

$$\text{или } \xi_1 = \xi_0 (\lambda + 1)/2\lambda \quad (249)$$

Приведенные формулы (245)—(249) относятся к процессу холодной прокатки достаточно широкой полосы. Теория захвата смазки при горячей прокатке находится в состоянии разработки.

При *волочении* получено следующее уравнение для определения давления в смазочном клине на входе в очаг деформации [209]:

$$p_{\max} = -\frac{6\eta v_1}{\lambda \xi_0 \operatorname{tg} \alpha} \left\{ 1 - \frac{2\xi_0}{R - r_0} \left[1 - \frac{\xi_0}{2(R - r_0)} \right] \right\}, \quad (250)$$

где v_1 — скорость волочения; r_0 — начальный радиус прутка; R — входной диаметр рабочего конуса волокна.

Аналогичная по структуре формула выведена для внутренней поверхности трубы при волочении на самоустанавливающейся оправке [210].

Если принять, что в плоскости начала пластической деформации давление равно пределу текучести металла, т. е. $p_{\max} = \sigma_T$, то из выражения (250) можно найти толщину слоя смазки ξ_0 . При волочении с противонапряжением следует принимать $p_{\max} = \sigma_T - q_0$, где q_0 — растягивающее напряжение на входе в пластическую зону.

11.3. Факторы, влияющие на толщину слоя смазки

Во многие теоретические формулы для расчета толщины слоя смазки *вязкость* входит прямым множителем. Экспериментальные данные подтверждают первостепенное влияние этого физического фактора. Введение различных наполнителей (загустителей) в смазку имеет основной целью повышение вязкости и, как следствие, увеличение толщины разделительного смазочного слоя между трущимися поверхностями.

Скорость перемещения инструмента и деформируемого тела. При ковке на молотах смазка в большем количестве удерживается на контактных поверхностях, чем при медленной деформации на прессах. Прямыми опытами доказано существенное влияние скорости прокатки на толщину слоя смазки в очаге деформации (рис. 112). Однако следует отметить, что в диапазоне высоких скоростей прокатки рост толщины смазочной пленки затухает и даже может появиться обратная зависимость. Это объясняется интенсивным тепловыделением в слое смазки за счет внутреннего трения, что ведет к снижению вязкости.

Аналогичная зависимость толщины слоя смазки от скорости наблюдается при волочении с жидкими смазками. При использовании сухих смазок (натровое мыло) количество захватываемой смазки уменьшается с увеличением скорости волочения (рис. 113). Это объясняется стряхиванием смазки с поверхности проволоки, а также возникновение «тоннельного эффекта».

Очень сильно влияет на толщину формируемого слоя смазки *угол смазочного клина*. Чем меньше этот угол, тем благоприятнее условия для захвата смазки.

При прокатке угол смазочного клина равен углу контакта (захвата). Прямые опыты свидетельствуют о резком уменьшении толщины слоя смазки с увеличением угла α (рис. 114). В свою очередь, угол контакта зависит от обжатия и диаметра валков $\alpha^2 = \Delta h/R$. Следовательно, для улучшения условий захвата смазки целесообразно применение валков большого диаметра.

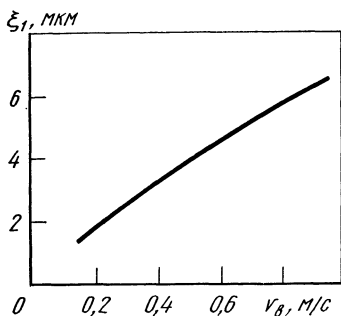


Рис. 112. Влияние скорости прокатки на толщину слоя смазки (образцы свинцовые, смазка — касторовое масло)

Рис. 113. Изменение толщины слоя смазки в зависимости от скорости при волочении с порошком натриевого мыла (по данным И. Т. Бородавкина):

1 — $2\alpha = 10^\circ$; 2 — $2\alpha = 14^\circ$

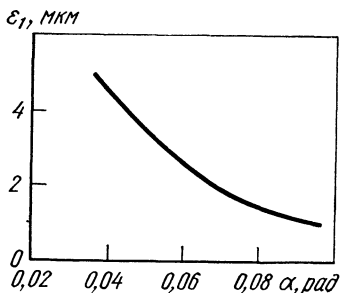
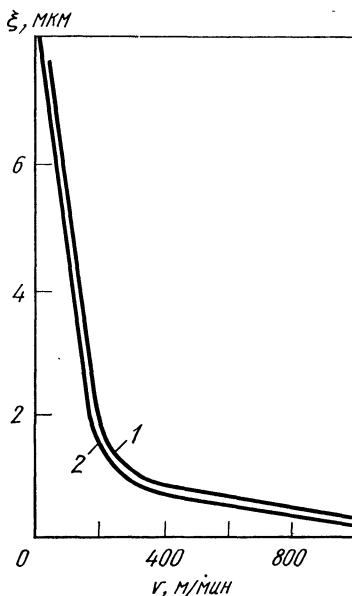


Рис. 114. Влияние угла контакта (захвата) на толщину слоя смазки при прокатке медных образцов с маслом П-28

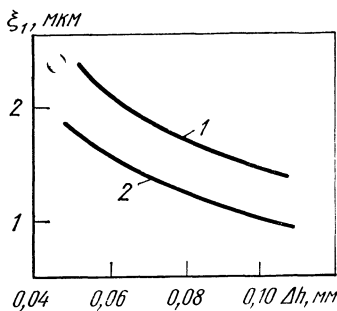


Рис. 115. Толщина слоя смазки при прокатке стальных образцов на чугунных (1) и стальных (2) валках (смазка — касторовое масло).

При наличии заметной упругой деформации валков на толщину слоя смазки оказывает некоторое влияние материал инструмента. При прокатке на чугунных валках толщина слоя смазки больше, чем при прокатке на стальных (рис. 115). По-видимому, это объясняется более значительным сплющиванием чугунных валков, вследствие чего уменьшается угол смазочного клина.

При отклонении прокатываемой полосы от горизонтального положения угол α для верхнего и нижнего валков оказывается неодинаковым. Это служит причиной формирования смазочных слоев разной толщины на верхней и нижней контактных поверхностях (рис. 116).

Толщина слоя смазки уменьшается при увеличении предела текучести деформируемого металла (рис. 117). С увеличением σ_T соответственно возрастает

то необходимое давление, которое должно быть достигнуто в вершине смазочного клина; для этого требуется уменьшение толщины смазочного слоя.

При прокатке и волочении на захват смазки влияет натяжение заднего конца полосы (прутка). С увеличением натяжения толщина слоя смазки растет (рис. 118). Увеличение заднего натяжения равносильно уменьшению предела текучести металла на входе в очаг деформации.

Увеличение шероховатости поверхностей способствует формированию более толстых смазочных слоев. При этом надо подчеркнуть, что главную роль играет та шероховатость, которая препятствует оттеснению смазки из зоны деформации [139].

Рис. 116. Изменение толщины слоя смазки на верхней $\xi_{В1}$ и нижней $\xi_{Н1}$ контактных поверхностях в зависимости от угла наклона прокатываемого образца ψ (отклонение вверх)

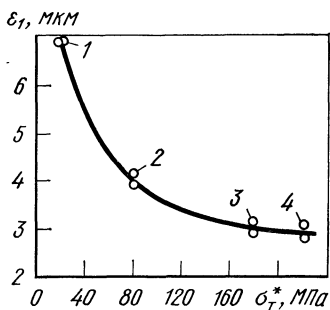
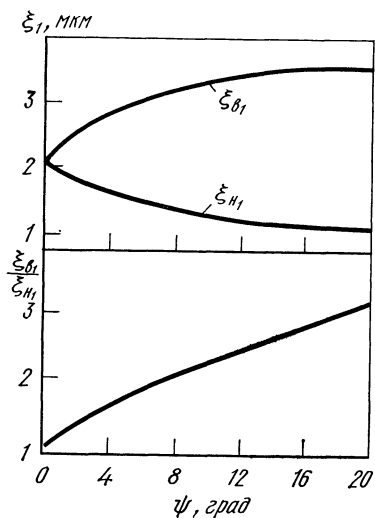


Рис. 117. Влияние предела текучести металла на толщину слоя смазки:

1 — свинец; 2 — алюминий; 3 — медь отожженная; 4 — медь наклепанная (смазка — масло П-28)

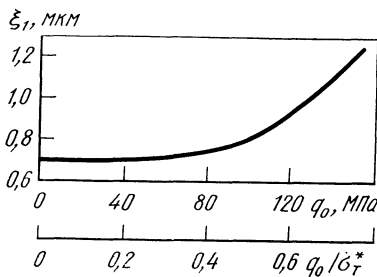


Рис. 118. Влияние натяжения заднего конца полосы q_0 на толщину слоя смазки (образцы стальные, смазка — касторовое масло)

12. Применение технологических смазок

12.1. Смазки для холодной прокатки листов из черных металлов

Смазки для промасливания травленных полос перед прокаткой

Промасливание полос предохраняет их поверхность от атмосферной коррозии при межоперационном хранении, от механических повреждений при смотке, размотке и транспортировке рулонов, а также снижает энергосиловые параметры при прокатке. На некоторых станах промасливающая смазка является единственной технологической смазкой в первой клетке, а при прокатке толстых полос — во всех клетках стана [211]. Смазка для промасливания влияет на свариваемость витков рулона при отжиге и на чистоту поверхности холоднокатаных

листов. Тип масла для промасливания зависит от назначения листовой стали (табл. 41).

Особенно большое значение имеет смазка для промасливания травленных полос, предназначенных для производства холоднокатаной автолистовой стали, которая, за редким исключением, не подвергается очистке после прокатки.

В настоящее время в мировой практике для промасливания травленных полос, предназначенных для прокатки холоднокатаных листов для машиностроения, применяются эмульсии на основе растительных, животных жиров или синтетических продуктов и минеральные масла или их смеси с растительными, животными жирами или синтетическими продуктами, а также эмульсолы эмульсий, применяемых при последующей холодной прокатке на стане. К промасливающим эмульсиям и маслам часто добавляют антикоррозионные, моющие и эмульгирующие присадки.

Эмульсионные смазки на основе растительных, животных жиров или синтетических продуктов в наибольшей степени предохраняют поверхность полос от механических повреждений при смотке в моталке, а особенно при размотке рулонов в размотывателе прокатного стана.

При нанесении подогретой до 90—95 °С эмульсии на горячую полосу вода, имеющаяся в эмульсии, быстро испаряется, и на поверхности металла остается равномерно распределенная твердая пленка масла или мыла, прочно связанная с поверхностью активными кислотными группами, обеспечивающая высокие антизадирные и смазочные свойства и не налипающая на поверхность натяжных прессов. Эмульсии обеспечивают меньший в 4—6 раз расход смазки и меньшую загрязненность рабочих мест по сравнению с маслами.

Разработанная и внедренная на заводе «Запорожсталь» взамен масла И-20А эмульсия, содержащая 7—10 % полимеризованного (отработанного) хлопкового масла, 0,80—0,10 % кальцинированной соды остаточной, 0,3—0,35 % бикарбоната натрия и 1,4—1,7 % мыла [212], позволила снизить отсортировку холоднокатаных листов из углеродистых и легированных сталей по царапинам с вкатаной крошкой соответственно в 10 и 4 раза. Отсортировка листов (рулонов) по «сварке» при отжиге снизилась примерно в 10 раз [213]. При промасливании эмульсией повышенной концентрации (10—12 %) возможно ухудшение захвата в первой клетки.

Водорастворимая смазка—ингибитор АНСК-50 (ТУ МНХП 38-7-46—68), представляет собой 10—12 % раствор мыльного клея в воде с добавками моноэтаноламидов СЖК. Хорошая растворимость в воде и эффективные моющие свойства АНСК-50 благоприятствуют получению качественной поверхности листа [214, 215]. Недостатком этой смазки является неприятный запах, сравнительно невысокая смазочная способность, трудность разложения (при повышенной концентрации) одних и разложение в процессе эксплуатации других прокатных эмульсий, непрочность образующейся пленки, которая при избытке смазки отслаивается [216, 217].

В зарубежной практике также находят применение смазки на водной основе. В качестве масляной среды при этом применяется продукт конденсации монокарбоновой (жирной) кислоты (C_{10} — C_{20}), триглицерида этой кислоты и диалканамина (антикоррозионной добавки), взятых в пропорции 1,5—2,7 молей амина к 1 молю карбоновой кислоты. Реакция конденсации происходит при температуре свыше 100 °С¹ [218].

Недостатком водных смазок является необходимость полной сушки полосы перед смоткой в рулон из-за возможности коррозии металла, а также загрязнение оборудования травильных линий масляной основой эмульсии.

В качестве масляных смазок в основном применяются минеральное масло И-20А, смазка Темп-3, эмульсол ОМ.

В зарубежной практике для защиты поверхности полос от механических повреждений промасливание в линиях травления в большинстве случаев проводят сравнительно вязкими жидкими маслами. При этом рекомендуется использовать смеси минеральных масел и жиров, например, одна часть жиров и три части минерального масла ($v_{38} = (60-100) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, число омыления не бо-

¹ Пат 3 965 712 (США), 1975.

ХАРАКТЕРИСТИКА СМАЗОК ДЛЯ ПРОМАСЛИВАНИЯ

Название, состав, завод	Физико-химические свойства							Технологические свойства ¹ , балл			
	ν_{50} °С, мм ² /с	t_3 , °С	число омыления	кислотное число	водное число	коксовое число	смазочные	антикоррозионные	моющие	противодирные	
Минеральное масло И-20А, НЛМЗ, ВИЗ	20	—	—	0,01	—	0,15	5	5	1	3	
Темп-3, смесь минерального масла И-20А (71%), СЖК С ₁₇ —С ₂₀ (20%), триглицериды (8%) и стеарокса (1%), жидкая смазка, ММК	300—350	22	40—50	30—35	1—2	0,3	9	8	7	8	
Полимеризованное хлопковое масло, эмульсия 7—10%, «Запорожсталь»	600—700	10	153—180	20—44	64—67	1,75	10	5	0	10	
АНСК-50, смесь натровых мыл СЖК с добавкой моноэтаноламидов кислот С ₁₀ —С ₁₆ , ЧерМЗ и Ждановский им. Ильича (водный раствор 7—9%)	120	16	160	2—4	0,5—1,0	2,4	5	8	8	7	
Квакерол 1508, смесь минерального масла с растительными и животными жирами и сульфэфирами; жидкая смазка, водный раствор 30%, МНЛЗ	49,8	—3	75	10,3	16,4	0,2	10	8	2	8	

¹ Оценка выполнена Институтом черной металлургии по десятибалльной шкале: минимальные свойства ноль баллов, максимальные 10 баллов.

лее 30—40, содержание свободных жирных кислот не более 2 %) или масло вязкостью $(17-24) \cdot 10^{-6}$ м²/с при 54,4 °С со значительно большим содержанием жиров в смеси (число омыления 95—115, свободных жирных кислот до 12 %) [211, 218]. Фирма «Шлеман—Зимаг» рекомендует для пятиклетового стана бесконечной прокатки 2030 НЛМЗ применять смазку Квакерол 1508 фирмы «Квакер Кемикал» в виде 30 %-ного раствора в воде при температуре 40 °С или в чистом виде и в смеси с минеральными маслами вязкостью $40,6 \cdot 10^{-6}$ м²/с при 38 °С.

Использование жидких масел для промасливания обеспечивает повышение концентрации эмульсий в циркуляционных системах прокатных станов, т. к. обычно в качестве жидких смазок применяются масла, являющиеся основой эмульсолов прокатных эмульсий.

При установке на травильных линиях барабанных моталок, осуществляющих плотную намотку рулонов промасливание может осуществляться концентрированной прокатной эмульсией.

При промасливании подката для белой жести наиболее важны антифрикционные и антикоррозионные свойства, а также способность легко удаляться с поверхности жести при очистке в чистильно-моечных агрегатах. Обычно для промасливания используют те же масла, на которых ведут прокатку — пальмовое, кориандровое, иногда используют эти же масла после регенерации или с добавками минеральных масел.

На эффективность смазочного действия оказывает влияние длительность выдержки (латентный период) промасленных полос перед прокаткой. Для промышленных условий рекомендуется выдержка 2—3 ч [186].

При выборе смазки для промасливания необходимо учитывать влияние ее на чистоту поверхности холоднокатаных листов. Важным свойством смазки является способность испаряться при отжиге без оставления углеродистых отложений на поверхности полосы. Рекомендуется, чтобы в смазке для промасливания коксовое число не превышало 0,2 %; также ограничивается содержание в смазке жиров и свободных жирных кислот. Эти ограничения зависят от количества промасливающей смазки, остающейся на поверхности полосы после холодной прокатки. Поэтому имеют значение такие факторы, как исходное количество смазки на травленной полосе, моющая способность эмульсии, ее чистота, суммарное обжатие при прокатке и другие.

Смазки для прокатки углеродистых сталей

Технологические смазки снижают энергосиловые параметры, особенно при прокатке тонких листов, влияют на производительность стана, расход валков и подшипников, геометрию листов. После прокатки рулоны, обычно без обезжиривания, подвергают светлomu отжигу. Для обеспечения высокой чистоты и качества поверхности на холоднокатаной полосе должно оставаться минимальное количество смазки, а ее химический состав должен обеспечивать максимальное испарение смазки при отжиге без отложения на поверхности углеродистых коксующихся остатков. Основным типом смазок, применяемых при холодной прокатке листовой стали, являются 1—4 %-ные (иногда 6 %) эмульсии, стабилизированные эмульгаторами, ограничивающими отложение масла на полосе. Эмульсии являются одновременно смазывающими и охлаждающими жидкостями.

В отечественной практике до 1970 г. в основном применялась эмульсия из эмульсола Э-2 (Б) (см. табл. 34) с невысокой смазочной эффективностью. Входящие в состав эмульсола натровые мыла нафтеновых кислот имеют высокое коксовое число и значительное содержание золы. В результате при отжиге на поверхности полосы образуются углеродистые коксовые отложения в виде черных пятен и пригаров эмульсии.

По этой же причине, а также из-за недостаточной очистки таллового масла и госсиполовой смолы эмульсии из эмульсолов ЭТ-1, ЭТ-2, ЭГТ и (в несколько меньшей мере) ЭТ-2У не обеспечивают требуемой чистоты поверхности листов. Указанные эмульсии получили сравнительно ограниченное применение (за исключением эмульсолов ЭТ-2У и ЭГТ, применяемых на КарМЗ и ВИЗе).

Наибольшее распространение получили эмульсии из эмульсола Т (ЧерМЗ, «Запорожсталь») и эмульсола ОМ (ММК, Ждановский завод им. Ильича). Эмульсол Т хорошо эмульгирует, имеет низкую температуру плавления, эмульсия не расслаивается в процессе эксплуатации и обеспечивает высокую чистоту поверхности полосы с минимальными коксовыми углеродистыми отложениями на листах после отжига. Содержащаяся в эмульсоле триэтаноламиновая соль олеиновой кислоты имеет низкое значение коксового числа, малое содержание золы и является хорошим ингибитором атмосферной коррозии. Однако по смазочной эффективности эмульсия из эмульсола Т уступает некоторым отечественным и зарубежным эмульсиям.

Эмульсия из эмульсола ОМ имеет более высокую смазочную способность, чем из эмульсола Т, обуславливаемую наличием высокомолекулярных СЖК. Входящий в состав эмульсола ОМ Стеарокс-6 придает эмульсии хорошие моющие свойства. Однако эмульсол ОМ имеет сравнительно высокую температуру плавления (из-за высокой температуры плавления СЖК) и пониженную эмульгируемость в воде, что затрудняет приготовление эмульсии, ее эксплуатацию, очистку эмульсионных баков, а также способствует загрязнению оборудования станков. По качеству поверхности холоднокатаные листы, прокатанные на эмульсии ОМ, уступают листам, прокатанным на эмульсоле Т. Наличие неионогенного продукта (Стеарокс-6) в эмульсоле ОМ затрудняет разложение отработанной эмульсии.

С помощью оксиэтилированных продуктов создан ряд эмульсий, которые применялись на отечественных прокатных станах. Приготовление этих эмульсий осуществлялось непосредственно в эмульсионных системах прокатных станков. В состав основы этих эмульсий входят 92—95 % эмульсола Э-2 (Б), 5—8 % стеарокс-6 (или 920), 92—80 % масла И-20А, 8—20 % стеарокс-6, 75—80 % масла И-20А, 15—10 % смазки СТИ-1, 10 % стеарокс-6, 75—80 % масла И-20А, 15—10 % смазки Кориандр-2, 10 % Стеарокс-6. Введение жировых добавок повышает смазочные свойства эмульсий.

Эмульсии с оксиэтилированными продуктами способны удерживать 0,2—0,5 % механических примесей, не загрязняя поверхности полосы, в то время как эмульсия из эмульсола Э-2 (Б) или ЭТ-1 считается непригодной при содержании таких примесей $\geq 0,05$ % [220].

Увеличение концентрации мощного компонента ограничено опасностью коррозии прокатанного металла, особенно при отсутствии мыл, выполняющих функции ингибиторов коррозии. Поэтому при отсутствии в эмульсии мыл количество неионогенной присадки в ней не должно превышать 0,5—0,6 % [186]. На Горьковском металлургическом заводе при прокатке листовой углеродистой стали используют эмульсию из эмульсола ЭП-29 (отличается от ОМ добавкой конденсата кубового остатка СЖК с триэтаноламином) [221]. Применение такой эмульсии позволило снизить энергосиловые параметры прокатки и расходы на СОЖ. Однако промышленные исследования на Череповецком металлургическом заводе показали, что по чистоте поверхности металла эмульсия ЭП-29 уступает эмульсии Т.

В ГДР разработаны два типа эмульсолов W9A и W9B, основой которых является маловязкое высококарафинированное минеральное масло. Испытания эмульсий из этих эмульсолов при прокатке автолистовой стали не показали их заметных преимуществ перед эмульсией из эмульсола Э-2 (Б) [222].

Исследования эмульсий из эмульсола ЕОТ, выполненные в ЧССР, выявили более высокие смазочные и эксплуатационные свойства у эмульсий W9A и W9B, чем у ЕОТ [223].

В НРБ внедрен эмульсол Walzol, отличающийся высокими смазочными свойствами и обеспечивающий получение стабильной коррозионностойкой эмульсии [224].

Эмульсол Прозойль ЗА дает легкоготавливаемую высокостабильную эмульсию, обладающую сравнительно невысокими смазочными и хорошими моющими свойствами (табл. 42). Промышленные исследования эмульсии из эмульсола В-35 (ПНР), противотипа эмульсола Прозойль ЗА, не показали заметных преимуществ его перед эмульсией из эмульсола Э-2 (Б) с добавкой 0,2 % стеарокса [225].

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ СМАЗОЧНОЙ K_1 И
МОЮЩЕЙ K_2 ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭМУЛЬСИЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ
4 % ПРИ ПРОКАТКЕ НА ЛАБОРАТОРНОМ СТАНЕ [186]

Коэффи- циенты ¹	Э-2 (Б)	ЭТ-1	ЭТ-2	Т	ОМ	Квакерол 41СВ	Прозоль 3А	Э-2 (Б), Стеарокс-6	И-20А, стеарокс-6	И-20А, СТП-1, Стеарокс-6	И-20А, Ко- рандр-2, Стеарокс-6
	K_1	1,14	1,18	1,17	1,14	1,16	1,21	1,13	1,16	1,14	1,20
K_2	1,00	0,95	0,95	1,12	1,12	0,91	1,31	1,28	1,32	1,20	1,15

¹ Принято $K_1 = 1$ при прокатке с водой, $K_2 = 1$ при прокатке с эмульсией Э-2 (Б).

Для прокатки на непрерывном стане бесконечной прокатки 2030 НЛМЗ применяется эмульсия из эмульсола Квакерол 41СВ, который содержит 40 % смазочно-активных компонентов (растительного происхождения, типа пальмового масла), эмульгаторов (преимущественно анионоактивных — сульфонат натрия, мыла жирных кислот) и присадок (животный жир, сернистые соединения). Эмульсия Квакероль 41СВ уступает отечественным по моющим и антикоррозионным свойствам, но обладает высокой смазочной эффективностью (табл. 42).

В последние годы за рубежом получили распространение 3—6 %-ные метастабильные и нестабильные эмульсии (водомасляные смеси). Метастабильные эмульсии получают при введении в масляную основу небольшого количества эмульгатора. Они имеют сравнительно малую устойчивость и требуют хотя бы слабого, но постоянного перемешивания. В стабильных эмульсиях диаметр капелек масла находится в пределах 0,5—20 мкм, в метастабильных 20—50 мкм, а в нестабильных превышает 50 мкм. По смазочной эффективности нестабильные эмульсии превышают метастабильные, а последние превосходят стабильные.

Метастабильные и нестабильные эмульсии применяют на широкополосных быстроходных станах, прокатывающих полосы преимущественно малой толщины. Основой таких эмульсий служит пальмовое масло или его заменители.

Для обеспечения необходимой чистоты поверхности холоднокатаных полос практикуется подача в последних клетях стана горячей воды, а чаще — специальных моющих веществ. Особенно это важно при использовании эмульсий на жировой основе или с жировыми добавками, склонных к образованию на поверхности листов масляной пленки повышенной толщины и пригаров при отжиге. Среди моющих средств в зарубежной практике получил распространение Кверл 6807. Его используют 2 %-ной концентрации в воде при температуре 70—80 °С. Раствор наносят на опорные валки или в зев между опорными и рабочими валками на выходной стороне клетки.

При прокатке высокоуглеродистых и низколегированных сталей всех толщин, а также малоуглеродистых сталей толщиной менее 0,5 мм, кроме основной, практикуется дополнительная подача эффективных эмульсий (Квакерол 1508 30 %-ной концентрации) или жировых смазок на одну, две или несколько клетей (табл. 43).

Смазки для прокатки жести

Для снижения сил трения необходимо применять высокоэффективные смазки, легко удаляемые с поверхности прокатанной полосы перед нанесением покрытий. На практике применяют маловязкие растительные и животные жиры или синтетические продукты. Масло в большинстве случаев наносят на полосу в виде

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ СРЕДСТВ В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ ПРОГРАММЫ ПРОКАТКИ И МАРККИ СТАЛИ НА СТАНЕ 2030 НЛМЗ (РЕКОМЕНДАЦИЯ ФИРМЫ ШЛЕМАН-ЗИМАГ)

Характеристика прокатываемой стали	Химический состав стали, %	Промасливание на травидном агрегате	Промасливание перед 1-й клетью	Смазочно-охлаждающие средства по клетям				
				I	II	III	IV	V
Углеродистая сталь толщиной более 0,55 мм	0,09 С	—	30 % 1508	1,5— 2,5 % 41СВ	1,5— 2,5 % 41СВ	1,5— 2,5 % 41СВ	1,5— 2,5 % 41СВ	1—3 % 6807
Углеродистая сталь толщиной менее 0,55 мм	0,09 С	—	30 % 1508	1,5— 2,5 % 41СВ+ +30 % 1508	1,5— 2,5 % 41СВ+ +30 % 1508	1,5— 2,5 % 41СВ+ +30 % 1508	1,5— 2,5 % 41СВ +30 % 1508	1—3 % 6807
Низколегированная углеродистая сталь всех толщин	0,12—0,19 С; 0,27—0,37 Si; 0,25 Cr	—	30 % 1508	4—6 % 41СВ	4—6 % 41СВ+ +30 % 1508	4—6 % 41СВ+ +30 % 1508	4—6 % 41СВ+ +30 % 1508	4—6 % 41СВ+ +30 % 1508
Прокатка низколегированной стали всех толщин отдельными рулонами	0,27—0,5 С; 0,5—0,8 Mn; 0,17—0,37 Si	1508	—	—	4—6 % 41СВ+ +30 % 1508	4—6 % 41СВ+ +30 % 1508	4—6 % 41СВ+ +30 % 1508	4—6 % 41СВ+ +30 % 1508

Примечание. Условно обозначены: Квакерол 41СВ—41СВ; Квакерол 1508—1508; Кверл 6807—6807. На всем сортаменте температура эмульсии 40—45 °С.

механической водо-масляной смеси (10—30 %-ной концентрации). Иногда в чистом виде применяют метастабильные и нестабильные эмульсии.

Одной и самых распространенных смазок является пальмовое масло. Однако смазочные свойства его нельзя считать оптимальными во всех случаях прокатки. В частности, при скоростях выше 25 м/с прокатка с применением пальмового масла становится неустойчивой.

Касторовое масло по смазочной способности превосходит пальмовое, однако поверхность полос оказывается более матовой и зажиренной. По этой причине, а также из-за высокой стоимости и большой дефицитности касторовое масло при прокатке жести не применяется.

В СССР разработаны заменители пальмового масла — ПКС-1 и кориандр-2. Смазка ПКС-1 по смазочной способности находится примерно на уровне пальмового масла и сравнительно легко удаляется с поверхности полосы при обезжиривании. Она нашла широкое применение при прокатке жести со скоростью до 5 м/с [226]. На пятиклетевом стане 1200 при скорости прокатки до 20 м/с смазка ПКС-1 по эффективности, чистоте поверхности и коррозионному действию уступает пальмовому маслу [227]. При замене пальмового масла кориандровым гидрогенизированным маслом снизились энергосиловые параметры стана 1200, выход белой жести высших сортов сохранился на высоком уровне (93—97 %) [182].

В зарубежной практике, кроме пальмового масла, широко применяют его заменители на основе растительных и животных жиров, а также синтетических продуктов. Ниже приведен жирнокислотный состав (%) некоторых заменителей пальмового масла полученных путем синтеза глицеридов из свободных жирных кислот (насыщенных и ненасыщенных), выделенных из растительных жиров [228]:

Жирные кислоты	Пальмовое масло	Заменитель А	Заменитель Б
Пальмитиновая	32,3—40,0	27,6	26,1
Линолевая	5,0—11,3	3,9	2,9
Олеиновая	39,8—52,4	45,9	39,5
Стеариновая	2,2—6,4	17,1	20,4
Миристиновая	1,0—5,9	2,9	3,2

Физико-химические показатели этих смазок: число омыления 125—200, иодное число 40—75, содержание свободных жирных кислот 3—20 %; $t_{пл} = 4 \div 40$ °C.

Среди заменителей пальмового масла широко известны также смазки Тиннол 12 и Квакерол 27 (табл. 44).

Квакерол 27 — светлое, слегка мутное янтарного цвета масло плотностью 890 кг/м³; температура горения 262 °C, содержит 20,3 % твердых (при 20 °C) глицеридов и 13 % свободных жирных кислот; 5 %-ный раствор в воде при 65 °C дает метастабильную эмульсию. Тиннол 12 содержит 22,6 % твердых глицеридов, температура горения 280 °C, эмульсионная способность отсутствует.

ТАБЛИЦА 44

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМАЗОК ТИННОЛ 12 И
КВАКЕРОЛ 27

Смазка	v_{80} ,	v_{100} ,	Кислотное число	Иодное число	Число омыле- ния	Эфирное число	$t_{пл}'$, °C	$t_{з}'$, °C	$t_{вс}'$, °C
	мм ² /с								
Тиннол 12	Нет свед.	9,9	21,2	49	196	174,8	38	21,3	Нет свед.
Квакерол 27	42	11	17,8	60	192	174,8	36,5	24	245

ХАРАКТЕРИСТИКА СМАЗОК ДЛЯ ПРОКАТКИ ОБЫЧНОЙ И ТОНЧАЙШЕЙ ЖЕСТИ НА ЗАВОДЕ JORKWILL PLANT [231]

Стан	Вязкость ν_{100} , мм ² /с	Число омыления	Содержание свободных жирных кислот, %	$t_{вс}$, °С	$t_{пл}$, °С	pH	Коксовое число	Стабильность в воде
5-клетевой	8—10	190±8	10±2	288	26,7	6,0—6,3	0,5	Нестабильна Метастабильна
3-клетевой	7,6—9	180±8	8,5±1,5	199	21,7	6,3—6,7	0,5	

По смазочной способности указанные смазки лучше пальмового масла. Наличие эмульгатора в смазке Квакерол 27 позволяет применять ее в циркуляционных системах в виде метастабильных эмульсий.

На пятиклетевом стане 1420 завода фирмы Ниппон кокан в Кейхине (Япония) при прокатке жести и тонких полос применяют эмульсол, в состав которого входят жиры и эмульгатор (число омыления 193,4, кислотное число 24,8, pH водного раствора 6,2, $t_{пл} = 13—36$ °С [229]). Замена пальмового масла эмульсией позволила снизить расход энергии на 2—3 % и повысить скорость прокатки. С подачей эмульсии на скорости 27—30 м/с прокатывается 85 % всего металла (по сравнению с 45 % при использовании пальмового масла). Эффективный заменитель пальмового масла на жировой основе Laminol PT разработан в ПНР [230].

При производстве тончайшей жести методом двойного передела при второй прокатке (с суммарным обжатием преимущественно до 35 %) особое внимание уделяется получению правильной геометрической формы полос и высокому качеству их поверхности. В этом случае применяют смазки с относительно более низкими смазочными свойствами, но обеспечивающие получение полос с глянцевой поверхностью (табл. 45). Смазки подают как в виде водо-масляной смеси, так и в виде метастабильных эмульсий. В качестве смазки применяется пальмовое масло или его заменители. Концентрация масла в смеси не превышает 5—12 %.

На заводе «Запорожсталь» прокатка тончайшей жести производилась на реверсивном стане 550 с применением смазки ПКС-1 в виде механической смеси с водой 10 %-ной концентрацией [232].

Смазки для прокатки труднодеформируемых сталей и сплавов на четырехвалковых станах

Нержавеющие стали характеризуются высокими прочностными свойствами, интенсивным упрочнением при холодной деформации и большой склонностью к налипанию на валки. Для прокатки этих сталей необходимо применять эффективные смазки, значительно снижающие величину сил трения и обладающие достаточной экраирующей способностью. После прокатки эти стали проходят тщательную очистку поверхности путем обработки растворителями (керосин, трихлорэтан и др.), термическую обработку в непрерывных проходных печах в окислительной или защитной атмосфере, глубокое травление (при термообработке в окислительной атмосфере). Поэтому для прокатки их можно использовать высоковязкие масла, оставляющие на поверхности металла толстые смазочные слои. Для лучшего удаления смазки на последующих переделах практикуется орошение керосином верхней поверхности полосы после прокатки в последнем проходе. Обязательным условием при этом является равномерное распределение смазки по ширине полосы во избежание разнотонности поверхности.

На заводе «Запорожсталь» при прокатке сталей типа Х18Н10Т конечным размером 0,7—2,0×1000 мм на реверсивном стане кварто 1680 применяют масло П-28. Замена масла И-20А маслом П-28 позволила повысить обжатие с 50 до 82 % за передел без промежуточной термической обработки и травления, увеличить толщину подката с 3,0 до 3,8 мм, уменьшить число проходов [233]. В настоящее время масло П-28 является основной технологической смазкой, применяемой при прокатке нержавеющей стали за один передел на ряде станов. [234].

Для прокатки труднодеформируемых нержавеющих сталей 10Х14Г14НЗ, 10Х14АГ15, 09Х16Н45, 12Х17Г9АН4, Х15Н5Д2Т, которые отличаются от обычных нержавеющих повышенной прочностью и склонностью к наклепу, применяют отработанное хлопковое масло вязкостью $\nu_{100} = 100 \text{ мм}^2/\text{с}$ [235], может применяться и смазка «Металлургическая».

Для улучшения условий отделения прокладочной бумаги (перед задачей в проходную печь) поверхность полос после прокатки в последнем проходе орошают керосином.

При прокатке узких полос (менее 500 мм) из нержавеющей сталей толщиной более 0,5 мм применяют эмульсии эмульсолов Э-2 (Б) и ЭТ-2. Для снижения усилий прокатки на концы полос наносят смазку ЛЗ-142. При прокатке узких и тонких лент из высокопрочных сталей применяют растительные масла, в частности, касторовое. Известны [236] рекомендации по применению для прокатки лезвийной ленты из стали 60Х13 толщиной от 3,0 до 1,8—2,0 мм эмульсии (8—10 %) смазки СОТС-1М (минеральное масло И-12А с добавками осерненного кориандрового масла и комплексного эмульгатора); при последующей прокатке до толщины 0,6 мм, помимо 8—10 %-ной эмульсии СОТС-1М, используют дополнительную смазку, состоящую из 30—59 % масла К-2 и 50—70 % масла И-12А. При прокатке ленты толщиной от 0,6 до 0,1 мм применяется масло СОТС-3 (трансформаторное масло с добавками смазки К-2, присадки ИДДФ, трибутилфосфата, ионола). Эти смазки по смазочной способности превышают маловязкие минеральные масла и эмульсии стандартных эмульсолов.

При полистной прокатке труднодеформируемых сталей в основном применяются технологические смазки со сравнительно низкой смазочной эффективностью (по условиям захвата). На стане 2800 прокатку листов из нержавеющей сталей ведут сначала с повышенными обжатиями и подачей 5—7 %-ной эмульсии из эмульсолов Э-2 (Б), ЭТ-2, Т или масла И-20А, а затем на новых рабочих валках проводят чистовую прокатку за один—два прохода с малыми обжатиями и подачей масла И-20А или свежей эмульсии из указанных эмульсолов. В чистовых проходах смазка используется однократно, что способствует улучшению качества поверхности готовых листов.

На стане 1600 прокатку листов из нержавеющей стали проводили с использованием масла И-20А, причем листы толщиной 0,8—1,0 мм из подката 2,0 мм получали в два передела. Применение масла И-52 в смеси с И-20А или же масла И-20А с добавками 10—25 % жировых смазок, в частности Кориандр-2, позволило проводить прокатку таких листов в один передел соответственно за 8—9 и 6—7 проходов [237, 238].

На реверсивном стане 1680 прокатка полос толщиной 0,8—2,0 мм из низко- и среднелегированных сталей (типа 12Г2, 25ХГСА, 30ХГСА) проводят с применением эмульсии из эмульсолов Э-2 (Б), Т. При прокатке высокопрочных сталей используют масло П-28; охлаждение валков осуществляется водой или эмульсией.

При прокатке высокопрочных сталей и сплавов (Х15Н5Д2Т, ХН60ВТ и др.) на реверсивном стане 1300 на толщину 0,8—1,2 мм применяют смазку СПТ-4 взамен ранее применявшегося масла И-30А, при этом на 2—4 сократилось число проходов [239].

При прокатке сплавов 29НК, 79НМ, Н36Т, 50Н и других на станах 400, 550 применяют эмульсии СОТС-1М и ЭКМ-1 (на основе смазки кориандр-2 и моноэтаноламида). При прокатке тонких лент (толщиной 0,2—0,5 мм) из этих сплавов дополнительно рекомендуется наносить на полосу тонким слоем смесь масла К-2 с 25—30 % керосина или 50 % масла И-12А. С применением этих смазок снижаются энергосиловые параметры прокатки, и уменьшается загрязненность лент в сравнении с эмульсией Э-2 (Б) [240].

На станах полистной прокатки легированные стали прокатывают с применением эмульсий из эмульсола Э-2 (Б), ЭТ-2 или масла И-20А.

Для прокатки в режимах термомеханической обработки при температуре 500—600 °С с подогревом поверхности валков до 270—500 °С смазки должны обладать повышенной термостойкостью и антифрикционной эффективностью. Для этой цели разработаны смазки ППП-50 (консистенция солидола) на основе графита с добавкой растительных жиров, минеральных масел и синтетического ПАВ (2,5 %), а также МЭВ — 4+2 водная паста на основе графита и синтетического ПАВ [241].

При прокатке со смазкой ППП-50 происходит повышенное газовыделение. Смазка МЭВ-40+2 предпочтительнее, хотя и обладает меньшей эффективностью.

Первая холодная прокатка трансформаторной стали на толщину 0,85—0,6 мм и вторая прокатка на толщину 0,5 мм, как правило, не вызывают затруднений и проводятся с применением эмульсии из эмульсолов Э-2 (Б), ЭГТ, ЭТ-2 или масла И-20А. При второй прокатке на толщину 0,35 мм и менее применяют эффективные смазки на основе жиров или эфиров СЖК. На НЛМЗ и ВИЗе первую холодную прокатку производят на непрерывных соответственно пятиклетевом стане 1200 и четырехклетевом 1300 с применением эмульсии из эмульсолов Э-2 (Б), ЭГТ, ЭТ-2У. При второй прокатке на реверсивном стане кварто применяется водомасляная смесь (1 : 1) одного из масел: пальмового, К-2, ПКС-1 или ЛЖ-1 (жирных кислот, выделенных из соапстоков подсолнечного, касторового и кукурузного масел, взятых в соотношении 1 : 1 : 0,1). По смазочной способности смазка ЛЖ несколько уступает пальмовому маслу и смазкам ПКС-1 и К-2 [242]. Для охлаждения валков применяется 3—5 %-ная эмульсия.

Для получения малотекстурованной трансформаторной стали толщиной 0,5 мм, прокатку ее на пятиклетевом стане производят за один передел, при этом в качестве технологической смазки применяют водомасляную смесь (5 : 1) пальмового масла, К-2, ПКС-1 или ЛЖ-1, наносимую на полосу перед II—V клетями. Валки всех клетей охлаждаются 3 %-ной эмульсией.

Известны сведения о возможности применения для прокатки трансформаторной стали касторового соапстока, эмульсии на основе смазок «Металлургическая», МБС-2, термоуплотненного (К-4) и осерненного (К-3) кориандрового масел [133, 243].

Смазки для многовалковых станов

На многовалковых станах прокатывают полосы различных толщин из нержавеющей, легированных, высокоуглеродистых, низкоуглеродистых сталей; а также цветных металлов и сплавов. Валковая система этих станов постоянно находится в смазочной среде, которая одновременно является и охладителем, и технологической смазкой, а часто и смазкой для подшипников. В качестве смазки применяют маловязкие минеральные масла с присадками или эмульсии; в последнем случае смазка подшипниковых опор осуществляется масляным туманом.

На отечественных станах применяются минеральные масла И-12А, И-20А и др. На импортных двадцативалковых станах при прокатке полос из нержавеющей и электротехнических сталей, а также прецизионных сплавов, применялись смазки Генерекс-25, Генерекс-26, Соменатор Н-60 и эмульсол Квакер Ойл 7016 (табл. 46). В СССР разработаны и внедрены равноценные заменители смазки Т-7П, Т-6П. ТМС-6 (табл. 46 и 47) и эмульсол Т [244—246].

При прокатке стали 12Х18Н10Т с 3,8 на 0,8×1000 мм со смазкой Т-7П число проходов уменьшилось на 2, а стали 10Х14АГ15 — на 1, давления несколько ниже, чем при использовании смазки Генерекс-26. Качество поверхности готовых полос и режим работы валков и фильтров не изменились [247].

При прокатке трансформаторной стали на двадцативалковых станах Верх-Исетского металлургического завода взамен смазки Генерекс-25 применялась смазка Т-7П, а в дальнейшем смазка Т-6П. Смазка Т-7П хуже фильтруется, поэтому механических примесей в ней было на 30 % больше, чем в смазке

ТАБЛИЦА 46

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМАЗОК ДЛЯ
ДВАДЦАТИВАЛКОВЫХ СТАНОВ

Смазка	ν_{50} , мм ² /с	Кислотное число	Чис- ло омы- ле- ния	Коксовое число	Золь- ность, %	$t_{вс}$, °С
Генерекс-25	3,36	0,11—0,56	—	—	—	118
Генерекс-26	7,6	0,01—0,40	6,5	0,02—0,03	0,001	136
Соменатор Н-60	5,9	0,05	—	—	—	134
Квакер Ойл 7016	—	9,6	—	0,94	—	—
Т-7П	7—9	0,7	5,3	0,93	—	140
Т-6П	6,5—7,5	0,6	5	—	—	136
ТМС-6	6,0	1,6	—	—	—	150

ТАБЛИЦА 47

СОСТАВ СМАЗОК ДЛЯ ДВАДЦАТИВАЛКОВЫХ СТАНОВ

Смазка	Содержание компонентов, %							
	трансфор- маторное масло	И-5А	транс- зомери- зованное кориаנד- ровое масло	эстали- ды окси- жирных кислот	три- бутил- фос- фат	дифе- нил- оксид	присадка ДФ-11	нонол
Т-7П	93,9	—	—	1	3	1	1	0,1
Т-6П	74,8	20	1	—	2,5	—	1,5	0,2

Генерекс-25. Смазка Т-6П имеет меньшую вязкость, чем Т-7П, что обусловило ее лучшую фильтруемость, однако она склонна к эмульгированию в воде. По остальным показателям — загрязненности поверхности (табл. 48), степени обезжиривания и геометрии полос, энергосиловым параметрам прокатки, работоспособности подшипников смазки Т-7П, Т-6П и Генерекс-25 оказались равноценными.

На Ашинском металлургическом заводе для прокатки тонких лент из труднодеформируемых и нержавеющей сталей внедрена смазка ТМС-6, которая по энергосиловым параметрам, качеству получаемого металла, фильтрации и другим показателям равноценна смазке Соменатор Н-60 [246]. На НЛМЗ для прокатки трансформаторной стали на двадцативалковом стане 4—6 %-ная эмуль-

ТАБЛИЦА 48

ЗАГРЯЗНЕННОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ
СТАЛИ [248]

Смазка	Количество загрязнений, мг/м ²		
	после прокатки	обезжиривание термическое	обезжиривание электрохимическое
Т-7П	940	61	—
Т-6П	760	58	30

сия эмульсола Квакер Ойл 7016 заменена более технологичной эмульсией из эмульсола Т с добавкой 0,5 % стеарокс-6 или до 2 % присадки Дисон [249].

Эмульсии лучше охлаждают валки, чем масла и обеспечивают большую скорость прокатки [249]. Но для обеспечения высокого качества поверхности нержавеющей стали рекомендуются смазки на основе маловязких минеральных масел $v_{38} = 3-5 \text{ мм}^2/\text{с}$ [250]. Технологические характеристики масел и эмульсий, применяемых на двадцативалковых станах, следующие:

	Масло	Эмульсия
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·град)	0,145	0,523
Удельная теплоемкость, Дж/(кг·град)	2009,6	4186,8
Вязкость при 38 °С, 10 мм ² /с	3,0—24,6	0,65—1,1
Теоретический коэффициент теплопередачи на раз- деле сталь — охлаждающая жидкость, Вт/(м ² ·ч·град)	1860,8—2907,5	13 956

На одном из японских двадцативалковых станов для прокатки нержавеющей сталей толщиной 0,1—0,4 мм применяют смазки на основе минеральных масел с вязкостью $v_{20} = 20-24 \text{ мм}^2/\text{с}$ [251]; известно применение высококачественного минерального масла с присадкой 1,8 % олеиновой кислоты и 0,5 % антиокислителя, а также смазки I в виде смеси 84 % минерального масла, 15 % полимеров сложных эфиров (ПСЭ), 1 % ионола. В состав ПСЭ входит жирная кислота кокосового масла (66 %), адипиновая кислота (9 %), пентаэритрит (18 %), 2-этилексоген (7 %); $v_{38} = 1,7 \text{ мм}^2/\text{с}$.

В ПНР на двадцативалковом стане для прокатки жести, трансформаторной и автолистовой стали применяют 8—10 %-ную эмульсию Квакер Ойл 7016. После последнего прохода для удаления остатков эмульсии подается моющий раствор [253].

На заводе Стокбридж фирмы Самюэль Фокс (Англия) для прокатки полос из высокоуглеродистых инструментальных сталей и сталей для бритвенных лезвий применяется 8 %-ная эмульсия или минеральное масло вязкостью $v_{38} = 10 \text{ мм}^2/\text{с}$ [254].

С повышением вязкости минерального масла уменьшается коэффициент трения и улучшается работа подшипников опор, но при этом ухудшается качество поверхности полос и снижается охлаждающая способность масла. При прокатке электротехнических и углеродистых сталей, когда необходимо обеспечить эффективное охлаждение валков, целесообразно использовать эмульсии.

Смазки для дрессировки листовой стали

Применение смазок началось с семидесятых годов. Смазка должна обеспечить чистоту поверхности рабочих и опорных валков, а также снижение энергосиловых параметров, гибкое регулирование теплового профиля валков, снижение износа валков, получение стабильной и равномерной шероховатости поверхности листов.

При порезке дрессированных со смазкой маслом И-20А полос наблюдались пробуксовки роликов правильной машины. Поэтому при дрессировке предпочтительнее применять смазки на водной основе.

На заводе Запорожсталь применялась 3—5 %-ная эмульсия из эмульсолов Э-2 (Б) и Т, на Череповецком металлургическом заводе применяется 30 %-ная эмульсия из эмульсола Т, позволяющая исключить последующее промасливание листов [258].

С применением эмульсии снижаются давление металла на валки и расход электроэнергии (в 1,8 раза), износ насеченной поверхности валков и отпечатываемость микрорельефа валков на полосе, число перевалок валков (на 11 %), средний сьем при перешлифовке рабочих валков с 0,29 до 0,26 мм, отсортировка

¹ Пат. 52—17516 (Япония), 1972.

листов по неплоскостности и по поверхностным дефектам [255, 256]. Применение смазки несколько улучшает и физико-механические свойства металла [257].

При дрессировке электротехнических сталей подача смазки позволяет увеличить обжатие до 14 % (вместо 5—6 % при отсутствии смазки) без перегрузки стана и осуществить промышленное производство этих сталей с однократной дрессировкой.

В зарубежной практике применяются смазочно-охлаждающие и моющие жидкости на водной основе.

1. Квакер Кверл 506 раствор анионоактивного ПАВ с полифосфатом и нитритом натрия, содержит 62 % воды, $\nu_{38} = 2,85\text{—}3,5$ мм²/с, применяется в виде 5—10 %-ного раствора в воде, обеспечивает чистую поверхность валков, рекомендована для дрессировки листа на НЛМЗ.

2. Ингибированная водомасляная эмульсия следующего состава (г/1000 см³): смесь минерального масла с естественными кислотами или СЖК 10—50; морфолин 0,25—5 (стабилизатор), — нитрит дициклогексиламмония 0,1—2 (служит ингибитором коррозии и усиливает действие морфолина). После дрессировки с этой эмульсией листы не ржавеют при открытом хранении в течение трех месяцев¹.

3. Эмульсия, приготовленная путем растворения в воде нитрита или фосфата натрия и продукта реакции фталевой, салициловой, алкилугольной или алкиленугольной кислот².

Консервационные смазки для готовых листов

Для защиты готовых листов от коррозии их покрывают антикоррозионной смазкой. Вязкость такой смазки должна быть небольшой, чтобы обеспечить равномерность ее нанесения, она должна легко удаляться при последующем обезжиривании. Применяется маловязкое минеральное масло И-20А (реже И-12А) в чистом виде или с добавкой 10—20 % антикоррозионных присадок НГ-204, НГ-208, Акор-1, КП-2, ЖКБ и др. (см. табл. 36), образующих гидрофобную защитную пленку, которая не разрушается водой. Указанные присадки могут быть использованы для консервации влажных поверхностей [259].

Смазки с ингибиторами ИГ-203, 204, 208, нетехнологичны, так как обладают высокой вязкостью и образуют смолообразный осадок в виде пека, благодаря наличию окисленного петролатума, парафина, солей алюминия.

Для консервации готовых горячекатаных и холоднокатаных листов на металлургических заводах нашла широкое применение смесь масла И-20А и смазки ЖКБ. Смесь с содержанием смазки ЖКБ 25 и 50 % при нагреве до температуры 80 °С не расслаивается и не образует осадка. Смесь масла И-20А и ЖКБ (1 : 1) производится Бердянским опытным нефтемаслозаводом под названием ЖКБ-1 (ТУ 38 УССР 2-01-4-8-75). Смазка ЖКБ-1 наносится при температуре 50 ± 10 °С, применяется для защиты от коррозии углеродистой обычной и оцинкованной сталей, а также серебрянки (взамен технического вазелина и пушечной смазки) [260—262].

Ленты из электротехнической стали толщиной 0,05—0,08 мм хорошо защищает масло И-50А с добавками 2 % ингибитора коррозии ИМ (ПРАНА) [263].

Для промасливания горячекатаных травленных листов применяется масло Ц-11 с добавкой 10 % кубового остатка СЖК фракции С₂₁ и выше. Указанная смазка имеет высокие защитные свойства [264] — только через 5 мес проявляются следы атмосферной коррозии, тогда как для чистого масла Ц-11 существенная коррозия появляется через 1,5 мес, а при наличии 10—20 % присадки НГ-203 следы коррозии появляются через 2 мес.

На листах из сталей 08Ю и 08 кп, промасленных при дрессировке 30 %-ной эмульсией Т, после хранения в упакованном состоянии в условиях цеха в течение трех месяцев коррозия не обнаруживается [258].

¹ Пат. 1354480 (Англия), 1974.

² Пат. 51—546 (Япония), 1976.

ТАБЛИЦА 49

ИНГИБИТОРЫ И ДОБАВКИ К МИНЕРАЛЬНЫМ МАСЛАМ ДЛЯ ПРОМАСЛИВАНИЯ ГОТОВОГО ПРОКАТА [265]

Присадки к маслам и смазкам	Антикоррозионные свойства		Пригодность для глубокой вытяжки		Удаляемость щелочными очистителями	
	есть	отсутствует	да	нет	да	нет
Ланолин	××		××			××
Шерстный жир	××		×××			×××
Вазелин	×		×			××
Нефтяные сульфонаты:						
натрия	×		×			×
бария	×		×			××
кальция	×		×			××
Стеараты:						
алюминия	×		××			×
бария	×		××			×
кальция	×		××			×
лития	×		××			×
натрия	×		××			×
Жирные кислоты		×	×××		×	
Окисленные углеводороды	××		×		×	
Нитрит натрия	×		×		××	
Бензоат натрия	×		×		×	
Мыла		×	××		××	
Канифольное мыло	×		×		×	
Бентонит	×		×		×	
Морфолин	××			×	×	

Примечание. × — обладает свойством; ×× — сильное свойство; ××× — очень сильное свойство.

В зарубежной практике при благоприятных условиях хранения и транспортировки применяются минеральные масла без присадок, вязкостью $\nu_{100} = 13-55 \text{ мм}^2/\text{с}$. При этом во избежание скольжений отдельных витков рулона или листов, укладываемых в стопы, вязкость масла не должна превышать $20 \text{ мм}^2/\text{с}$ при 100°C [266]. Специальные антикоррозионные масла содержат поверхностно-активные компоненты (табл. 49). Эти масла обеспечивают защиту от коррозии при условии конденсирования воды на поверхности металла. Для консервации холоднокатанных листов известно применение смазок KONKOR-101, KONKOR-103, КМО-16; для горячекатанных полос и листов — покрытие марки KORTANPK (20 % водный раствор пирокатехина и 20 % водный раствор танина) [267, 268].

Фирмой Nippon Steel Corp (Япония) предложено применять для горячекатанных травленных или холоднокатанных листов смазку, содержащую льняное, хлопковое масло, диоктилсебацат, минеральное масло (в количестве до 15 %), гликоли моноолеата и диолеата¹. Применяется ингибитор на водной основе, содержащий 5 % содового нитрита и 5 % аммониевого гидроксида; он наносится на полосу в количестве $3-15 \text{ мг}/\text{см}^2$ в процессе дрессировки перед смоткой в рулон².

¹ Пат. 4072783 (США), 1975.

² Пат. 3779818 (США), 1971.

Заводом Запорожсталь, Запорожским машиностроительным институтом и Бердянским опытным нефтемазослазаводом разработана универсальная консервационно-штамповая смазка, следующего состава, %: 15—20 модифицированного растительного масла, 15—20 ланолина, 3—5 продукта конденсации триэтаноламина с кубовым остатком СЖК, 3—5 неионогенного смачивателя, остальное — минеральное масло. Кислотное число 14, иодное число 27, число омыления 60—70, $v_{50} = (60—70)$ мм²/с [269].

При толщине слоя не менее 3 мкм (6 г/м²) покрытие обладает высокими антикоррозионными и смазочными свойствами [270], исключает необходимость подачи смазки при штамповке, хорошо смывается. Относительно низкая вязкость обеспечивает равномерность нанесения смазки в линиях отделки металлургического заводов.

12.2. Смазки для горячей прокатки черных металлов

Применение технологических смазок при горячей прокатке сортовой и листовой стали началось в конце 60-х годов. Смазка подается лишь в том случае, если не нарушаются условия захвата. Смазки для горячей прокатки должны обладать высокими адгезионными свойствами, обеспечивающими их минимальный срыв с поверхности валков при прокатке.

Во избежание выгорания смазку, как правило, наносят на поверхность валков. Смазка находится в очаге деформации сотые или тысячные доли секунды в замкнутом объеме, изолированном от атмосферы и под высоким давлением, что практически исключает возможность горения. В очаге деформации может происходить лишь частичное термическое разложение. После прокатки на поверхности валков остается 40—70 % общего количества смазки, прошедшей через очаг деформации, остальная смазка уносится полосой и частично сгорает на ее поверхности.

Закономерности и механизм смазочного действия при горячей прокатке в основном имеют такой же характер, как и при холодной [133]. С учетом того, что смазка на металле выгорает, а зольные остатки удаляются вместе с окальной, при горячей прокатке могут применяться отходы минеральных масел, растительных и животных жиров, полуфабрикаты и кубовые остатки производства СЖК, синтетических жирных спиртов и других синтетических продуктов, а также твердые смазки, консистентные и жидкие масла, водомасляные смеси, эмульсии, водные растворы и суспензии различных веществ.

Твердые смазки, несмотря на высокую эффективность, не нашли широкого применения. Стеклосмазки трудно поддаются равномерному нанесению на заготовку и плохо удаляются с готового проката. Графитные смазки, воски, аминоэфиры применяются в виде брикетов, прижимаемых к поверхности валков. При этом затруднительно осуществить точное распределение смазки по валкам, необходимость частой замены брикетов также снижает их технологичность.

Такие же недостатки присущи и консистентным смазкам при использовании их в системах твердой смазки, в системах жидкой смазки затруднительно поддерживать высокую температуру.

Наибольшее распространение получили минеральные масла повышенной вязкости (Ц-11, Ц-24, П-28, Ц-52, очищенные отходы минеральных масел), растительные и животные жиры (рапсовое, хлопковое, полимеризованное хлопковое, льняное, китовый жир и др.), синтетические жирозаменители, смеси жиров синтетических жирозаменителей с минеральными маслами в различном соотношении, водомасляные смеси и эмульсии указанных масел (табл. 50, 51).

На сортовых станах технологическая смазка подается в калибры чистовых и предчистовых клетей. С подачей смазки повышается износостойкость калибров в 1,5—2,5 раза, снижаются энергозатраты на 5—15 %, улучшаются геометрические размеры и качество поверхности профилей.

При прокатке на непрерывных листовых станах смазка в большинстве случаев подается на первые три — четыре клетки чистовой группы (см. табл. 50), рабочие валки которых подвергаются повышенному разгарному износу. Иногда смазка подается и на последние клетки черновой и чистовой групп.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СМАЗКИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ИСПЫТАНИЯХ ИЛИ ВНЕДРЕННЫЕ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ СТАЛИ
НА СОРТО- И ЛИСТОПРОКАТНЫХ СТАНАХ

1 Состав смазки, литератур- ный источник	2 Место проведения испытаний (внедрения)	3 Прокатываемая сталь	4 Способ нанесения смазки	5 Место нанесения смазки
Стеклосмазки [271]	Институт металлургии Уральского филиала АН СССР, полосовой стан 620	Нержавеющая, легированная, титан	Подача стеклянной пудры через пламя газовой го- релки на поверхность про- ката	Клеть
Брикетная графитная смаз- ка с добавкой ПАВ или гли- ны и ПАВ [132]	Ждановский металлурги- ческий завод (ЖМЗ), непре- рывный тонколистовой стан (НТЛС) 1700	Углеродистая	Прижим брикетов смазки к поверхности рабочих валков	6-я клеть
Трехкомпонентная смазка Ж-34 на основе синтетиче- ского воска 30—35 %, гра- фита 35—65 % и железного купороса 5—30 % [272, 273]	Металлургический завод «Электросталь», листовой стан с трехвалковой клетью	Легированная	То же	1-я клеть
Смазка А5КС на основе ами- ноэфиров с добавкой 5 % кальцинированной соды [274]	Ново-Липецкий металлур- гический завод (НЛМЗ), по- лосовой реверсивный стан 1200 с печными моталками	Трансформатор- ная	Прижим плит смазки к по- верхности рабочих валков	Клеть
Смазка А5КС на основе ами- ноэфиров с добавкой 5 % кальцинированной соды [274]	Донецкий металлургиче- ский завод (ДМЗ), сорто- прокатный стан 350	Углеродистая, низколегирован- ная	Прижим фигурного стерж- ня смазки к поверхности валков	Цисловая клеть

Твердые смазки

1	2	3	4	5
<i>Консистентные смазки</i>				
Пастообразная смазка на основе графита и минерального масла И-20А [311]	ЖМЗ, НТЛС 1700	Углеродистая	Подача под давлением в камеру прижима к рабочему валку	6-я клеть
<i>Жидкие нефтепродукты, минеральные масла, жиры, синтетические эфирозаменители и их смеси, водомасляные смеси</i> Минеральные масла различной вязкости (от И-20А до Ц-52, в том числе очищенные отходы минеральных масел) [275—279]	Завод «Запорожсталь», НТЛС 1680 Завод им. Петровского, рельсобалочный стан 800 НЛМЗ, НТЛС 2000	Углеродистая Углеродистая Углеродистая	С помощью коллекторов с форсунками в виде механической смеси с водой концентрацией 4—5 % на опорные валки С помощью коллектора с форсунками на валки Масло в коллектор охлаждающей воды на рабочие валки со стороны входа. Механическая смесь масла с водой концентрацией 3—5 % с помощью коллектора с форсунками на опорные валки С помощью войлочного контактного устройства, прижимаемого к рабочим валкам со стороны входа в валки Масло в коллектор охлаждающей воды на рабочие валки со стороны входа или выхода из валков	Первые три клетки чистовой группы Чистовая клеть Первые три клетки чистовой группы Последние три клетки чистовой группы Вторая и последняя клетки чистовой группы
Магнитогорский металлургический комбинат (ММК), штрипсовой стан 300 № 2 Челябинский металлургический завод (ЧМЗ), полунепрерывный листовой стан 2300/1700	Углеродистая Углеродистая Трансформаторная	Углеродистая Углеродистая Трансформаторная	Углеродистая Углеродистая Трансформаторная	Углеродистая Углеродистая Трансформаторная

1	2	3	4	5
<p>Минеральные масла различной вязкости (от И-20А до Ц-52, в том числе очищенные отходы минеральных масел) [275—279]</p>	<p>Металлургический завод «Сарканайс металлургс» (г. Лиепая), сортпрокатный стан 350/250 ФРГ, сортпрокатные станы</p>	<p>Углеродистая Углеродистая</p>	<p>Масло с помощью форсунок в текстолитовую камеру, прижимаемую к валку Масло с помощью форсунок на валки</p>	<p>Чистовая клеть Предчистовые и чистовые клетки</p>
<p>Полимеризованное хлопковое масло (из ванн горячего лужения жести) $\nu_{100} = 30-120 \text{ мм}^2/\text{с}$ [280—282]</p>	<p>Завод «Запорожсталь», НТЛС 1680 (внедрено)</p>	<p>Углеродистая, легированная, нержавеющей</p>	<p>Масло в коллектор охлаждающей воды на рабочие валки со стороны выхода металла из валков</p>	<p>Первые четыре клетки чистовой группы</p>
	<p>ММК, НТЛС 1450 (внедрено)</p>	<p>Углеродистая</p>	<p>То же</p>	<p>Последняя клеть черновой группы, первые три и последняя клетки чистовой группы</p>
	<p>ММК, НТЛС 2500 (внедрено)</p>	<p>Углеродистая</p>	<p>Механическая смесь масла и воды с помощью коллектора с форсунками в зев между рабочими и опорными валками со стороны выхода из валков</p>	<p>Первые три клетки чистовой группы</p>
<p>Смесь полимеризованного хлопкового и минерального масел в пропорции 1 : 1 или 1 : 3</p>	<p>Завод «Запорожсталь», НТЛС 1680</p>	<p>Углеродистая</p>	<p>Масло в коллектор охлаждающей воды на рабочие валки со стороны выхода</p>	<p>Первые четыре клетки чистовой группы</p>
<p>Сурепное масло [283]</p>	<p>НЛМЗ, НТЛС 2000</p>	<p>Углеродистая</p>	<p>Масло в коллектор охлаждающей воды на рабочие валки со стороны входа</p>	<p>Первые три клетки чистовой группы</p>

1	2	3	4	5
Животные, растительные жиры, синтетические жиры-заменители, их смеси с минеральными маслами [284—293]	Фирма «Шарон стил» (США), полунепереработанный листовый стан (ПНЛС) 1525	Нет свед.	Масло с помощью форсунок на опорные валки; масло в коллекторы охлаждающей воды на рабочие валки со стороны выхода; механическая смесь масла с водой с помощью коллектора с форсунками на опорные валки	Первые три клетки чистовой группы
	Фирма «Бритиш стил» (Рэвенскрейг (Англия), ПНЛС 1725	Нет свед.	Механическая смесь масла с водой концентратной 1,5—3 % с помощью коллектора с форсунками на опорные валки и нижний рабочий со стороны выхода	Первые три клетки чистовой группы
	Там же, полосовой стан 762	То же	Масло в чистом виде с помощью паровых форсунок	Нет свед.
	Фирма «Хеси» (Дортмунд, ФРГ), ПНЛС 1720	»	Масло в коллектор охлаждающей воды на опорные валки	Первые две и последняя клетки чистовой группы
	Фирма «Беглихим стил» (Спарроус-Пойнте, США), НЛС 1420	»	Механическая смесь масла с водой концентратной 2,5—15 % с помощью коллектора с форсунками на опорным валки	Первые четыре клетки чистовой группы
	Фирма «Юнайтед Стейтс стил» (США) НЛС, 2350 НЛС 2135	»	Нет свед.	Первые три клетки чистовой группы
	НЛС 1090	»	Масло с помощью форсунок на опорные валки	Первые три клетки чистовой группы
	Фирма «Рипаблик стил» (Кливленд, США), НЛС 2135	Нет свед.	Масло с помощью форсунок на опорные валки	Первые три клетки чистовой группы Первые четыре клетки чистовой группы

1	2	3	4	5
Животные, растительные жиры, синтетические жиры, синтетические жиры, синтетические жиры, синтетические жиры с минеральными маслами [284 — 293]	Фирма «Син Ниппон сэй Тэнд» (Муроран, Япония), НТЛС 1420 Фирма «Ниппон кокан» (Фукуяне, Япония), НТЛС 2030 и НТЛС 1780 Фирма «Сумимото киндзоку кочэ» (Касяме, Япония), НТЛС 1780	Нет свед. » Нет свед.	Механическая смесь масла с водой с помощью паровых форсунок на рабочие валки со стороны входа Инжекционный способ подачи смазки на валки Нет свед.	2—5-я клетки чистой группы Стан 2030—клетки 3-я и 6-я чистой группы; стан 1780—первые четыре клетки чистой группы Нет свед.
<i>Эмульсии, растворимые масла, водные суспензии различных веществ</i>				
Водная эмульсия мыльного клея или кубового остатка высших синтетических жирных спиртов концентрацией 1—2 % [294, 295]	Нижне-Тагильский металлургический комбинат, сортопрокатный стан 650 Коммунарский металлургический завод, сортопрокатный стан 600	Углеродистая Углеродистая Углеродистая	В коллектор охлаждающей воды с помощью форсунок на валки со стороны входа С помощью брызгало-форсунок смазка на валки со стороны входа, вода — со стороны выхода С помощью форсунок на валки со стороны входа С помощью коллектора с форсунками на опорные валки	Предчистовая и чистовая клетки Предчистовая (11-я) и чистовая (12-я) клетки Предчистовая (8-я) и чистовая (9-я) клетки Все клетки чистой группы
Водная эмульсия стандартных эмульсолгов Э-2 (Б), Э-1 (А), ЭТ-1, ЭТ-2, ЭТ-2У и др. концентрацией 5—10 % [296—301]	Кузнецкий металлургический комбинат, сортопрокатный стан 500 Завод «Запорожсталь», НТЛС 1680	Углеродистая Углеродистая	С помощью форсунок на валки со стороны входа С помощью коллектора с форсунками на опорные валки	Предчистовая и чистовая клетки Предчистовая (11-я) и чистовая (12-я) клетки Предчистовая (8-я) и чистовая (9-я) клетки Все клетки чистой группы

1	2	3	4	5
Водная эмульсия стандартных эмульсолов Э-2 (Б), Э-1 (А), ЭТ-1, ЭТ-2, ЭТ-2У и др. концентрацией 5—10% [296—301]	Завод им. Петровского, сортопрокатный стан 550 Там же, рельсобалочный стан 800	Углеродистая Углеродистая	С помощью форсунок в зев валков со стороны входа; с помощью войлочных контактных устройств, прижимаемых к валку С помощью контактных устройств на верхний валок и брызгал на нижний валок	Чистовая клеть Чистовая клеть
Металлургический завод «Саркайис металлургс», листопрокатный стан трино Лаута (внедрено) Ашинский металлургический завод, листопрокатный реверсивный стан 1500	Металлургический завод «Саркайис металлургс», листопрокатный стан трино Лаута (внедрено) Ашинский металлургический завод, листопрокатный реверсивный стан 1500	Углеродистая Нержавеющая, легированная	С помощью контактных устройств на верхние и нижние валки С помощью контактных устройств на рабочие валки	Клеть Клеть
Водная эмульсия полимеризованного хлопкового масла концентрацией 1—10% [302—304]	Завод «Запорожсталь», НТЛС 1680	Углеродистая	С помощью коллектора с форсунками на опорные валки	Все клетки чистой группы
Водная эмульсия смазок А20 или Олон концентрацией 3—6% [301, 305—307]	Завод им. Петровского, сортопрокатный стан 550 НЛМЗ, полосовой реверсивный стан 1200 (внедрено) Ашинский металлургический завод, листопрокатный реверсивный стан 1500 (внедрено)	Углеродистая Трансформаторная Нержавеющая, легированная	С помощью форсунок в зев валков со стороны входа С помощью войлочных контактных устройств на опорные валки С помощью контактных устройств на рабочие валки	Чистовая клеть Клеть Клеть

1	2	3	4	5
Водная эмульсия смазок А20 или Олон концентрации 3—6% [301, 305—307]	Завод «Ждановсельмаш», стан периодической прокатки 350	Низколегированная	С помощью специальных 2-х роликовых контактных устройств на валки	Клеть
Графито-водная суспензия (10—15 % графита и 4—5 % ПАВ) [308]	Металлургический завод «Электросталь», листовой стан 1000 кварто	Легированная	С помощью воздушных форсунок на рабочие валки	Клеть
Водная суспензия графита, нитрида бора, аминоксидных соединений концентрацией 5—12 % [309]	Макеевский металлургический завод, непрерывный штрипсовый стан 300	Углеродистая	То же	Клеть 8-я чистой группы
Водная эмульсия на основе продуктов окисления керогена сланца, обработанных гудроном [195]	Непрерывные листовые станы США	Углеродистая	С помощью коллектора с форсунками на валки	Нет свед.
Водная эмульсия на основе продуктов окисления керогена сланца, обработанных гудроном [195]	Нижне-Тагильский металлургический комбинат, сортопрокатный стан 650	Углеродистая	С помощью форсунок на валки со стороны входа	Предчистовая и чистовая клетки
Лигнино-водная суспензия на основе лигнина, двухзамещенного фосфата, парафина, мыльного клея и др. [310]	Новосибирский металлургический завод, полунепрерывный листовой стан 850	Углеродистая, нержавеющей, легированная	С помощью специальных форсунок	Клеть 2-я чистой группы

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМАЗОК, ПРИМЕНЯЕМЫХ
 ДЛЯ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ЗА РУБЕЖОМ И НА НЛМЗ

Смазка страна	Вязкость, мм ² /с		Кис- лот- ное число	Чис- ло омы- ления	Кок- совое число	Содержание, %		Температура, °С		
	ν_{10}	ν_{50}				воды	золы	вос- пла- мене- ния	вспыш- ки	засты- вания

Минеральные масла, применяемые на зарубежных сортовых станах

Масло № 1	*	141	7,0	7,5	8,8	5,0	7,3	209	186	—31
Масло № 2	*	116	5,5	6,1	7,7	4,4	6,5	216	171	—34
Масло № 3	*	283	0,1	0,2	1,0	0,5	0,02	296	241	—3
Масло № 4	*	93	Нет св.	—	7,8	0,05	0,09	*	180	—21

Смазки, применяемые на зарубежных листовых станах

Смазка № 1 (США)	154	*	*	*	*	*	*	321	271	*
Смазка № 2 (США)	141	*	10	*	*	*	3,1	271	238	*
Смазка № 3 (Голлан- дия)	92	*	10	*	*	*	0,1	263	224	*
Смазка № 4 (Брази- лия)	175	*	11	123	*	*	*	*	268	*

Отходы масел, применяемые на стане 2000 НЛМЗ

Масло до цен- трифу- гирова- ния	*	80	0,3	*	*	0,45	*	211	192	*
Масло после центри- фугиро- вания	*	79	0,5	*	*	0,15	*	208	197	*

*Нет сведений.

Смазка уменьшает теплоперенос между полосой и валками, повышает качество поверхности и износостойкость рабочих и опорных валков, позволяет увеличить длительность работы валков между перевалками на 30—100 %, снизить давление на 4—16 %, нагрузку на двигатель на 4—18 %, уменьшить температуру рабочих валков на 6—21 °С и разность температур по длине бочки на 10—17 °С.

С повышением концентрации масла в охлаждающей воде износ валков уменьшается, а снижение энергосиловых параметров увеличивается, жировые смазки более эффективны, чем минеральные [283, 315]. Смыть смазки с валков водой для растительных масел значительно меньше, чем для минеральных.

Смазки подают в виде эмульсии или водомасляной смеси (иногда в чистом виде) через автономные коллекторы с форсунками либо вводят в магистраль охлаждающей воды в чистом виде (реже в виде водомасляной смеси). Подача через форсунки затруднена из-за их засорения, требует применения устройств для предотвращения смыва смазки охлаждающей водой и специального оборудования для приготовления и регулирования концентрации эмульсии или водомасляной смеси. Подача в коллектор охлаждающей воды отличается простотой конструкции, но требует повышенного расхода смазки.

Смазка наносится на опорные либо рабочие валки со стороны выхода металла из валков, что обеспечивает прохождение смазкой зоны контакта между рабочими и опорными валками до входа в очаг деформации. При этом увеличивается продолжительность контакта смазки с валками, ее адсорбция поверхностью валков, а также вязкость смазки [133]. Имеются системы, в которых смазка подается на валки со стороны входа металла в валки, что связано с уменьшением количества подаваемой охлаждающей воды.

При прочих равных условиях расход жировых смазок меньше, чем смазок на минеральной основе. В случае подачи смазки в коллектор охлаждающей воды концентрация растительных масел составляет 0,002—0,008 %, минеральных 0,06—0,12 %, на зарубежных станах концентрация жировых смазок 0,0005—0,05 %. Предпочтительней считают концентрацию 0,03 %, при концентрации 0,05 % возможны пробуксовки полосы в валках.

При нанесении через форсунки концентрация жировых смазок для первых двух клетей чистой группы составляет 4—6 %, для последующих 2—3 %. При высокой концентрации смазки падает натяжение в межклетевых промежутках, возможна дестабилизация процесса прокатки.

Подача смазки включается автоматически после осуществления захвата и выключается за 2—4 с до выхода заднего конца полосы. Оставшаяся на валках смазка при этом успевает выгореть и захват очередной полосы происходит без затруднений [302].

При прокатке листов и полос на одноклетевых реверсивных станах используют эмульсии минеральных масел, синтетических продуктов, реже водную суспензию графита. Подача осуществляется с помощью контактных войлочных устройств, расположенных на рабочих либо опорных валках, обеспечивающих равномерность слоя смазки по длине валка и снижение ее расхода. Смазка позволяет уменьшить количество проходов и промежуточных нагревов при прокатке листов из нержавеющей и легированных сталей на 2—3, снизить нагрузку двигателя на 10—20 %, уменьшить износ валков в 1,3—2,0 раза, увеличить длительность работы валков между перевалками в 1,5 раза и повысить производительность станов на 16—60 % [301, 308, 309].

Некоторыми исследованиями показано благоприятное влияние смазки (без специальных добавок) на травимость горячекатаного металла, в других исследованиях такое влияние не обнаружено [273, 280, 284, 309].

Для ускорения процесса травления в состав смазки вводят вещества, содержащие щелочные, щелочноземельные металлы, а также бор, алюминий, марганец и другие, образующие на поверхности полос вустит, легко отделяющийся при травлении. Например, при использовании смазки¹, содержащей 25 % CaCO₃ образуется окалина, содержащая 64 % вустита и 0,320 г/м² CaO, отделяющаяся от поверхности при травлении за 13 с. Процесс травления также ускоряется,

¹ Пат. 53—100130 (Япония), 1977.

если некоторые вещества (окись бора, борнокислый натрий, окислы или гидроксиды натрия, лития, калия, кальция, магния, ванадия, висмута, олова и другие соединения указанных металлов в различных сочетаниях) в виде порошка наносятся в газовой струе между черновой и чистовой группой клетей в количестве 5—10 г/м² (толщиной до 100 мкм) или в промежутке между последней клетью и моталкой в количестве 0,02—0,1 г/м² (фракция порошка 300 мкм)¹.

При нанесении водного раствора борной кислоты концентрацией 0,1 % на поверхность прокатанных полос за последней клетью при температуре 900 °С скорость травления увеличивается в 2,8 раза².

12.3. Смазки для профилировочных и трубоформовочных станов

Технологические смазки при профилировании и формовке должны снижать силы трения, особенно на участках интенсивного скольжения, уменьшать износ калибров, предотвращать механические повреждения поверхности профилей и налипание металла на валки, а также обеспечивать охлаждение валков, защиту готовых профилей и труб от коррозии, легкость обезжиривания или возможность использования готовых изделий без удаления смазки.

Горячекатаную нетравленную заготовку профилируют и формуют с подачей стабильных 3—7 %-ных эмульсий из эмульсолов Э-2 (Б), ЭТ-1, ЭТ-2, ЭГТ. При профилировании горячекатаной травленной и холоднокатаной заготовок применяют масло П-11, обладающее более высокими консервационными свойствами по сравнению с эмульсиями и маслом И-20А, ранее применявшимся в этом процессе.

В зарубежной практике для холодной формовки труб применяется водорастворимая смазка³ следующего состава, %: 50—70 сложных спиртов или эфиров, 5—20 поверхностно-активных веществ (фенолполигликольэфир, имеющих 7 молекул этиленоксида), 10—20 эмульгатора, 5—10 солей соевого масла, 5—20 антикоррозионных добавок (диэтаноламид кокосового масла), бактерицидные добавки; концентрация смазки в воде 0,1—10 %.

При производстве профилей с металлическими покрытиями (при значительной высоте формовки и неодинаковых диаметрах формирующих валков), а также трудоемких профилей из сталей повышенной прочности применяют 2—5 %-ные эмульсии полимеризованного хлопкового масла и смазки «Металлургическая» [316].

12.4. Смазки для прокатки цветных металлов

Смазки должны предохранять валки от налипания, особенно при прокатке алюминия и его сплавов, и обеспечивать высокую чистоту поверхности металла, охлаждение валков, и, в меньшей степени, снижение энергосиловых параметров.

Горячая прокатка листовой стали из алюминия и его сплавов производится при температуре 400—500 °С и скорости прокатки до 5 м/с с подачей 0,5—6 %-ной эмульсии из смазки 59ц (СП-3). При прокатке алюминия и мягких алюминиевых сплавов используют эмульсии высокой концентрации, при прокатке твердых сплавов концентрацию эмульсии снижают.

В СССР разработан ряд эффективных эмульсолов, применяемых при горячей прокатке алюминия и его сплавов, следующего состава, % [317—322]: 1) трансформаторное масло 80, неполные эфиры 10, оксигетилированные продукты 10 %; 2) соль щелочного металла СЖК фракции С₅—С₈ 66,7, минеральное масло 29,3, олеиновая кислота 2,7, триэтаноламин 1,3 %; 3) минеральное масло 65,6, гексаметафосфат натрия 20,0, олеиновая кислота 9,6, триэтаноламин 4,8; 4) минеральное масло 80, полиэтиленгликолевые эфиры алкиламидов СЖК 15, производное ангидроксилитов 5; 5) минеральное масло 75,4, полиизобутилен

¹ Пат. 53—127358 (Япония), 1977.

² Пат. 52—93635 (Япония), 1976.

³ Пат. 2156567 (ФРГ), 1971.

2,70, олеиновая кислота 9,4, триэтаноламин 5,6, диэтиленгликоль 5,0, синтетические жирные спирты фракции C_{10} — C_{20} 1,9; 6) сополимер этилена, пропилена и циклопентадиена 0,5—5,0, синтетические жирные спирты фракции C_{10} — C_{20} 0,2—2,0 %, диэтиленгликоль 2,0—5,0, триэтаноламин 4,4—5,8, олеиновая кислота 9,2—11,8, минеральное масло до 100 %.

С применением эмульсий двух последних составов взамен эмульсии 59-ц давление на валки снизилось на 15—20 % и значительно улучшилась чистота и отражательная способность поверхности проката [323].

Для горячей прокатки гранул алюминиевых сплавов применяется смазка на водной основе, в состав которой входит жидкое стекло 5—10 % и окись цинка 10—25 % [324].

В зарубежной практике для горячей прокатки алюминия и его сплавов также применяют водные 1—10 %-ные эмульсии на основе минерального масла (парафинового или нафтенного — 80 %) с добавкой 10—15 % жирных кислот и антикоррозионных присадок [325]. Применяют эмульсии на основе минерального масла (20—75 %), жирного спирта (5—50 %), полибутена (20—60 %), эмульгатора — триэтаноламинолеата (5 %) и ингибитора коррозии (морфолинолеата)¹, а также эмульсии на основе минерального масла с добавкой 2—10 % полибутена, 0,5—2 % алифатических спиртов, 5—15 % олеиновой кислоты и небольших добавок триэтаноламинолеата².

При холодной прокатке алюминия и его сплавов применяют водные эмульсии и маловязкие минеральные масла с присадками (раздельно или совместно). В СССР большое распространение получила 8—10 %-ная эмульсия из мыла-сола 59ц. В качестве дополнительной смазки часто используется смесь масла И-12А (25—50 %) и осветительного керосина (75—50 %) с добавкой олеиновой кислоты (0,5—5,0 %) [326]. Преимуществом совместного применения водных эмульсий с технологической смазкой является высокая охлаждающая способность, недостатком — повышенная загрязненность поверхности листов, относительно малая эффективность смазки.

Для получения качественной поверхности листов применяют маловязкие минеральные масла с присадками. Базовое масло должно иметь температуру вспышки не менее 70—80 °С для обеспечения безопасности работы на стане, температуру конца кипения фракции не выше 300—350 °С во избежание образования «пригаров» при отжиге, узкий интервал выкипания фракций для обеспечения высокой температуры вспышки при минимальной температуре конца кипения, минимальное содержание ароматических и нафтенных соединений, кислотное число не более 0,25—0,45.

В качестве базового масла используется деароматизированная дизельная фракция озековской нефти (ОТС-1, ТУ 38-101319—72), состоящая из 77 % метановых и 23 % нафтенных углеводородов, $t_{вс} = 75$ °С, интервал выкипания фракции 190—330 °С, $v_{20} = 3,5$ мм²/с. Также применяются жидкие парафины, которые содержат 93 % метановых углеводородов, $t_{вс} = 115$ °С, интервал выкипания фракции 240—350 °С, $v_{20} = 5,2$ мм²/с [317].

В качестве присадок используются среднемолекулярные жирные кислоты, спирты фракции C_{14} — C_{18} или их эфиры. В смазку могут вводиться моющие, антиокислительные, депрессорные и другие добавки. В отечественной практике широко применяется смазка, содержащая, %: 94,5—96,5 ОТС-1, 3—5 синтетических жирных спиртов фракции C_{12} — C_{16} , 0,5 ионола; $v_{50} = 2$ мм²/с [327].

При черновой прокатке алюминиевых сплавов используют эмульсии высокой концентрации (30—40 %) или эмульсии в сочетании с раздельной подачей технологической смазки, при чистовой прокатке для получения качественной поверхности листов применяют маловязкие минеральные масла с поверхностно-активными присадками.

Взамен эмульсии 59-ц предложены эмульсолы, отличающиеся более высокими смазочными и моющими свойствами [328, 329], следующего состава, %: 1) керосин 84, олеиновая кислота 10, триэтаноламин 6 (концентрация эмуль-

¹ Пат 3855136 (США), 1973.

² Пат. 3835052 (США), 1973.

сии 30—40 %); 2) смазка ОТС-1 83—85, алкиловые сложные эфиры 7,5—7,0, сложные эфиры ксилитового ангидрида жирной кислоты (ксилан-0) 7,0—7, 6,0, полиоксиэтиленовая производная амида СЖК (синтаמיד-5) 1,75—1,5, стеарат алюминия 0,75—0,5 (индекс, смазки КС-715) концентрация эмульсии 10—20 %; 3) смазка К-715, отличающаяся от КС-715 применением полиоксиэтиленовой производной ксилитового ангидрида жирной кислоты (ксилиталь 0—10) взамен синтамида. Эмульсии КС-715 и К-715 обеспечивают получение высоких обжатий и качественной поверхности металла, однако требуют применения весьма тонкой очистки в циркуляционных системах [329].

В зарубежной практике применяются как 3—20 % -ные водоземulsionные смазки, так и смазки на основе маловязких минеральных масел¹, %:

1) легкое парафиновое, изопарафиновое и нафтеновое масло, вязкостью $\nu_{38} = (0,6—12,9)$ мм²/с 45—90, жирные кислоты 5—35, жирные спирты 5—35, антиокислитель (гидроокситолуен бутила) 0,05—0,5, эмульгатор, растворимый в воде 0,1—0,5, эмульгатор, растворимый в масле 0,1—0,5, хлорат или сульфат натрия, калия, лития 0,001—0,04; 2) алифатические спирты (октанол, деканол, додеканол и др.) 5—60, углеводородное масло (Alfol, Lorol) 10—50, жирные кислоты и их производные (тристеарат, триолеат и др.) 1—45, эмульгатор (алкилфенилполиэтиленгликоль и др.) 0,5—7; 3) бутиллаурата масляная фаза 15—30, полиизобутилен 15—27, эмульгатор (смесь жирных и смоляных кислот) 10—20, масляная или линолевая кислоты (ингибитор против коррозии и водородной хрупкости) 6—20, гексаметилентетрамин (бактерицид) 5—20;

4) древесный спирт 35, минеральное масло 44,2, лавровое масло 5, бутилстеарат 10, диэтаноламин 1,8, оцетафенолксианол 1, гидробензоокислый амин 2,9, силикон 0,1;

5) древесный спирт 20, минеральное масло 44,2, лавровое масло 5, бутилстеарат 10, диэтаноламин 4, оцетафенолксианол 24,5, гидробензоокислый амин 5, этиленпропиленоксид 5, тетраэтиленгликоль 10;

6) минеральное масло 65—85, фосфорная эфирная соль полиоксиэтиленалкилового эфира (C₁₂—C₁₈) 5—20 насыщенная или ненасыщенная жирная кислота или ее соль 3—20.

Смазки на основе маловязких минеральных масел² имеют вязкость (1,27—5,83) мм²/с при 38 °С и содержат свыше 0,1 % активных добавок эфиров, состоящих из спиртов C₉—C₃₁ и жирных кислот C₁₂—C₁₈. В ГДР применяют смазки на основе минерального масла вязкостью (3—6) мм²/с при 20 °С с жирокислотными добавками C₁₀—C₁₄ в количестве 0,2—5 % (с уменьшением толщины полос количество добавок снижается). Для прокатки толстых полос (0,2—9 мм) применяют масло ALOL-68, для черновой и чистой прокатки тонких лент ALOL-3В и для прокатки фольги (до 7 мкм) ALOL-3Е [330].

При прокатке на тихоходных станах, не требующих охлаждения валков, применяют твердые смазки, содержащие, %: 1) 95 парафина и 5 стеарина; 2) 50 парафина и 50 гидрированного кашалотового или другого твердого жира; 3) парафина, 35 очищенного технического воска и 10 канифоли; 4) 50 очищенного воска и 50 солидола; 5) церезин [331].

В качестве смазочной и охлаждающей жидкости при прокатке фольги (толщина 0,005—0,20 мм) используют трансформаторное масло, велосит, керосин, бензин Б-70, их смеси, а также маловязкие минеральные масла с активными присадками (например, с олеиновой кислотой).

В зарубежной практике для прокатки фольги известно применение смазок на основе парафинов, например, 99,5 % Н-тетрадекана и 0,5 % изопарафинов, ароматических веществ или Н-тридекана. Отмечаются значительные преимущества парафинов перед керосином—повышенная удельная теплоемкость, пониженное испарение, высокая температура вспышки (113 °С), устойчивость к окислению, узкий интервал перегонки, способность легко удаляться с поверхности проката и не вызывать появления пятен при отжиге, отсутствие запаха [332, 333].

¹ Пат. 2219968 (Франция), 1973; 459402 (Австралия), 1975; 615696 (Швейцария), 1980; 323306 (Австрия), 1975; 53—124153 (Япония), 1978.

² Пат. 52—16058 (Япония), 1977.

При горячей прокатке меди и ее сплавов (температура обработки 600—900 °С) применяют эмульсию из эмульсола 59ц, иногда твердые смазки, содержащие 90—95 % парафина и 10—5 % стеарина или канифоли [331]. В зарубежной практике рекомендуется¹ применение водных растворов солей жирных кислот: на 1000 г воды 20 г солей калия и 10 г метилового спирта или 6—200 г солей карбоксильной кислоты и 0,8—200 г жирной кислоты (стеариновой, пальмитиновой, олеиновой и др.).

При холодной прокатке меди и ее сплавов применяется эмульсия из эмульсола 59-ц, концентрацией 1—5 % [334]. Для чистой прокатки используют также маловязкие минеральные масла с присадками. Из твердых смазок для листовой прокатки рекомендуется применение смеси парафина (85—95 %) со стеарином (5 %) или с гидрированными растительными и животными жирами (15 %), а также смеси канифоли (70—90 %) с техническим воском (10—30 %) или со стеарином (10 %).

В зарубежной практике известно применение смазок на основе водорастворимого масла с поверхностно-активными добавками (0,25—2 %) и добавками солей (0,1 %) NaCl, Na₂SO₄, Na₂CO₃ и др.

При горячей и холодной прокатке листов из цинка применяют эмульсии из смазки 59-ц и реже Э-2 (Б). Для чистой холодной прокатки цинка рекомендуется керосин с добавками 2—4 % олеиновой кислоты или канифоли, велосит с добавкой 2—4 % канифоли [335].

Олово и свинец (толщиной более 8 мм) прокатывают без смазки. При прокатке свинца с 8 на 0,8—0,5 мм применяют керосин или чистый парафин. При прокатке фольги из олова и свинца используют мыла или маловязкие минеральные масла. Рекомендуется также полигликоль, особенно при прокатке фольги для пайки².

При прокатке фольги из золота и моментных сплавов применяют маловязкие минеральные масла с добавками 5—10 % растительного масла или воска.

Горячая прокатка титана и его сплавов производится без смазки. При холодной прокатке рекомендуется применение смазок, используемых при прокатке нержавеющей и труднодеформируемых сталей — высоковязких минеральных масел (при толщине листов более 1 мм), растительных и животных жиров, смазок на основе СЖК. Применяются также высококонцентрированные эмульсии, например, эмульсия 59-ц концентрацией 30 %. За рубежом рекомендуют смазки на основе животных жиров или пальмового масла³.

12.5. Волоочильные смазки

Особенности работы смазок при волочении

Смазка должна обеспечить высокую износостойкость инструмента и требуемое качество поверхности продукции, а при высоких скоростях волочения — эффективное охлаждение инструмента. В очаг деформации смазки поступает в основном за счет гидродинамического эффекта, возникающего во входном конусе волокна. Поверхность волокна препятствует поступлению смазки, отесняя ее с поверхности заготовки.

Для улучшения условий трения на заготовку перед волочением наносят подмазочные покрытия, способствующие сохранению смазки в зоне контакта, а при разрыве смазочного слоя выполняющие функцию технологической смазки.

Подмазочные покрытия наносятся на чистую от окислов поверхность заготовки. С поверхности стали окалин удаляют травлением в кислотах или в растворах солей, дробеструйной обработкой, механическим взламыванием окалины, гидроабразивной обработкой. После травления заготовку промывают и при необходимости нейтрализуют. Подмазочные покрытия наносят преимущественно в два слоя. Нижний образуют меднением, желтением, фосфатированием и окса-

¹ Пат. 52—10969 (Япония), 1977, пат. 3933660 — (США), 1976.

² Пат. 2741073 (ФРГ), 1979.

³ Пат. 54—145349 (Япония), 1979.

латированием, верхний — известкованием, покрытием жидким стеклом или бурой. Нижний слой имеет молекулярное или близкое к нему сцепление с поверхностью, верхний — механическое сцепление [153]. Верхний слой обеспечивает также нейтрализацию поверхности заготовки.

После нанесения покрытия металл сушат при 200—300 °С для устранения травильной хрупкости в сушилках или за счет собственного тепла металла. Сушка длится от нескольких минут до 1—2 ч.

Для волочения труб, прутков и проволоки диаметром $\geq 0,8$ —1,0 мм (грубое, грубо-среднее и среднее волочение) применяют сухие порошкообразные смазки, плавящиеся при температуре деформации, пастообразные и консистентные смазки, для цветных металлов используют также различные масла. При мокром волочении инструмент полностью погружен в водную эмульсию смазки. Мокрое волочение используют при волочении тонкой (диаметром менее 0,8—1,0 мм), тончайшей и микронной проволоки.

Подсмазочные покрытия

Меднение — нанесение на поверхность стальной заготовки слоя меди в водном растворе медного купороса с добавкой серной кислоты. Процесс протекает по реакции $Fe + CuSO_4 = Cu + FeSO_4$.

Присутствие в растворе серной кислоты и кислорода предупреждает образование Cu_2O : $Cu_2O + H_2SO_4 + 1/2O_2 \rightleftharpoons 2CuSO_4 + H_2O$.

Для насыщения кислородом раствор перемешивают сжатым воздухом. При недостатке кислоты в растворе возможна реакция гидролиза $CuSO_4 + H_2O = Cu_2O + H_2SO_4$. Выделяющаяся закись меди ухудшает качество покрытия.

При низком содержании серной кислоты (табл. 52) медный слой получается более тонким, но стойким. Концентрация железного купороса Fe_2SO_4 не должна превышать 8—6 % из-за ухудшения сцепления покрытия со сталью.

Для получения плотного, хорошо сцепленного с металлом медного слоя в раствор вводят до 0,2 кг/м³ столярного клея; это удлиняет обработку, но уменьшает размер кристаллов меди. При длительной выдержке толщина слоя достигает 2—4 мкм, при обычной 1,0—1,5 мкм (8—12 г/м²). За рубежом исполь-

ТАБЛИЦА 52

СОСТАВ РАСТВОРОВ И РЕЖИМЫ МЕДНЕНИЯ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ [153, 337, 338]

Продукция	Содержание компонентов, г/л					Режим обработки	
	98 %-ная H_2SO_4	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	HCl	$Fe_2SO_4 \cdot 7H_2O$	ОП-7 (ОП-10)	время, мин	температура, °С
Углеродистые и низколегированные трубы	15—40	15—30	≤ 40	50—60	2—4 *1	1—3	30—50
Нержавеющие *2, высоколегированные трубы	220—270	5—15	5—15	25—120	0,5—2	5—15	65—75
Углеродистая проволока	15—60	20—50	—	50—80	—	0,3—2,0 *3	15—25

*1 При холодном (20—30 °С) меднении 20—40 H_2SO_4 , 30—40 $CuSO_4$, внутрь каждой нержавеющей вводят углеродистую трубу; *2 Либо 0,5—1,0 ингибитора ПКУ; *3 Для легированной до 3 мин.

зуют [336] раствор Купрадин 2, в котором при 20—40 °С за 1—10 мин выделяется слой толщиной 1,0—1,5 мкм.

Меднение применяют для заготовок, подвергаемых большой суммарной деформации. Оно нежелательно для производства изделий, предназначенных для длительной эксплуатации, так как в местах нарушения медного слоя возникают микрогальванические пары, приводящие к точечной коррозии основного металла. Иногда меднение осуществляют электролитическим путем, особенно при обработке нержавеющей стали [331].

Желтение — окисление стали в атмосфере влажного воздуха при комнатной температуре — осуществляют на открытой площадке в камерах с водяным туманом или в баках, снабженных распылителями для мелкого разбрызгивания воды. В течение всего процесса поверхность металла должна быть влажной. Рекомендуется применять чистую мягкую воду, богатую кислородом, подогретую до 60—80 °С.

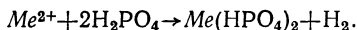
Под воздействием влаги и кислорода воздуха на поверхности стали образуется вначале гидрат окиси железа $Fe(OH)_2$, имеющий зеленовато-желтый цвет, переходящий в $Fe(OH)_3$ желто-коричневого цвета. Длительность процесса определяется появлением на металле налета коррозии и составляет от 15 до 60 мин, (большее значение — для легированных сталей). Для ускорения процесса применяют обдувку паром [153, 338], хотя его применение не всегда рекомендуется [337].

Желтение применяется в ограниченных масштабах, в основном если нанесение других покрытий недопустимо (например, при производстве кардной, игольной проволоки).

Фосфатирование — химическая обработка металлов в водных растворах фосфорнокислых солей марганца, железа или цинка в присутствии фосфорной кислоты с образованием на поверхности прозрачной пленки нерастворимых в воде фосфатов соответствующих металлов, имеющих цвет от светло-серого до черного. Разновидностью процесса является бондеризация (ускоренное фосфатирование).

Обработке подвергают до 90 % всех углеродистых сталей, легированные стали и некоторые цветные металлы и сплавы. Процесс не рекомендуется для сплавов, содержащих хром, никель и молибден. Для сталей, подвергаемых волочению с обжатами до 95 %, масса покрытия должна составлять 3—8 г/м², при более высоких обжатах и тяжелых условиях деформации 10 г/м² и более. Толщина слоя 5—10 мкм, с уменьшением диаметра проволоки толщину покрытия увеличивают.

Формирование фосфатной пленки начинается с электрохимического растворения металла; на анодных участках металл в ионном состоянии переходит в раствор, а на катодных выделяется водород

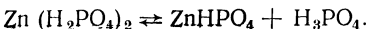
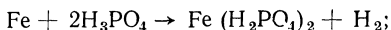
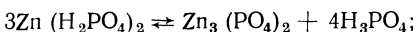
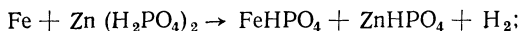


Уменьшение концентрации фосфорной кислоты уменьшает концентрацию ионов водорода и увеличивает гидролиз первичных фосфатов с образованием вторичных и третичных солей Me_2HPO_4 и $Me_3(PO_4)_2$.

Однозамещенные фосфаты легко растворимы в воде, двузамещенные трудно растворимы, а трехзамещенные практически не растворяются. Осадок нерастворимых фосфатов образует прочную кристалло-химическую связь с поверхностью металла.

Покрытие состоит из внутреннего, небольшой толщины и весьма пористого слоя, и наружного хрупкого, состоящего из вторичных и третичных фосфатов. Покрытие хорошо удерживает смазку, его термостойкость достигает 600 °С.

При наиболее распространенной при волочении стали обработке в растворе монофосфата цинка возможны следующие реакции:



Третичный фосфат цинка $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ имеет пластинчатое строение и высокие антифрикционные свойства, вторичный фосфат цинка $ZnHPO_4 \cdot 2H_2O$ является абразивом. Для образования трехзамещенного фосфата раствор должен содержать некоторое количество свободной фосфорной кислоты, однако ее избыток ведет к образованию однозамещенных фосфатов, поэтому соотношение общей и свободной кислотности должно составлять 7—10 (общей 30—65, до 120 и свободной 3—10, до 25 пунктов).

Для уменьшения общей кислотности добавляют воду, для увеличения — монофосфат цинка. Кислотность раствора можно регулировать введением ZnO [339]. С уменьшением общей и свободной кислотности время фосфатирования увеличивают.

Исходная травленая поверхность, медленное осаждение и высокая температура раствора способствуют выпадению крупнокристаллических пленок толщиной 10—12 мкм и более, гидроабразивная обработка и концентрированные растворы — мелкокристаллических пленок толщиной 3—4 мкм.

Фосфатирование ускоряют введением окислителей — азотнокислых и азотинокислых солей цинка, натрия, бария, которые позволяют работать с высококонцентрированными растворами монофосфата цинка при низкой концентрации фосфорной кислоты и низкой температуре.

Условия фосфатирования (табл. 53) ухудшаются в присутствии окислов железа, примесей алюминия, мышьяка, свинца, сульфатов и хлоридов. Образующаяся под воздействием азотной кислоты фосфорнокислая соль железа $FePO_4$ оседает в виде шлама на дне ванны и на поверхности заготовки, ухудшая качество покрытия.

Содержание фосфатов цинка в растворе может составлять 140—150 г/л. Для приготовления рабочего раствора применяют также смесь 51,46 % фосфорной кислоты плотностью 1,6, 15,49 % окиси цинка, 11,31 % карбоната марганца, 21,74 % азотной 50 %-ной кислоты. Температура обработки 90—95 °С, длительность 5 мин. Перед фосфатированием металл промывают в 3 %-ном растворе известки [337]. Применяются также концентраты КФЭ-1 и КФЭ-2, поставляемые по ТУ 6-08-198—71 и ТУ 6-08-197—71 [344]. Обычно длительность работы фосфатного раствора 12—13 недель.

За рубежом используют растворы (концентрацией до 80 %) фосфата цинка с нитратным и нитритным катализаторами (Гранадин 43Z, Грэнродру А43, Грэнродру 430), образующие при 55—70 °С слои 5—12 г/м² при низком выходе шлама [336, 345].

При волочении труб иногда наносят комбинированное меднофосфатное покрытие. После фосфатирования заготовку перед волочением чаще всего омыливают. Между мылом и фосфатной пленкой происходит реакция с образованием нерастворимых в воде мыл



Оксалатирование — нанесение на поверхность заготовки слоя солей щавелевой кислоты $HOOC-COOH$ (оксалата железа), образующегося при растворении железа в рабочем растворе, в котором должны содержаться активаторы — соли $NaCl$, KCl , NaB_2 и окислители — двухромовокислый калий $K_2Cr_2O_7$, перманганат калия $KMnO_4$ и другие. Процесс используется для обработки высоколегированных сталей, цветных металлов и сплавов. Рекомендуется следующий состав раствора, (г/л): 24 щавелевой кислоты $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$, 12 щавелевокислого закисного железа $FeC_2O_4 \cdot 12H_2O$, 3,5 двухромовокислого калия $K_2Cr_2O_7$, 200 хлористого натрия $NaCl$ [346]. Прочное покрытие, хорошо адсорбирующее смазку, образуется при выдержке в течение 15 мин. В некоторых случаях время обработки увеличивается до 2 ч [337]. Толщина покрытия 10—15 мкм. В мыльном растворе на оксалатном покрытии образуется пленка металлических мыл, прочно сцепленная с поверхностью заготовки.

Известкование — нанесение слоя извести $Ca(OH)_2$ на поверхность металла путем многократного погружения заготовки в известковый раствор. Для приготовления раствора используют хорошо обожженную тестообразную гашеную известь, выдержанную не менее 3 недель в отстойниках для полного завершения процесса гашения. Известь должна содержать минимальное количество абразивных примесей (кремнезема, силикатов, окислов). Рекомендуемый состав извести,

РЕЖИМЫ ФОСФАТИРОВАНИЯ ПЕРЕД РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ
ОБРАБОТКИ [337, 339—342]

Zn	Содержание компонентов, г/л						Режимы обработки		Условия применения
	H ₃ PO ₄	HNO ₃	NaNO ₂	NaN ₂ PO ₄	NaNO ₂	Fe	Темпера-тура, °С	Время, мин	
	16±5	7±2	—	60±20	50±10	—	—	25—30	
45	40	80	0,2	—	—	до 2	20	2—3	Обработка проволоки в мотках
120	780	—	—	—	—	—	65—72	5—10	Концентрат, содержит 100 г воды, при-меняется в виде 2,5—3,0 %-ного рас-твора при жидком волочении проволо-ки
30—40 *1	3—8	—	—	—	2	—	70—75	0,15—0,25	На поточных линиях
60—70	—	—	20	—	10	0—20 *2	70—75	0,65	То же
15—16	1,5—3,0	18—30	—	—	—	—	65—70	7—10	Холодная деформация труб
10—3	8—1	12—13	—	—	—	0—25	50—70	3—10 *3	Бесшамное фосфатирование углеро-дистых труб

*1 Монофосфата цинка, добавляется по 2 кг/т. *2 Фосфата железа. *3 Для легированных 15—30 мин.

%: 98,0—98,4 CaO, 0,85—0,90 MgO, 0,10—0,13 FeO, Fe₂O₃, 0,50—0,64 Al₂O₃, менее 0,20—0,24 силикатов. Из полученного известкового теста готовят растворы (взвеси) с содержанием 3—10 % Ca(OH)₂. Повышенную концентрацию применяют для больших исходных сечений.

Катанку, проволоку и прутки диаметром более 2 мм известкуют путем 2—6 одноминутных погружений в кипящий 5—10 %-ный раствор; при диаметре проволоки менее 2 мм содержание извести должно составлять 4—5 %, температура раствора 90—100 °С, число циклов погружения увеличивают до 7. После каждого извлечения садку выдерживают 30—60 с до высыхания. Перед погружением поверхность обрабатываемого металла должна быть влажной, для чего ее поливают теплой водой.

Иногда для обработки нержавеющей стали и цветных металлов в раствор, содержащий от 8 до 25 % Ca(OH)₂, добавляют 10—14 % поваренной соли для получения известково-солевого покрытия, или 2 % железного купороса. При известковании стальных прутков на 1 м³ известкового раствора добавляют 50—100 кг негашеной извести. При волочении проволоки добавки негашеной извести не допускаются.

Ванну с известковым раствором перемешивают сжатым воздухом, острым паром или мешалкой. Полная замена известкового раствора производится через 1—2 недели.

Обработка в растворе буры (бурирование) проводится взамен известкования при волочении проволоки диаметром выше 0,9 мм путем погружения в раствор, содержащий 5—15, иногда до 30 % буры Na₂B₄O₇·10H₂O, Na₂B₄O₇·5H₂O, Na₂B₄O₇ (последние соединения более экономичны) [153]. С ростом содержания углерода в стали, диаметра проволоки и усложнением условий деформации концентрацию буры в растворе повышают. Ванна с раствором должна иметь pH = 9,2. Для повышения pH в ванну добавляют каустическую или кальцинированную соду. Температура раствора 65—95 °С; в момент высыхания покрытия температура его должна быть выше 60 °С.

Продолжительность обработки бунтов 5—15 с, при непрерывном процессе время увеличивается до 30 с. Рекомендуется двукратное погружение бунтов с выдержкой между погружениями не менее 0,5 мин. При нанесении буры на фосфатированную поверхность рекомендуется следующая длительность обработки в ванне в зависимости от диаметра проволоки [337]:

Диаметр проволоки, мм	До 2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8
Длительность обработки, с	4,0-4,5	4,5-5,5	5,5-7	7-7,5	7,5-8	8-9	9-10

Увеличение толщины покрытия достигается повышением концентрации раствора или времени выдержки. Продолжительность службы ванны от 1 до 6 месяцев, содержание железа в ней не должно превышать 0,3 %.

Для обеспечения более равномерного по толщине слоя в рабочий раствор добавляют тринатрийфосфат (до 10 % от массы буры). Покрытый бурой металл можно некоторое время сохранять в сухой атмосфере без ухудшения его способности к волочению [338]. Буря является флюсом и способствует свариванию проволоки, легко растворяется в воде, уменьшает загрязнение цеха.

Обработка в растворе жидкого стекла и Na₂O·m SiO₂ (остекление) применяется взамен известкования, она предотвращает запыленность цеха, присущую известкованию, предохраняет прошедший волочение металл от атмосферной коррозии. При обработке заготовку погружают в водный раствор жидкого стекла при температуре 60—80 °С. Отношение SiO₂ и Na₂O в растворе должно составлять 1,5—2,5. Для покрытия предпочтительнее использовать содовое стекло по сравнению с сульфатным. Число погружений должно быть от 1 до 3 продолжительностью 20—40 с.

Покрытие жидким стеклом непригодно для обработки нержавеющей стали, для волочения с жидкими смазками, а также для проволоки, предназначенной для последующего горячего цинкования и нанесения резинового покрытия. Волочение остекленной проволоки необходимо провести не позже чем через 15—20 ч после нанесения покрытия [153]. Рекомендуется смесь, содержащая 71 % кремнекислого натрия и 29 % тринатрийфосфата, которая оказывается

более эффективной при волочении по сравнению с покрытием из одного жидкого стекла, а также покрытие, содержащее 25—30 г/л жидкого стекла (в пересчете на Na_2O), 10—15 г/л тринатрийфосфата, 2—5 г/л едкого натра, 8—10 г/л натриевого мыла. Тринатрийфосфат повышает нейтрализационную способность раствора, едкий натр подавляет гидролиз мыла и жидкого стекла. Остекление проводится в кипящем растворе. Раствор устойчив и хорошо работает при колебании концентрации компонентов, обеспечивая одновременное нанесение подмазочного покрытия и мыльной смазки.

Смазки для сухого волочения стальной проволоки и прутков

При волочении проволоки наибольшее распространение имеют мыла, применяемые в виде порошка или стружки и представляющие собой смесь натриевых солей природных жирных кислот фракций C_{16} — C_{20} . Порошок мыла содержит от 60 до 88 % жирных кислот, 18—19 % золы, не более 1—3, а в ряде случаев 0,3—0,4 % влаги. Кислотное число 194—196, $t_{\text{пл}} = 200$ —280 °С, температура застывания (титр) жирных кислот 36,5—38 °С. Оптимальный размер частиц мыльного порошка 0,37—0,83 мм. С увеличением скорости волочения целесообразно уменьшать размер частиц. Смесь из мелких и крупных фракций предпочтительнее смазки, состоящей из частиц одной фракции [153]. Для повышения смазочной эффективности целесообразно применять смеси легкоплавных и тугоплавных мыл.

Травленную катанку можно волочить с применением мыльной стружки, катанку после механического удаления окалины — с мыльным порошком, состоящим из 80 % мелких и 20 % крупных (до 2—5 мм) фракций. Кальциевое мыло с добавкой извести или графита в этом случае эффективнее порошка натрового мыла.

Для грубо-среднего волочения углеродистой проволоки, стали Г2С, ГСМТ используют порошок натриевого мыла (на известковом или бурированном подслое), для канатной проволоки из стали 55,70 — порошок натриевого мыла с добавкой 10 % стеарата натрия (или 15—18 % талька), либо для высоких скоростей волочения — 7 % MoS_2 , для заготовки гвоздильного производства диаметром 3,5 мм и выше с известковым подслоем к мылу добавляют 25 % молотой гашеной извести.

Используют синтетическое мыло, полученное из СЖК фракций C_{17} — C_{20} , для волочения углеродистой проволоки — натриевое мыло СЖК с добавкой 20 % мела, для проволоки диаметром свыше 3,5 мм иногда применяют смазку ТВС-2/0 и ее разновидности. Рекомендуются также «мыльный плав», СВС-1, СВС-10, СВС-17, ИС-10, СВТ и СВЛ-34 (по ТУ — 18 УССР 986—74), для низкоуглеродистой стали — СВС-20, среднеуглеродистой — ТС-21. Для грубого и среднего волочения стали с медным и бурированным подслоем рекомендуется смазка СВТ, для грубого, среднего и тонкого волочения при известково-солевом и бурированном подслое — СВЛ-3 [348, 349].

Указанные смазки увеличивают стойкость инструмента и снижают силу волочения по сравнению с порошком хозяйственного мыла и обеспечивают устойчивое волочение при повышенных скоростях. Для низких скоростей волочения углеродистой проволоки можно использовать смесь препаратов «Новость» с пудрой нитрита натрия (1 : 1).

Для тяжелых условий волочения, особенно при волочении сталей с высокими механическими свойствами, высоколегированных сталей иногда используют подмазочные покрытия цинка, меди, кадмия, наносимые методом электрохимического осаждения, а также освинцование в расплаве свинца с последующим омыливанием или подачей натуральных или растительных масел. В разное время использовались нанесение графита на пленку олифы, смазки на клеевой основе, содержащие крахмал, декстрин, или смазки с загустителями (желатином). Бунты нержавеющей стали погружают в ванну, содержащую графит, малярный клей (на основе крахмала) и воду (1 : 1 : 4), затем подвергают сушке до полного удаления свободной влаги.

Для волочения проволоки из высоколегированных и в частности нержавеющей сталей получили также распространение смеси порошка натриевого мыла

с серным цветом (2 : 1 или 3 : 1), наносимые на известково-солевой подслои; 80 % порошка «Новость», 10 % серы и 10 % графита.

При волочении композитного материала к мылу добавляют 1—3 % сернистого молибдена. С увеличением диаметра проволоки содержание MoS_2 увеличивают, однако избыток его сверх 8—10 % может ухудшить смазку.

При волочении прутков из углеродистой стали применяют минеральные (индустриальное 45, цилиндриное 52) и растительные (хлопковое, сурепное) масла; сульфозфрезол; консистентные смазки — солидол, ланолин, тавот, животное сало, мылонафт, битум; твердые углеводороды — озокерит, церезин, парафин (в парафин рекомендуют вводить 5—10 % растительного или животного жира); смазки с наполнителями — смеси сурепного масла или сульфозфрезола с гашеной известью (1 : 3); минерального масла с известью и графитом (1 : 1 : 1), мела, хозяйственного мыла и воды (1 : 1 : 1); смеси, %: 20 эмульсола, 15 сульфозфрезола, 10 мыла, 2 талька и 35 воды; 60 технического вазелина с 10—20 мыла и 30—20 графита; 62 солидола, 30 талька, 4 серы и 4 графита.

Для прутков из легированных сталей применяют смесь солидола с 25 % графита. Иногда к смазке добавляют присадку КС в качестве активатора [338]. Предлагается также обработка в растворе растительного соапстока, содержащем 3—4 % мыла, при 60—80 °С и последующей сушкой на воздухе; ее же используют при калибровке [343].

Нержавеющую сталь с оксидированной поверхностью подвергают волочению с мыльным порошком, при волочении высоколегированных сталей и сплавов в мыло добавляют до 1 % серного цвета.

При калибровке сортовых профилей используют легкие минеральные, растительные масла, мыльный порошок, консистентные смазки, регенерированное масло И-45А самостоятельно и в смеси с 40—60 % мазута; в последнем случае температура смазки должна составлять 80—90 °С [343].

В различных условиях при волочении прутков и проволоки использовались такие пастообразные консистентные и масляные смазки, как смесь этиленцеллюлозы (20—40 %) с дибutilфталатом, каприловая, лауриловая, пальмитиновая и стеариновая кислоты, изобутиловый спирт, цетилацетат, дибutilфталат, окисленный петролатум, окисленный церезин, торфосало, сульфированный кашалотовый жир, смесь олеинового и цетилового спирта (1 : 1), термоуплотненное льняное масло, очищенный вазелин, смесь хлорпарафина с 30 % велоситового масла, смеси 60 % масла индустриальное 45 с 35—40 % битума № 5 и 0—5 % петролатума; смесь 4—5 % натрового мыла с 25—50 % ржаной муки и 0,5 % серной кислоты (остальное вода), а также порошки стеаратов калия, алюминия, натрия, магния, кобальта, цинка, дисульфида молибдена, алюминиевого мыла с 2 % MoS_2 , тефлона, цианомида [119]. По технологичности и загрязненности рабочих мест сухие смазки предпочтительнее густых.

Для горячего волочения специальных сталей используют смеси солей, %: 1) 30,7 KCl, 17,1 NaCl, 52,2 LiSO_4 ; 2) 50,5 KCl, 49,5 ZnSO_4 ; 3) 50,1 KCl, 49,0 ZnSO_4 , 0,9 K_2CrO_4 ; 4) 31,7 KCl, 13 NaCl, 55,3 CdCl_2 ; 5) 44,4 KCl, 13,4 NaCl, 42,2 MgCl_2 ; 6) 38,1 KCl, 13,2 NaCl, 48,7 MgCl_2 [119]; природный обезвоженный карналит, а также маслографитные и воднографитные смазки, содержащие, [%]: 1) 80 масла И-20А и 20 графита; 2) 10—15 жидкого стекла, 35—40 графита с водой; 3) 19 хромовокислого калия, 25 графита, 6 талька, 0,1 ОП-7 с водой; 4) 11 буры, 27 графита, 7 талька, 0,1 ОП-7 с водой [119]; две последние применяют также для волочения титана при 650—680 °С.

Смазки для мокрого волочения стальной проволоки

При обработке углеродистых и легированных сталей используют 0,4—0,6 %-ные водные эмульсии натриевого и калиевого мыла, 5 %-ную эмульсию олеата натрия, эмульсии мыл с добавкой индустриального масла, а также эмульсии, полученные путем растворения продуктов, образующих мыла в процессе варки, например, олеиновой кислоты и соды (табл. 54). Олеиновую кислоту иногда заменяют СЖК фракции C_{17} — C_{20} .

Вода для эмульсий не должна содержать свободной щелочи, иногда используют дистиллированную воду. Повышение температуры эмульсии до 80 °С обычно снижает силу волочения.

СОСТАВ ЭМУЛЬСИИ ДЛЯ МОКРОГО ВОЛОЧЕНИЯ
СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ [153, 351, 352]

№ пп.	Подсмазочное покрытие	Содержание компонентов, г/л							прочие компоненты
		мыльная стружка	масло индуст. 20	масло вазелиновое	оленовая кислота	сода кальцинированная			
1	Известкование, меднение	0—6	9,2	—	5,8	1,7,	—	—	
2	То же	6,0	—	6,0	4,0	1,0	—	—	
3	Фосфатирование, цинкование	4—5	5—6	—	3—4	1,0—1,5	0,3 (Пеногаситель)	—	
4	Меднение	5—6	—	4—5	3—4	—	—	—	
5	Латунирование	0,5—1,0	—	4—5	6—8	—	—	—	
6 ^{*3}	То же	5,5±0,5	—	4,5±0,5	4,5±0,5	—	—	—	
7 ^{*4}	Нет данных	—	7,5 ^{*1}	—	12,5 ^{*2}	—	6,25 (Триэтаноламин)	—	
8	То же	5	—	—	—	—	10 (Ализариновое масло)	—	
9	»	4	8	—	8	—	—	—	
10	»	4	—	—	—	—	5 (Бентонитовая глина)	—	
11	»	—	10	—	10	—	5 (Триэтаноламин)	—	

*1 Возможно использование вазелинового масла или Ц-24.

*2 Осерненные олеиновая кислота или СЖК.

*3 Смазка СТП-70.

*4 Эмульсия В-5.

Для волочения кардной и кабельной омедненной проволоки используют эмульсию 0,8 %-ной мыльной стружки и 0,2 %-ного минерального масла, для тончайшей проволоки — 0,7 %-ную эмульсию СТП1-70 (см. табл. 54). Рекомендуются добавки 0,03—0,05 % MoS_2 , а также муки, например, эмульсии, содержащие (г/л): 35—40 ржаной муки, 20 мыла, 0,1—0,5 серной кислоты. Для проволоки диаметром свыше 1 мм — 60 муки, 30 мыла, 30 серной кислоты; последнюю протяжку проводят с вазелиновым маслом для предотвращения коррозии проволоки.

Для волочения кардной проволоки из инструментальных сталей 70 и У7А рекомендуются 1—2 %-ная эмульсия КОС-1 [351] или Олон. Эмульсию КОС-1 изготавливают по ТУ 38-30749—74. Это однородный твердый продукт светлосерого цвета с хорошей эмульгирующей способностью (кислотное число — не более 0,2, гидроксильное — не менее 10, число омыления 3—10, температура вспышки 140 °С, содержание воды не более 3 %). Образующаяся в теплой воде любой жесткости молочная эмульсия обладает антикоррозионным действием, не имеет запаха. Эмульсия склонна к пенообразованию и не может применяться в сочетании с известкованной поверхностью, для которой рекомендуется эмульсия на основе смазок КОС-1 и Дисон (ТУ 38-30751—74).

Смазка Олон (ТУ 38-304739—72) используется в виде 0,8 %-ной эмульсии при волочении тончайшей латунированной проволоки для металлокорда; эмульсия белого цвета, антикоррозионная, устойчива на протяжении 10—12 месяцев, эмульгирование возможно в воде любой жесткости.

При волочении наитончайшей проволоки в алмазных волоках используют мыльные эмульсии (иногда с небольшим количеством активных добавок). Для микропроволоки диаметром 70—31 мкм используют смесь мыла с графитом или серой, предлагается эмульсия на основе полиэтилена, позволившая увеличить скорость волочения с 5—6 до 25—30 м/с.

Для высоколегированных сталей, нихрома применяют хлорированные минеральные масла, например, смесь 60—70 % хлорпарафина с велоситовым маслом на известково-солевом подслое.

Фирма Грюна для станов, работающих со скольжением, рекомендует в качестве смазки жидкость марки R88. При использовании мыльных эмульсий рекомендуется добавка пеногасителя Prämol ZM769.

Смазки для волочения проволоки и прутков из цветных металлов и сплавов

Перед холодным волочением проволоку и прутки подвергают травлению, промывке, нейтрализации (осветлению) и пассивированию (заготовки ответственного назначения скальпируют), известкуют в известково-солевых ваннах или наносят фосфатные либо металлические подсмазочные покрытия (меднение или цинкование гальваническим путем). Медь и сплавы на основе меди после нейтрализации омыливают в 1 %-ном растворе хозяйственного мыла при 70—80 °С. Для титановых сплавов используют меднение и фосфатирование, рекомендуют перед сухим волочением наносить фторидно-фосфатное покрытие (табл. 55). Никель известкуют без предварительного удаления окислов, марганцовистый никель, хромель подвергают известкованию после травления. В ряде случаев, особенно при волочении полуфабриката, подсмазочные покрытия не наносят.

Для металлов, склонных к налипанию на инструмент (титан, тантал, цирконий и их сплавы) рекомендуют наносить металлический подслои цинка, олова, меди или кадмия толщиной до 0,1 мм из солевого электролита или слой цинка из расплава цинковых солей с последующим фосфатированием [354].

При волочении на *станках без скольжения* проволоки большого диаметра и прутков используют сухие или консистентные смазки, иногда смеси масел различной вязкости и смеси мыльного порошка и минеральных масел с графитом и серой. При волочении полуфабрикатов с высокой склонностью к налипанию применяют мазут, тяжелые минеральные масла с добавкой растительных или животных жиров, кислот жирного ряда.

Для прутков из труднодеформируемых металлов используют ОПСК.

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ СОСТАВЫ ВАНН И РЕЖИМЫ НАНЕСЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ТИТАНОВЫЕ СПЛАВЫ [353]

Состав ванн химической обработки, г/л	Режим обработки		
	рН раствора	темпера- тура, раство- ра, °С	время м ин
50 Na_3PO_4 , 20 $\text{KF} \cdot \text{HF}$, 19 мл/л HF (40 %-ного)	5	70	10
50 ZnHPO_4 , 50 $\text{KF} \cdot \text{HF}$	3	70	10
20 ZnSO_4 , 95 натрия лимоннокислого, 150 NH_4F , 0,5 столярного клея	2	50	20

В зарубежной практике рекомендуют применение минеральных масел с добавками синтетических восков и смол. В США для волочения алюминиевого полуфабриката используют мыльный порошок с добавками, минеральное масло, содержащее до 1 % серы, в ФРГ — смазку, содержащую окислы щелочных металлов, фосфорный ангидрид и глинозем, иногда борный ангидрид; во Франции — эмульсии, содержащие спермацетовое и рапсовое масла [356].

Для волочения алюминия и сплавов на его основе используют мыльный порошок: смеси, %: 10—15 велоситового масла, 86,8—80,8 консистентной смазки по ГОСТ 1631—61, 3—4 хлорпарафина, 0,2 триэаноламина; 65 керосина, 20,7 стеарата кальция, 7,8 олеиновой кислоты, 6,5 триэаноламина [последняя смесь, % (объемн.), [366] применяется для грубого волочения]; 52 технического сала, 16 мыла хозяйственного, 22 воды (компаунд СМ); масла Ц-52 или Ц-38 с 2—5 олеиновой кислоты; 95—80 трансформаторного масла, 5—20 олеиновой кислоты; 95 масла И-20А или И-12А с растительного масла (смазка № 21), или 1—2 стеарата алюминия или мыльного порошка, а также солидол; масла И-45А; Ц-52; Ц-38; олеонафт; стеариновую кислоту; цетиловый спирт; касторовое масло. Для среднего и тонкого волочения используется водная эмульсия, содержащая, % (объемн.): 5 масла веретенного, 3 олеиновой кислоты, 0,15 серы, 0,5 триэаноламина [366].

Для замочки используют 5 %-ные эмульсии хозяйственного мыла с добавкой 2 % порошка серы, либо 1—2 % графита, либо 1—2 % стеарата алюминия. Для сухого волочения нашли применение стеараты калия, кальция, магния, цинка, меди, железа, препарат «Новость».

Волочение проволоки диаметром свыше 3,2 мм из алюмеля проводят со смесью, состоящей из 80 % растительного масла, 10 % графита и 10 % мыльного порошка, для меньших диаметров со смесью мыльного порошка и 10 % серы. Для волочения хромеля диаметром от 7,2 до 0,5 мм используют смесь 75 % мыльного порошка, 10 % серы и 15 % графита [119, 154, 357].

Для волочения сталеалюминиевой проволоки используют смесь 49 % графита, 25 % полимеризованного хлопкового масла, 25 % масла Ц-52 и 1 % ДС-РАС [427], для волочения прутков из алюминия и дуралюмина используют мазут, из сплава АМц 9-2 — смесь 60 % нигрола и 40 % велосита.

Для волочения меди и сплавов на основе меди используют мыльный порошок, смесь мыльного порошка с препаратом «Новость» (1 : 1), или с 0,3—0,5 % нитрита натрия и 0,05 % полиметилсилоксана ПМС-200, парафин, мазут, солидол, олеиловый или цетиловый спирт, олеиновую кислоту, вазелиновое масло с добавкой 1 % олеиновой кислоты, стеарокс — 6 [331, 366].

Медные, медноцинковые сплавы и бронзы, а также цинк обрабатывают с подачей трансформаторного масла, И-20А или И-12А, индустриального 45, иногда с добавкой 10 % растительного масла, медноцинковые — со смесью масла индустриального 45 с керосином (1 : 1). При волочении меди, латуни, бронзы ОЦ4-3 используют парафин с добавкой 5 % стеарина, для волочения некоторых сортов

латуни и бронзы БрА5 к керосину добавляют 4 % олеиновой кислоты, для цинка используют смесь канифоли с 10—70 % технического воска или с 10 % стеарина.

Оловянофосфористые и алюминиевые бронзы обрабатывают с касторовым маслом; бронзы, нейзильбер, латунь, монельметалл со смесью минерального и растительного масел (4 : 1)

При волочении прутков из меди, латуней Л62, ЛС59-1 используют водную эмульсию, содержащую, %: 1,6 мыла, 0,8 масла индустриальное 45, 0,4 олеиновой кислоты. Для волочения латуней ЛЖМц 59-1, ЛС63—3, бронзовых сплавов БрОЦ 4—3, БрКМц 3—1, БрОФ 6,5—0,4, монельметалла используют смесь минерального и растительного масел (4 : 1), для бронзы БрБ2 — масло индустриальное 45 с 10 % серного цвета, нигрол; для кадмиевой меди — растительное масло.

На прутки монельметалла, бериллиевой бронзы, а также *никеля* наносят подсмачивочное покрытие из 8—15 % раствора столярного клея с последующим высушиванием в печи в течение 30—60 мин при 60—90 °С и волочением с маслом Ц-38, Ц-52 или ОПСК.

Для проволоки всех размеров из никеля и его сплавов, константана используют мыльный порошок влажностью не выше 1 %, из марганцовистого никеля диаметром 1,5—7,2 мм — мыльный порошок с 10—30 % серы, из константана, сплавов НК, НМЖМц 28—2,5—1,5, НМЦ 65—20 — смесь 80 % масла И-40А, 10 % растительного масла и 10 % серного цвета, либо масло И-45А с 20 % растительного масла. Для сплавов никеля используют также масло И-40А с добавкой 5—10 % технического сала, 2—3 %-ную эмульсию смазки СП-3. Рекомендуют смесь натриевого мыла с 8 % MoS_2 и 15—20 % извести, которая эффективна при отсутствии подсмачивочного покрытия и предотвращает слипание витков проволоки при отжиге. Применяют препарат «Новость», а также его смесь с мыльным порошком (1 : 1); растительное масло с добавкой 10 % серы; масло И-45А с 10 % растительного масла и 10 % глютенового клея; масло И-45А с 11 % сульфидного клея и 27 % воды, тавот с 5 % графита. зеленое мыло с 5 % графита [359, 363].

Платину, палладий, золото, серебро, позолоченную медь обрабатывают после погружения в расплавленный пчелиный воск, иногда с добавкой 5—10 % сурепного или рапсового масла, используют также мыло касторовое и абрикосовое масло, порошок «Новость» [357, 359].

При холодном волочении титана и его сплавов применяют графит, графит с 2 % MoS_2 , графит с серным или мыльным порошком (1 : 1), смесь графита, серы и мыльного порошка (1 : 1 : 1), мыльный порошок, мыльный порошок с 2 % MoS_2 , препарат «Новость», а также его смеси с 10 % серы и 10 % графита или с 5 % графита и 2 % MoS_2 или только с 2 % MoS_2 . Смазки с MoS_2 лучше удерживаются на фторидно-фосфатном подсмачивочном покрытии. Для сплавов СТ4, ВТ16 применяют смесь касторового масла с мыльным порошком, иногда используют олифу с 20 % графита КТ2, натуральный воск без добавок или с 10—20 % стеарата алюминия.

Для волочения *титана* при повышенных температурах рекомендуют препарат ЭЛПВ, при 650—680 °С — пастообразную смазку, содержащую, %: 36—25 графита, 11—13 буры, 10—15 сернокислого кадмия, 6—5 микроталька, 1—2 сульфанола алкилбензосульфата, 37—43 воды.

Для *вольфрама* используют коллоидный графит, волочение проволоки диаметром 3,0—1,5 мм на цепных станах при температуре свыше 1000 °С проводят с порошком оконного стекла, а диаметром 3,25—0,7 мм и температуре 800—1000 °С — стекло 185 В₃ с добавкой 10—15 % MoS_2 [367]. Смазки в виде суспензии наносят перед нагревом, волоку подогревают до 500—600 °С.

Для обработки *молибдена* используют коллоидный графит и техническое сало. При волочении на воздухе рекомендуют смеси, %: 23 графита, 67 эпоксидной смолы ЭД5; 10 толуола или 5 графита и 5 MoS_2 , 90 жидкого стекла. При волочении в вакууме используют смесь, %: 25 MoS_2 и 75 пленкообразователя К41. Волочение проволоки из *ниобия* осуществляют с воском, парафином, маслом И-45А с 5—10 % графита. Для обработки *хрома* используют расплавленную эвтектику свинец—сурьма при 400—450 °С [367].

ВОДНЫЕ ЭМУЛЬСИИ ДЛЯ ВОЛОЧЕНИЯ ПРОВОЛОКИ ИЗ
ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ НА СТАНАХ СО
СКОЛЬЖЕНИЕМ [153, 154, 357, 359]

Металл или сплав	Диаметр проволоки	Состав смазок, %				
		мыло 60 %-ное	масло расти- тельное	олеино- вая кислота	прочие	сода кальци- нирован- ная
Медь	4,50—0,10	1,5	4,5	—	—	—
	0,99—0,10	1,2	2,5	—	—	—
	0,99—0,10	1,0	0,6	—	—	—
	0,09—0,01	2,0	—	—	—	—
Латуни	4,00—0,60	—	—	—	1—2 пасты Ц4	—
	0,50—0,10	2,0	—	—	—	—
Медные сплавы	Нет данных	—	—	0,4—0,8	0,4—0,8 мине- рального мас- ла	0,2—0,4
		1,0—	1,0—	—	—	—
		1,5	1,5	—	—	—
		0,8	0,3	0,5	—	0,05
		0,3—	0,08	0,2—	—	0,08 *1
		0,6	—	0,45	—	—
		0,4—	—	0,1	0,2 минераль- ного масла	0,08 *1
		0,7	—	—	—	—
		2—4	2—4	—	—	—
		1,2	—	—	3,0 сала тех- нического	—
Алюминий и его сплавы	1,0—0,40	3,0	3,0	—	10 сала тех- нического,	—
		3,0	—	—	1—2 керосина	—
		0,39—0,20	3,0	—	9 сала технич., 0,5 керосина	—
Никель и его сплавы	Разные диаметры	0,19—0,10	—	1,5	—	—
		—	1,2	0,2	—	—
		1,2	0,2	—	—	—
		0,6—	0,2	0,4—0,8	—	0,9 *2
		1,2	—	—	1,2 минераль- ного масла	0,6
		—	—	1,2	1,0 минераль- ного масла	—

*1 Или 0,04 % каустической соды. *2 Каустическая сода.

При волочении проволоки на станках со скольжением применяют эмульсии натриевого мыла, а также мыльно-масляные и масляные эмульсии с различными добавками (табл. 56), 4—5 %-ные эмульсии СЖК для тонкого и 2—3 %-ными для тончайшего волочения. При волочении проволоки относительно крупных размеров из меди и никелевых сплавов применяют также 5—10 %-ную эмульсию пасты К-30, содержащей 58—68 % рапсового или другого растительного масла, 2,5—3,0 % сухого едкого натра и 39—29 % воды [331]. Для волочения меди и сплавов на основе меди используют 5 %-ный раствор олеата натрия, 5 %-ную эмульсию пасты СМ, содержащую 40 % технического сала, 20 % хозяйственного мыла, 40 % воды; 1 %-ную эмульсию зеленого мыла, 1,5—8 %-ную эмульсию пасты Ц1, содержащей 83 % растительного масла, 17 % кальцинированной соды, 1—8 %-ные растворы пасты Ц4, содержащей 57 % минерального

масла, 29 % олеиновой кислоты, 14 % кальцинированной соды [154], а также эмульсию, содержащую 1,3—2,0 % масла Ц-38 и 1,3 % мыла.

Для волочения проволоки из алюминия малых диаметров используют эмульсию, содержащую 9 % масла И-20А, 1,5 % олеиновой кислоты, 0,5 % триэтанолamina, для цинка используют 3,5—4,0 % -ную эмульсию пасты Ц4.

При волочении малопластичных металлов и сплавов в эмульсии добавляют коллоидную суспензию серы. Для волочения драгоценных металлов используют мыльные эмульсии [357]. Для тончайшего волочения цветных металлов используют 2 % -ные мыльные эмульсии, приготовленные на мягкой воде из мыла, не содержащего щелочей, кислот, смол.

Смазки для волочения труб

При безоправочном волочении углеродистых и низколегированных сталей используют в основном мыльный порошок, водные мыльные, масляные и мыльно-масляные эмульсии, подогретые до 40—70 °С, а также жидкие масла и консистентные смазки. Широко применяют омыливание фосфатированных труб в 4—10 % -ном мыльном растворе, иногда с добавкой до 0,15 % кальцинированной соды при температуре 55—60 °С. Используются также следующие эмульсии: 6—9 % -ная смазка ТМ-1 после полного омыливания при температуре 40—65 °С; 5—7 % -ная омыленных кубовых остатков СЖК фракции С₂₀ и выше при температуре ванны 60—70 °С; 20 % -ная мылонафта; жирных кислот (ЖК) с содержанием 2—6 % общего жира и 2—5 % мыла; омыленных ЖК с содержанием 4—7 % общего жира и 1—5 % триэтанолamina; 10—30 % -ная неомыленных ЖК фракции С₅—С₂₀; соапстоков светлых растительных масел в смеси с натриевым мылом, полученным при омылении ЖК каустической содой; омыленных ЖК, содержащая 3—7 % общего жира, 2—6 % мыла; 1—2 % триполифосфата натрия, 0,2—1,0 % талька или 4—8 % общего жира, 3—7 % мыла, 1—5 % буры при температуре ванны 60—80 °С, а также хлорпарафин и порошок мыльного клея.

При волочении труб больших диаметров применяют тавот, торфяное сало, смесь торфяного сала с индустриальным маслом (до 45 %), а также смеси, %: 60—75 индустриального масла, 20—35 битума № 5, 5 петролатума; 60 индустриального масла и 40 битума № 5; 75 индустриального масла и 25 нигрола; мыльный порошок с известью.

При волочении без промежуточных термических обработок толстостенных и нормальных труб средних диаметров используют смазку ИП типа солидола, состоящую из минерального масла с добавкой 10—20 % кальциевого мыла и 1,5—8 % воды. При волочении тонкостенных и нормальных труб малых и сверхмалых диаметров используют эмульсию, состоящую из 8 % мыла, 2 % олифы растительных масел и 2 % олеиновой кислоты [360].

При волочении капиллярных труб применяют натуральные и гидрированные касторовое масло, хлорпарафин, керосин с добавками серы; использовались в разных условиях гидрированные или термоуплотненные растительные масла, смесь алюминиевого или кальциевого стеаратного мыла с известью (на освинцованной поверхности), графит с мелом и водой или жидким стеклом, водные и масляные графитовые суспензии, компаунды (содержащие графит, тальк, каолин, бентонит, окись кальция, окись цинка, окись свинца, линотоп, слюду, мел, серный цвет, сернистый молибден, порошки свинца, цинка, меди) [119, 331].

При оправочном волочении углеродистых и низколегированных сталей, помимо мыльного раствора, применяют 8—10 % -ную водную эмульсию смазки ТМ-1, 8—12 % -ную эмульсию омыленных кубовых остатков СЖК, хлорпарафин (при волочении толстостенных труб малых диаметров на длинной оправке и деформируемом сердечнике), термоуплотненное касторовое масло, компаунды.

Раздачу труб производят с подачей касторового масла. При безоправочном волочении нержавеющей труб после оксалатирования их погружают на 5—10 мин в водный раствор, содержащий 5—15 % хозяйственного 60 % -ного мыла и до 0,1 % кальцинированной соды или 58—60 % мыла и 8—10 % технической соды при температуре ванны 50—70 °С; на омыленную поверхность иногда

СОСТАВЫ ВОДНЫХ ЭМУЛЬСИЙ ДЛЯ ВОЛОЧЕНИЯ ТРУБ
ИЗ НЕКОТОРЫХ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ [154]

Материал труб	Содержание компонентов, %			
	мыло	масло машинное	олеиновая кислота	сода кальцинированная
Медь и лагуни ($d < 50$)	1,6	0,8	0,4	—
То же ($d > 50$)	1,6	1,2	2,0	—
Медь и латуни с высоким качеством поверхности	8—10	2—3	1—2	0,2
Мельхиор	2	1	0,5	—
Сплав Л96 *1	0,3—0,8	—	0,1—0,4	0,04

*1 Сплав используют для изготовления радиаторных труб (в состав эмульсии входит 0,1—0,4 % растительного масла).

дополнительно наносят касторовое масло. Используют также смеси, %: 70—80 мыльного порошка с серным цветом; 25 графита, 50—65 ланолина и 10—25 мела; графита с мелом (1 : 1); 10 касторового масла, 40 слюды и 50 жидкого стекла, хлорпарафин; смесь 70—75 хлорпарафина с мыльным порошком, мыльный порошок, иногда с 2—5 % серы.

Рекомендуются [360] легко удаляемые с поверхности труб следующие смеси, %: 85 дибutilфтолата и 15 мыла; 40 талька, 28 масла компрессорного Т, 20 поваренной соли и 12 ОП-10; 30 талька, 45—30 И-15А, 20 поваренной соли и 20 ОП-10. Их можно использовать и для волочения титана.

При многопроходном волочении труб из цветных металлов и сплавов применяют мыльно-масляные эмульсии (табл. 57), а также эмульсии смазок ТМ-1, КС. Смазка КС — прозрачная жидкость цвета машинного масла и примерно такой же вязкости, жирностью до 97 %. Ее изготавливают из отходов целлюлознобумажного и масложирового производства; используется в виде 3—5%-ной водной эмульсии с добавкой 0,1—0,2 % щелочи. Трубы выдерживают в эмульсии 3—4 мин при температуре ванны 70—80 °С. Эмульсия смазки КС позволяет повысить стойкость инструмента по сравнению с мыльно-масляными эмульсиями, особенно при волочении труднодеформируемых сплавов [158]. При волочении труб больших диаметров применяют смазку СП-3.

При бухтовом волочении медных труб на плавающей оправке для внутренней поверхности используют касторовое масло, олифу, смеси касторового масла с маслом Вапор Т (1 : 1), 70 % масла Ц-24 и 30 % мыльного порошка. Для наружной поверхности используют смеси масла Ц-24 с добавкой 7 % олеиновой кислоты или 5 % мыльного порошка, 95 % масла Вапор Т и 5 % олеиновой кислоты, а также легкие минеральные масла. Для наружной и внутренней поверхностей при заготовительном волочении и для смазки оправок вертикальных барабанных станов рекомендуют смазку из 85 % масла И-20А и 15 % ЖК, для латуни — эмульсию олеиновой кислоты с добавкой нитрида бора, для медноникелевых сплавов — индустриальное масло с добавкой древесных опилок. Для замочки медных труб перед бухтовым волочением используют мыльные эмульсии, содержащие 0,4 % жиров [361, 362].

За рубежом для наружной поверхности медных труб применяется смазка, состоящая из минерального масла с добавкой специальной присадки (6 %), для внутренней поверхности используют густую сиропобразную смазку с добавкой синтетических веществ и пастообразную органическую смазку с добавкой пальмового масла; 5—8 %-ный водный раствор последней смазки [362].

Для волочения алюминиевых и дуралюминиевых труб широко применяют масло Вапор Т, а также мазут; рекомендуется смазка ЛЗ—215, которая пол-

ностью выгорает при отжиге, снижает силу волочения по сравнению с маслом Вапор Т, смывается водой при температуре 50—70 °С [356].

При бухтовом волочении используют масло Вапор Т; с понижением температуры к нему добавляют веретенное масло в следующем количестве:

Температура, °С	25	20	15	10
Содержание веретенного масла, %	0	10	18	29

Рекомендуются также смазки ВМ-17 и ВМ-25, содержащие 70—95 % индустриального масла с загустителем (полиизобутиленом П-20 или П-100), которые при сгорании не дают коксового остатка.

Трубы из никеля и его сплавов после оксалачивания омыливают в течение 2—3 мин в 12—18 %-ной водной эмульсии жирных кислот при 40—50 °С, для труб тонкостенных и малых диаметров применяют 1,7—2,5 %-ную эмульсию жирных кислот, для сварных труб — медицинское вазелиновое масло.

12.6. Смазки для прокатки труб

При горячей обработке бесшовных труб для смазки длинных оправок используется 20—30 %-ный водный раствор солевой смазки (иногда с добавкой 0,6—1,2 % гашеной извести в виде известкового молока). Применявшиеся ранее масляно-графитовые смеси и смеси барды с графитом значительно уступают солевым смазкам как по антифрикционной эффективности, так и по санитарно-гигиеническим условиям.

Перед раскаткой труб на короткой неподвижной оправке внутрь переднего конца гильз вводят порошок поваренной соли.

Перед прошивкой труб из труднодеформируемых сплавов (например, ХН32Т, ХН78Ю, ХН45Ю, ХН70Ю) в зацентровочную полость заготовки вводят штабик из стекла 124 [164].

При холодной прокатке на станах ХПТ углеродистых и низколегированных сталей для смазки оправок используют следующие смеси, %: растительного масла, эмульсола или мылонафта с 10 талька; 40—45 касторового или хлопкового масла с 60—55 талька; 50 касторового масла, 15 талька и 35 хлористого аммония; графита с индустриальным маслом (1 : 1); 95—90 осерненного касторового или хлопкового масла (с содержанием серы 2—4 %) с 5—10 окиси цинка, а также натуральное касторовое масло. Для труб малых размеров используют солидол и индустриальное масло.

Для наружной и внутренней поверхностей труб используют [360] водные эмульсии омыленных жирных кислот, содержащие, %: 4—8 общего жира, 3—7 мыла, 1—5 буры; до 7 общего жира, 2—6 мыла, 1—2 триполифосфата натрия, 0,2—1,0 талька. Температура ванны 50—70 °С, время погружения 5—10 мин. В эмульсии вводят также этаноламины.

При прокатке труб из нержавеющей сталей для оправок ХПТ используют следующие смеси, %: 55—60 растительного масла и 45—40 талька; 80—90 глицеринового эфира ОПСК с гудроном и 10—20 талька (перед нанесением смазку разогревают до 40—50 °С); 30—40 хлопкового или касторового масла, 28—10 хлористого аммония, 40—50 талька, 2—5 медного купороса; 70—80 касторового масла и 20—30 окиси цинка. Последнюю смазку используют и для оправок станов ХПТР. Для оправок станов ХПТР используют также смесь, содержащую 35—45 % хлорированного парафина, 45—30 % ОП-10, 2—4 % триэтаноламина, 15—20% окиси цинка.

На наружную поверхность труб на станах ХПТ и ХПТР подают масло И-20А или И-12А или касторовое (иногда с добавками 30% хлористого аммония, 5% серы или 30% талька).

Для смазки и охлаждения калибров используют 10 %-ную эмульсию эмульсола Э2 (Б), содержащую 0,1—0,2 % щелочи, а также эмульсию с 2,7—3,0 % мылонафта и 0,05 % кальцинированной соды [368]. Используют и 0,5—2,0 %-ную эмульсию омыленных на 50—60 % ОПСК.

При прокатке труб из цветных металлов внутреннюю поверхность заготовок смазывают смесью из 20 % графита и 80 % смазки СП-3. Дуралюминиевые

трубы смазывают индустриальным маслом. Для охлаждения калибров применяют 20 %-ную эмульсию стандартного эмульсола или 2 %-ную эмульсию смазки СП-3. При прокатке титановых труб эмульсию на поверхность калибров не подают.

Для теплой прокатки нержавеющей стали на осветленную или обезжиренную поверхность труб наносят смеси воды с 20—50 % натриевой или калиевой соли азотной или азотистой кислоты или их смеси с 10 % гидроксида кальция или графита [367].

За рубежом для теплой прокатки нержавеющей стали применяют сложные композиции жидких смазок на основе минеральных масел. В отечественной практике использовались в качестве смазок для наружной поверхности масла И-20А и масло П-28 с добавками ПАВ и для внутренней поверхности смесь 60 % осерненного касторового масла с тальком. Эти смазки эффективны при отсутствии медного подслоя [365].

12.7. Смазки дляковки и объемной штамповки

Основные группы смазок и требования к ним

Смазка должна обеспечить высокую стойкость инструмента, облегчить скольжение металла по контакту, хорошо заполнить гравюры штампа и извлечение готовой поковки из штампа. Стойкость штампов зависит от теплоизолирующих свойств и эффективности смазки.

Смазку наносят до деформации. Необходимо обеспечить сохранность смазочной пленки на протяжении всего процесса. Накопление остатков смазки в углублениях гравюры штампа препятствует получению требуемой формы изделий. При свободной ковке (осадке) основное назначение смазки — теплоизоляция инструмента и уменьшение окисления заготовки при нагреве и обработке. При объемной штамповке газообразные продукты, выделяющиеся в результате сгорания или разложения компонентов смазки, способствуют разделению поковки и штампа. Штамповка сложных по форме изделий невозможна без смазки, способствующей их извлечению и предупреждающей схватывание обрабатываемого металла со штампом.

При горячей штамповке в качестве технологических смазок используют (в чистом виде или с наполнителями) легкие и тяжелые минеральные масла и мазут, водные и масляные суспензии графита, водные растворы солей, сульфитцеллюлозный щелок и сульфитно-спиртовую барду, стеклосмазки.

Водные смазки применяют в тех случаях, когда температура поверхности штампа не превышает 200—300 °С. При более высоких температурах водные смазки не смачивают поверхность штампа и поэтому применяют масляные и маслографитовые смазки, стеклосмазки.

Процессы холодной штамповки отличаются высокими контактными давлениями, большими деформациями (80—90 % за один переход) большим проскальзыванием по контакту, разогревом изделий до 250—300 °С за счет тепла деформации. Перед холодной штамповкой на заготовки наносят подмазочные покрытия. При штамповке углеродистой стали используют в основном фосфатирование с последующим омыливанием; легированные и высоколегированные стали, цветные металлы оксалатируют, анодируют или пассивируют и обрабатывают с применением мыльных и масляных эмульсий, графитовых и масляных смазок, животных жиров, смазок на основе дисульфида молибдена, а также лаков. В некоторых случаях наносят электролитические металлические покрытия, известково-солевые покрытия, заготовки для деталей неотвеченного назначения подвергают желтению.

Смазки для горячей объемной штамповки

При штамповке на молотах повок простой формы и средних по сложности небольшой массы используют водный раствор поваренной соли (от 5 % до насыщенного), для улучшения свойств смазки в раствор добавляют до 5 % азотно-кислого натрия, хлористого бария или хлористого кальция. Для повок слож-

ной конфигурации используют индустриальное масло; водные растворы жидкого стекла (до 10 %) и поваренной соли (до 15 %); сульфитно-спиртовой барды марки КБЖ по ГОСТ 8518—57 (до 15 %); водный раствор КБЖ (до 10 %) с графитом (до 5 %); 10—15 %-ные раствор КБЖ с 5—30 % графита, 2—3 % буры и 0,5 % щелочи. Поковки с труднозаполняемыми элементами обрабатывают с подачей веретенного масла. При очень сложной форме поволоков используют мазут с добавкой графита (3 %) [147, 170, 370].

При штамповке на прессах используют индустриальные масла, чаще с добавками графита, водные растворы КБЖ (2 : 1), сульфитно-целлюлозного щелока по СТУ 27-793—56 плотностью 1,22—1,24 с графитом (2 : 1), суспензии графита в воде (до 40 %) [147].

При штамповке поволоков из низколегированных, а также углеродистых сталей применяют мазут, водный раствор воднографитового препарата АГ-1 (1 ч. на 3—20 ч. воды); водные растворы коллоидно-графитовых препаратов В-1, В-0, ВКГС-0 (1 ч. на 5 ч. воды), ОГВ-50, ОГВ-75 и графитол В-2; перед употреблением ОГВ разбавляют водой в пропорции от 1 : 5 до 1 : 40 и применяют для поволоков с преобладанием процесса осадки, графитол В-2 применяют для поволоков с преобладанием процесса выдавливания (разбавление водой 1 : 7—9).

В различных условиях штамповки применяют битум в чистом виде или с добавками 20—25 % поваренной соли или 10—15 % поваренной соли и 15 % графита либо окиси алюминия; окисленный петролатум с 10 % графита; технический вазелин с 6—8 % поваренной соли и 16 % графита; смесь графита с маслом Ц-52 (1 : 15—30) или сульфитно-целлюлозным щелоком (1 : 3); смесь мазута с древесными опилками; полиалкилгликоли. Для штамповки поволоков массой более 50 кг используют смоченные водой опилки, смеси мазута с веретенным маслом (1 : 1), графита с веретенным маслом (6 : 4); глинистые растворы с добавкой графита [145, 372, 373].

На универсальных ГКШП наиболее эффективны графито-масляные смеси и водные растворы сульфитно-спиртовой барды. На ВАЭе используют водные графитовые суспензии типа Аквадаг, пастообразную смазку типа Fiat ES-390/10 зольностью менее 1,7 %, Укринол-7 [147, 374].

Для штамповки изделий из конструкционных сталей при высоких температурах и нагрузках, изделий сложной конфигурации, штамповки на высокоскоростных молотах применяют масло индустриальное, иногда с добавлением свинцовых белил или 20 % графита, 20—25 %-ную суспензию жидкого стекла и коллоидного графита (5—10 %) в 30 %-ной эмульсии КРПД; 3—5 %-ную водную эмульсию КРПД с 5—7 % поваренной соли (или с 3—5 % серебристого графита), или с 20—25 % жидкого стекла; тетрафлуорэтилен; смеси, %: 20—28 углекислого кальция, 20—23 муравьинокислого кальция, 20—25 графита, до 5 вторичных алкилсульфатов, до 3 минерального масла и воды (остальное); 20 графита и 80 закиси меди; 65 графита и 35 углекислого натрия; пушечную смазку с наполнителями (тальком, графитом, MoS_2 , нитридом бора до 50—60 %); на автоматизированных ГКМ используют 7 %-ную эмульсию смазки Dromus с присадками [374], олеиновую кислоту или пушечную смазку (55—65 %) с 15—20 % MoS_2 и 20—25 % графита.

Дляковки и штамповки коррозионностойких, а также углеродистых и конструкционных сталей применяют смесь мыла с графитом, мыло с добавками MoS_2 и поваренной соли [208]. При изготовлении поволоков из нержавеющей сталей выдавливанием при точной облойной и безоблойной штамповке и штамповке в разъемных матрицах используют водно-графитовые и масляно-графитовые смеси, сухие древесные опилки, мазут [144, 374]. При штамповке изделий из стали 12Х18Н9Т на торец заготовок рекомендуют подавать сухой графит [376]. Для высокоскоростной штамповки нержавеющей сталей можно использовать смеси из 90 % водного раствора олеата натрия и 10 % MoS_2 , или 80 % пушечной смазки, 10 % MoS_2 и 10 % солевой эвтектики ($\text{LiCl} + \text{KCl}$). Штамповку турбинных лопаток из жаропрочного сплава на ГКШП производят с подачей раствора сульфитного щелока, рекомендуется также водный раствор препарата ВКГСО (1 ч. на 5 ч. воды) [376].

Для штамповки высоколегированных, в том числе нержавеющей сталей и тугоплавких металлов (хрома, молибдена, вольфрама, ниобия, тантала), при-

СТЕКЛОСМАЗКИ, РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ
ШТАМПОВКИ [146]

Марка стекла	Обрабатываемый сплав	Операция	Интервал обработки, °С
176а	ВТ1-1	Объемная облойная штамповка	850—1000
209	ВТ3-1	Штамповка выдавливанием	900—1000
252	ВТ3-1	Объемная облойная штамповка	800—980
123, 124	ЭИ787	Объемная безоблойная штамповка, I и II переходы	1000—1100
209+104а *	ХН62МВКЮ	То же	1050—1180
124+209 *	ХН77ТЮР	Безоблойная штамповка выдавливанием	1000—1150

* Смесь с соотношением 1 : 1.

меняют смесь окисленного петролатума и асфальтового битума (1 : 1); окись циркония; смесь окиси алюминия, медных опилок и асбеста; стеклосмазки (табл. 58, рекомендуемая вязкость 100—300 Па·с [146, 377]); смесь 40 % графита и 60 % жидкого стекла, масляный коллоидно-графитовый препарат М21. Две последние смазки, а также стеклосмазки применяют и при штамповке титана.

Для защиты от окисления и выгорания легирующих элементов при нагреве под штамповку применяют покрытия на основе стеклоэмалей. Нанесенные перед нагревом стеклоэмали являются хорошими теплоизоляторами, в ряде случаев они сохраняются на протяжении нескольких переходов и предохраняют металл от окисления и выгорания легирующих элементов при последующей термической обработке.

Для низко- и среднелегированных сталей типа 30ХГСА, низкоуглеродистых сталей 10, 20 рекомендуется покрытие ЭВТ-100Х, для коррозионностойких сталей ЭВТ-100 или ЭВТ-101, для жаропрочных никелевых сталей — ЭВТ-52, ЭВТ-52М, ЭВТ-11-13, ЭВТ-53 (при температуре деформации 1100—1180 °С), для коррозионностойких сталей и жаропрочных сплавов при 950—1200 °С — ЭВТ-10, для тугоплавких сплавов при 1100—1200 °С — ЭВТ-37, при 1400—1500 °С — ЭВТ-51 и ЭВТ-69 [378].

Для обработки жаропрочных сталей и сплавов, титановых сплавов рекомендуются стеклоэмали:

Интервал обработки, °С	700—800	800—850	850—950	950—1050	1050— 1150	1150— 1250
Марка стеклоэмали	76	15,54	36	36,38	4-п	100—105

Для штамповки титановых сплавов рекомендуется эмаль ЭВТ-24 [379], для изотермической штамповки лопаток из сплава ВТ-20 в интервале 850—1050 °С — эмаль ЭВТ-25, в интервале 650—800 °С — эмаль ЭВТ-26 [406]. Для высокоскоростной штамповки титановых сплавов применяют смесь графита, MoS₂ и пушечной смазки [170].

При ковке молибдена применяют стеклоткань, при ротационной ковке прутков — водные коллоидные суспензии графита, при штамповке ниобия — тонкие металлические оболочки, прокладки из мягкой стали, для хрома — оболочки и прокладки из мягкой или нержавеющей стали, при ковке хрома — стеклоэмали, при горячей штамповке вольфрама — коллоидный раствор MoS₂ в изопропиловом спирте [406].

При горячей объемной штамповке легких сплавов рекомендуют [170, 380] термостойкие эмали К-1, К-2, АЭ-8 на основе кремнийорганических смол с до-

бавкой акриловой смолы, этилцеллюлозы и термостойких пигментов. При штамповке алюминиевых сплавов применяется масло Ц-52 с 15—20 % чешуйчатого графита, препараты АГ-1, ВКГС, ОГВ. Для повышения давления газов в штампе рекомендуются добавки нитрата калия и уротропина — до 0,5—1,0 %. Для крупносерийной штамповки на штампах с индукционным подогревом можно использовать смесь ОГВ-50 с 10 % однозамещенного фосфата калия. Применяют смесь, состоящую из 80 % графита и 20 % машинного масла; 15—30 % графита с машинным маслом; смесь графита, керосина и машинного масла (1 : 1 : 1). Поскольку графитовые смазки плохо удаляются с поверхности изделий и накапливаются в полостях штампов, используют также церезин, машинное масло, смесь веретенного масла с маслом vapor (85 : 15), мыльные эмульсии, технический воск. На высокоскоростных молотах используют животный жир или его смесь с олеиновой кислотой (1 : 1) [208, 376, 380].

При жидкой штамповке рекомендуется смесь, состоящая из 82—84 % окиси циркония, 12—13 % патоки, 4—5 % декстрина, разведенная водой [170].

В зарубежной практике рекомендуют вводить в смазку полиэтилен, поливинилхлорид, полистирол, порошки различных металлов, до 25—27 % щелочей [167]; для штамповки ударным прессованием используют сурепное масло с графитом (1 : 1) [399].

Смазки и подсмачочные покрытия для холодной объемной штамповки

Углеродистые стали в основном подвергают фосфатированию. Перед нанесением покрытия обезжиренные и протравленные заготовки нейтрализуют в растворе, содержащем 50 г/л Na_2CO_3 и 10 г/л хозяйственного мыла. Фосфатирование проводят в растворах солей фосфорнокислого цинка, например, содержащем 50 г/л $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$, 2 мл/л H_3PO_4 (плотностью 1,7—1,8), 35 г/л NaNO_3 , 5 г/л NaF в течение 10 мин при температуре ванны 60—65 °С. Кроме того, используют также препарат Мажеф-смесь кислот марганцевой соли ортофосфорной кислоты с примесью фосфорнокислых солей железа $n \cdot \text{Fe}(\text{H}_2\text{PO}_4) \cdot m \text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$. На 1 л воды дают 36—40 г соли Мажеф. Соотношение общей и свободной кислотности должно составлять 7—8 : 1; продолжительность обработки от 5 до 60 мин, температура ванны 96—100 °С. Для ускорения процесса в раствор добавляют около 0,3 г/л CuO . Для выдавливания и редуцирования толщина покрытия должна составлять 12—15 мкм (15—20 г/м²), для высадки и осаживания — до 25—30 мкм [382].

При пониженных требованиях к качеству поверхности изделий и низких степенях деформации заготовки из углеродистых и низколегированных сталей подвергают желтению, а затем известкованию в 20 %-ном растворе гашеной извести при теплой штамповке нержавеющей сталей применяют меднение.

При штамповке выдавливанием сложных по форме деталей покрытие и смазку возобновляют после каждого перехода; на многопозиционных штампах устанавливают специальные позиции для нанесения смазки. При однопереходной штамповке с высадкой при деформациях менее 30—40 % и простой конфигурации изделий смазку после калибровки волочением можно не наносить.

Фосфатированные заготовки иногда обрабатывают без смазки; обычно их подвергают омыливанню в 3—6 %-ной эмульсии хозяйственного мыла, а также используют стеараты щелочных металлов (Т2 или НБ5). При высадке без фосфатирования применяют MoS_2 в виде порошка, пасты или 25—30 %-ной суспензии (для уменьшения расхода к MoS_2 добавляют порошок серы). Сочетание MoS_2 с жирными кислотами обеспечивает высокое качество поверхности изделий.

Для штамповки стали рекомендуются также сульфохлорированные масла; эмульсия эмульсола Э-2 (Б); сульфозрезол; смесь, содержащая, %: 5 натрового мыла, 25 растительного масла, 45 молотого мела, 25 воды (для средней вытяжки); смазки на основе петролатума с добавкой 5 % стеарата кальция, натрия либо олова или 5 % олеата натрия, меди либо олова или 1 % полиметиловой, стеариновой либо олеиновой кислоты; минеральное масло с графитовой пудрой (2 %) либо коллоидным графитом [208]; применяются также смазки на основе пластиков (физоокрилстатат, ВСФ), которые разбавлены на 50 % машинным мас-

лом. При мелкосерийном производстве заготовки покрывают лаком на основе перхлорвинилового смолы.

Легированные стали подвергают оксалатированию, затем омыляют либо наносят лак ХВЛ-21 (в последнем случае инструмент смазывают машинным маслом).

Подсмазочные покрытия на алюминиевых сплавах получают анодированием (анодным оксидированием — образованием на поверхности металла пленки его окислов при электролизе) в растворе серной кислоты при плотности тока 80—100 А/м² и напряжении 11—12 В в течение 15—25 мин при 20—25 °С. Медные сплавы (латуни) пассивируют в растворе, содержащем 150—200 % хромового ангидрида и 75—100 % сульфата аммония при 25—30 °С. После анодирования или пассивирования наносят костный, животный или кашалотовый жир.

При штамповке алюминиевых сплавов используют машинное масло, технический вазелин, смеси окисленного петролатума (50—80 %) с веретенным маслом; 15 % графита с окисленным парафином (или техническим вазелином) и веретенным маслом (1 : 1); 30—50 % воска со скипидаром; мыло с мелом и водой (1 : 1 : 1). Более вязкие смазки применяют для сложных условий штамповки [396, 397].

12.8. Смазки для листовой штамповки, выдавливания и высадки

Основные группы смазок и требования, предъявляемые к ним

Некоторые операции листовой штамповки не требуют применения технологической смазки, однако ряд операций не может быть осуществлен без нее (процессы вытяжки, особенно глубокой, выдавливания, а также вырубки и отбортовки). Между пуансоном и заготовкой трение должно быть достаточно высоким и смазку на эти части контакта можно не наносить. На контакте между матрицей и заготовкой смазка должна в максимальной степени снизить силы трения и обеспечить создание непрерывного и равномерного по толщине слоя. При вытяжке в штампах с вытяжными ребрами смазку наносят на все поверхности, так как в этом процессе происходит скольжение металла и по поверхности пуансона.

Первую вытяжку цилиндрических и конических деталей из тонких материалов рекомендуют проводить без смазки или с малоэффективной смазкой из-за опасности образования гофров; смазку наносят лишь на вытяжные кромки матрицы. При последующих вытяжках смазывают наружную поверхность колпачка или рабочую поверхность матрицы.

Мелкие штучные заготовки при работе на автоматах с бункерной подачей не смазывают из-за опасности слипания в бункере; при этом смазку можно наносить на инструмент.

Материалы, характеризующиеся низкой пластичностью или высокой прочностью при комнатной температуре, обрабатывают с подогревом до 100—750 °С и выше. Для поддержания стабильной температуры обработки штампы специально подогревают. Применяемые при этом смазки должны обеспечить хорошую смазываемость поверхности инструмента и заготовки.

При штамповке резиной и пластмассой промежуточные среды (смазки) должны обеспечить надежную теплоизоляцию инструмента.

Смазки для разделительных операций должны хорошо проникать в зону разделения, обладать высокой разделительной способностью, интенсивно охлаждать режущие кромки инструмента и уменьшать их износ [383]. Использование эмульгирующих масел устраняет слипание обработанных листов.

Наибольшее распространение в качестве смазок для разделительных операций получили чистые маловязкие минеральные масла, водно-масляные, мыльные и мыльно-масляные эмульсии; для вытяжки — эмульсии и консистентные смазки с наполнителями, смеси, включающие легкое минеральное масло с наполнителями, поверхностно активные и моющие добавки и вязкие составляющие.

При тяжелых условиях деформации заготовки подвергают фосфатированию или меднению с последующим нанесением мыла или минерального масла; при вытяжке высокопрочных сплавов, при горячей штамповке применяют коллоидно-графитовые препараты, жаростойкие лаки, высоковязкие смазки.

Смазки для разделительных операций

Для вырубки и пробивки стали и алюминия используют индустриальные масла малой и средней вязкости, трансформаторное масло, для медных сплавов мыльные эмульсии. Для повышения капиллярности в смазку добавляют керосин [383].

При чистовой вырубке и зачистке применяют смазки ХС-147, ХС-163 и ХС-164 (в них содержится 1—2 % S; 17—21 % Cl; 0,03 % H₂O) [384]:

Смазка	ХС-147	ХС-163	ХС-164
η_{60} , мм ² /с	40—55	45—60	75—90
$T_{св}$, °С	150	150	170

При чистовой вырубке и зачистке, кроме того, используют легкие минеральные масла средней вязкости с активными серохлорсодержащими присадками [149, 384, 385], или пасту ВНИИП-232, растворенную в масле И-20А или И-45А [149], автол, смесь, состоящую из 50—70 % минерального масла, 50—30 % жидкого хлорпарафина и 0,1—0,2 % стабилизатора [386]. При образовании в алюминии отверстий малого диаметра используется керосин.

В зарубежной практике для чистовой вырубке листовой стали толщиной до 4 мм рекомендуют смазки, содержащие хлор. Смазки ХС-147 и ХС-164 по эффективности не уступают этим смазкам, но в отличие от них не расслаиваются и не имеют неприятного запаха [384]. Смазка ХС-163 несколько лучше ХС-147 с точки зрения стойкости штампов.

Для зачистной штамповки применяют масло редуторное Б-38, активированное серой [149].

Смазки для холодной вытяжки

Для вытяжки изделий из низкоуглеродистой стали, в частности, для автокузовных деталей применяют [149, 331, 388, 389] смазки на основе индустриального масла (табл. 59). Другие сложные смазки, например, смеси, содержащие, %: 37 эмульсола, 45 мела, 1,3 кальцинированной соды и 16,7 воды (рекомендуется добавка до 3 % сульфидированного касторового масла); 56 солидола, 22 сульфохфрезолола, 9 рыбьего жира, 12 талька, 1 спирта. Получили распространение или рекомендуются как эффективные смазки 584 и 54 (см. табл. 59), Олон технический в виде 0,5—10 % -ной водной эмульсии или в виде раствора в легком минеральном масле, раствор 5—6 % полиэтилена высокого давления в машинном масле.

Для легкой вытяжки рекомендуются смазки ХС-147, ХС-163 и ХС-164, 20 % -ный раствор зеленого мыла в воде, водная эмульсия, содержащая по 3 % зеленого мыла и талька, эмульсия стандартного эмульсола.

Для первой операции вытяжки возможно применение 6 % -ного раствора эмульсола, состоящего из 30 % хозяйственного мыла, 55 % индустриального масла, 15 % воды; для последующих операций рекомендуется смесь указанной эмульсии с графитом (3 %), отрубями (5 %) и огнеупорной глины (5 %) [390]. Рекомендуются эмульсионные смазки «Укринол-2», «Укринол-3» и «Укринол-11», КОС-1 в виде 0,5—0,75 % -ной эмульсии [391], смазочные масла с добавкой моющих порошков «Укринол-5», «Укринол-8», «Укринол-10» ВНИИПКнефтехима.

Для стали при средней вытяжке рекомендуется смесь, %: 25 растительного масла, 5 натрового мыла, 45 мела и 25 воды, для тяжелой вытяжки «Укринол-5/5», (ТУ 38-101389—73) [149]; «Укринол 23»; ХС 17018 [392]. Применяют смесь машинного масла с 20—25 % графита (Ю. И. Козлов [393] содержание графита свыше 12 % не рекомендуется), сульфитцеллюлозный щелок с 7,5—16 % графита; эффективна смесь 10 % MoS₂ и 90 % ланолина, однако она требует сушки заготовок в течение суток и плохо удаляется с поверхности изделий [393].

На многопозиционных прессах — автоматах применяют смесь 30 кг эмульсола Т или ЭТ-2, 7,5 кг гидрогенизированных подсолнечного или хлопкового масел, 1 кг стеарокса, 1 кг тринатрийфосфата и 300 кг воды [394].

Для штамповки электротехнических сталей используют трансформаторное масло.

Марка смазки и условия ее применения	Содержание, %							Прочие компоненты
	веретенное масло	тальк	оленовая кислота	рыбий жир	солидол	вода	едкий натр	
584, для автокузовных деталей	80	5	5	—	—	9,5	—	0,5 каустической соды триэтанолламин 3 сульфурезола
—	65 60,3	—	11,5 10,2	2,5 2,1	12	6 23,5	— 1,3	2,6 сульфидированного касторового масла
ГДВМТ-1 * для крупных автокузовных деталей	52—54	20—18	—	—	—	—	—	5,5 древесной муки, 2,5 гипса, 20 мылонафта
ГВМТ-1 * для сложной вытяжки	52,5	25	—	—	—	—	—	2,5 гипса, 20 мылонафта
Для малоуглеродистых сталей	43	—	8	8	40	15	—	6 мыла зеленого, 15 графита, 5 серы 20 графита
Для углеродистых и низкоуглеродистых сталей	40	—	—	—	—	—	—	40 окисленного петролатума, 7 серы, 1 спирта
То же	40	12	—	—	—	—	—	8 серы, 1 спирта
Для автокузовных деталей	40 33	11 —	— 5,5	— 1,2	40 13	—	— 0,8	1,5 сульфидированного касторового масла, 45 мела
54, для автокузовных деталей	32	11	—	—	—	До 100	0,1	15 полимеризованного хлопкового масла
584-Т, для автокузовных деталей	25	15	1,5	—	—	55,2	0,3	3 таллового масла
Бентонитовая, для автокузовных деталей	26	10—12	—	—	—	52	—	0,4—0,5 каустический соды, 5—6 бентонита
Расслаивается при длительном хранении	20	7	—	—	40	12	—	20 графита, 1 спир а
Для автокузовных деталей	17	2	1,3	—	—	До 100	—	0,1 каустической соды, 1,5 бентонита
Для несложной вытяжки	12	—	5,5	12	25	25	—	20,5 мела

* Смывается водой при 70—90 °С, антикоррозийна, поддается длительному хранению.

Для листовой штамповки конструкционных и легированных сталей широко применяется штамповая смазка ШС-2 — смесь ланолина и кориандрового масла (1 : 1), а также ШС-2 в смеси с маслом И-40А [392].

Для разных условий вытяжки используют графит, окисленный петролатум, масло И-45А, смесь И-40А с канифолью, эмульсию стандартного эмульсола, эмульсию мыльной стружки (2 % хозяйственного мыла и 0,5 % соды). Для улучшения качества поверхности изделий в мыльную эмульсию добавляют 1 % коллоидной серы. При штамповке после отжига в эмульсию добавляют 3 % керосина, способствующего снятию окалины.

Для холодной штамповки высокопрочных материалов (нержавеющих и жаропрочных сталей, титановых сплавов) рекомендуются касторовое масло, 15—20 %-ная масляная суспензия цинковых белил [397], смеси, %: 60 технического вазелина с 10—20 мыла и 30—20 графита; 20 стандартного эмульсола, 15 сульфозола, 10 мыла, 20 талька и 35 воды; 62 солидола, 31 талька, 3,5 серы и 3,5 графита.

При вытяжке нержавеющей стали 2Х13 рекомендуется кашеобразная смесь веретенного масла, графита, зеленого мыла и воды; стали 1Х18Н10Т — смесь олеиновой кислоты с мыльным порошком (9 : 1), окисленный петролатум ОП-65, хлорвиниловый лак ХВ 5179 (ХВЛ-21); жаропрочной стали — лак ХВ5179 или смесь асфальтового битума и окисленного петролатума (1 : 1) [149, 395, 399].

Лак ХВ 5179 состоит из перхлорвиниловой смолы с добавкой 0,01 части трикрезилфосфата (пленкообразующие вещества), растворенных в смеси летучих компонентов (40 % ацетона, 20 % бутилацетона, 40 толуола). Заготовки, покрытые лаком, сохраняются не более суток, после чего лак при вытяжке отслаивается. Перед штамповкой покрытую лаком заготовку или штамп смазывают машинным маслом.

Для вытяжки труднодеформируемых сталей и сплавов применяются лаки А-113 или АК-113Ф.

При вытяжке титана и его сплавов используют коллоидный графит В-0 или В-1, лак ХВЛ-21, меднение или фосфатирование с последующим нанесением молибдисульфидграфита [149].

Т А Б Л И Ц А 60

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СМАЗКИ, РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ДЛЯ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ ПРИ СКОРОСТЯХ ДЕФОРМИРОВАНИЯ до 0,3 м/с [208]

Обрабатываемый металл	Технологическая смазка	Эффективная динамическая вязкость, П
Коррозионностойкие и легированные стали	Воздушно-сухое хозяйственное мыло	$5 \cdot 10^5$
	Окисленный петролатум (высокого окисления)	$3 \cdot 10^4$
	Асфальтовый битум с 50 % окисленного петролатума	$6 \cdot 10^5$
	Технический парафин	$4 \cdot 10^5$
	Церезин (горный воск)	$6 \cdot 10^6$
Низкоуглеродистые стали	Коллоидный графит (80 %) в масле	$5 \cdot 10^6$
	Коллоидный графит (40 %) с маслом	$5 \cdot 10^3$
	Окисленный петролатум (20 %) с маслом	$8 \cdot 10^3$
Алюминиевые сплавы, мягкая медь, латуни	Технический вазелин	$5 \cdot 10^3$
	Окисленный петролатум (50 %) с маслом	$6 \cdot 10^2$
	Хозяйственное мыло (50 %) с водой	$4 \cdot 10^2$

При вытяжке алюминия и его сплавов используют машинное масло, технический вазелин, соевое масло, эмульсии растительных масел, олеиновую кислоту, смесь воска с индустриальным маслом, для тяжелых условий деформации — смеси 50—80 % окисленного петролатума с веретенным маслом, 15—

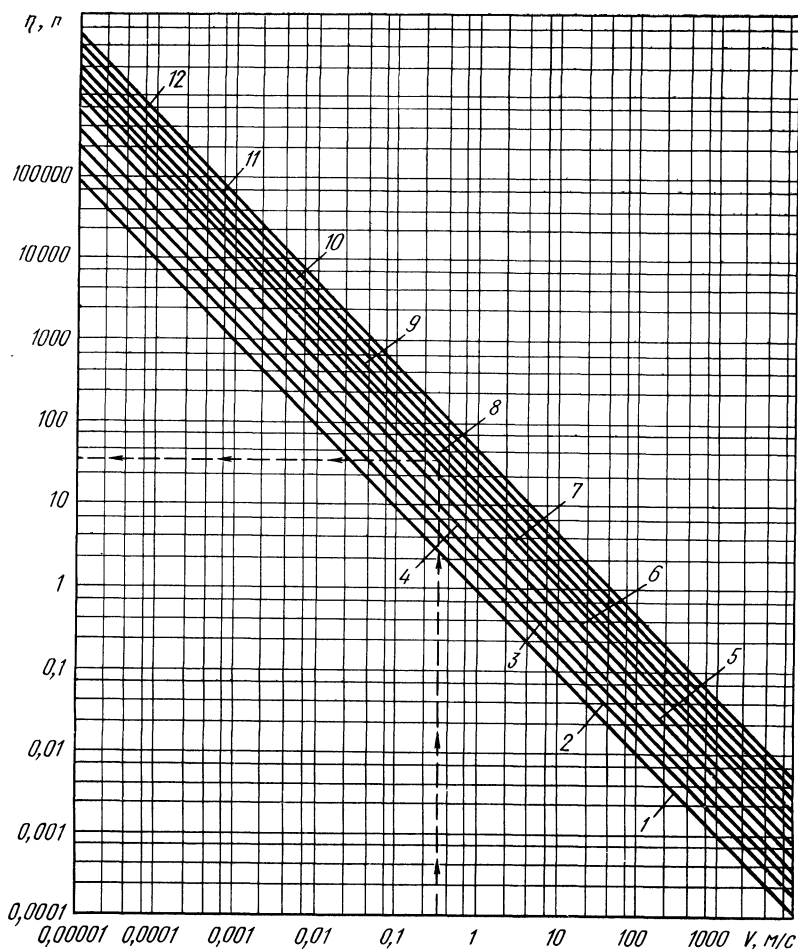


Рис. 119. Определение оптимальной вязкости смазки в зависимости от скорости вытяжки и средних контактных давлений, МПа [208]:

1 — 15; 2 — 20; 3 — 30; 4 — 40; 5 — 50; 6 — 60; 7 — 70; 8 — 80; 9 — 90; 10 — 100; 11 — 110; 12 — 120

20 % графита с окисленным петролатумом (или техническим вазелином) и веретенным маслом (1 : 1); скипидар с 30—50 % технического воска. При штамповке взрывом высокопрочных алюминиевых сплавов рекомендуют вазелиновое масло или 10 %-ную водную мыльную эмульсию [208].

Для вытяжки меди и медных сплавов используют сурепное масло, 7—10 %-ную мыльную или мыльно-масляную эмульсию, смазку ГВМТ-1, смесь, %: 8 мыла, 12 растительного масла, 12 олеиновой кислоты, 1 соды, остальное вода.

Для вытяжки никеля и его сплавов используют мыльно-масляную эмульсию, ниобия — парафин, животное сало.

В табл. 60 приведены технологические смазки, рекомендуемые в процессах листовой штамповки различных металлов и сплавов. Для высокоскоростных процессов рекомендуется выбирать смазки, вязкость которых обеспечивает жидкостное трение на контакте (рис. 119).

Смазки для вытяжки с утонением

Заготовки обычно подвергают меднению или фосфатированию. Меднение проводят в растворе, содержащем 4,5—5,0 кг медного купороса, 5 кг поваренной соли, 7—8 л серной кислоты, 200 г столярного клея на 80—100 л воды. Омедненные заготовки помещают в горячий мыльный раствор, из которого они подаются на вытяжку.

Для фосфатирования используют раствор Мажеф, бондеризацию с омыливанием в густой мыльной эмульсии и последующей сушкой перед вытяжкой или промасливанием в горячем индустриальном масле.

Применяется также смесь ланолина с 10 % MoS_2 , при деформации до 40 % она используется без подмазочного покрытия, при больших деформациях наносится после фосфатирования. При повышенных температурах (до 500 °С) используется препарат ВКГС-0 [149].

Смазки для выдавливания

При холодном выдавливании поковок из конструкционных сталей применяют смеси сульфитного щелока, серебристого графита и воды (1 : 1 : 1); мыла, серебристого графита и воды (2 : 2 : 3); хромистого натрия и графита (по 10—15 %) с битумом (или техническим вазелином); цианомида кальция с наполнителем типа глинозема, окиси титана (от 5 до 75 %) [170]; омыливание фосфатированных заготовок в мыльной эмульсии, 12—13 %-ном водном растворе стеарата Т2, препарат НБ-5 [396, 397].

Для алюминиевых сплавов применяют галтовку в эмульсии олеиновой кислоты и мыла, либо смазки СП-3. При выдавливании алюминиевых тубиков заготовки подвергают галтовке с кашалотовым жиром; применяется также пинковая пудра, 20 %-ный раствор животного жира в бензоле или смесь цилиндрического масла с воском (1 : 1). При выдавливании меди и латуни применяют животные жиры, для легких условий — смесь отмученного графита и масла И-45А (5 : 2, 7 : 3, применяется при 200 °С), не требующая подмазочного покрытия. Для простых случаев выдавливания изделий из двойных латуней и алюминиевых бронз проводят галтовку в горячей мыльной эмульсии, для цинка используют животные жиры, ланолин, тальк.

Для выдавливания изделий из цветных металлов применялись также лак марки 9—32 [8], 5 %-ная эмульсия животного жира (костного, свиного лярда) в бензине, смесь 8 % талька, 10 % цилиндрического масла, 0,3 % глицерина, 2,7 % топленого сала, 79 % четыреххлористого углерода [115].

Для горячей выдавливания тугоплавающих металлов применяют стеклопорошок 124, окись циркония, для высоколегированных сталей — «Укринол 7».

При холодной высадке стали используют в качестве смазок мыльный порошок, ОПСК, СЖК, сульфозфрезол, эмульсию, содержащую на 1 л 100—200 г эмульсола, 4 г $\text{Na}_2\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, 2,0—2,5 г NaNO_3 .

Смазки для горячей листовой штамповки

При горячей листовой штамповке применяют графит, масло вапор в чистом виде или с добавкой 20 % графита; смесь масла вапор со стеаратом натрия (1 : 1, смазка СВ, используется до температур 320 °С), кремнийорганические соединения. Возможно применение термостойкой жидкости КРП с 20 % наполнителя (литопона, окиси цинка, мела, графита, слюды, талька, MoS_2 , бентонита, голландской сажки, алюминиевой пудры, окиси хрома, окиси магния), этилполисилоксановой жидкости, фенилполисилоксановой жидкости с 20 % слюды, или

с 20 % MoS_2 , смеси КРП с маслом вапор (1 : 1), либо с 20 % стеарата бария или натрия или стеариновой кислоты [400].

При горячей вытяжке, отбортовке и выдавке титана и его сплавов при температуре 300—750 °С используют графитовые препараты В-0, В-1, лак ХВЛ-21 (при этом штампы смазывают машинным маслом или маслом вапор). Для штамповки титановых сплавов при 650—800 °С рекомендуется стеклоэмаль ЭВТ-26.

При штамповке магниевых сплавов, молибдена и других материалов при температуре 300—350 °С применяют графито-коллоидную смазку ГК-1 (жаростойкость до 700 °С), порошкообразный графит марки С-1 или С-2, препараты В-0, В-1, а также смеси, %: 40 алюминиевого порошка и 60 парафина; 20 нефтяной сажи, 20 серы, 20 воска и 40 вазелина; 65 масла вапор и 35 графита марки С-1 или С-2; 65 парафина и 35 технического сала; 15 воска, 7 стеариновой кислоты, 3 этаноламина и 75 воды; 5—10 %-ный раствор графита в четыреххлористом углероде [149, 387].

Для штамповки тантала используют лаковые покрытия и жидкие смазки, циркония — смазки с наполнителями, молибдена — коллоидные графитовые препараты. При штамповке резиной для натирания заготовок используют брикеты из смеси 40 % талька и 60 % парафина [149, 387], для штампов используют в виде сухих присыпок тальк, чешуйчатую слюду, смесь 50—60 % асбестовой порошкообразной ваты, обожженной при 1000—1200 °С в течение 10—12 ч, и 40—50 % талька.

Для *горячей вытяжки, отбортовки* применяют коллоидно-графитовые препараты, эмали К-1 и К-2, которые выдерживают нагрев до 350 °С [387].

Смазки для гибки и формовки

При *гибке* используют индустриальные масла средней вязкости, сурепное масло, мыльные-масляные эмульсии, смесь мыльного щелока с машинным или трансформаторным маслом.

При *формообразующей обработке цилиндров* в обоймах, на оправке при больших деформациях и давлениях применяют СЖК фракции S_{21} и выше в чистом виде или с 20 % талька, стеарат цинка, очищенный вазелин, мыльный порошок, солидол, олеиновую кислоту, касторовое масло, И-20А с 10 % олеиновой кислоты.

При *свободном дорнозании цилиндров, редуцировании* используют масло И-20 с добавкой 10 % олеиновой кислоты, сульфозрезол, стеариновую кислоту, очищенный вазелин, 1,5 %-ную эмульсию омыленных СЖК фракции S_{21} и выше [401].

12.9. Смазки для прессования

Основные группы смазок и требования к ним

При прессовании инструмент обычно не имеет принудительного охлаждения, поэтому при высоких температурах обработки смазки должны обладать высокими теплоизоляционными свойствами. Особенно важно обеспечить теплоизоляцию канала матрицы, куда смазка поступает на поверхности деформируемого металла, а также иглы прошивных прессов. Чем выше температура и длительнее цикл прессования, тем выше требования к теплоизоляционным свойствам смазки.

Одноразовая порция смазки должна обеспечить надежное разделение трущихся поверхностей на протяжении всего процесса прессования. Этому требованию лучше всего удовлетворяют слоистые смазки и вещества, плавящиеся или размягчающиеся под воздействием давления и тепла деформации.

Расплавленная (размягченная) смазка сразу же вытесняется из очага деформации, интенсивное плавление вызывает повышенный расход смазки и ухудшение качества поверхности. Наилучшие результаты дают смазки, образующие минимально допустимый по условиям теплопередачи и антифрикционной эффективности слой на контакте.

При подаче на матрицу графитовых и масляных смазок они же обычно подаются на остальной инструмент, где требуется смазка. При прессовании со стеклосмазками и аналогичными по классу веществами часто используют различные смазки для разных участков контакта. Так, для контейнера используют смазки меньшей вязкости (по сравнению со смазками для матриц) благодаря тому, что они не могут свободно вытесняться на контакте. Выбор типа смазки зависит также от конструкции пресса.

В качестве смазок применяют нефтепродукты с наполнителями, особенно слоистыми, графит и графитосодержащие смазки, вещества, размягчающиеся или плавящиеся в условиях деформации (стекла, шлаки, горные породы и минералы, соли).

При низких температурах обработки наибольшее применение получили маслянографитовые смазки, при высоких — графит, стекла и шлаки.

Смазки для матриц

Алюминиевые сплавы АВ, АД33, АД35, АД31 прессуют с подогревом матрицы и пресс-шайбы до 250—400 °С при температуре заготовки 360—510 °С, температура контейнера достигает 350—450 °С. Прессшайбу и матрицу смазывают смесью из 25—10 % графита и 75—90 % масла vapor Т. Поверхность контейнера не смазывают [402].

Сплавы Д16, В95 прессуют при температуре заготовки 250—320 °С и температуре контейнера 300—350 °С, при этом все контактные поверхности смазывают суспензией 15—25 % графита марок С1 или ГМА в масле vapor Т.

Известно применение следующих смесей, %: 8—12 свинцового сурика, 10 графита, 10 талька, остальное масло Ц-52; 15 окиси свинца, 7 графита, 7 талька, остальное — масло П-28; 5—7 олеата (стеарата) олова, 15—25 графита, остальное — масло Ц-52 (смазка ТКО); битума № 5 [331, 402—404]. Смазки, содержащие свинец, токсичны.

Для латуни ЛС 59-1 используют смазку, содержащую, %: 45 масла И-45А, 25 графита, 20 канифоли, 10 керосина; бронзы АЖМц — 50 масла И-45А, 15—20 буры, 20—25 графита, 10 керосина; окись бора B_2O_3 ; меди — масло И-45А с 10 % графита, гудрон с графитом.

При температуре прессования медных сплавов 350—650 °С используют щелочно-фосфатные стекла с температурой плавления 350—400 °С [167]; при 800—1000 °С — боросиликатные двух- и многокомпонентные стекла.

Для прессования углеродистых и высоколегированных сталей на горизонтальных прессах в интервале температур 1000—1120 °С ВНИИТИ рекомендует кристаллические стекла И-6, в интервале 1120—1220 °С стекла И-1, И-2. Составы некоторых силикатных смазок приведены в табл. 61 и 62. Для углеродистых труб используется также графит, графит с минеральным маслом и поваренной солью (1 : 1 : 1), графитосодержащие смеси, %: 60 чешуйчатого графита, 10 древесных опилок, 23 сажи, 3 пиролюзита MnO_2 , 4 льняного масла [199]; 66 графита, 25 масла Ц-52, древесных опилок и поваренной соли по 6; 18 чешуйчатого графита, 2 древесных опилок, 18 графитовой пудры, 2 пиролюзита, 5 полистирола, 55 трихлорэтилена (иногда вместо полистирола и трихлорэтилена вводят бентонит и минеральное масло), а также суспензия графита в сульфитной барде с добавкой 20—25 % буры и 4—5 % едкого натра (от массы графита); смесь графита с минеральным маслом и 8—25 % свинцового сурика.

При прессовании труб из низколегированных сталей используют смесь, %: 8—10 графита, 18—25 масла Ц-52, 2—4 древесных опилок, 4—8 окалины железа, 1—2 солевой эвтектики (45 % хлорида натрия и 55 % карбоната натрия), трилолифосфата натрия до 100 % [313].

Для тугоплавких металлов и жаропрочных сплавов ЦНИИЧМ рекомендует смесь 50—90 % циркона с 50—10 % полевого шпата; для температуры прессования 1150—1300 °С «Нефелин» (табл. 62) с добавкой 10—15 % жидкого стекла, это покрытие не требует последующего травления изделий. При прессовании титана используют шайбы из графита и серы; графита с добавкой древесных опилок, пробкового порошка, окалины, угля, пиролюзита, двуокиси свинца

СОСТАВ И УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ СТЕКЛОСМАЗОК,
РЕКОМЕНДУЕМЫХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШАЙБ [164, 405]

Химический состав смазки, %								t _п , °С		
SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	BaO	PbO	Al ₂ O ₃		B ₂ O ₃	прочие
27,5	—	1,5	—	—	—	80,0 71,0	—	20,0	—	450—609 600—750
<i>Цветные металлы</i>										
<i>Сталь (стекла в аморфном состоянии)</i>										
72,0	6,0	—	—	10,0	—	—	—	12,0	Добавок 5	1100—1200
50,0	—	—	—	14,0	3,0	—	21,0	7,0	3Li ₂ O, 2F	1100—1250
52—60	23—35	≤10	До 6	3—7	≤5	—	5—14	До 5	До 1F	1150—1250
53,0	26,0	—	1,0	4,0	0,5	—	10,5	2,0	До 1 ZnO+Sb ₂ O ₃ +TiO ₂	1100—1200
70,75	14,65	1,72	—	5,95	3,4	0,1	2,01	—	2,2ZnO, 2,3F	1100—1200
69,5	13,65	1,72	—	6,4	1,2	0,85	2,5	—	0,1 As ₂ O ₃	1100—1200
65—73	9—13	1—12	3—5	4—7	—	1—3	1—4	1—5	0,2Fe ₂ O ₃ +TiO ₂	900—1300
30—45	25—30	—	—	8—12	2—6	—	18—23	5—10	1—3 BeO	1380
48—52	—	—	≤5	—	—	—	—	≤3	25—30 TiO ₂	
<i>Нержавеющая сталь, молибден (стекла в кристаллическом состоянии)</i>										
50,9	17,5	—	—	31,6	—	—	—	—	2Са	1140—1200 **
73	—	—	1,0	—	—	—	16,8	—	(сверх 100) 4Li ₂ O, 0,8F, 4,4TiO ₂	1300—1400 **
<i>Титан и его сплавы</i>										
40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	800—900
40—60	20—45	25	—	5	—	20	—	10	—	900
52,5	37,5	—	—	—	—	—	—	5—20	—	900
33,5	16,5	—	4,5	6,0	—	—	—	1,0	—	900—950

Примечание. t_п — температура прессования.

*1 Температура кристаллизации t_{кр} = 1080—1140 °С.

**2 t_{кр} = 900—1000 °С. Вязкость при температуре прессования от 20 до 360 Па·с.

ГОРНЫЕ ПОРОДЫ, МИНЕРАЛЫ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ШЛАКИ И ФЛЮСЫ, РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ДЛЯ
СМАЗОЧНЫХ ШАЙБ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ ПРЕССОВАНИЯ [164, 405]

Химический состав, %							Прессуемый металл	$t_{\text{п}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{р}}, ^\circ\text{C}$		
SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{FeO}}$ + TiO ₂				прочие	
<i>Арзаканский сланец</i>											
44,28	0,18	Следы	18,02	8,16	9,7	13	1,92	0,2SO ₃ , 0,07 H ₂ O	Сталь	1100—1250	1130
<i>Харрашен-мастеринский вулканический шлак</i>											
57,25	3,9	2,2	2,32	5,96	19,54	3,75	1,73	0,78SO ₃ , 0,15H ₂ O	То же	1100—1250	1100
<i>Стандарянский базальт</i>											
51,96	3,70	2,40	4,03	7,53	19,18	8,87	1,72	0,10 H ₂ O	Сталь, сплавы	1150—1260	800—1150
<i>Нефелиновый концентрат</i>											
45,3	12,23	7,8	≤0,5	≤1,5	28,35	≤1,5	≤0,5	Нет данных	Сплавы	1150—1300	1120—1250
<i>Полевой шпат, пегматит</i>											
58—74	4,25	3,63	$\sum \leq 0,5$	13—15	≤0,5	—	—	—	Тугоплавкие металлы и сплавы	1500—1700	1100—1500
<i>Циркон</i>											
32,8	—	—	—	—	1,6	—	0,3	65,3 ZrO ₂	То же	1600—2000	—
<i>Гранулированный доменный шлак завода «Криворожьсталь»</i>											
37,7	$\sum (\text{Na}, \text{K})_2\text{O} \leq 1$	3	46,7	7,8	4,0	—	≤5	—	Сталь	1040—1250	1280—1320
<i>Ваграночный шлак ЧМЗ</i>											
40—50	То же	1—4	19—33	8—17	4—10	1—3	4—9 MnO, ≤P ₂ O ₅ , ≥1S	—	★	1050—1180	950
<i>Флюсы сварочные</i>											
36,5—39,5	—	—	—	19,2—21,3	13,2—15,8	—	—	14,2—18,8 MnO, 4,2—5,8 CaF ₂	★	1050—1150	1020—1120
42,8—46,3	—	—	0,5—3,0	3,0—9,8	—	—	—	36,3—39,7 MnO, 5,75 CaF ₂	★	1150	1120—1140
19,32	—	—	9,2—11,2	14,2—17,8	21,2—24,8	—	—	4,65 MnO, 21,2—24,8 CaF ₂	★	1200	1190
29,3—32,7	—	—	15,2—18,8	4,0—7,9	19,2—22,8	—	—	2,5—4,0 MnO	★	1200—1250	1200—1250

Примечание. $t_{\text{р}}$ — температура размягчения.

или тетраокиси висмута (смесь наносят на бумагу, картон или ткань); смесь кальцинированных жиров с 35 % графита (или MoS_2) и 5 % слюды; оконное стекло [407].

Смазки для стенок контейнера и боковой поверхности заготовок

Прессование алюминия и его сплавов ведут с маслографитовой смесью, рекомендуется смесь ТКО, для прессования цветных металлов при температуре деформации 380—570 °С применяют стекла, содержащие окись свинца; для титановых сплавов при температуре 730 °С рекомендуются бура, при 1000 °С — борный ангидрид, при 1000—1200 °С высокощелочные и боросиликатные стекла (табл. 63); используют также смесь масла с 35 % MoS_2 , для профилей простой формы — металлические оболочки (медь, мягкую сталь, двойную оболочку сталь — медь, алюминий) [164, 407].

Для прессования труб из цветных металлов перед нанесением смазки заготовки обтачивают, обезжиривают и промывают. В зарубежной практике при обработке ниже температуры рекристаллизации применяют смазки на жировой основе с добавками хлорированных углеводородов. Для свинца и цинка используют вазелин, растительные жиры с тальком или крахмалом, касторовое масло с тальком, марсельское мыло, для цинка и его сплавов — ланолин, смесь 35 % цилиндрического масла, 2,5 % графита, остальное — бензин. Для алюминия и других цветных металлов используют стеарат алюминия, воск, ланолин, смесь ланолина и стеарата цинка с трихлорэтиленом в качестве связующего; смесь, содержащую 25—50 % соевого масла с олеиновой кислотой; хлорпарафин в смеси со стеаратом цинка и MoS_2 .

Для сплавов Al—Mg—Si, Al—Zn—Mg рекомендуется сульфидированное животное сало, цилиндрическое масло с воском или парафином (1 : 1); для меди и ее сплавов — минеральные масла средней вязкости с добавками графита, талька, свинцового сурика; стеарат натрия; титан фосфатируют и наносят смесь машинного масла, коллоидного графита и MoS_2 (8 : 1 : 1) [408].

При температуре прессования от 1000 до 1120 °С используют стекло 123, при 1120—1220 °С — стекло 122. Для повышенных температур обработки используют высокощелочные (см. табл. 63) или высокоборные алюмосиликатные стекла, для прессования жаропрочных сталей — минералы дауолит, данбурит, высокоборные малощелочные стекла. Для труднодеформируемых жаропрочных сплавов при 1100—1700 °С используют смесь стекла 203 с цирконом и 10 % жидкого стекла (содержание циркона увеличивается с повышением температуры обработки). Тугоплавкие металлы при 1300—1500 °С — прессуют с оболочкой из медной фольги, используют также алюмосиликатные или боросиликатные стекла, при 1500—1700 °С — малощелочные или бесщелочные алюмоборосиликатные стекла, ситаллы, стеклоткань. Для более высоких температур предложена стеклоткань, пропитанная политетрафторэтиленом, ткани из графита или целлюлозы, пропитанные стеклом [164, 331].

Для снижения силы прессования предлагается на контейнер наносить стекло с вязкостью 20—30 Па·с, а на заготовку вязкостью до 100 Па·с [167]. Порошкообразные смазки должны иметь размер частиц 0,2—0,3 мм.

Смазки для игл прошивных прессов

При прессовании алюминия и его сплавов используют смесь масла вапор Т с 10—20 % графита С-1. Масло предварительно выдерживают при 120—130 °С в течение 1,0—1,5 ч. Используется также суспензия графита С-1 в индустриальном высоковязком масле. Иглу смазывают после помещения слитка в контейнер и перед введением иглы смазке дают обгореть.

Для прошивки гильз из углеродистых и нержавеющей сталей используют стекла с вязкостью 60—100 Па·с. При меньшей вязкости стекло интенсивно расплавляется и избыток смазки вдавливаются в металл; возможен также разрыв смазочного слоя. В качестве смазок применяют обычно стекла, используемые для матриц, в частности для нержавеющей сталей стекло 121 (при 1000—1120 °С), стекло 116 (при 1130—1220 °С), оконное стекло, промышленные стекла с добавкой кремнефтористого натрия (табл. 64).

СОСТАВ И УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ СТЕКЛОСМАЗОК,
РЕКОМЕНДУЕМЫХ ДЛЯ НАРУЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗАГОТОВОК [164, 405]

Химический состав, %										$t_{\text{п}}, ^\circ\text{C}$	$\eta_{\text{п}}, \text{Па}\cdot\text{с}$
SiO_2	Na_2O	K_2O	MgO	CaO	BaO	Al_2O_3	B_2O_3	прочие			
<i>Цветные металлы</i>											
—	—	—	—	—	—	—	17,0	2,8 ZnO, 80,2 PbO	—	380	10
2	—	—	—	—	2	—	15,0	2 CuO, 9ZnO, 70 PbO	—	570	10
<i>Сталь</i>											
60	22	—	16,5**	—	—	1,5	—	—	—	1200	10
60—80	—	—	—	—	—	—	20—40	—	—	1200	—
65	12	—	—	5	—	3	20	—	—	1100—1200	37—12
53,0	—	—	4,4	16,8	—	14,8	10,4	—	—	1200—1260	—
54,7	12,5	9,6	—	3,5	15,0	3,5	—	—	—	То же	—
<i>Нержавеющая сталь</i>											
74,0	16,5	—	0,4	8,0	—	0,2	—	0,1 Fe ₂ O ₃ , 0,9 ост.	—	1180—1200	78—62
70,5	14,5	—	5,2	6,4	—	—	—	0,7 Fe ₂ O ₃	—	—	—
76—60	11—15	—	—	1—5	—	4—8	—	8—12 Na ₂ SiF ₆	—	1150	75
<i>Титан и его сплавы</i>											
31—35	26—36	10—13	—	—	—	—	16—20	—	—	800—950	30—5
33,5	21,5	—	5,0	12,0	10,0	≤3	18,0	9—10 TiO ₂	—	1000	10
<i>Тугоплавкие металлы и сплавы</i>											
64	—	11	—	2	—	—	18,0	5 PbO	—	1300—1400	37—15
71,42	15,45	—	0,2	10,28	—	1,83	—	1ΣFe ₂ O ₃ , Cr ₂ O ₃ ·TiO ₂	—	1420	10
71,86	11,36	—	4,3	10,28	—	1,95	—	—	—	1470	10
60,0	—	—	4,3	6,7	—	23,0	6,0	—	—	1500—1600	30—10
73,0	—	—	1,0	—	—	16,8	—	4Li ₂ O, 4,4TiO ₂	—	1700	10
74,84	6,0	—	<0,3*	—	2,52	4,49	11,6	0,8F	—	1700	10

* Сумма MgO и CaO.

ТАБЛИЦА 64

СМАЗКИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ИГЛ ПРОШИВНЫХ ПРЕССОВ
ПРИ ПРОШИВКЕ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ [164, 405]

Химический состав, %					$t_{пр}, ^\circ\text{C}$	$\eta_{пр}, \text{Па}\cdot\text{с}$
SiO ₂	Na ₂ O	MgO	CaO	прочие		
74,0	16,5	0,4	8,0	0,2 Al ₂ O ₃ , 0,1 Fe ₂ O ₃	1180—1200	78,2—62,0
70,5	14,5	5,2	6,4	0,7 Fe ₂ O ₃	1180—1200	120—67,5
76—60	11—15 *	—	1—5	4—8 Al ₂ O ₃ —8— 12N ₂ SiF ₆	1150	75

* Сумма Na₂O и MgO.

Смазки для оправок трубных прессов

Стекло­смазку наносят на оправку в виде суспензии, на внутреннюю поверхность гильз — в виде порошка, при тяжелых условиях деформации смазку наносят на обе поверхности. Если смазка запирается в очаге деформации, можно использовать маловязкие стекло­смазки (20—60 Па·с), если смазка может вытесняться из контакта, ее вязкость должна быть повышена до 100 Па·с, либо можно применять смесь порошков различной вязкости.

Для углеродистых сталей предлагается смесь 5—50 % силикатного стекла с размером частиц до 0,2 мм со спиртами, обычно с глицерином [164], для нержавеющей при 1100—1200 °С стекла 117, 119, алюмоборосиликатное стекло 185 в, суспензия оконного стекла, иногда с добавкой летучих веществ (метила, трихлорэтилена, пропилового спирта); при 1000—1120 °С — стекло 120. Для улучше-

ТАБЛИЦА 65

СИЛИКАТНЫЕ СТЕКЛА, РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ДЛЯ ОПРАВОК
И ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ГИЛЬЗ [164, 405]

Химический состав, %								Связка и другие добавки	$t_{пр}, ^\circ\text{C}$
SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	прочие		
<i>Нержавеющая сталь</i>									
40,0	15,0	—	5,0	10,0	—	30,0	—	Коллоидный графит, жировая смазка	1200
80,8	3,3	1,4	—	—	2,0	12,5	—		—
<i>Хромоникелевые сплавы</i>									
60,5	7,0	0,8	2,3	9,6	1,4	9,1	2,2 BaO	—	1230
80,04	4,12	0,24	—	—	2,0	13,2	7,1 ZnO TiO ₂ ≤ 1		—
<i>Тугоплавкие металлы</i>									
57,3	—	—	4,5	7,6	20,3	10,3	—	Жидкое стекло, огнеупорная глина	1500— 1600

ния адгезионных свойств в суспензии добавляют глину, смолу трагаканта, кремнекислый натрий. Применяют также суспензии из стеклопорошка, коллоидного графита и масла.

Для хромоникелевых сплавов при температуре до 1230 °С предлагается применять шликер из смеси 40—70 % фритты силикатной эмали со стеклом Пирекс, имеющим размер частиц 1,6—3,2 мм. Для молибденовых сплавов при 1500—1600 °С оправки покрывают суспензией из бесщелочных алюмоборосиликатных стекол с добавкой огнеупорной глины, жидкого стекла и воды (табл. 65).

В некоторых случаях оправку смазывают графитовой суспензией, а в гильзу вводят стеклопорошок. Предлагается использовать вермикулит, смесь талька с жидким стеклом, смесь 20—40 % бентонитовой глины и 60—80 % окиси железа с сульфитцеллюлозным щелоком [169].

13. Устройства для подачи смазок и смазочно-охлаждающих жидкостей

13.1. Системы для подачи смазок и смазочно-охлаждающих жидкостей при холодной прокатке листовой стали

В зависимости от функционального назначения технологической смазки, ее вида, конструкции стана и его сортамента для подачи технологической смазки используют системы прямого действия, циркуляционные системы, а также системы смешанного типа, включающие одновременно элементы системы прямого действия и циркуляционных.

Системы прямого действия характеризуются однократным использованием технологической смазки, подаваемой на валки (на полосу) отдельно от охлаждающей среды. Они обеспечивают лучшее охлаждение валков, так как при относительно высокой температуре смазочной среды (50—70 °С) температура охлаждающей воды может быть значительно ниже (4—20 °С), подачу более чистой по составу смазки для прокатки, позволяют сравнительно быстро изменять концентрацию смазки, требуют небольших капитальных затрат.

Особенностью циркуляционных систем является многократное использование технологической смазки, которая выполняет одновременно функцию смазочной и охлаждающей среды. Они отличаются более низким расходом смазки и более равномерным ее нанесением по ширине полосы, проще в эксплуатации. Конструкция циркуляционных систем должна обеспечить надежное нанесение смазочно-охлаждающей жидкости на металл и валки, достаточный отвод тепла при прокатке, сохранение химической стабильности и высокой чистоты смазочно-охлаждающей жидкости в процессе длительной эксплуатации. Циркуляционные системы в большинстве случаев используют при холодной прокатке листовой стали на многоклетевых и реверсивных станах и станах полистной прокатки.

Новые многоклетевые прокатные станы оборудуются двумя-тремя отдельными циркуляционными системами. При оборудовании стана тремя системами первая клеть оборудуется отдельной системой, что предотвращает загрязнение остальных систем травильным шламом и промасливающей смазкой. Валки первой клетки могут охлаждаться водой при наличии промасливающей смазки. Средние клетки имеют отдельную систему для подачи основной смазочно-охлаждающей жидкости, применяемой для прокатки. Последняя клеть также оборудуется отдельной системой для подачи эмульсии (небольшой концентрации), воды или моющего раствора.

При наличии двух систем одна подает эмульсию на первые клетки, а вторая — эмульсию, воду или моющий раствор на одну или две последние клетки. Раздельные системы повышают чистоту эмульсии и качество поверхности листов.

Для интенсивного отвода тепла и обеспечения надежной смазки в новых системах подается смазочно-охлаждающей жидкости от 3,6 до 11 м³/мин и более на одну клеть. При использовании стабильных эмульсий их очистка осу-

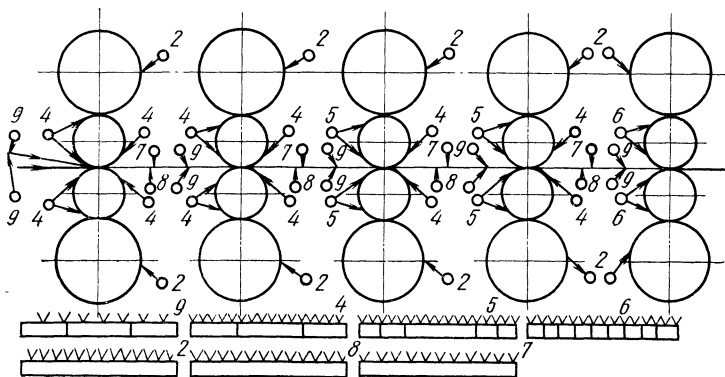
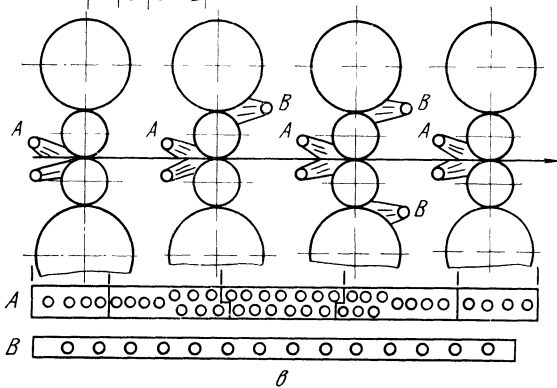
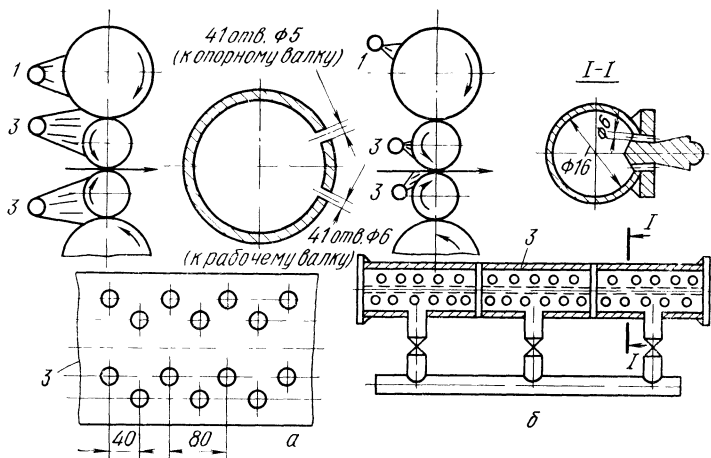


Рис. 120. Схема установки и конструкция коллекторов охлаждения валков: а — стан 1680; б — стан 2500 [413]; в — стан 1500; г — стан 2030; 1, 2 — для охлаждения опорных; 3—6 — рабочих валков; 7, 8 — для охлаждения полосы; 9 — для дополнительной смазки полосы

щется отстаиванием и фильтрацией. Емкость баков для отстаивания эмульсии должна быть в 10—40 раз больше циркуляционного потока в 1 мин, при этом расход смазочно-охлаждающей жидкости должен быть таким, чтобы повышение температуры жидкости при прохождении через клеть было не больше 5—8 °С [411].

Для поддержания рабочей температуры эмульсии в циркуляционной системе устанавливают теплообменники трубчатого или пластинчатого типа с водным охлаждением, снижающие температуру эмульсии на 3—5 °С.

Для метастабильных и нестабильных эмульсий устанавливают вблизи стана баки сравнительно небольшой емкости, оборудованные мешалками и рассчитанные на время нахождения в них эмульсии 7—8 и 5—6 мин соответственно, с тем, чтобы циркуляция способствовала поддержанию требуемой дисперсности масла [412].

Баки для эмульсии имеют обычно прямоугольную форму с наклонным полом и затворами в верхней и нижней частях боковой стенки и оборудуются паровым обогревом с внешней стороны. Выпускное отверстие находится в нижней части днища.

Эмульсию к стану подают центробежными насосами под давлением 0,6—1,2 МПа. На валки и полосу эмульсию подают при помощи сепел или специальных коллекторов с отверстиями (рис. 120). Давление в коллекторах должно составлять 0,5—0,7 МПа. Типовая эмульсионная установка приведена на рис. 121. Она состоит из двух систем, из которых одна подает эмульсию на первые три клетки (или две — при подаче на первую клеть воды), а вторая — на четвертую клеть. Производительность первой системы 20 000 л/мин, второй 9000 л/мин. Емкость рабочего и резервного баков-отстойников по 230 м³. Каждый бак имеет два отсека, которые соединены соответственно с первой и второй системами. Очистка эмульсии производится с помощью сетчатых или дисковых фильтров и магнитных сепараторов.

Эмульсионные системы, оборудованные сетчатыми или дисковыми фильтрами, магнитными сепараторами, не обеспечивают достаточной чистоты эмульсии. Для обеспечения эффективной очистки эмульсии в установку стана 2500 включен корпус очистки (рис. 122). Эмульсионная система стана 2500 Э1 (1—3-я клетки) и Э2 (4-я клеть) состоит из следующего оборудования:

	Э-1	Э-2
Производительность, м ³ /ч	1410	720
<i>Насосные установки</i>		
Рабочее давление, МПа	0,7—0,85	0,7—0,85
Производительность, л/мин	12 000	12 000
Тип	8НДР	8НДВ
Число, шт.	3	2
Мощность двигателя, кВт	250	250
<i>Резервуары</i>		
Емкость, м ³	60	60
Число, шт.	5	3
Габаритные размеры, мм	7600×3100×2750	
<i>Фильтры</i>		
Тип	Сетчатый	Сетчатый
Число	3	3
Тонкость фильтрации, мм	0,2	0,2
Поверхность фильтрации, м ²	40	40
<i>Сепараторы магнитные</i>		
Тип	СМ-7	СМ-7
Число, шт.	38	18

Пропускная способность, л/мин	625	625
Степень очистки, %	—	До 90 % магнитных частиц

Теплообменники

Тип	Трубчатые	Трубчатые
Число, шт.	3	1
Поверхность охлаждения, м ²	524	524

Трубопроводы

Диаметр нагнетательного, мм	300	250
Диаметр сливного, мм	500	400
Уклон сливного трубопровода	1/40	1/40

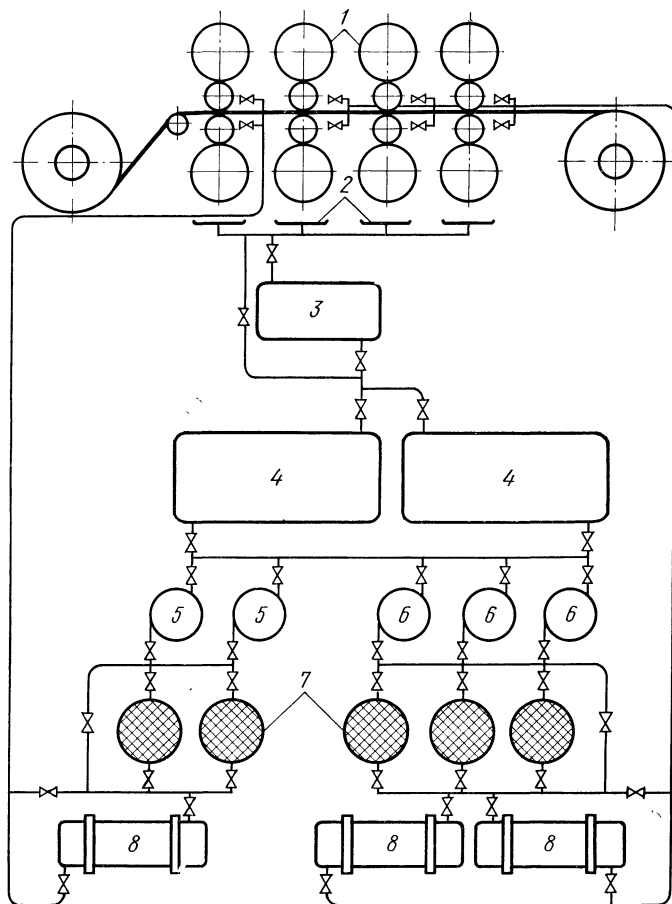


Рис. 121. Типовая схема циркуляционной установки для стабильных эмульсий непрерывного четырехклетевого стана 1700 [131]:

1 — рабочие клетки; 2 — сборники эмульсии; 3 — магнитные сепараторы; 4 — баки-отстойники; 5 — насосы давлением 0,94 МПа; 6 — то же, 0,67 МПа; 7 — фильтры; 8 — холодильники

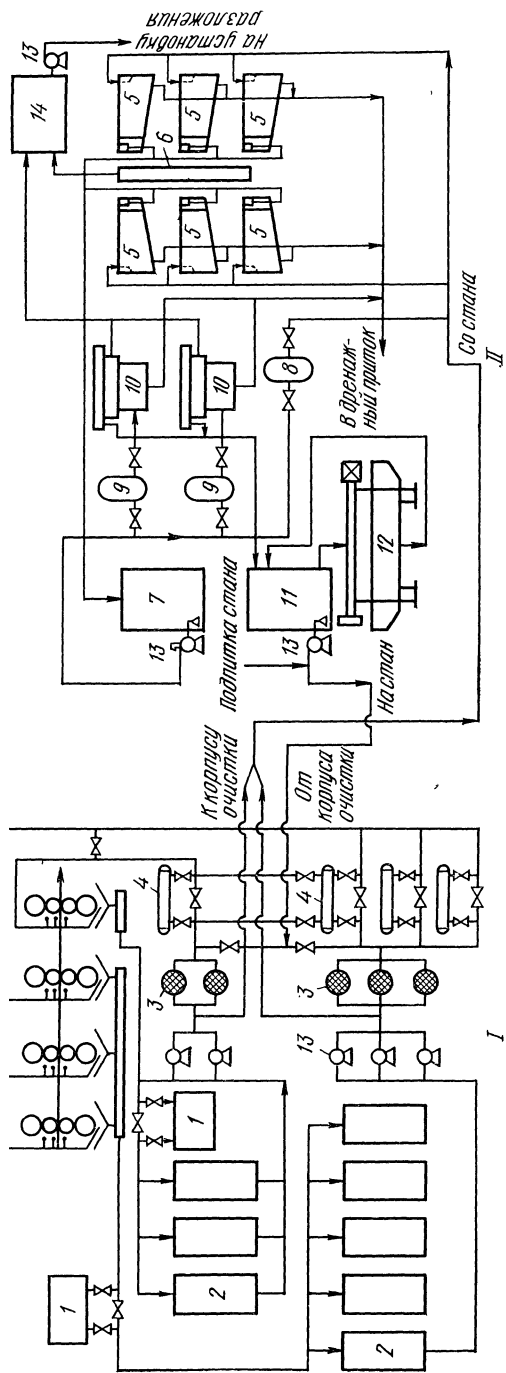


Рис. 122. Схема эмульсионной системы (I) и корпуса очистки (II) непрерывного четырехклетевого стана 2500:

I' — магнитные сепараторы; 2 — резервуары; 3 — резаруары; 4 — сетчатые фильтры; 5 — охлаждающие; 6 — сборный лоток; 7 — промежуточный приемный бак; 8, 9 — напорные баки; 10 — флотатор; 11 — бак очищенной эмульсии; 12 — ленточный бумажный фильтр; 13 — насос; 14 — бак для ленточного продукта

Работа эмульсионной системы совместно с корпусом очистки заключается в следующем. Эмульсия из обоих картеров стана направляется в отстойники одной из систем, например, в баки системы Э-1 (1—3-я клетки), откуда ее по трубопроводу подают в горизонтальные отстойники корпуса очистки, где производится грубая очистка эмульсии от крупных частиц и неэмульгированного масла. Горизонтальные отстойники (4 рабочих и 2 резервных вместимостью по 250 м³) прямоугольной формы имеют наклонное днище, изготовлены из бетона, оборудованы скребковыми транспортерами. Всплывающее масло или пена скребками направляется в сливной желоб, из которого попадает в маслоприемник, затем насосами РИИ-1-30 перекачивается в отделение огневого обезвреживания.

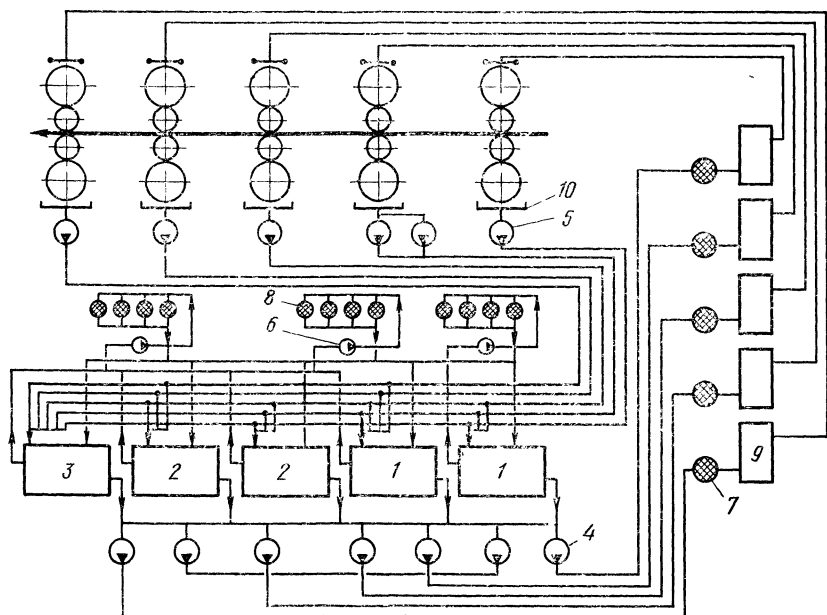


Рис. 123. Схема эмульсионной системы непрерывного пятиклетевого стана бесконечной прокатки 2030 НЛМЗ

Из горизонтальных отстойников эмульсия самотеком по трубопроводу сливается в промежуточный приемный бак, откуда насосами подается в напорные емкости. В насосной системе с помощью эжекторов воздух подается в эмульсию. Обогащенная воздухом эмульсия из напорных баков по трубопроводу подается во флотатор (1 — рабочий, 1 — резервный, по 450 м³) — круглый железобетонный резервуар со ступенчатым днищем. Образующаяся пена (в состав которой входит грязное масло, воздух, эмульсия) снимается радиальным пеногоном, сливается в маслоприемники, откуда поступает в маслоприемник. Во флотаторах эмульсия очищается в основном от свободных неэмульгированных масел (средняя ступень очистки).

Очищенная эмульсия переливом по трубопроводу самотеком поступает в бак для очищенной эмульсии, откуда насосами подается на стан или на ленточные бумажные фильтры (три фильтра с площадью фильтрации 5 м² каждый) для очистки от механических примесей (тонкая очистка) с последующей подачей на стан.

Общая емкость циркуляционной системы (вместе с корпусом очистки) около 2000 м³. При часовом расходе 1200 м³ продолжительность пребывания эмульсии в отстойниках составляет 50—60 мин и в аппарате напорной флотации

20—25 мин [414]. Емкость аналогичной эмульсионной системы стана 1700 КарМК составляет 2700 м³ [415].

В состав оборудования эмульсионной системы пятиклетевого стана бесконечной прокатки 2030 НЛМЗ входит (рис. 123): два бака 1 вместимостью по 300 м³ и два бака 2 по 150 м³ для стабильной эмульсии и один бак 3 (150 м³) для моющей жидкости, каждый бак оснащен входным шлемом с сетчатыми корзинами, потокоуравнительной стенкой, подачей сжатого воздуха, низкой перегородкой на стороне всасывания, плавающим отделителем постороннего масла с поверхности эмульсии, нагревательными паровыми меевиками с автоматическим поддержанием заданной температуры, контактными и поплачковым выключателями, автоматически поддерживающими постоянный уровень эмульсии и обеспечивающими компенсацию потерь на выпаривание; два бака 60 и 40 м³ соответственно для эмульсола и технологической смазки с нагревателями и контролем уровня; один бак емкостью 50 м³ для конденсата, получаемого при обогреве всех баков (конденсат подается во все баки для компенсации испарения); один бак емкостью 5 м³ для приема концентрата дитергента; семь насосов 4 (в том числе два запасных, производительность по 7400 л/мин, давление 1,2 МПа) для подачи эмульсии к клетям; шесть насосов 5 (в том числе один запасной, производительность по 8140 л/мин, давление 0,25 МПа) для подачи эмульсии от сборников клеток к бакам; четыре насоса 6 (в том числе один запасной, производительность по 7000 л/мин, давление 0,2 МПа) для подачи эмульсии через магнитные фильтры; шесть насосов (в том числе три запасных, производительность по 150 л/мин, давление 0,12 МПа) для подачи очищенной эмульсии с ленточных фильтров в эмульсионные баки; пять автоматических сетчатых фильтров 7 производительностью по 7400 л/мин с обратной продувкой воздухом, установленных в линии прямого потока за главными насосами, тонкость фильтрации 0,08 мм. Фильтр имеет семь камер (одна постоянно находится на очистке). Три секции магнитных фильтров 7 во вспомогательном потоке (примерно 50 % общей системы циркуляции) обеспечивают снижение содержания железа в эмульсии и нагрузки на фильтры обратной промывки. Производительность одной секции 7400 л/мин. Каждая секция состоит из четырех автоматических магнитных фильтров, одной грязесушильной установки с магнитным валком и ленточным фильтром.

В состав системы входит также пять холодильников 9 (один на клеть) и два насоса (один запасной, производительность по 150 л/мин, давление 0,6 МПа) для подачи моющего раствора (эмульсии) к дрессировочному стану.

Эмульсия из баков 1—3 с помощью насосов 4 через сетчатые фильтры 7 и холодильники 9 подается к клетям стана. Обработанная эмульсия со сборных камер 10 насосами 5 возвращается в баки. Для поддержания допустимого уровня мехпримесей (не более 0,05 %) постоянно должны работать насосы 6, подающие эмульсию из бака через магнитные фильтры 8 снова в бак.

На каждой питающей и отводящей линии имеются трехходовые краны для подачи эмульсии к клетям и перепускания в картер при остановке стана, а также для поддержания минимального уровня эмульсии в картере. Для поддержания постоянного давления при переменном расходе эмульсии на коллекторах служит специальное регулирующее устройство, которое отводит избыточное количество эмульсии через клапан в картер клетки. Расход эмульсии на каждую клеть задается датчиками (для отдельных зон коллекторов), управляющими мембранными клапанами, и измеряется расходомерами. Приток эмульсии к 1—4-й клетям — 7724 л/мин (на каждую клеть), к 5-й клетки — 6451 л/мин.

Для регулирования теплового профиля валков подача эмульсии в коллекторы на 1-й и 2-й клетях по длине бочки разделена на три зоны, на 3-й и 4-й клетях — на 5 зон, а на 5-й клетки — на 9 зон (см. рис. 120).

Система может работать по одной из 10 программ: с подачей эмульсии из двух баков по 150 м³, двух баков по 300 м³, из всех баков и т. д.

На стане 2030 (табл. 66) завода фирмы Мидуэст стил система позволяет подводить к 1-й и 5-й клетям воду, ко всем пяти клетям технологическую смазку. При необходимости к 1—3-й клетям можно подавать смазку одного типа, а к 3—5-й клетям — другого. К 4-й и 5-й клетям можно подавать моющие растворы. Подача жидкости в коллекторы на 1—3-й клетях по длине бочки разделена

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ
СИСТЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СМАЗКИ И ОХЛАЖДЕНИЯ
ПЯТИКЛЕТЕВЫХ НЕПРЕРЫВНЫХ СТАНОВ
ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ [416]

Показатели	Стан 2030, Мидуэст стил (США)	Стан 2030, Инленд стил (США)	Стан 2185, Армко стил (США)	Стан 1730, Сумитомо киндзоку ко- че (Япония)
Производительность контура смазочно-охлаждающих жидкостей, л/мин	9092	11 350	7560	Нет св.
Давление в системе, МПа	1,05	1,40	Нет св.	» »
Число резервуаров и их емкость, м ³ :				
смазочно-охлаждающих жидкостей	2×136,4	2×227	2×64,3	3×150
моющих растворов	1×54,6	1×151	—	1
воды	Нет св.	1×151	—	—
Кратность общей емкости резервуаров к производительности их подачи	30	40	17	Нет св.
Число насосов (центробежного типа)	5	6	6	То же
В том числе резервных	Нет св.	1	2	»
Мощность двигателя насосов, кВт	224	370	186	»
Скорость вращения вала двигателя насоса, об/мин	1800	Нет св.	1800	»
Фильтры:				
плоские кассетного типа	Нет св.	Есть	Есть	»
вращающиеся барабанные магнитные	То же	То же	То же	»
Устройства для дифференцированной по длине бочки валков подачи растворов (воды)	Во всех клетях	Во всех клетях	Нет св.	Клеть 5
Теплообменники	Нет св.	Нет	Есть	Нет св.
Управление системой от ЭВМ	Нет	Есть	Нет	Есть

на три, а в 4-й и 5-й клетях — на пять зон. Регулирование подачи жидкости в каждую зону осуществляется дистанционно управляемым клапаном.

На стане 2030 завода фирмы Инленд стил имеется возможность подавать на каждую из пяти клетей из любого из четырех баков необходимую жидкость (технологическую смазку, воду, моющий раствор). Два бака по 227 м³ оборудованы мешалками для метастабильных эмульсий, пеноснимателями для удаления пены и масла и устройством для удаления паров. Для очистки эмульсии через нее барботируют углекислый газ (вместо воздуха), что предотвращает интенсивное окисление масла.

Из каждого бака жидкость фильтруется под давлением через плоские фильтры с пропускной способностью каждого 26 000 л/мин, 20 % всего объема подаваемой на стан жидкости фильтруют через барабанные магнитные фильтры, отделяющие мелкие металлические частицы. Отвод жидкости от каждой клетки производится раздельно в сборники, разделенные для различных жидкостей на пять секций. Подача жидкости (воды, эмульсии) в 1—4-й клетях производится между рабочими и опорными валками с выходной стороны и между рабочими валками с входной стороны, а в 5-й клетки между рабочими и опорными, а также между рабочими валками с входной стороны.

На стане 2185 завода фирмы Армо стил имеются два аналогичных контура для подачи 7560 л/мин эмульсии. Первый в 1—3-ю клетки, второй в 4-ю клетку, а при необходимости — в 3-ю и 5-ю клетки. Для охлаждения валков 5-й клетки служит отфильтрованная и умягченная вода. В 1-ю клетку можно также подавать воду для охлаждения из отдельного контура.

На стане 1730 завода фирмы Сумитомо киндзоку коче эмульсионная система имеет четыре контура: в одном используют эмульсию на жировой основе, в двух других — стабильную на основе растворимых масел, четвертый контур служит для подачи моющих растворов в 5-ю клетку. Каждый контур оборудован вакуумным ленточным фильтром (фильтр Гоффмана).

Эмульсионные системы фирмы «Weap—United», установленные на пятиклетевых станах, имеют два бака вместимостью 320 м³ — для 2-й и 3-й клеток и 200 м³ для 4-й и 5-й клеток. Над каждым баком расположен ленточный фильтр (производительностью 17 м³/мин) с двумя насосами (один резервный). Подача очищенной эмульсии на стан производится с помощью циркуляционного насоса производительностью 7600 л/мин через холодильник. К 1-й клетки подают воду, к 5-й — эмульсию или моющий раствор [417, 418].

Системы прямого типа в основном применяют при холодной прокатке жести на многоклетевых станах. Однократно используемая технологическая смазка наносится на валки и на полосу в чистом виде (относительно редко) или в виде механической смеси с водой; валки охлаждаются водой из отдельной системы.

Охлаждающая вода может использоваться однократно или применяться в циркуляции. При однократном использовании вода вместе со смазкой сбрасывается во внешние отстойники, при циркуляции вода со смазкой направляется на очистительные сооружения, где после очистки от масла и механических примесей вода возвращается на стан, а масло поступает на регенерацию.

При однократном способе нанесения технологической смазки максимально используется смазочная способность технологических смазок и достигается высокая чистота поверхности жести.

В типовой системе прямого нанесения смазки (рис. 124 [186]) свежая смазка подается в баки 1, где она подогревается до 50—70 °С. Из бака дозирующими насосами (типа РПН-1-30) 2 через фильтр 3 смазка подается в смесительный бак 4. Одновременно в смеситель подается подогретая до 60—70 °С вода из бака 5 через фильтр 3 и мембранно-пружинный клапан 6. Смеситель оборудован мешалкой 7 с приводом от воздушной турбины 8, датчиком уровня 9 и терморегулятором 10. Подготовленная механическая смесь масла с водой циркуляционными насосами (типа КСМ-30) 11 подается в магистраль 12; давление и температура смеси контролируется приборами 13. Из магистрали 12 смазка через распределительные клапаны 14 поступает в коллектор 15 и через форсунки 16 подается на полосу (или на валки). Оставшаяся смазка поступает через золотниковый распределитель 14 по магистрали 17 назад в смеситель. Включение подачи смазки на полосу контролируется с поста управления станом посредством воздушных цилиндров 18 и золотникового устройства 14. Давление контролируется манометрами 19 и регулируется посредством запорной арматуры 20. Количество поступающих в смеситель воды и масла регулируется соответственно дистрибутором 21 и дозирующим насосом 2. Распыление водомасляной смеси производится с помощью безвоздушных форсунок (рис. 125) с диаметром отверстия 1,2 мм.

Вода для охлаждения стана, подогретая до 40—45 °С, при помощи циркуляционных насосов (типа 6НДВ) через сетчатые фильтры подается в коллекторы охлаждения прокатных валков. Вода с валков и остатки технологической

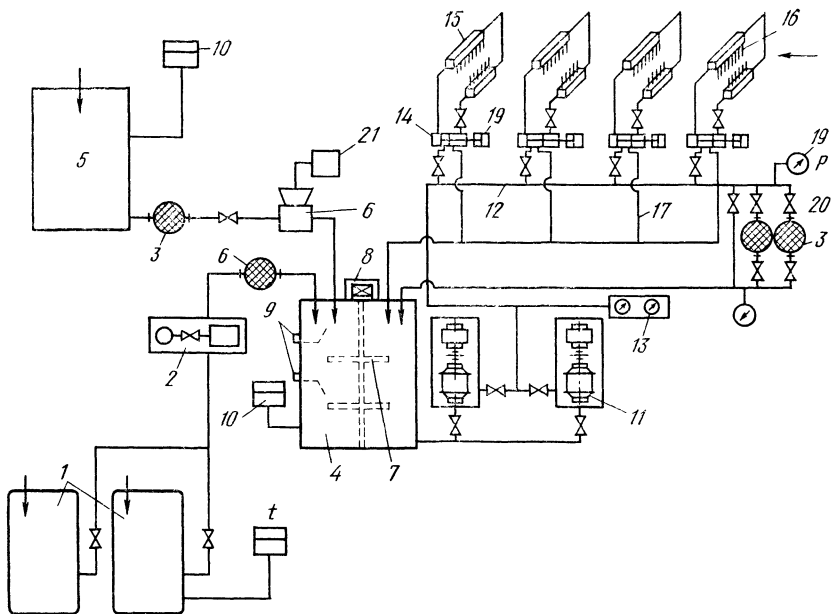


Рис. 124. Типичная схема подачи технологической смазки прямого действия на непрерывном пятиклетевом стане 1200 ММК (на 1-ю клеть технологическая смазка не подается)

смазки попадают в общий сборник, сливаются в грязевый бак, откуда насосами перекачиваются в горизонтальные отстойники системы очистки.

Система очистки включает систему очистки воды, разложения эмульсии (воды после проудки обратной системы), регенерации технологической смазки.

Система очистки охлаждающей воды производительностью 800—1200 м³/ч представлена на рис. 126 [414]. Загрязненная вода поступает в отстойники 1, где масло и легкие примеси всплывают, а тяжелые осаждаются. Всплывшее масло и донный осадок удаляются с помощью скребковых устройств. Из отстойников вода через сливную перегородку попадает в приемную камеру отстоенной воды 2, откуда насосами 3 подается на два автоматических ленточных фильтра 4 типа SBF-5. Очищенная вода, содержащая 30—50 мг/л механических примесей и до 100 мг/л свободных масел, направляется в приемники 5, откуда пятью центробежными насосами 6 подается через теплообменники 7 на каждую клеть стана. Всплывший пенный продукт собирается в сборных карманах, откуда самотеком поступает в сборный бак 8 и направляется на регенерацию. Количество воды в системе около 700 м³.

Рис. 125. Форсунка безвоздушного распыления технологической смазки:

- 1 — распылитель;
- 2 — червяк

(температура 71—74 °С). Отсюда масло дозировочным насосом подается в смеситель, а три других дозировочных насоса подают в смеситель горячую воду

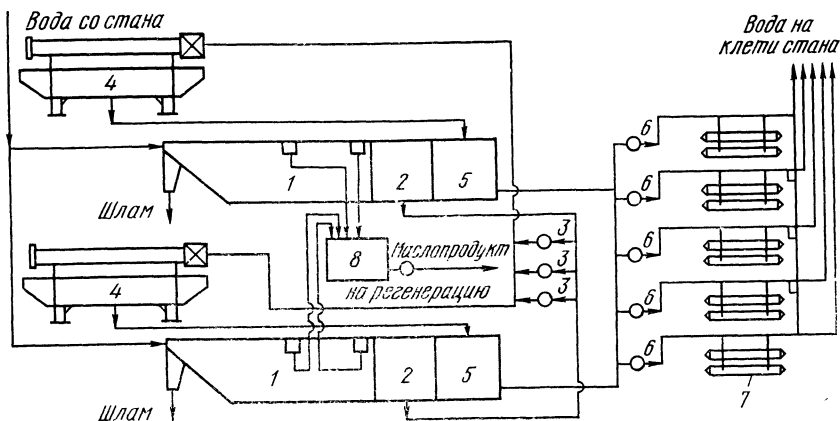


Рис. 126. Система очистки охлаждающей воды непрерывного пятиклетевого стана 1200

Рис. 127. Система прямой подачи технологической смазки на пятиклетевом стане завода «Йорквил Плант» (США) (на первые две клетки смазка не подается):

1 — бак со смазкой; 2 — расходомер; 3 — фильтры; 4 — бак с горячей водой; 5 — дозирующие насосы воды и масла; 6 — смеситель; 7 — мешалка; 8 — двойной фильтр; 9 — центробежный насос (380 л/мин; 1,2 МПа); 10 — фильтр; 11 — золотник; 12 — манометр; 13 — контроль концентрации смазки; 14 — линия возврата

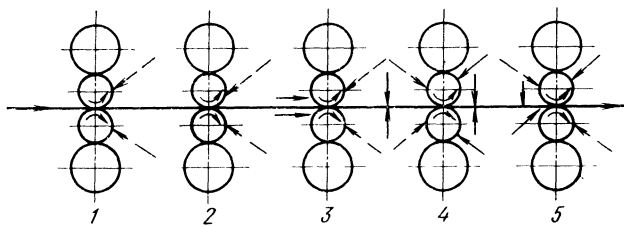
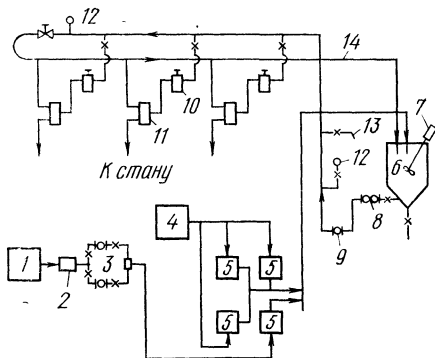


Рис. 128. Схема подачи воды (штриховые) и смазки (сплошные линии) при прокатке на пятиклетевом стане

(82 °С). Масло и вода с помощью мешалки с лопастями постоянно перемешиваются, а также циркулируют по замкнутому циклу на стан и обратно. На каждой клетке имеется разводка для подачи смазки на валки и полосу (рис. 128) форсунками с диаметром отверстия 0,025—0,05 мм.

В 1-й клетке, а иногда и во 2-й клетке используется промасливающее масло из травильной линии. Концентрация масла в смеси может быть одинаковой для всех клеток (например, 20—25 %) или же различной для каждой группы клеток. При постоянной концентрации масла для всех клеток работает один смеситель, при дифференцированной подаче для каждой группы клеток устанавливается отдельный смеситель. Смесители обычно имеют вместимость около 1000 л.

При прокатке тончайшей жести на двух- и трехклетевых непрерывных станах для подачи смазки могут применяться системы прямого действия такой же конструкции, как и для пятиклетевых станов (рис. 129). Концентрация масла в смеси 8—12 %. При этом смазка может подаваться только на первые две (рис. 130) или же на все клетки.

При прокатке жести, особенно тончайшей жести, в зарубежной практике для подачи технологической смазки применяют также замкнутые циркуляционные системы (рис. 131, [83]), аналогичные таковым при прокатке листовой стали. В качестве смазки применяются нестабильные или метастабильные эмульсии на жировой основе, менее стойкие, чем для прокатки листовой стали, и более высоких концентраций.

В циркуляционной системе на пятиклетевом стане в Бернс Харборе (США), протравливающим листовую сталь и жести, баки для эмульсии оборудованы мешалками, работающими в двух диапазонах скоростей. При прокатке жести применяется высокая скорость перемешивания раствора, что позволяет диспергировать все масло, находящееся в баке. При прокатке листовой стали скорость перемешивания снижается, что приводит к уменьшению концентрации масла в смеси.

Клетки современных многоклетевых станов оснащают устройствами для дифференцированной подачи технологической смазки вдоль бочки валков. Такие устройства обеспечивают тепловое профилирование валков.

Системы смешанного типа применяются на некоторых многоклетевых непрерывных станах, прокатывающих, кроме жести, и листовую сталь или лист толщиной от 0,3 до 2,5 мм. Такие станы оборудуют системой прямого действия (для прокатки жести) и циркуляционной (для прокатки листовой стали) [412]. При прокатке тонких полос могут работать комбинировано обе системы технологической смазки.

Система нанесения смазки на стане 2030 НЛМЗ (рис. 132) является составной частью системы смешанного типа (см. рис. 123).

Дозирующим насосом 1 производительностью 120 л/мин смесь смазки с водой (из баков 2, 3 для смазки вместимостью 40 м³ и 4 — конденсата — 50 м³) в заданном соотношении 1 : 3 через подогреватель 5 подается в смеситель 6 вместимостью 2 м³, оборудованный мешалкой 7. Из смесителя насосом 8 (один рабочий, другой резервный, производительность по 65 л/мин, давление 0,7 МПа) смесь через двойной сетчатый фильтр 9 (тонкость фильтрации 0,15 мм) подается к коллекторам 10, установленным перед первой клетью и между клетями. Регулирующее устройство и трехходовой кран обеспечивают постоянный сток избыточного количества смазки в смеситель. Регулятор расхода с дистанционным управлением распределяет смазку на отдельные коллекторы. Предусмотрена также индивидуальная регулировка для отдельных зон коллекторов.

На заводе «Запорожсталь» для прокатки жести разработана система прямого действия для нанесения смазки в чистом виде (рис. 133) [420, 421].

Количество смазки, подаваемой в единицу времени к форсункам 11 (10—40 г/мин) может регулироваться в широких пределах — изменением числа оборотов двигателя — (частота подачи) и регулятором (количество смазки, подаваемой за один ход плунжера). Давление масла на выходе из форсунки зависит от усилия, создаваемого предварительно затянутой пружиной форсунки и составляет 12,0—18,0 МПа.

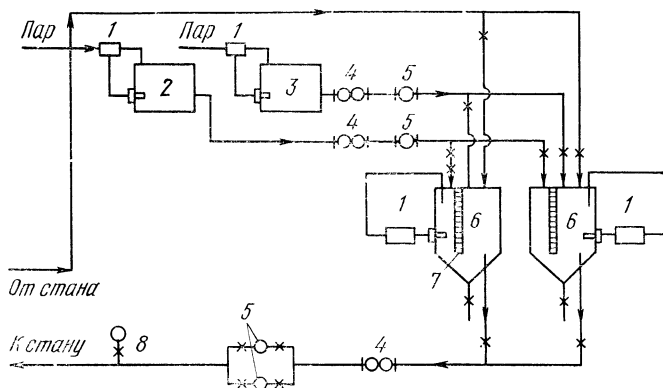


Рис. 129. Система прямой подачи смазки на трехклетевом стане:
 1 — терморегулятор; 2 — бак со смазкой; 3 — бак с водой; 4 — двоянный фильтр; 5 — центробежный насос; 6 — смеситель; 7 — шкала, указывающая уровень наполнения; 8 — манометр

Рис. 130. Схема подачи воды (штриховые) и смазки (сплошные линии) при прокатке на трехклетевом стане

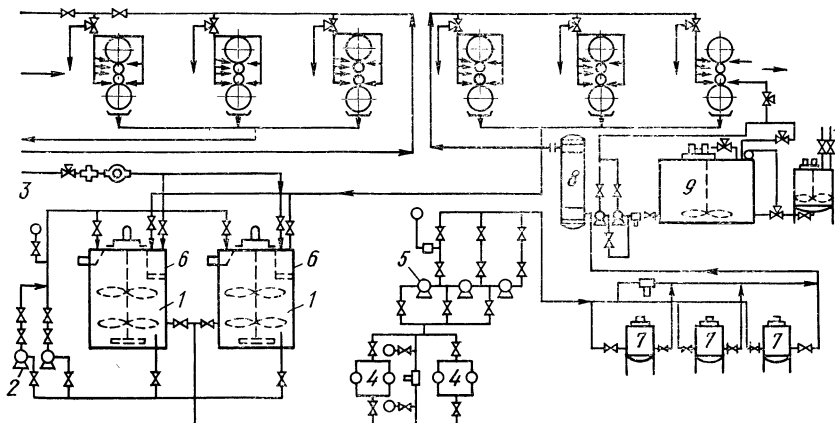
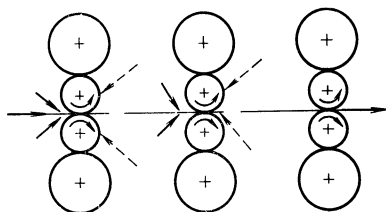


Рис. 131. Система подачи метастабильных эмульсий на шестиклетевом стане:
 1 — эмульсионные баки; 2 — насосы для перемешивания; 3 — подача масла со склада; 4 и 6 — фильтры грубой очистки; 5 — циркуляционные насосы; 7 — фильтры тонкой очистки; 8 — холодильник; 9 — система подачи моющего раствора на валки (первые три клетки оборудованы аналогичной системой подачи смазки)

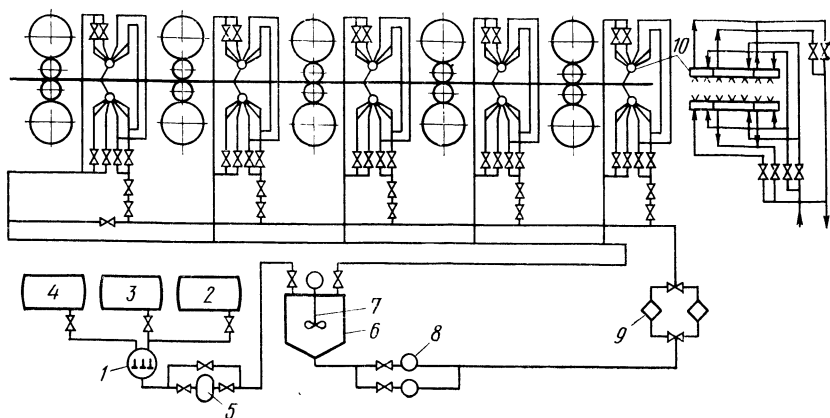


Рис. 132. Схема установки для нанесения дополнительной технологической смазки на пятиклетевом стане 2030 НЛМЗ

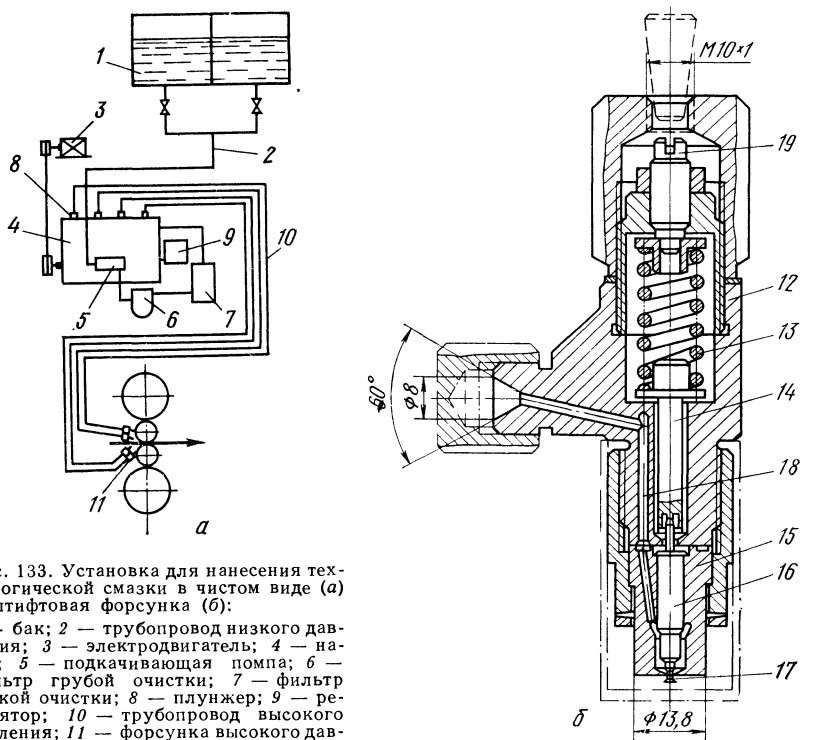


Рис. 133. Установка для нанесения технологической смазки в чистом виде (а) и штифтовая форсунка (б):

1 — бак; 2 — трубопровод низкого давления; 3 — электродвигатель; 4 — насос; 5 — подкачивающая помпа; 6 — фильтр грубой очистки; 7 — фильтр тонкой очистки; 8 — плунжер; 9 — регулятор; 10 — трубопровод высокого давления; 11 — форсунка высокого давления; 12 — корпус; 13 — пружина; 14 — штанга; 15 — распылитель; 16 — игла; 17 — штифт иглы; 18 — канал для подвода смазки; 19 — регулировочный винт

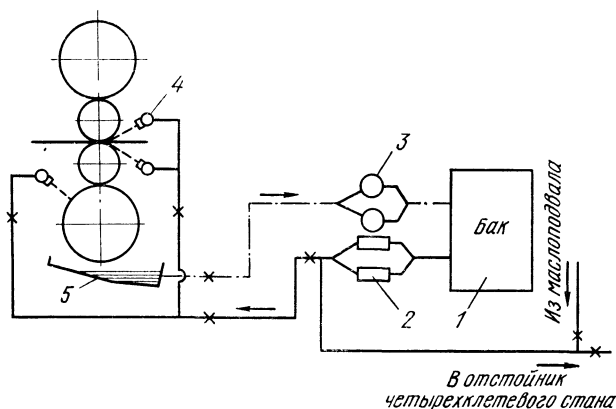


Рис. 134. Схема установки для подачи эмульсии на дрессировочном стане 1700 Череповецкого металлургического завода:

1 — бак для эмульсии вместимостью 10 м³; 2 — насос вихревого типа; 3 — центрифуга для очистки эмульсии; 4 — коллектор с форсунками; 5 — картер стана

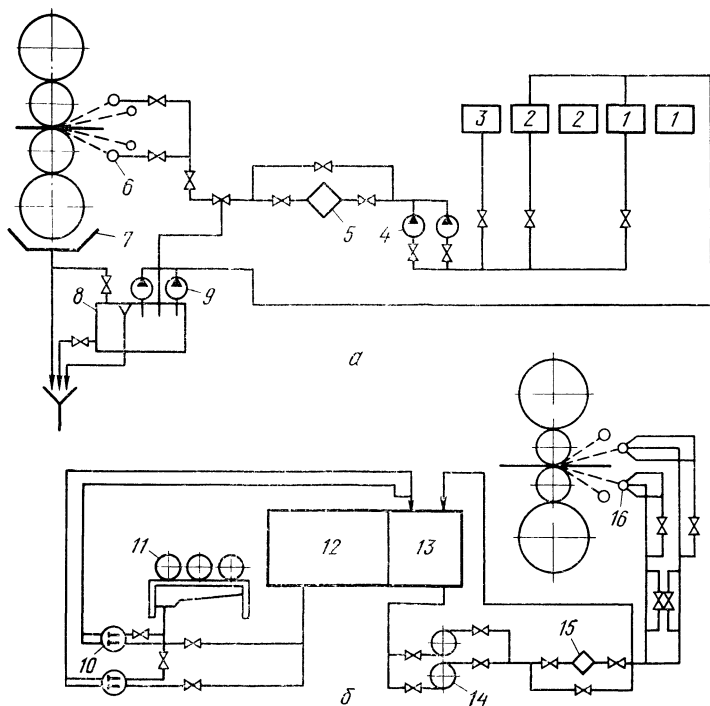


Рис. 135. Схема установки для нанесения эмульсии или обезжиривающего (а) и моюще-охлаждающего (б) раствора на дрессировочном стане 2030:

1 — бак для эмульсии вместимостью 300 м³; 2 — бак для эмульсии 150 м³; 3 — бак для обезжиривающего раствора, 150 м³; 4 — насос производительностью 150 л/мин; 5 — фильтр; 6 — коллектор с соплами; 7 — картер; 8 — приемный бак, 3 м³; 9 — насос производительностью 200 л/мин; 10 — дозировочный насос производительностью 50 л/мин; 11, 12 — емкости; 13 — бак для моющего раствора 2 м³; 14 — циркуляционный насос производительностью 40 л/мин; 15 — фильтр; 16 — коллектор

Несмотря на периодичность подачи смазки, она поступает в очаг деформации равномерно, так как толщина масляной пленки выравнивается перед валками. Частота подачи смазки для обеспечения постоянства толщины пленки должна быть не менее пяти циклов в секунду. Установка обеспечивает минимальный расход смазки (до 1 кг/т проката), максимальное использование смазочной способности смазок, применяемых в чистом виде, компактна, надежна в работе.

На дрессировочных станах, работающих с применением смазочно- или моюще-охлаждающих жидкостей, используются циркуляционные системы (рис. 134).

Дрессировочный стан 2030 НЛМЗ оборудован системой для нанесения эмульсии или обезжиривающего раствора непосредственно с эмульсионной системы пятиклетевого стана 2030 (рис. 135, а) и для нанесения моюще-охлаждающего раствора из отдельной системы (рис. 135, б).

Избыток эмульсии или моющего раствора стекает в картер и приемный бак 8, откуда насосом 9 возвращается в эмульсионные баки. Обе системы могут работать одновременно.

13.2. Системы технологической смазки на многовалковых станах

На многовалковых станах применяются циркуляционные системы нанесения СОЖ (маловязких минеральных масел или стабильных эмульсий минеральных масел). Конструкции систем различаются устройствами очистки масел и эмульсий, а также способом смазки подшипников опор валков. В системе для подачи масла последнее является и смазкой для подшипников валковых опор.

Надежная автоматизированная система (рис. 136) включает резервуар для смазки 2 вместимостью 180 м³, разделенный перегородкой на две равные камеры для чистого и грязного масла. Обе камеры снабжены обогревом 8 и уровнем с выключателем. Из камеры чистого масла смазка циркуляционными насосами 9 (2 рабочих и 1 резервный, производительность по 5000 л/мин, давление 1,33 МПа) через трубчатые теплообменники 14 подается на стан 1 для смазки и охлаждения валков и полосы, а насосом 11 (1 рабочий и 1 резервный, производительность по 2000 л/мин, давление 0,5 МПа) — для смазки и охлаждения подшипников опор. Рабочие, промежуточные и опорные валки и прокатываемая полоса охлаждаются смазкой с двух сторон стана. Перед станом смонтированы трехходовые клапаны, с помощью которых можно вести подачу смазки к стану или обратно в резервуар. Отработанное масло со стана стекает в камеру грязного масла, откуда фильтр-насосами 10 (2 рабочих и 1 резервный, производительность по 660 л/мин) подается на намывные фильтры 3 фирмы «Зак» с кизельгуром.

Намыв нового слоя кизельгура на фильтровальные свечи осуществляется при помощи устройства, состоящего из намывного бака 5, дозировочного устройства с запасным баком для кизельгура 6, намывного 12 и дозирующего 13 насосов. Очищенное масло из фильтра подается в бак чистого масла через бумажно-патронные фильтры 7, служащие для очистки масла от возможных прорывов кизельгура. Полученная при регенерации фильтра смесь масла, грязи и кизельгура сепарируется в отстойном баке 4, после чего масло возвращается в бак грязного масла, а грязь с кизельгуром выгружается с помощью цепного транспортера из бака, отжимается в прессе и удаляется.

Для повышения эффективности охлаждения жидкостей, кроме трубчатых холодильников, устанавливают трубокомпрессорные холодильники (типа фреон—вода), характеризующиеся высокой охлаждающей способностью [422].

Типичная система подачи эмульсии (рис. 137) на многовалковых станах включает резервуар, имеющий три отсека: для грязной эмульсии, фильтрационную камеру и для чистой эмульсии. Отсек с грязной эмульсией оборудован флотационной установкой. Тонкая очистка эмульсии осуществляется с помощью вакуумных или напорных ленточных фильтров.

На стане Сендимира с рабочими валками диаметром 154 мм эмульсионная система подачи смазки имеет резервуар для эмульсии вместимостью 120 м³,

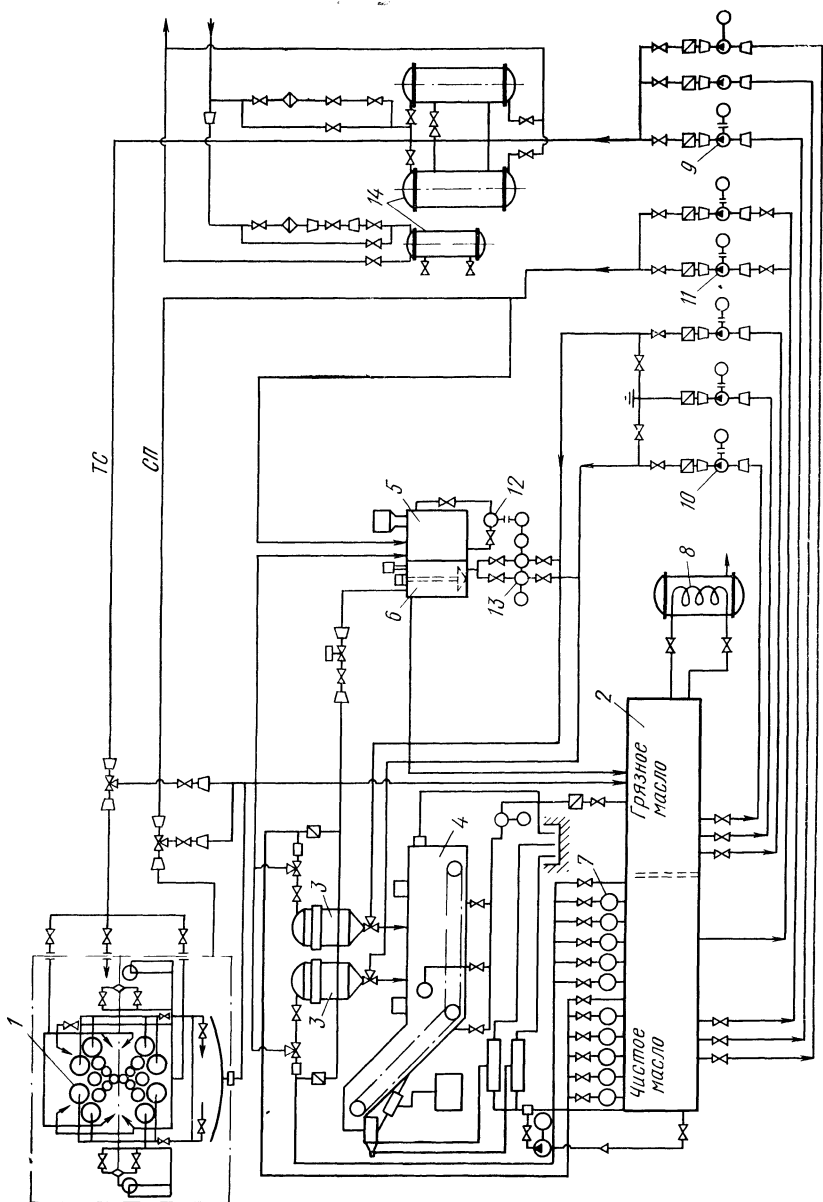


Рис. 136. Система подачи смазки на 20-валковом стане 1700. ТС — технологическая смазка, СП — смазка подшипников

разделенный на три отсека. Производительность насоса для подачи эмульсии на стан 5,7 м³/мин, давление 1,2 МПа. Очистка эмульсии осуществляется с помощью магнитных и ленточных фильтров.

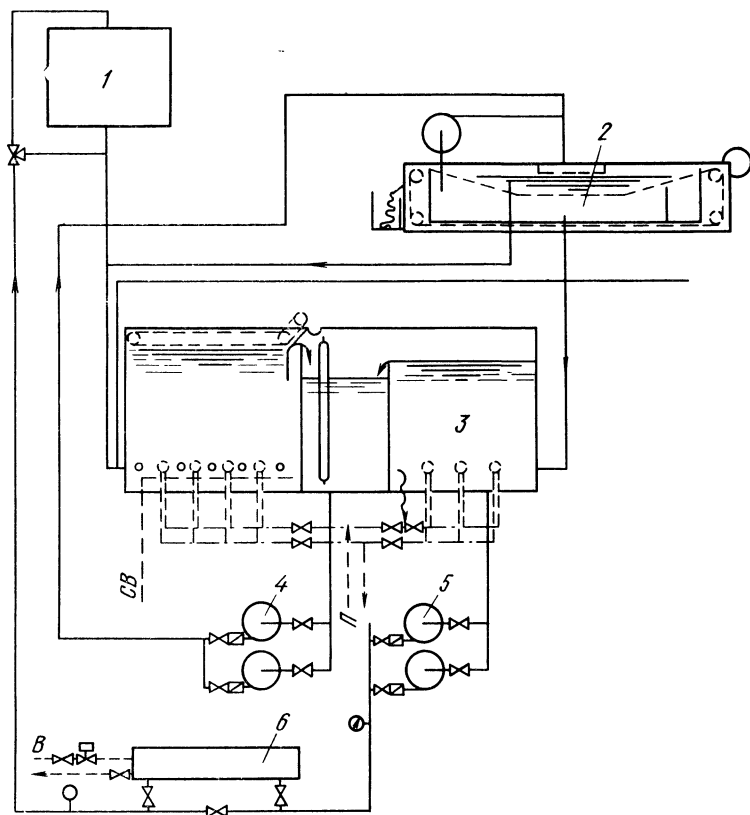


Рис. 137. Система подачи эмульсии на многовалковых станах:

1 — рабочая клетка; 2 — вакуумный ленточный фильтр; 3 — резервуар для эмульсии; 4 — насосы для подачи эмульсии на фильтр; 5 — насосы для подачи эмульсии на стан; 6 — холодильник; В — вода; П — пар; СВ — сжатый воздух

13.3. Системы для промасливания листовой стали

Промасливание поверхности полос и листов производится в непрерывных травильных линиях перед смоткой в рулон, на агрегатах поперечной резки готовых листов, реже в линии дрессировочных станов при смотке в рулон или при укладке листов, а также на отдельно стоящих агрегатах для промасливания листов.

Промасливание полос жидкими маслами осуществляется с помощью форсунок в замкнутой камере либо переносом смазки тянущими роликами. На ролики смазка наносится через коллекторы или комбинированным способом — нижний приводной ролик погружен в масляную ванну, а на верхний неприводной смазка подается через коллектор. При использовании форсунок промасливание травленых полос производится через 4 форсунки (диаметр отверстия 0,4—0,8 мм), распыляющие смазку на обе поверхности полосы. Смазка в коллекторы с форсунками подается из обогреваемого бака лопастным насосом под дав-

лением 6,5 МПа. Излишки смазки из приемного сборника самотеком возвращаются в бак. Узел промасливания помещен в специальную металлическую камеру. В другом случае масло из коллекторов подается в зев между полосой и верхним, а также нижним тянущими валками сверточной машины.

Установка для промасливания на травильных линиях завода «Запорожсталь» (рис. 138) включает бак 1 вместимостью 12 м³, откуда эмульсия самотеком поступает в рабочие баки 2 и 3 по 3,7 м³, обогреваемые паровыми змеевиками, масло находится в баке. Из рабочих баков эмульсия насосами 4 производительностью 20 м³/ч (по одному на каждую линию) подается к коллекторам с соплами, установленными перед тянущими роликами у петлевой ямы. Эмульсия наносится на верхнюю и нижнюю поверхности полосы и равномерно распределяется по ширине полосы тянущими роликами. Избыток масла и эмуль-

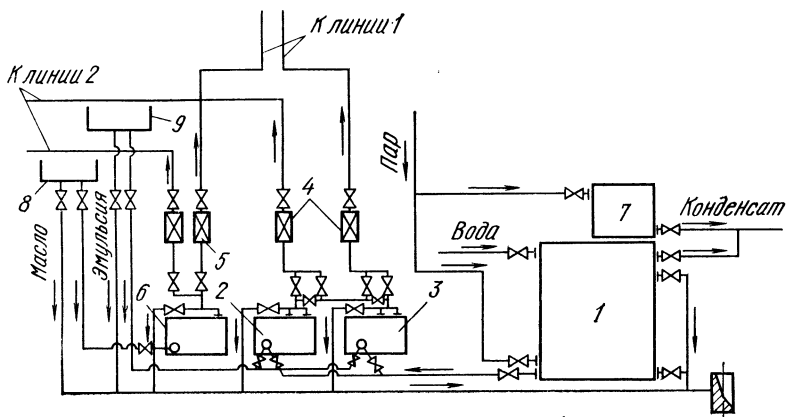


Рис. 138. Схема установки для подачи эмульсионных и масляных смазок для промасливания травяных полос в непрерывных травильных линиях 1 и 2

сии отжимается в поддоны 8 и 9 и самотеком возвращается в бак. На выходе из тянущих роликов остатки эмульсии сдуваются с кромок полос сжатым воздухом. Промасливание поверхности полос минеральным маслом производится из бака 6 насосами 5 через коллекторы, установленные перед тянущими роликами у сверточной машины.

На заводе фирмы «British Steel Corp.» для промасливания полос в непрерывной травильной линии применяется система электростатического нанесения смазки с распылителями щелевого типа (рис. 139) [423]. Смазка наносится только на верхнюю сторону полосы, а при смотке в рулон эта смазка отпечатывается и на нижней. Распылители щелевого типа во избежание взаимодействия с электростатическим полем покрыты изолирующим материалом. Между полосой и распылителями создается разность потенциалов. Высокое напряжение постоянного тока (0—100 кВ) получают от кремниевого выпрямителя, подключенного к трансформатору с регулируемыми ступенями. Блок питания высоким напряжением помещен в стальной резервуар, наполненный маслом. Все элементы системы защищены кожухами. Средняя скорость движения полосы 245—365 м/мин. Число распылителей определяется скоростью прохождения полосы. Вязкость и электрическое сопротивление смазки поддерживается постоянными. Это достигается применением нагревателей, установленных в зоне нанесения смазки и обеспечивающих постоянные температуру (27 °С) и вязкость (50—65·10⁻⁶ м²/с) смазки. Толщина слоя смазки может колебаться от 0,005 до 10 г/м². Способ обеспечивает значительную экономию смазки (до 2273 л в неделю), уменьшение загрязнения окружающей среды, равномерность нанесения смазки. Экономия смазки является результатом точного контроля массы смазки и полного возврата ее из рециркуляционного контура (при обычном способе подачи

смазки через коллектор только 40 % смазки возвращается из рециркуляционного контура).

Промасливание поверхности листов в линии агрегатов поперечной резки производится жидкими маслами с помощью коллекторов с отверстиями, наносящими смазку на промасливающие ролики или с помощью форсунок в замкнутой камере.

При промасливании листов с помощью коллекторов масло из бака (с паровым обогревом) вместимостью 2000 л насосом подается к коллекторам с отверстиями, установленными перед первой парой роликов диаметром 220 мм, набранных из фланели. Излишек смазки собирается в нижнем поддоне и самотеком по трубопроводу возвращается в бак. Количество смазки, подаваемой на ролики, регулируется ручными вентилями и кратковременным периодическим включением насоса с поста оператора листоукладчиков. Равномерное распределение

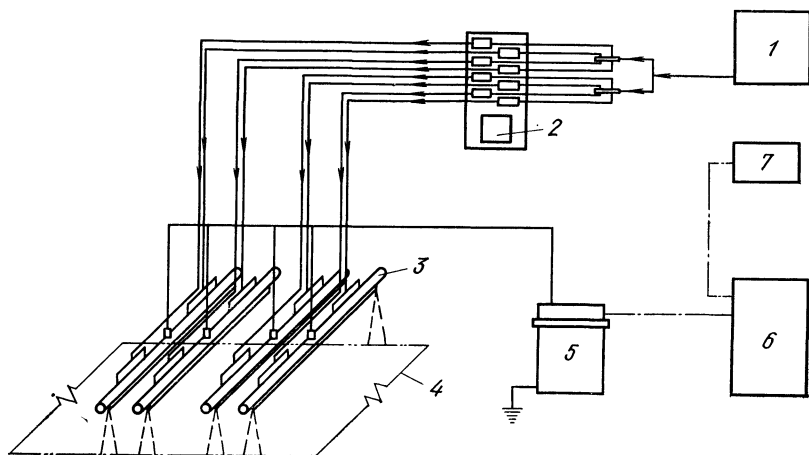


Рис. 139. Система электростатического нанесения смазки на поверхность травленых полос: 1 — резервуар со смазкой; 2 — насосная группа с автоматическим регулированием количества подаваемой смазки; 3 — щелевые распылители; 4 — полоса; 5 — блок питания электростатического высокого напряжения; 6 — блок основного электропитания; 7 — панель дистанционного управления

смазки по ширине полосы достигается с помощью двух пар приводных фланелевых роликов. В другом случае промасливание листов производится воздушными форсунками в закрытой камере. Масло к форсункам подается насосом из обогреваемого бака.

В США для промасливания поверхности листов (полос) создано устройство с периодической автоматической подачей смазки с помощью разбрызгивающих устройств на войлочные ролики, равномерно наносящие смазку по ширине листа¹. При этом независимо от скорости резки на лист наносится слой смазки заданной толщины с помощью регулирующего устройства.

Работа регулирующего устройства осуществляется следующим образом (рис. 140). Сжатый воздух под давлением 0,7 МПа через фильтр 1 подается в регулятор давления 2, оборудованный манометром, и далее в насос 3, который опущен в резервуар с маслом. Насосом масло по трубопроводу 4 через масляный фильтр 5 подается к разбрызгивающему устройству 6, расположенному над роликом 7 на всю его длину. Ролик со слоем войлока 8 соприкасается с листом, который необходимо промаслить. На валу 9 ролика размещен шкив 10, соединенный ременной передачей 11 с редуктором 12. Редуктор имеет кулачко-

¹ Пат. 3416489 (США) 1968.

вый диск 13, приводящий в движение конечный выключатель 14 один раз за каждый оборот. Время передвижения кулачкового диска за один оборот определяется скоростью вращения ролика, который в свою очередь движется синхронно с промасливаемой полосой. Передаточное число редуктора выбирается таким, чтобы при максимальной скорости полосы продолжительность одного оборота кулачкового диска составляла 3 с.

Разбрызгивающее устройство состоит из целого ряда сопел, каждое из которых связано последовательно с соленоидным клапаном 15. Соленоидный клапан приводится в движение выключателем 14 через реле времени 16. Часть разбрызгивающих устройств можно отключить, — в зависимости от ширины полосы. Так как кулачковый диск приводит в движение выключатель один раз за

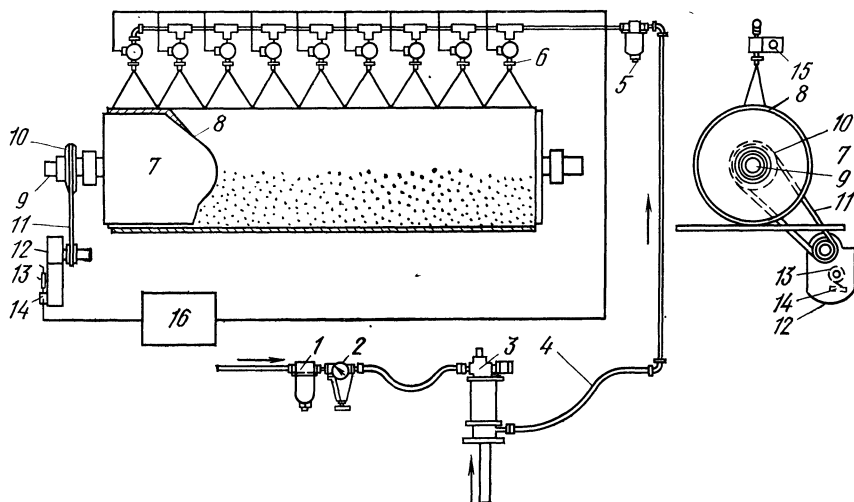


Рис. 140. Схема установки автоматического нанесения смазки для промасливания готовых листов (полос)

один оборот при данной скорости полосы, разбрызгивание повторяется через каждые 3 с. Продолжительность разбрызгивания настраивается с помощью реле времени. Например, если продолжительность разбрызгивания настроена на 0,5 с, то масло подается на ролик в течение 0,5 с через каждые 3 с. При уменьшении скорости движения полосы интервалы между подачами смазки удлиняются (при той же продолжительности подачи) и толщина слоя смазки остается постоянной.

Такую же конструкцию, как и на агрегатах поперечной резки, имеют отдельно стоящие промасливающие устройства и устройства, установленные в линии дрессировочных станов, наносящие смазку на листы.

При поставке листовой стали в рулонах промасливание их поверхности производится непосредственно на дрессировочном стане перед намоткой в рулон дрессированной полосы.

13.4. Системы технологической смазки для профилегбочных станов

Профилегбочные станы характеризуются небольшим тепловыделением, возможностью использования нетравленных заготовок, повышенными требованиями по защите от коррозии некоторых видов продукции. Станы оборудуются двумя циркуляционными системами — эмульсионной и для промасливания полос маслом.

Характеристика оборудования эмульсионных систем профилегбочных агрегатов приведена ниже.

Эмульсионная система стана	2-8×100—600	0,5—2,5×500—1500
Производительность системы, м ³ /ч	97	30

Насосные установки

Тип	3Ф—12	2К—6
Число, шт.	3	3
Рабочее давление, МПа	0,25	0,22
Производительность, л/мин	1620	500
Мощность двигателя, кВт	17	4

Резервуары

Вместимость, м ³	10	10; 3,15
Число, шт.	2	1 1
Габаритные размеры, мм.	22 000×7 500×6 000	

Фильтры

Тип	Сетчатый ФДС-250	Сетчатый
Число, шт.	2	2
Тонкость фильтрации, мм	0,25	0,1
Поверхность фильтрации, м ²	0,18	8,5

Теплообменники

Тип	—	Пластинчатый
Число, шт.	—	1

Эмульсионные баки стана 1—4×50—300 (рис. 141) вместимостью 10 м³ каждый, с подогревом эмульсии паровыми змеевиками. Подача эмульсии осуществляется с помощью центробежных насосов ЗК-6 производительностью 30—70 м³/ч (один насос — рабочий, второй — резервный, третий — для приготовления эмульсий). В линии циркуляции установлен отстойник емкостью 6 м³ для очистки возврата эмульсии от окалины и грязи. Перемешивание эмульсии в отстойнике не допускается. Для дополнительной очистки эмульсии установлены два сетчатых фильтра. Холодильники в системе отсутствуют.

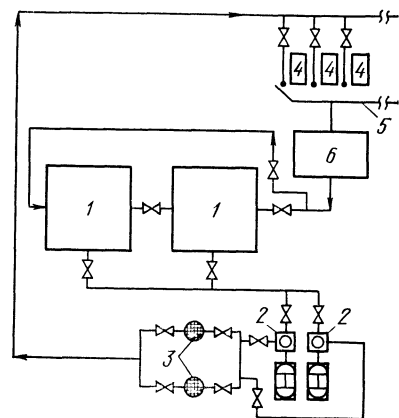


Рис. 141. Система подачи эмульсии на профилегбочном стане 1—4×50—300: 1 — баки для эмульсии; 2 — насосы; 3 — сетчатые фильтры; 4 — рабочие клетки; 5 — картер стана; 6 — отстойник

Масляная циркуляционная система предназначена для промасливания заготовок перед профилированием при изготовлении тех профилей, к которым предъявляются повышенные требования по коррозионной стойкости. В установке (рис. 142) масло из рабочего бака 3 емкостью 1000 л подается к форсункам 6 под давлением 0,2—0,3 МПа (допустимое до 1,3 МПа) шестеренными насосом 1 или 2 производительностью 12 л/мин каждый. Воздух поступает к форсункам от общей магистрали через фильтры 5 под давлением 0,3—0,5 МПа. Регулирование и контроль давления воздуха производят с помощью специального пульта 8.

Подогрев масла до температуры 40—50 °С осуществляют электроподогревателями 4. Излишки масла собираются в поддоне 7 и оттуда самотеком через маслоотстойник 9 возвращаются в рабочий бак.

В форсунке (рис. 143) масло подается по кольцевому каналу 1, а воздух по каналу 2 к выходу из сопла 3. Регулировку расхода масла производят при помощи иглы 4.

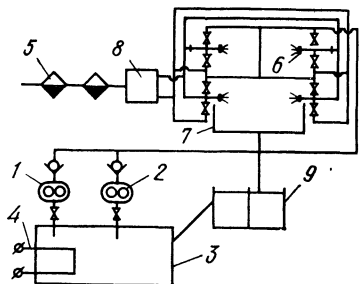


Рис. 142. Система промасливания заготовок перед профилированием

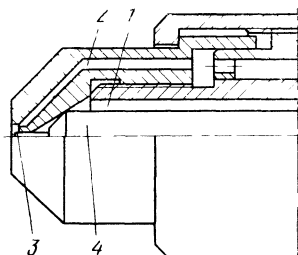


Рис. 143. Форсунка маслораспылителя

13.5. Системы технологической смазки станов горячей прокатки стали

Для нанесения технологических смазок при горячей прокатке применяют, как правило, системы прямого типа, в которых смазка используется однократно. Это обусловлено подачей большого количества воды для охлаждения валков,

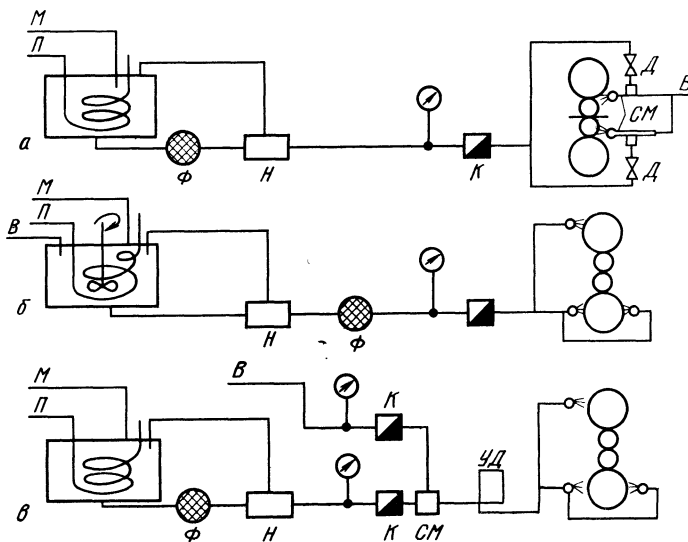


Рис. 144. Основные типы систем технологической смазки с использованием водо-масляных смесей (М — масло; В — вода; П — пар; Ф — фильтр; Н — насос; К — отсекающий клапан; Д — дозатор; СМ — смеситель; УД — устройство для поддержания смеси в дисперсном состоянии)

особенно при листовой прокатке (до $800 \text{ м}^3/\text{ч}$ на клеть). Смазка может подаваться на валки отдельно или вместе с охлаждающей водой.

При автономной подаче смазку в большинстве случаев наносят в виде механической смеси с водой. Смеси могут готовиться непосредственно у клетки (рис. 144, а); в специальной емкости (рис. 144, б), из которой смесь по трубо-

проводам транспортируют к узлу нанесения; в смесителях, установленных в транспортирующей коммуникации с использованием устройств, сохраняющих стабильность водомасляной смеси (рис. 144, в), что позволяет отказаться от специальных смешивающих емкостей [424]. Схемы автономной подачи смазки на валки четырехвалковых клетей непрерывных тонколистовых станов (НТЛС) приведены на рис. 145. Во многих случаях предусматривают подачу смазки на опорные валки, при этом количество коллекторов для подачи смазки на нижние валки больше, чем на верхние.

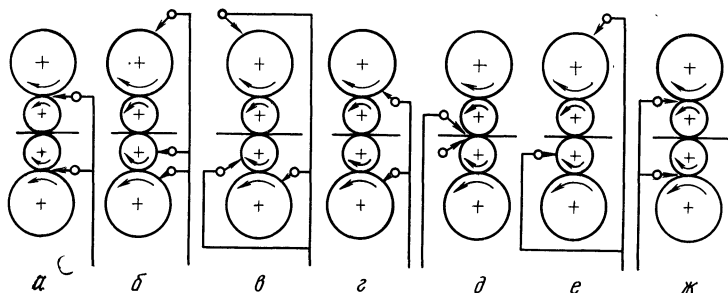


Рис. 145. Схемы подачи технологической смазки на валки [282]:

а — стан 1725 в Питтсбурге (США); *б* — стан в Равенскрейге (Англия); *в* — стан 1725 фирмы «Шарон стил» (Англия); *г* — стан 1525 фирмы «Шарон стил» (Англия); *д* — подача смазки в очаг деформации; *е* — комбинированный способ подачи смазки (автономно на верхний опорный валок и совместно с охлаждающей водой на нижний рабочий валок); *ж* — подача смазки при одностороннем охлаждении валков

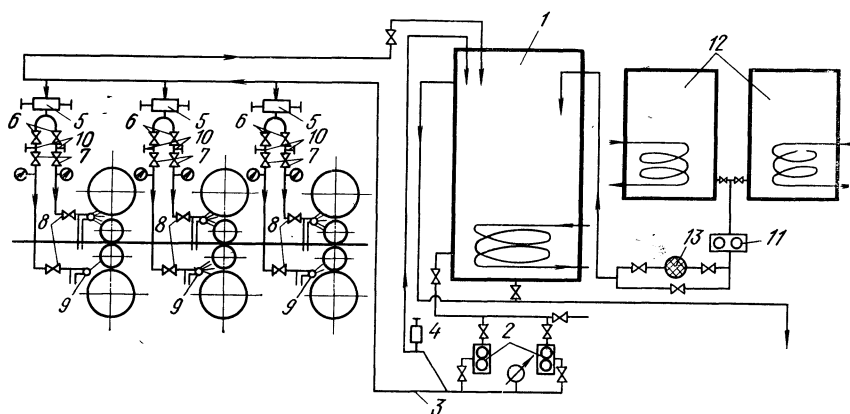


Рис. 146. Схема установки для подачи технологической смазки в коллектор охлаждающей воды на НТЛС 1680 (завод «Запорожсталь»)

При подаче смазки в коллектор охлаждающей воды (рис. 146) смазку из бака 1 при температуре 60—80 °С, шестеренным насосом 2 производительностью 75 л/мин под давлением 0,8—1,0 МПа подают в кольцевую масляную магистраль стана 3. Давление в магистрали устанавливают регулятором 4. От магистрали смазку подают в коллекторы охлаждающей воды 9 по отдельным маслопроводам для верхнего и нижнего рабочих валков со стороны выхода металла из валков через электромагнитные клапаны 5, игольчатые вентили 6, запорные вентили 7 и обратные клапаны 8. Давление смазки на входе в коллектор охлаждающей воды устанавливают на 0,3—0,4 МПа выше, чем давление воды в системе охлаждения. Расход смазки регулируют игольчатым вентилем и контролируют вентилями 10. Бак 1 (емкостью 15 м³) заполняется смазкой из транс-

портных баков (емкостью по 2 м³) 12 с помощью шестеренного насоса 11 через фильтр 13.

На НТЛС 2000 НЛМЗ применяют систему автономного нанесения смазки на валки с помощью специальных коллекторов (рис. 147, [283]). Масло из емкостей 1 и (или) 2 (емкостью 7,5 и 1,5 м³) насосами 6 производительностью по 35 л/мин подают в аппарат 3, где приготавливается водомасляная смесь. При необходимости разная концентрация по клетям обеспечивается разбавлением смазки водой в смесителях 7. Пропеллерная мешалка аппарата 3 работает непрерывно и поддерживает водомасляную смесь в дисперсном состоянии. Указанную смесь по подающей магистрали 8 центробежными насосами 4 (произво-

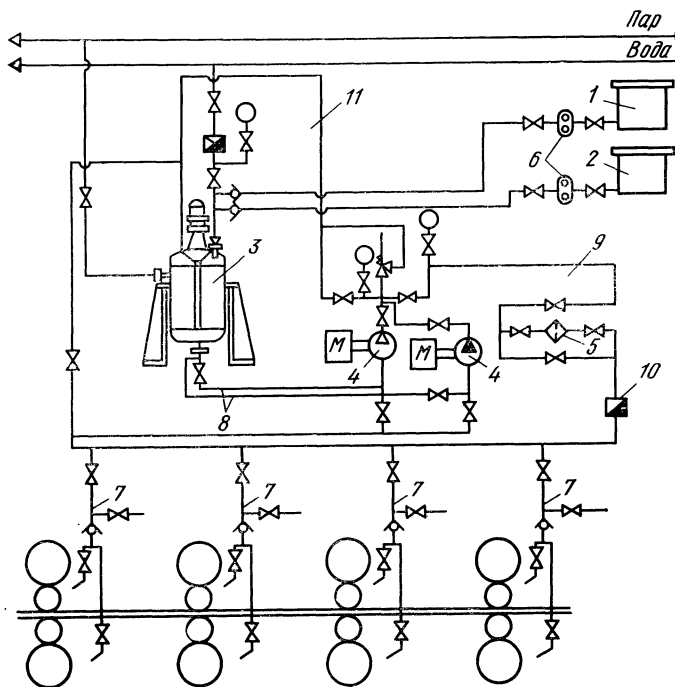


Рис. 147. Система автономного нанесения технологической смазки на НТЛС 2000 (НЛМЗ)

дительно по 45 м³/ч под давлением 0,62 МПа) подают к клетям по закольцованной магистрали 9 через фильтр грубой очистки (типа ФПЖ-10) 5. Перед разводкой трубопроводов по клетям в магистрали 9 установлен общий отсечной клапан 10. Для дополнительного перемешивания водомасляной смеси и регулирования давления в напорной магистрали 9 предназначена короткая магистраль 11. Водомасляную смесь наносят в зев между рабочими и опорными валками на выходе металла из валков с помощью коллектора с паровоздушными форсунками, на нижний рабочий валок смазку дополнительно наносят со стороны входа. Для предупреждения смыва смазки охлаждающей водой зона нанесения ограждена специальными отсекателями воды (рис. 148).

Система, разработанная Гипрометзом и ИЧМ (г. Днепропетровск) (рис. 149), позволяет применять смесь различных масел с водой. Концентрацию смеси устанавливают с помощью регулятора расхода. Нанесение смеси производят с помощью паровоздушных форсунок со стороны входа в валки, а дополнительно и со стороны выхода на нижний рабочий валок.

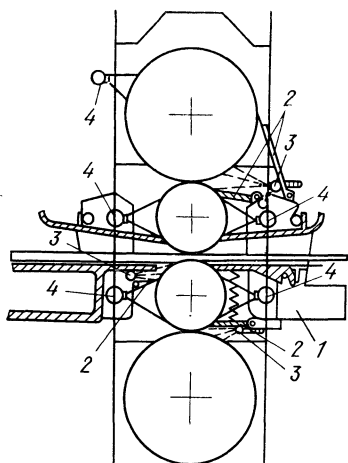


Рис. 148. Схема автономного нанесения смазки на валки:

1 — проводковый стол; 2 — отбойники охлаждающей воды; 3 — форсунки для нанесения смазки; 4 — коллекторы для подачи охлаждающей воды

Реверсивный стан 1200 с моталками в печах НЛМЗ и листовой стан кварто 1500 Ашинского металлургического завода (АМЗ) оборудованы [305, 306] системами нанесения эмульсионной смазки на опорные или рабочие валки с помощью специальных войлочных прижимов (рис. 150, 151). Система технологической смазки состоит из двух емкостей, насосов, фильтров, электрогидравлического запорного клапана, расходомеров, контактных смазочных устройств и запорной арматуры. Обе емкости оборудованы паровыми змеевиками для разогрева смазки, подогрева воды и эмульсии, а также воздушными коллекторами для перемешивания эмульсола. Эмульсионный бак емкостью 15 м³ служит для приготовления и хранения эмульсии повышенной концентрации. В рабочем баке емкостью 3 м³ приготавливают эмульсию необходимой концентрации путем разбавления водой концентрированной эмульсии из эмульсионного бака. С помощью насоса через фильтр эмульсию подают в контактные устройства.

В зарубежной практике подачу смазки на НТЛС осуществляют либо вводом масла

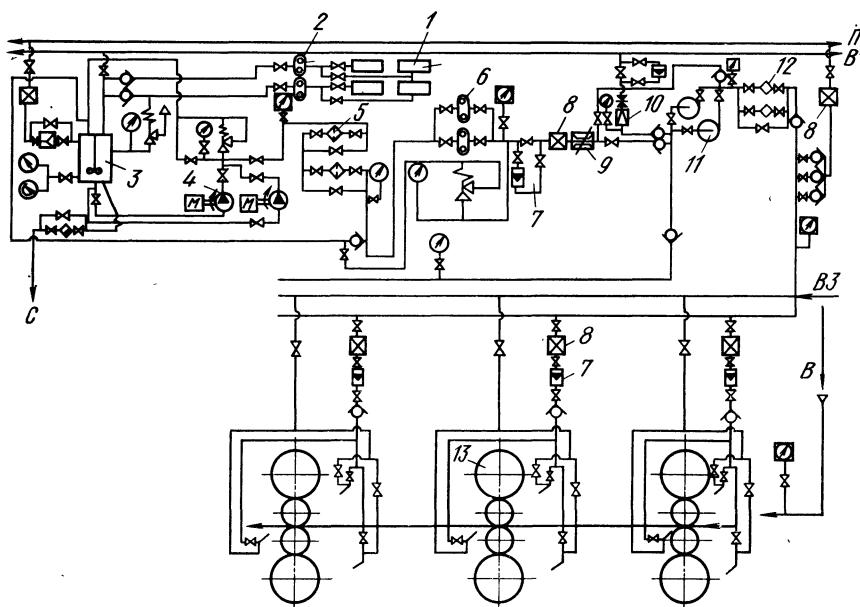


Рис. 149. Схема усовершенствованной системы для нанесения технологической смазки при горячей прокатке на НТЛС 2500: 1 — баки для минерального и растительного масел емкостью по 16 м³; 2 — шестеренные насосы ($Q = 50$ л/мин); 3 — бак с мешалкой для смешения масел; 4 — винтовые насосы ($Q = 16$ м³/ч, давлением 1 МПа); 5 — фильтр грубой очистки ФДЖ-50; 6 — шестеренные насосы ($Q = 25$ л/мин); 7 — ротаметры электрические; 8 — клапаны запорные; 9 — регулятор расхода; 10 — регулятор давления; 11 — центробежные насосы ($Q = 1,5$ м³/ч); 12 — фильтры пластинчатые ФПЖ-100; 13 — рабочие клетки чистой группы; В — вода; ВЗ — воздух; П — пар; С — слив

в коллектор охлаждающей воды, либо в виде водомасляной смеси или в чистом виде с помощью автономных систем через отдельные коллекторы с форсунками.

В системе¹ (рис. 152) смазку из бака 1 насосом 2 при температуре 37 °С и давлении 2,1 МПа подают к рабочим клетям, где с помощью игольчатого клапана 3 она впрыскивается в коллекторы охлаждающей воды 4 для верхнего и

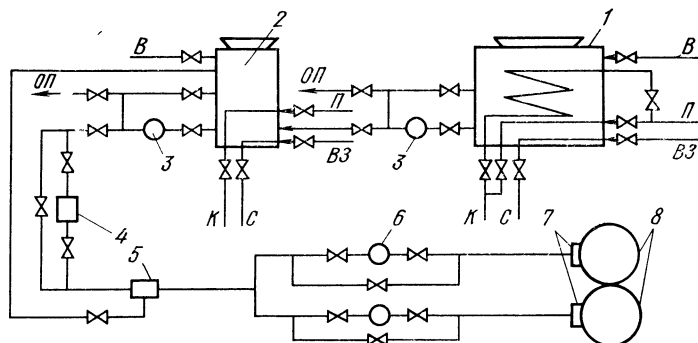


Рис. 150. Система нанесения эмульсионной смазки с помощью прижимов:

1 — эмульсионный бак; 2 — рабочий бак; 3 — насосы подачи эмульсии; 4 — фильтр; 5 — электрогидравлический запорный клапан; 6 — расходомеры; 7 — контактные смазочно-подающие устройства; 8 — прокатные валки; В — вода; ВЗ — воздух; ОП — отбор проб; С — слив; К — конденсат; П — пар

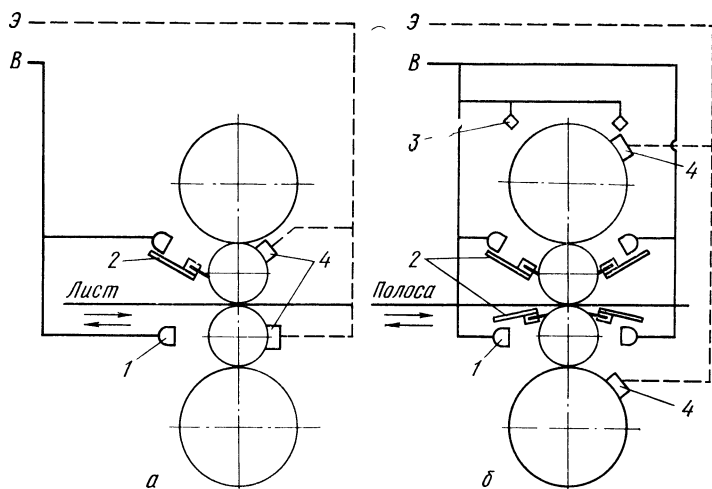


Рис. 151. Схема подачи технологической смазки на рабочие валки стана 1500 АМЗ (а) и на опорные валки стана 1200 НЛМЗ (б):

1 — коллекторы водяного охлаждения рабочих валков; 2 — водоотражатели; 3 — коллекторы водяного охлаждения верхнего опорного валка; 4 — смазочно-подающие устройства; Э — эмульсия; В — вода

нижнего рабочих валков. Воду в коллектор подают под давлением 1,4 МПа насосом 5 при температуре 25 °С. Трубопровод для воды 4 имеет диаметр 76 мм, а масляный трубопровод 6 — 12,7 мм. Датчик 7, соединенный с электромагнитным клапаном 8, контролирует подачу масла. Он фиксирует вход переднего конца

¹ Пат. 3605473 (США) 1971.

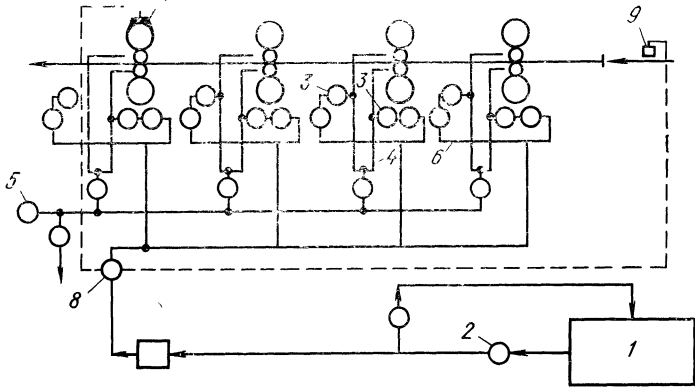


Рис. 152. Система введения технологической смазки в коллектор охлаждающей воды, применяемая на зарубежных непрерывных листовых станах

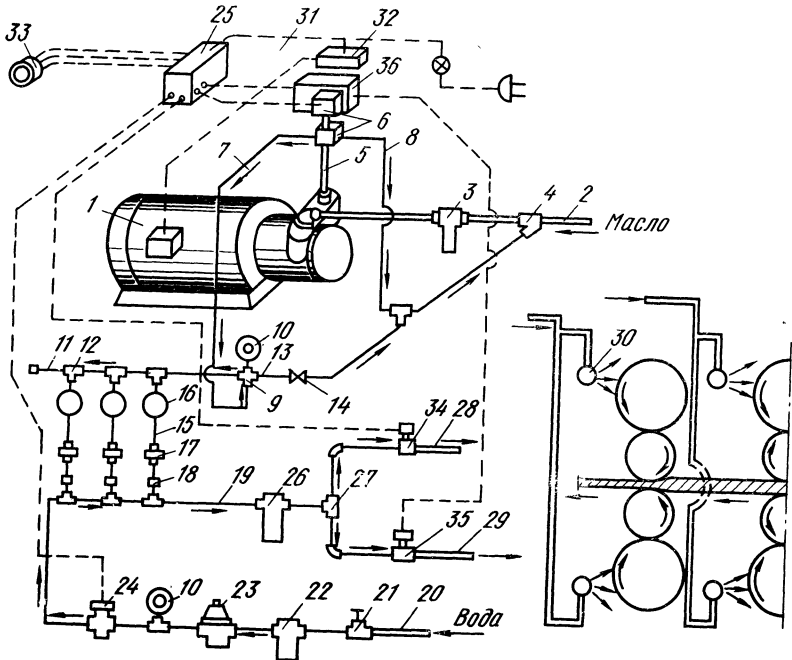


Рис. 153. Система автономного нанесения смазки, применяемая на зарубежных непрерывных листовых станах

полосы в последнюю (четвертую) клеть чистовой группы, на которую подают смазку. Подачу масла на все клетки начинают с подачи импульса от датчика на последней клетке. Перед первой клетью чистовой группы установлен пирометр 9, подающий импульс на отключение смазки. При закрытии клапана подачи масла 8 на валки подается только охлаждающая вода.

В системе¹ для автономного нанесения смазки (рис. 153) насос 1 с помощью маслопровода 2 соединен с масляным резервуаром через тройник 4 и фильтр 3, а с помощью напорного маслопровода 5 с входным отверстием трехходового электромагнитного клапана 6, одно выпускное отверстие которого соединено с напорным маслопроводом 7, а другое с циркуляционным маслопроводом 8, соединенным с маслопроводом 2. Масло по напорному маслопроводу 7 поступает к специальному четвернику 9 с манометром 10

и дальше по маслопроводу 11 к тройникам 12, а по маслопроводу 13 к задвижке 14 для регулирования давления. От тройников 12 по маслопроводам 15 масло поступает к задвижкам 16 и обратным клапанам 17, на которых укреплены насадки-смесители 18, направляющие масло в общий трубопровод 19, соединенный с водяным трубопроводом 20. Водяная магистраль снабжена задвижкой 21, фильтром 22, регулятором давления 23, манометром и электромагнитным клапаном 24, соединенным с управляющим блоком 25. Механическую смесь масла с водой, образующуюся в смесителях 18, по трубопроводу 19 через фильтр тонкой очистки 26 и тройник 27 подают в трубопроводы 28 и 29, откуда она поступает на коллекторы 30 соответствующих клеток. Электрическая цепь 31 от источника питания соединена с выключателем 32 насоса и управляющим блоком 25. При отсутствии полосы электромагнитный клапан 6 закрыт и масло циркулирует по замкнутой цепи маслопроводов 8 и 2. Благодаря обратным клапанам 17, вода не может проникнуть в маслопровод. Когда полоса поступает в поле действия детектора 33, подается сигнал в управляющий блок 25, который включает электромагнитный клапан 6 и масло по маслопроводу 7 (маслопровод 8 закрывается) поступает в маслопровод 11, при этом давление в них возрастает до величины, превышающей давление воды; это приводит к инъекции масла в общий трубопровод 19. Одновременно открывается клапан 24, в результате чего вода поступает в трубопровод 19, а также электромагнитный клапан 34, обеспечивающий поступление водомасляной смеси в трубопровод 28 на коллектор первой чистовой клетки. Клапан 35 открывается по сигналу реле времени 36, которое настраивается с блока управления 25 и водомасляная смесь поступает во вторую клеть чистовой группы и т. д.

В другой системе² автономного нанесения (рис. 154) в бак 1 заливают предварительно подготовленную водомасляную смесь концентрацией 5%, подогревают до 50 °С паровым змеевиком 2 и перекачиваются насосом 3 по трубопроводу 4 через клапан-регулятор 5. Путем переключения клапана 6 смесь подается в эжектор 7, где дополнительно смешивается с охлаждающей водой, поступающей по трубопроводу 8; при этом концентрация масла снижается до 0,2%. Смесь подают в коллектор 9 и затем на рабочие валки со стороны выхода. Для поддержания дисперсности смеси применяют специальное устройство 10.

При прокатке сортовой стали применяются в основной системы автономного нанесения смазки.

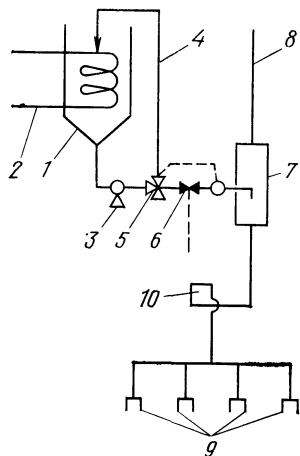


Рис. 154. Схема автономной системы нанесения смазки (Япония)

¹ Пат. 383799 (США) 1975

² Пат. 37087, 37088 (Яп.), 1974.

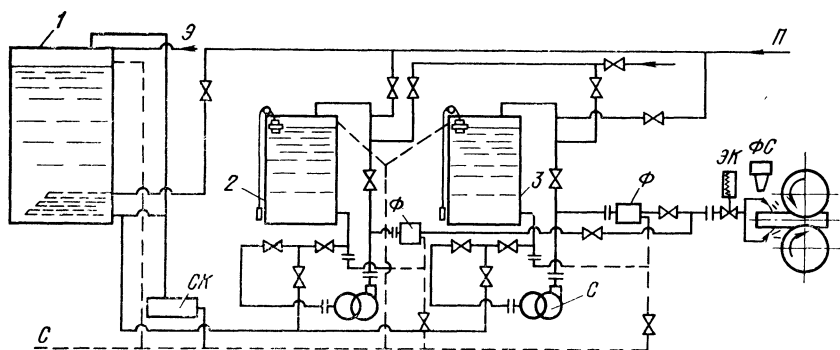


Рис. 155. Схема установки для приготовления и подачи технологической смазки на среднесортном стане 550:

Ф — фильтры; Н — насосы; СК — сброс конденсата; Э — эмульсол; П — пар; С — слив; ЭК — фотореле; ЭК — электромагнитный клапан

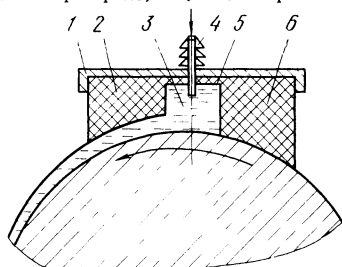


Рис. 156. Контактное устройство для нанесения смазки на валки

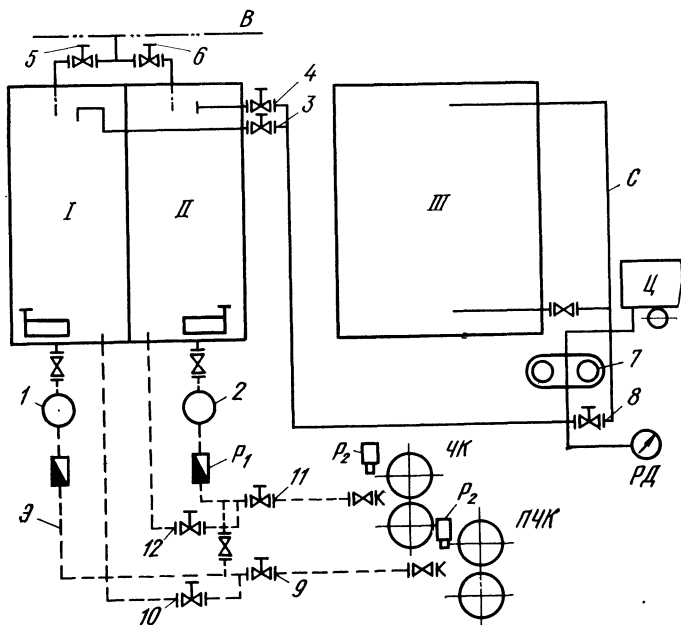


Рис. 157. Система приготовления и нанесения смазки на крупносортном стане 650 НТМК: С — смазка; Э — эмульсия; В — вода; Ц — железнодорожная цистерна; РД — регулятор давления

Приготовление эмульсии на стане 550 (рис. 155) производят в баках 2 и 3, куда подают эмульсол из бака 1, оборудованного подогревом. Рабочая эмульсия из бака 2 или 3 насосом через фильтр подается на валки в момент нахождения раската в клетке. Когда передний конец раската находится на расстоянии 3—4 м от клетки, фотореле (ФС) дает сигнал на открытие электромагнитного клапана (ЭК). При выходе заднего конца раската из поля зрения ФС указанный клапан закрывается. Эмульсию наносят на валки с помощью форсунок или контактного устройства (рис. 156). К металлической пластине 1 крепят прижим, изготовленный из войлока. Прижим состоит из двух частей: передней 2 и задней 6. Между этими частями имеется поперечный паз 5, в который подается смазка через штуцер 4. Прижим профилируют по форме калибра (ручья). Поперечный паз 5 перекрывает всю ширину калибра, с боковых сторон он ограничен стенками. Участок прижима 2 имеет на внутренней поверхности небольшой скос, что способствует образованию гидродинамического клина 3.

Приготовление эмульсии на стане 650 (рис. 157) производят в рабочих баках I и II (объемом по 8 м³), куда подают смазку из приемного бака III (объемом 85 м³) с помощью шестеренного насоса 7 через электромагнитный клапан 8 и вода из магистрали В через распределительные клапаны 3 и 4 и электромагнитные клапаны 5 и 6. Рабочая эмульсия с помощью центробежных насосов 1 и 2 через реле протока P₁ подается на валки предчистовой и чистовой клетей. Электромагнитные вентили 9 и 11 на трубопроводах подачи эмульсии к валкам открываются по импульсам от фотореле P₂ соответствующих клетей. После прохождения раската соответствующий вентиль закрывается с запаздыванием, предусмотренным в схеме. Одновременно с закрытием вентилей 9 (или 11) открывается вентиль 10 (или 12) для возврата эмульсий в бак I (или II). В калибры предчистовой и чистовой клетей эмульсию подают с помощью форсунок, установленных со стороны входа в клеть. В чистовой клетке валок охлаждают с помощью дугового брызгала (рис. 158), в котором вода через сопла-щели разбрызгивается плоскими струями по касательной к поверхности валка против направления его вращения со стороны выхода металла из клетки. Сбив воды с поверхности валка осуществляется при этом струями самой охлаждающей воды.

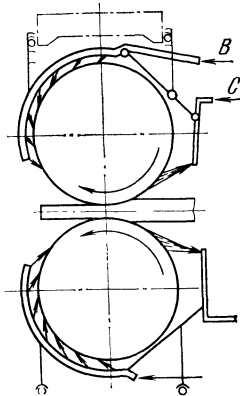


Рис. 158. Схема конструкции для охлаждения валков и подачи смазки на сортопрокатных станах:
С — смазка; В — вода

13.6. Системы для подачи смазочно-охлаждающих жидкостей при прокатке цветных металлов и сплавов

При горячей и холодной прокатке мягких цветных металлов (Al, его сплавов и др.) применяют циркуляционные системы нанесения СОЖ.

На стане 2800 горячей прокатки (рис. 159) количество подаваемой жидкости выбирают из расчета 18—22 м³/ч на 1 см длины бочки валка, давление эмульсии на выходе из сопел составляет 295—495 КПа. Для регулировки теплового профиля валков применяют секционные коллекторы с соплами. Длина одной секции для рабочих валков 200—350 мм, для опорных — 400—600 мм [317].

Для холодной прокатки применяют комбинированные системы с одновременной подачей технологической смазки и охлаждающей эмульсии или системы для подачи смазки на основе маловязких минеральных масел.

На реверсивных станах для прокатки алюминия (рис. 160) технологическая смазка шестеренными насосами 1 (типа ШДП-50, один рабочий, другой — резервный) из резервуара 2 емкостью 3 м³ подается в количестве 3—4 л/мин через линейный сетчатый фильтр 3 на станы № 1 и 2 при давлении в системе 0,05 МПа. На рабочие валки и полосу смазка подается через 4 коллектора со

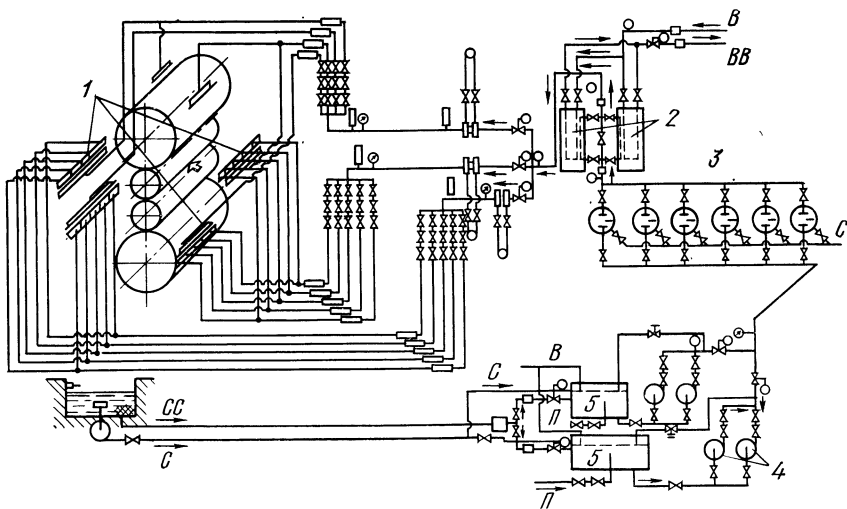


Рис. 159. Схема эмульсионной системы стана 2800 для горячей прокатки алюминия:
 1 — коллекторы с соплами; 2 — теплообменники; 3 — фильтры; 4 — насосы; 5 — баки-отстойники; В — вода; С — слив; СС — слив самотеком; П — пар; ВВ — выход воды

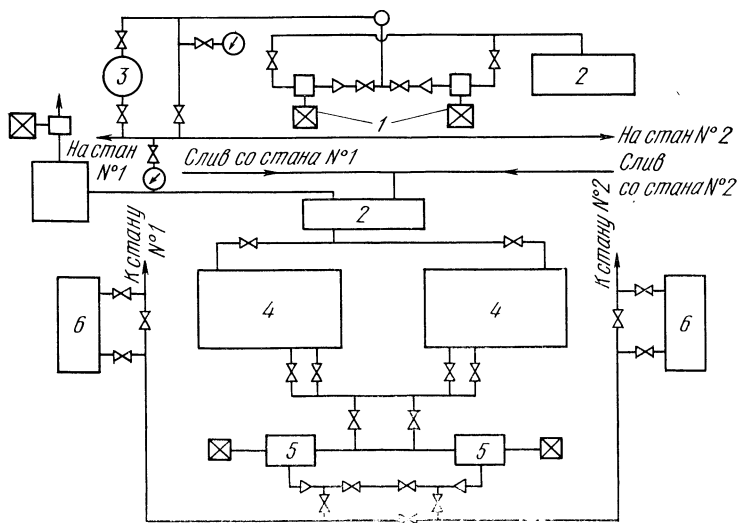


Рис. 160. Схема подачи технологической смазки и охлаждающей среды (эмульсии) на реверсивных станах 500/1250x1700 холодной прокатки алюминия

стороны входа в клеть. На каждом коллекторе установлено по 6 форсунок с многозаходной червячной вставкой, имеющими выходное отверстие диаметром 0,5—1,0 мм.

В состав эмульсионной системы входят два резервуара 4 емкостью по 15 м³ каждый, два центробежных насоса 5 типа бк-8а (производительностью 180 м³/ч при давлении 0,286 МПа), два холодильника 6 с поверхностью охлаждения 100 м² каждый. При одновременной работе двух станов емкости разделены и входят в циркуляционные системы каждого стана. Со станов эмульсия самотеком стекает в приемный отстойник 7 емкостью 6 м³ и смешивается с технологической смазкой, которая сливается с поверхности валков и полосы. Смесь эмульсии и смазки расслаивается и смазка собирается на поверхности, откуда сливается в сборные емкости для отправки на регенерацию. Для очистки эмульсии на нагнетательных и сливных магистралях установлены сетчатые фильтры.

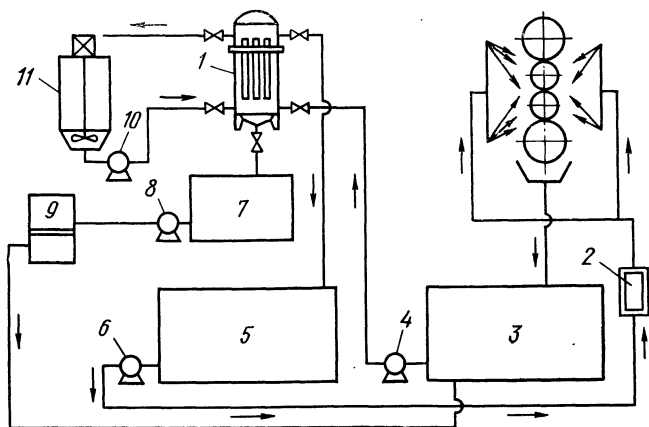


Рис. 161. Схема циркуляционной масляной системы стана 2800 холодной прокатки цветных металлов

Эмульсию подают со стороны выхода из валков на рабочие и опорные валки и на полосу при помощи шести коллекторов, из которых два — для подачи на рабочие валки — трехсекционные.

Разбрызгивание эмульсии на валки производят с помощью сопел. В каждом коллекторе сопла расположены в шахматном порядке в два ряда — по 16 в каждом ряду. На полосу эмульсию подают снизу при помощи коллектора с соплами, сверху при помощи коллектора с отверстиями диаметром 4—5 мм, расположенными в четыре ряда — по 25 отверстий в каждом ряду.

Производительность циркуляционной масляной системы (рис. 161) стана 2800 холодной прокатки составляет 500 м³/ч. Из бака 5 чистое масло с помощью насосов 6 типа 6НД1 (одного рабочего, другого резервного) с приводом от электродвигателя мощностью 200 кВт каждый через четыре пластинчатых теплообменника 2 (с поверхностью охлаждения 100 м² каждый) подают в коллекторы для смазки и охлаждения рабочих и опорных валков и полосы. Отработанное масло поступает в бак грязного масла 3 емкостью 40 м³, откуда двумя насосами 4 типа 6НДС с приводом от электродвигателя мощностью 75 кВт каждый подается через систему намывных фильтров 1 в бак чистого масла 5. Восемь намывных фильтров патроннощелевого типа ПФ-20 с поверхностью фильтрования 20 м² каждый оборудованы системой для намыва и удаления фильтрующего порошка. Контур намыва фильтрующего порошка имеет смеситель 11 объемом 4,5 м³, из которого смесь масла и порошка с помощью насосов 10 (типа 4НФ — одного рабочего, другого резервного) производительностью по 108—180 м³/ч подают на фильтры. Оптимальная скорость намыва равна

5 м³/(м²·ч). Отработанный фильтрующий порошок с маслом собирается в резервуаре 7 (с двумя отсеками и механической мешалкой), откуда насосом 8 подается на фильтр-пресс 9 типа ФПАКМ-2,5, где масло отделяется от порошка и поступает в бак грязного масла.

На фольгопрокатных станах большую часть системы занимает оборудование для очистки СОЖ, в частности тонкой очистки (1—2 мкм). Циркуляционно-масляная система одного из зарубежных станков приведена на рис. 162. Из отсека фильтрованного масла I резервуара-отстойника масло подается одним из двух главных насосов 2 в магистраль, ведущую к стану. При этом оно проходит либо через холодильник 3, либо через подогреватель 4 и затем поступает

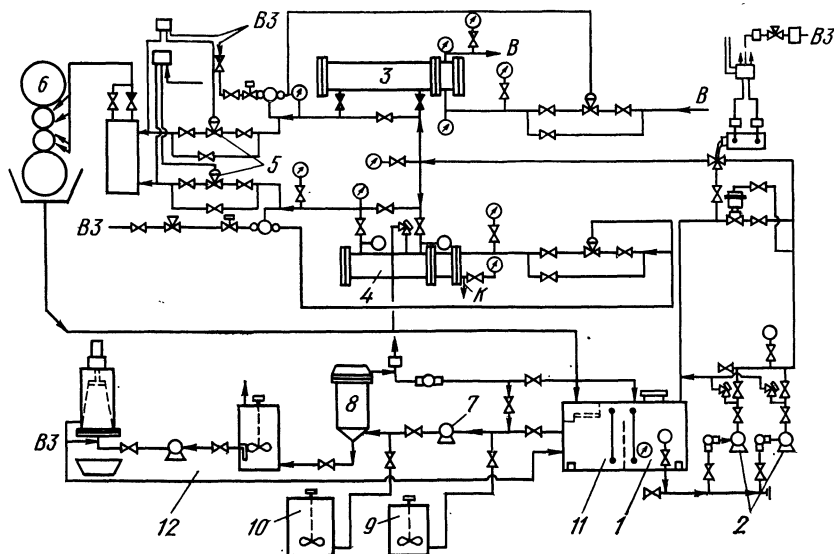


Рис. 162. Схема подачи технологической смазки и охлаждения валков стана для прокатки алюминиевой фольги [326]: B3 — воздух; K — конденсат; B — воздух

в коллекторы, подающие масло на валки. Давление масла в магистрали перед станом поддерживают при помощи клапанов 5. Сливающееся со стана 6 грязное масло поступает в отсек 11 грязного масла резервуара-отстойника. На сливе в отстойник масло предварительно фильтруется, проходя через сетку с крупными ячейками. Для тонкой очистки масло из отсека 11 насосом 7 подается через намывной фильтр 8 и после фильтрации возвращается в отсек чистого масла I резервуара-отстойника. Для предварительного нанесения фильтрующего материала на патроны фильтра предусмотрен бак с мешалкой 9, в котором готовят смесь масла с землей. Для дополнительной подачи в процессе фильтрации фильтрующего материала предусмотрен бак 10 с мешалкой. После полного загрязнения фильтрующий материал вместе с маслом удаляется на регенерационный участок 12, где происходит отделение масла, которое возвращают в резервуар системы.

13.7. Подача смазки при волочении

Особенности подачи смазки при волочении

При волочении проволоки смазку подают на поверхность заготовки непосредственно перед волокой, при волочении прутков и труб — либо перед волокой, либо в отдельно стоящих агрегатах. Жидкие смазки наносят окунанием или

поливом, при использовании сухих смазок заготовка проходит сквозь слой порошкообразной смазки перед первой волокой, при этом последующие 4—5 протяжек обычно проводят без подачи свежей смазки. Для повышения толщины разделительного слоя используют устройства, увеличивающие давление смазки в предочаговой зоне, в основном за счет гидродинамического эффекта. Этого достигают установкой перед рабочей волокой нагнетателя, имеющего канал конического сечения на входе, сужающийся в сторону волоки и оканчивающийся цилиндрическим участком.

Давление смазки на входе в очаг деформации тем больше, чем больше смазки подводится к сечению входа в единицу времени и чем больше продольное напряжение в смазке, вызываемое силами трения, которые препятствуют ее отсечению. Давление повышается с увеличением скорости волочения, длины канала нагнетателя, вязкости смазки, силы сцепления ее с поверхностью обрабатываемого металла, с уменьшением зазора между поверхностью металла и поверхностью нагнетателя. Количество подводимой смазки увеличивается с увеличением шероховатости поверхности деформируемого металла и с уменьшением шероховатости инструмента.

Наличие влаги на поверхности заготовки или повышенная влажность смазки (мыльного порошка) уменьшает ее сцепление с поверхностью металла и снижает давление в слое смазки. При большой длине насадки повышается температура смазки, падает ее вязкость и снижается давление на входе в волоку. Конструкция инструмента должна обеспечить герметичность всех соединений для сохранения давления смазки, созданного в нагнетателе, и возможность быстрой замены вышедших из строя элементов (волоку). Если давление в слое смазки достигает значения напряжения текучести металла на входе в очаг деформации, то трение осуществляется в гидродинамическом режиме. При волочении мягких металлов режим гидродинамического трения может быть достигнут без использования насадок за счет гидродинамического эффекта самой волоки [207]. При этом скорость волочения должна составлять $v_B = \lambda \xi \operatorname{tg} \alpha_B / [30 \mu_{50} (50/t_{II})^m]$, где λ — коэффициент вытяжки при волочении, ξ — толщина слоя, обеспечивающего гидродинамический эффект трения, α_B — половина угла волоки, θ — пьезокоэффициент вязкости смазки, μ_{50} — динамическая вязкость смазки при 50 °С, t_{II} — температура смазки на входе в волоку, m — температурный коэффициент изменения вязкости смазки.

Увеличение толщины слоя несколько повышает расход смазки, но снижает силы трения в очаге деформации и соответственно понижает силу волочения и обрывность проволоки, энергию, затрачиваемую на процесс, разогрев инструмента; при этом существенно повышается стойкость инструмента, несколько снижается неравномерность деформации и улучшаются механические свойства готовой продукции. Гидродинамическая подача смазки позволяет повысить скорость волочения и производительность волочильных станов, уменьшить расход инструмента и число переделов. Применение нагнетателей усложняет подготовку инструмента, повышает нестабильность процесса за счет того, что толщина смазочного слоя при разгоне стана существенно ниже, чем при установившемся процессе. Условия формирования смазочного слоя изменяются при переходе от бунта к бунту, а также при установившемся процессе из-за колебания поперечных размеров, изгиба осевой линии и вибрации заготовки. При малой величине зазора возможно заклинивание катанки в канале нагнетателя или неравномерная (пульсирующая) подача смазки. При гидродинамическом трении шероховатость поверхности продукции близка к исходной. Устройства для гидродинамического нагнетания смазки используют в основном при сухом волочении проволоки.

Подача смазки при сухом волочении проволоки

Порошкообразную смазку засыпают в мыльницу (рис. 163), расположенную перед волокой. Проволока проходит сквозь слой смазки и увлекает ее с собой. Распушка волоки наполняется смазкой, которая плавится от тепла деформации и служит резервом для поступления смазки в очаг деформации. Пополнение смазки в мыльнице осуществляется периодической засыпкой новой ее порции и

или при помощи шнека, транспортирующего смазку из бункера. Шнек приводит во вращение холостой ролик, прижимаемый к движущейся проволоке; при волочении проволоки малых диаметров устанавливают отдельный двигатель для привода шнека.

При повышенных скоростях волочения вокруг проволоки может образоваться пуста из-за уплотнения и оттеснения из волоки расплавившейся смазки (туннельный эффект). Для устранения этого явления уменьшают размер частиц порошка или снабжают мыльницы устройствами для его механического перемешивания. При малых частицах порошка туннельный эффект может возникнуть из-за слипания смазки. Улучшение захвата и сохранения смазки на поверхности заготовки может быть обеспечено при ее двухслойном нанесении, когда проволока проходит через мыльницы с двумя камерами — вначале через жидкую, а затем через сухую смазку, налипающую на смоченную поверхность [358].

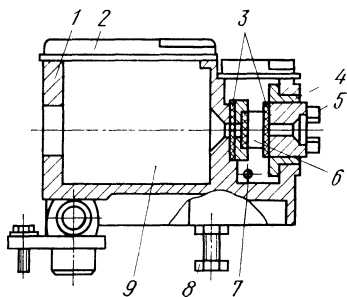


Рис. 163. Мыльница с волокодержателем:

1 — корпус; 2 — крышка; 3 — уплотнительные шайбы; 4 — втулка; 5 — гайка; 6 — волока; 7 — отверстие для слива охлаждающей воды; 8 — регулировочный винт; 9 — камера для мыльного порошка

Большинство проволочных станов оборудовано сборными волоками (рис. 164), обеспечивающими гидродинамический режим трения [428]. Они состоят из размещенных в общем корпусе напорной 1 и рабочей 2 волок, разделенных уплотнительными шайбами 6, обеспечивающими герметичность соединения. Внутренний диаметр напорных волок несколько превышает диаметр рабочей

волоки. Часто в качестве напорной используют изношенную рабочую волоку, что исключает необходимость изготовления специальных нагнетателей. Конструкция сборных волок зависит от условий охлаждения. При волочении низкоуглеродистой проволоки без прямого охлаждения инструмента водой наиболее технологичны сборные волоки с накидной гайкой (рис. 164, а); для волочения

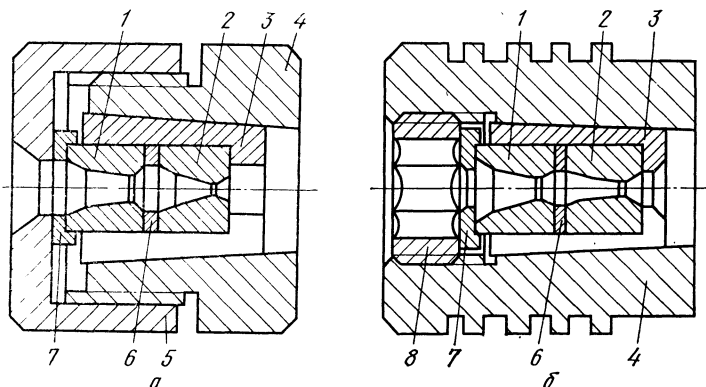


Рис. 164. Сборные волоки для волочения проволоки в режиме гидродинамического трения с накидной гайкой (а) и с полым винтом (б) [207, 209]

с прямым охлаждением волоки рекомендуют сборную волоку с полым зажимным винтом 8 (рис. 164, б), предотвращающую попадание влаги в очаг деформации [428]. Волоки помещают в стальной зажимной втулке 3, имеющей разрез по образующей. Втулку с волоками запрессовывают в коническое (1 : 12) отверстие стального корпуса 4 и прижимают накидной гайкой 5 или винтом 8. Для

предохранения торца твердосплавной волоки от скалывания при зажиме гайки применяют упорную шайбу. 7.

Для повышения давления на входе в очаг деформации перед рабочей волокой иногда устанавливают не одну, а несколько напорных, суммарную длину которых выбирают такой, чтобы сборная волока поместилась в гнездо волокодержателя. Оптимальный зазор по диаметру между напорной волокой и входящей в нее низкоуглеродистой проволокой рекомендуют в пределах 0,04—0,06 мм при скорости волочения до 0,6 м/с и 0,07—0,10 мм при более высоких скоростях. Для волочения проволоки из специальных сталей и сплавов при низкой скорости волочения разность минимальных диаметров нагнетающей и рабочей волок должна составлять $\pm 0,05$ мм, а угол конусности входного конуса рабочей волоки 6—8° [207]. По данным работы [429] при скорости волочения до 5 м/с максимальное давление смазки перед рабочей волокой достигается при зазоре, равном 0,15—0,20 мм, и угле рабочего конуса 8—10°.

Вместо твердосплавной напорной волоки иногда используют напорные трубки, изготовленные из инструментальной стали, канал которых имеет входной конус, переходной участок, описанный дугой окружности, и цилиндрический канал, диаметр которого на 0,05 мм больше диаметра проволоки. При волочении катанки в первом проходе диаметр канала принимают на 0,5 мм выше максимально возможного (с учетом допуска) диаметра катанки. При заданном зазоре длина нагнетающего канала должна быть такой, чтобы давление смазки на входе в очаг деформации не превышало напряжения текучести обрабатываемого металла. При большем давлении пластическая деформация начнется до соприкосновения с рабочей волокой, а расход смазки окажется выше необходимого для обеспечения гидродинамического эффекта.

Подача смазки при мокром волочении проволоки

Станы мокрого волочения оборудованы индивидуальной системой смазки, включающей бак со смазкой, расположенный под станом, центробежный насос мощностью до 1 кВт, рабочие камеры объемом от 240 до 620 л, в которых размещены волочильные и обводные конусы и волокодержатели, трехходовой кран, трубопроводы и задвижки рабочих камер.

Нижний бак заполняют смазкой из цеховой магистрали. Перед заправкой проволоки в волоки включают насос подачи смазки, трехходовой кран

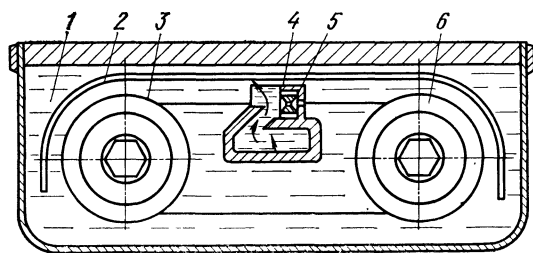


Рис. 165. Подача смазки через волокодержатель при мокром волочении проволоки:

1 — рабочая камера; 2 — откидная крышка; 3 — обводной конус; 4 — волокодержатель; 5 — волока; 6 — рабочий конус

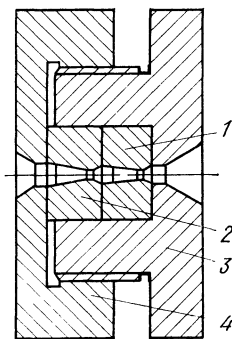


Рис. 166. Сборная волока для мокрого волочения проволоки [207]:

1 — твердосплавная волока; 2 — напорная волока; 3 — корпус; 4 — накидная гайка

устанавливают в положение 1 и открывают задвижки слива смазки из рабочих камер. Этим обеспечивают заправку волок первой ступени с подачей смазки через отверстие в волокодержателе; в рабочей камере смазки нет. После заправки волок первой ступени задвижку закрывают и трехходовой кран устанавливают

в положение 2. При этом рабочая камера быстро заполняется смазкой, переливающейся во вторую камеру, откуда через открытую задвижку она сливается в нижний бак. Трехходовой кран снова устанавливают в положение 1 и смазка подается через отверстия во втором волокодержателе. После окончания заправки на второй паре конусов и протягивания проволоки через последнюю, отдельно установленную волоку закрывают задвижку во второй камере и открывают кран, обеспечивающий подачу смазки на последний волокодержатель. После заполнения рабочих камер смазкой трехходовой кран устанавливают в положение 3. В этом положении смазка подается под небольшим давлением через волокодержатели к волокнам (рис. 165), смывая с них грязь и металлическую стружку. Избыток смазки сливается из первой камеры во вторую, а из нее в нижний бак, где происходит ее отстаивание. Нижний бак и насос периодически очищают от грязи и металлической стружки.

Для обеспечения гидродинамического трения при наличии жидких маловязких смазок требуются нагнетатели относительно большой длины, применение которых затрудняет технологию волочения и не всегда оправдано с точки зрения качества поверхности готовой продукции.

В спытном порядке использовали сборную волоку (рис. 166). Она легко разбирается и по габаритам соответствует гнездам волокодержателя стана мокрого волочения. Зазор по диаметру между проволокой и напорной волокой составлял 0,02—0,05 мм.

При среднем волочении алюминиевой проволоки с маслом Ц-52 смазку заливают в мыльницу перед каждым барабаном. Волочение сталеалюминиевой проволоки производят с использованием трубок-насадок длиной 120 мм из стали ШХ15 или 65Г (длина цилиндрического канала 100 мм, зазор по диаметру 0,2—0,4 мм) с подачей консистентной смазки.

Подача смазки при волочении прутков и труб

При подаче путем полива (обрызгивания) смазку подают насосами низкого давления (рис. 167) или пневматическими устройствами (рис. 168). Избыток смазки собирается в корыте перед волокой и самотеком сливается через

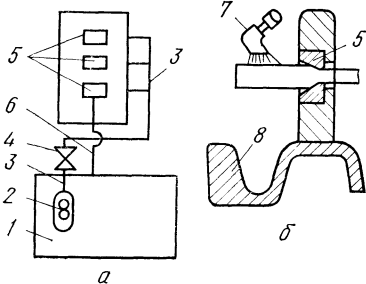


Рис. 167. Подача смазки для полива поверхности заготовки:

a — схема установки; *b* — подвод смазки; 1 — бак емкостью 120 л; 2 — шестеренный насос производительностью 8 л/мин; 3 — маслопроводы подвода смазки; 4 — запорный вентиль; 5 — волоки; 6 — маслопровод для слива избытка смазки; 7 — форсунка; 8 — корыто [431]

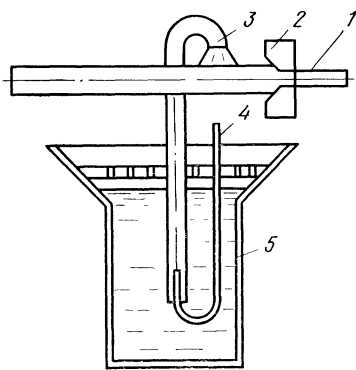


Рис. 168. Схема устройства для пневматической подачи смазки:

1 — изделие; 2 — волока; 3 — трубка подачи смазки диаметром 35—40 мм; 4 — гибкий шланг подвода сжатого воздуха диаметром 10 мм; 5 — бак со смазкой

фильтр в бак со смазкой. При нанесении смазки окунанием заготовки выдерживают в баке от одной до десяти минут при температуре 60—80 °С и сушат на воздухе или в сушилах. При волочении с сухой смазкой заготовка проходит

через слой порошка, насыпанного перед мыльницей, в которую смазка может поступать из расположенного над ней бункера или подаваться шнеком и вручную.

Использование режима гидродинамического трения при волочении прутков затруднено из-за низких скоростей волочения и значительной доли неустановившегося режима, а также из-за плохого выглаживания шероховатости поверхности; при волочении тонкостенных труб большое давление смазки может вызвать появление ужимов из-за потери устойчивости трубы. Для возможности осуществления безоправочного волочения труб и волочения на оправке в режиме гидродинамического трения предложен ряд конструкций для принудительной подачи смазки насосами высокого или низкого давления, а также с использованием гидродинамического эффекта [210]. Номинальный зазор между трубой и напорными элементами рекомендуют принимать в пределах от 0,5 до 1,0 мм с учетом допусков на диаметр холоднокатанных труб и градации существующего парка волок [207]. Из-за большой величины зазора регулирование давления смазки осуществляют изменением длины напорного канала.

Волочение тонкостенных труб ведут с противонапряжением через две деформирующие волокна для предотвращения образования ужимов. Для повышения давления смазки предложено устанавливать третью напорную волоку уменьшенной высоты.

Неблагоприятное влияние неустановившегося режима и колебаний геометрических размеров заготовки на процесс гидродинамического волочения предложено устранять при помощи упругих элементов, изготовленных из маслястойкой резины или фторопласта [210].

При волочении труб на оправке смазку на внутреннюю поверхность наносят при окунании пакета труб в ванну с жидкой смазкой, ручным нанесением смазки на длинную оправку или забрасыванием внутрь трубы порции смазки перед введением в нее оправки. Густые смазки перед нанесением разогревают.

При бухтовом волочении труб смазку подают внутрь трубы дозаторами при перемещении заготовки транспортером перед введением плавающей оправки и заковыванием переднего конца. Дозатор состоит из бака жидкой смазки и шприца, в который смазка поступает под давлением сжатого воздуха. Порция смазки выдается при ручном нажатии на рычаг шприца; ходом рычага регулируют объем одноразовой зарядки.

13.8. Подача смазки при ковке и штамповке

Общие принципы нанесения смазки при ковке и горячей объемной штамповке

Эффективность технологических смазок в процессахковки и объемной штамповки существенно зависит от толщины и равномерности слоя смазки на поверхности контакта. Смазку наносят на поверхность гравюры штампа или на заготовку; иногда смазку наносят и на инструмент, и на заготовку. Твердые слоистые смазки в виде порошка наносят на штампы или на заготовки вручную тампоном, консистентные и загущенные смазки — тампоном или кистью, лаковые покрытия и суспензии наносят на заготовки окунанием, распылением (пульверизацией) в электростатическом поле или кистью с последующей сушкой. Стекло-смазки в виде порошка наносят на нагретые до температуры деформации заготовки обкаткой круглых цилиндрических заготовок по слою стеклопорошка или в псевдооживленном кипящем слое. Расплавы стекла и солей наносят окунанием, совмещающая безокислительный нагрев в расплаве с нанесением смазочного покрытия. Водные растворы, эмульсии, воднографитовые и маслографитовые смеси и аналогичные по консистенции смазки наносят в виде смазочно-воздушных смесей (аэрозолей), преимущественно с помощью воздушного распыления. Нанесение смазки на штампы происходит в ручном, полуавтоматическом или автоматическом режиме после выдачи отштампованной детали, охлаждения гравюры штампа и удаления из нее налипшей окалины и остатков отработанной смазки. Охлаждение и очистку гравюры штампа осуществляют путем обдувки сжатым воздухом или действием факела свежей смазки.

Толщину и равномерность смазочного слоя регулируют плотностью суспензии или вязкостью расплава, настройкой распылителей и форсунок, изменением давления воздуха и расхода смазки. Для перемешивания смазок с воздухом, получения аэрозоли и распределения смазки по поверхности штампов используют форсунки; при подаче подготовленной заранее аэрозоли — распылители, изменяющие при необходимости дисперсность аэрозоли. Также используют форсунки и переносные распылители, стационарно установленные на элементах крепления штампов или вводимые в полость штампа индивидуальным приводом. Стационарные распылители удалены от гравюры штампа, что требует увеличения размеров факела смазки и приводит к повышенному загрязнению оборудования и атмосферы цеха и увеличивает расход смазки. Для распыления и подачи смазки используют воздух давлением 0,5—0,6 МПа. На выходе из распылителей высокого давления последнее достигает 9—16 МПа.

При открытой штамповке поковок из рудных и конструкционных сталей смазку наносят после каждых пяти—пятнадцати штамповок. При втирании графита в поверхность штампов смазочный слой может сохраняться на протяжении одной—двух рабочих смен. При открытой штамповке труднодеформируемых сталей, при штамповке в закрытых штампах, при штамповке выдавливанием смазку необходимо наносить перед каждой штамповкой. После каждой штамповки подают раствор сульфитно-спиртовой барды, солевые растворы и растворы жидких стекол [147, 170, 430].

Концентрированные смазки, поступающие с заводов-изготовителей, доводят до необходимой консистенции путем механического перемешивания в общем цеховом баке. Приготовленную смазку в переносной таре передают к изолированным бакам (рис. 169) стационарных или переносных установок для нанесения смазок; емкость баков обычно соответствует одно-двухсуточной потребности. Растворы солей и водно-графитовые суспензии со стабилизирующими добавками можно хранить в баках без перемешивания в течение 6—8 ч. Нижняя полость баков через стандартный электрогидравлический или пневматический клапан связана гибкими шлангами с устройствами для подачи смазки на штампы.

Принципиальные схемы установок для механизированного нанесения смазок

Схема работы установки для нанесения водно-графитовой смазки показана на рис. 170. Из бака 4 под давлением сжатого воздуха, поступающего через вентиль 3, смазка по трубопроводам 5 поступает к форсункам 1, направленным на гравюры нижнего 6 и верхнего 7 штампов. Предусмотрен предварительный обдув штампов через сопло 2.

При нанесении жидкой смазки, не требующей постоянного перемешивания (рис. 171), она из герметичного бака 1 насосом 2 подается к дозирующему клапану 3. При включении электромагнита 4 полость клапана 3 при помощи механической связи соединяется с воздушным трубопроводом 5, подающим смазку к форсункам 6. Включение системы может осуществляться от ножной педали или автоматически при помощи кулачков, установленных на ползуне пресса.

Принципиальная схема наиболее простой установки для нанесения технологической смазки показана на рис. 172, а. Воздух через обратный клапан 1 подают в герметически закрытый бак 2 со смазкой, имеющей сливную пробку 3 и загрузочный люк 7. Под давлением воздуха смазка через трубопровод 4 и механический клапан 5 поступает в патрубок 6, соединенный с распылителями. Схему такого типа используют на установках ряда заводов при штамповке выдавливанием, на прессах «Кайзер Нейшнэл» для подачи смазки Укринол-7.

На установках, поставляемых фирмой «Шмерал» для КГШП (рис. 172, б), сжатый воздух из цеховой магистрали подают через обратный клапан 1 в бак 2 непосредственно в среду смазки при помощи трубопровода с сетчатым распылителем 8 на торце. По трубопроводу 4 с фильтром на торце смазка через механический или электропневматический клапан 5 подается к патрубку 6, соединенному с распылителями. При этом по трубопроводу 9 и клапану 5 сжатый воздух подают вначале к форсункам для обдува штампа, а затем в патрубок 6

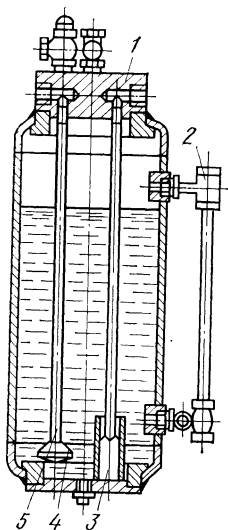


Рис. 169. Устройство бака для технологической смазки:
 1 — корпус; 2 — водомерное стекло; 3 — фильтр с трубопроводом для поступления смазки к прессу; 4 — респиратор; 5 — трубка подвода сжатого воздуха [374]

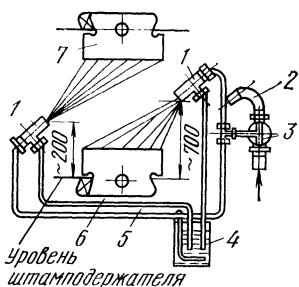


Рис. 170. Схема установки для нанесения воднографитовой смеси [170]

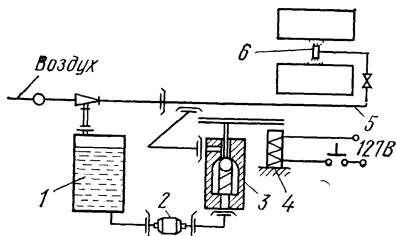


Рис. 171. Схема установки для нанесения смазки, не требующей постоянного перемешивания [170]

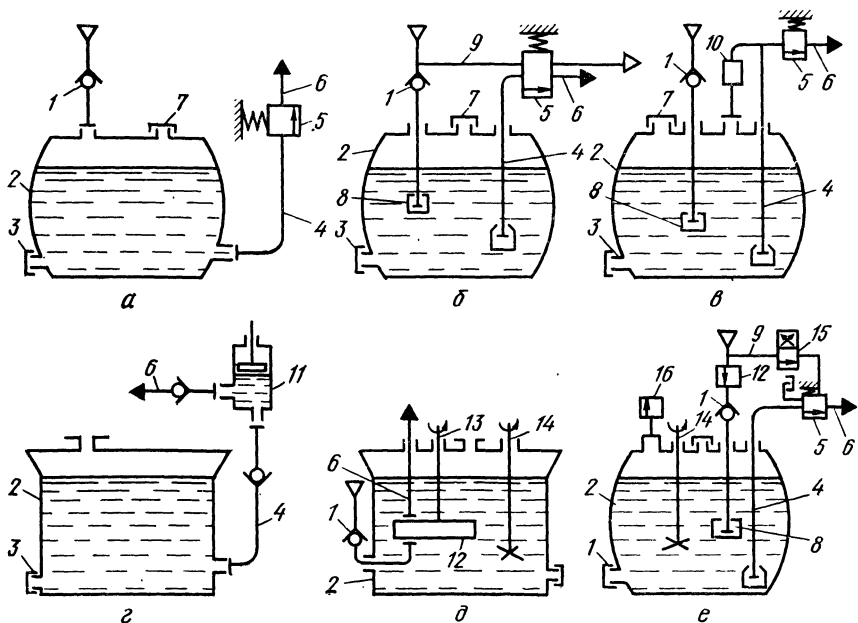


Рис. 172. Принципиальные схемы установок для подачи технологической смазки [374]

для подготовки аэрозоли и распыления смазки. В момент подачи смазки включается подача воздуха и производится барботаж смазки в баке.

Схема установок, поставляемых фирмой «Иноченти» для КГШП, показана на рис. 172, в. В отличие от предыдущей в этой схеме добавлен патрубок 10 с регулируемым ручным вентилем. При включении клапана 5 благодаря инерционности смазочной смеси через патрубок 10 и клапан 5 подается сжатый воздух, идущий от верхней, не заполненной смазкой области бака 2, и далее по патрубку 6 он подается к форсунке для обдува штампа. Когда смазка по патрубку 4 доходит до клапана 5, она эжектируется сжатым воздухом и, перемешиваясь с ним, образует аэрозоль. Состав аэрозоли регулируют ручным вентилем 10. Схема обеспечивает постоянную продувку воздухом трубопроводов подачи смазки, что предохраняет их от засорения, подачу к распылителю заранее подготовленной аэрозоли, интенсивный барботаж смазки в баке из-за постоянного падения давления воздуха в баке и поступления воздуха из сети при каждой подаче смазки.

В установках, работающих по описанным выше схемам, не предусмотрена специальная дозировка смазки, а также ограничено давление смазочных смесей, подаваемых к штампам.

На рис. 172, г, д показаны схемы установок, обеспечивающих дозированную подачу смазок к штампам. На автоматизированных ГКМ фирмы «Кайзер Нейшнэл» (рис. 172, г) смазку заливают в негерметизированный бак 2. По трубопроводу 4 с обратным клапаном поступает порция смазки, объем которой определяется регулировкой хода поршня в цилиндре 11. При обратном движении поршня смазка под заданным давлением поступает по трубопроводу 6, также оборудованному обратным клапаном, к штампам, где ее можно дополнительно распылять или перемешивать с воздухом. Изменением давления в цилиндре 11 можно регулировать степень дисперсности смазки в распылителях. Одновременно может работать несколько цилиндров по заданной программе. На практике работают шесть цилиндров, каждый из которых связан бронированными трубопроводами с тремя—четырьмя разбрызгивателями, жестко установленными в штамповом пространстве. Бак со смазкой может быть оборудован дополнительным устройством для ее перемешивания.

Схема установки НИИ тракторсельхозмаша, обеспечивающей строгое дозирование смазки, показана на рис. 172, д. Сжатый воздух по трубопроводу 1, оборудованному обратным клапаном, подают к диску 12, который периодически проворачивается электроприводом 13 или пневмоцилиндром. По окружности диска 12 расположены отверстия, объем которых соответствует требуемой порции смазки. В исходном положении соосные трубопровод подачи сжатого воздуха 1 и патрубок подачи смазки 6 перекрыты перемычками диска 12, а отверстия последнего находятся в среде смазки и заполнены ею. При повороте диска после каждого рабочего хода пресса полость, заполненная смазкой, устанавливается между торцами трубопровода 1 и патрубка 6, благодаря чему порция смазки перемещается сжатым воздухом к рабочей полости штампов. Смазку можно одновременно подавать по нескольким системам опораживания полостей диска 12. Смазка перемешивается лопастным устройством 14.

Недостатком данной конструкции является отсутствие средств приготовления аэрозоли перед подачей смазки в распылители. Этот недостаток устранен в установках системы «Ачесон» (рис. 172, е). Трубопровод 4 подачи смазки связан с пневматическим клапаном управления 5, который обеспечивает дозирование смазки и регулирование подачи аэрозоли. Электромагнитный клапан 12, сблокированный с двумя реле времени, включает подачу сжатого воздуха для обдува штампа, а по истечении заданного времени подает воздух к клапану 5. При перемещении золотника этого клапана смазка перемешивается с воздухом и передается к форсункам по трубопроводу 6. Подача воздуха в клапан 15 регулируется другим реле времени. Изменяя расход сжатого воздуха, подаваемого к форсункам, при помощи золотникового и дроссельного устройств можно получить аэрозоль с заданной степенью дисперсности. Бак оборудован системой подачи воды и снабжен предохранительным клапаном 16. При необходимости устанавливают систему для перемешивания смазки 14 при помощи крыльчатки

с пневмоприводом. На баке монтируют пульт ручного управления, систему сигнализации и оба часовых механизма.

Переносные устройства для нанесения смазки показаны на рис. 173. При нажатии кнопки подачи смазки через золотник 2 в один из гибких шлангов подают сжатый воздух для обдува штампа, а затем через два других — смазку из бака 1 и сжатый воздух, который посредством эжекции распыляет и разбрызгивает смазку на поверхность штампа (рис. 173, а). Консистенция смазки и степень распыления регулируются дросселированием проходных отверстий и изменением наладки золотника. Дозировку смазки осуществляют длительностью нажатия кнопки.

Конструкция, работающая как в автоматическом, так и в ручном режимах, представлена на рис. 173, б. Головка 3 с тремя соплами может поворачиваться относительно смазываемых ручьев штампа при помощи цилиндра 6 двойного действия, рейки и шестерни 4. Переключение подачи сжатого воздуха на прямой или обратный ход поршня производится клапаном 7, на который воздействует концевой выключатель хода поршня 5. Последовательность подачи воздуха и смазки — та же, что и для предыдущего случая. Дозирование смазки регулируют вентилем 9 за счет изменения проходного сечения между золотником и соплами. При каждом ходе пресса включается связь между ресивером 8 и баком 1 через электромагнитный клапан 10, что упрощает обслуживание и снижает потери воздуха при заправке бака. При перегреве штампов электромагнитный клапан 11 включает подачу охлаждающей воды на штамп. Одновременно блокировка отключает систему подачи смазки.

Для нанесения водных суспензий из стеклопорошка заготовки предварительно обезжиривают или подвергают пескоструйной обработке. Шликер наносят вручную мягкой волосяной щеткой, окунанием (рис. 174) или пульверизацией при помощи серийных краскораспылителей [378].

Для нанесения порошкообразных смазок используют установки УНПЭ-1, УНПЭ-10 [376, 378]. Установка УНПЭ-10 оборудована камерой для напыления стеклопорошка в электростатическом поле при напряжении 40 кВ и печью мощностью 90 кВт для оплавления покрытия и нагрева заготовок перед штамповкой. Заготовки с максимальными размерами 400×100×50 мм перемещают при помощи конвейера и подъемников. Установка обеспечивает получение равномерного покрытия толщиной 0,05—0,3 мм, ее производительность составляет 60 заготовок в час.

Устройство для подачи водных солевых растворов показано на рис. 175.

Форсунки и распылители для нанесения смазки на рабочую поверхность штампов

Для распыления аэрозоля в установке Л-66 фирмы «Фиат», которыми комплектует КГШП фирма «Иноченти», используют систему трубок, состоящую из патрубков 1, транспортирующего аэрозоль, и соединенных с ним поперечных трубок 2 (рис. 176). Число поперечных трубок соответствует числу смазываемых ручьев штампа. Аэрозоль поступает на ручьи через отверстия в поперечных трубках, диаметры которых (2—3 мм) уменьшаются с увеличением расстояния от оси патрубка 1, что позволяет поддерживать постоянную дисперсность смазки, несмотря на падение давления. Оптимальные расстояния отверстий от оси патрубка подбирают для каждого штампа. Для вставок, имеющих круглую или близкую к ней форму и глубину, не превышающую половину диаметра, используют трубки, изогнутые по диаметру вставок; для смазки неглубоких гравюр, длина которых превышает 200 мм, используют трубки, расположенные вдоль вставки с одной или с двух сторон; для гравюр длиной не более 200 мм и глубиной до 50 мм смазку наносят через трубки, установленные на ковочном блоке; для штампов с глубокими полостями используют выдвижные блоки трубок, обеспечивающих смазку каждой половины штампа [371].

Для подачи раствора сульфитно-щелочной барды на автоматизированных РКМ ВАЗ используют форсунку, показанную на рис. 176, б. Смазка, подаваемая через штуцер 3, захватывается сжатым воздухом, поступающим через отверстие в корпусе 4. Аэрозоль подготавливается и распыляется во втулке 5,

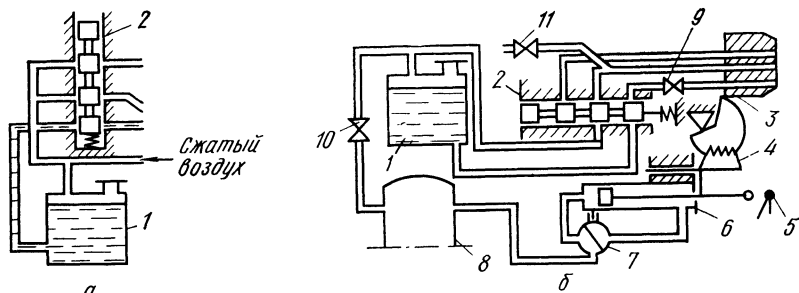


Рис. 173. Схемы устройств для подачи смазки при помощи ручного пистолета [147]

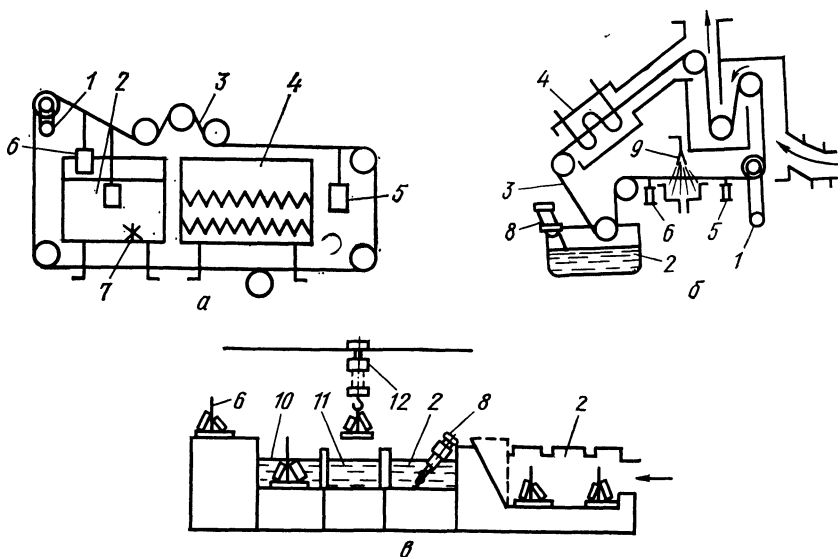


Рис. 174. Схемы установок для нанесения шликера окунанием перед нагревом и штамповкой:

a — при производстве лопаток [146]; *б* — установка НЗС-1 для заготовок с габаритными размерами 200×60×100, *в* — НЗС-2 для заготовок диаметром 30—150 и длиной 50—300 мм, массой до 24 кг [378]; 1 — привод; 2 — ванна со шликером; 3 — транспортер; 4 — сушильная камера; 5 — позиция выгрузки; 6 — позиция загрузки; 7 — крыльчатка; 8 — шнековая мешалка; 9 — душирующее устройство; 10 — ванна для обезжиривания; 11 — ванна с водой; 12 — тельфер

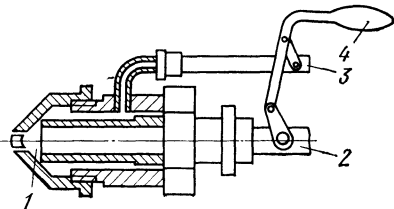


Рис. 175. Устройство для подачи солевых растворов:

1 — смешивательная камера; 2 — подача водного раствора; 3 — подача сжатого воздуха; 4 — рукоятка включения подачи смазки

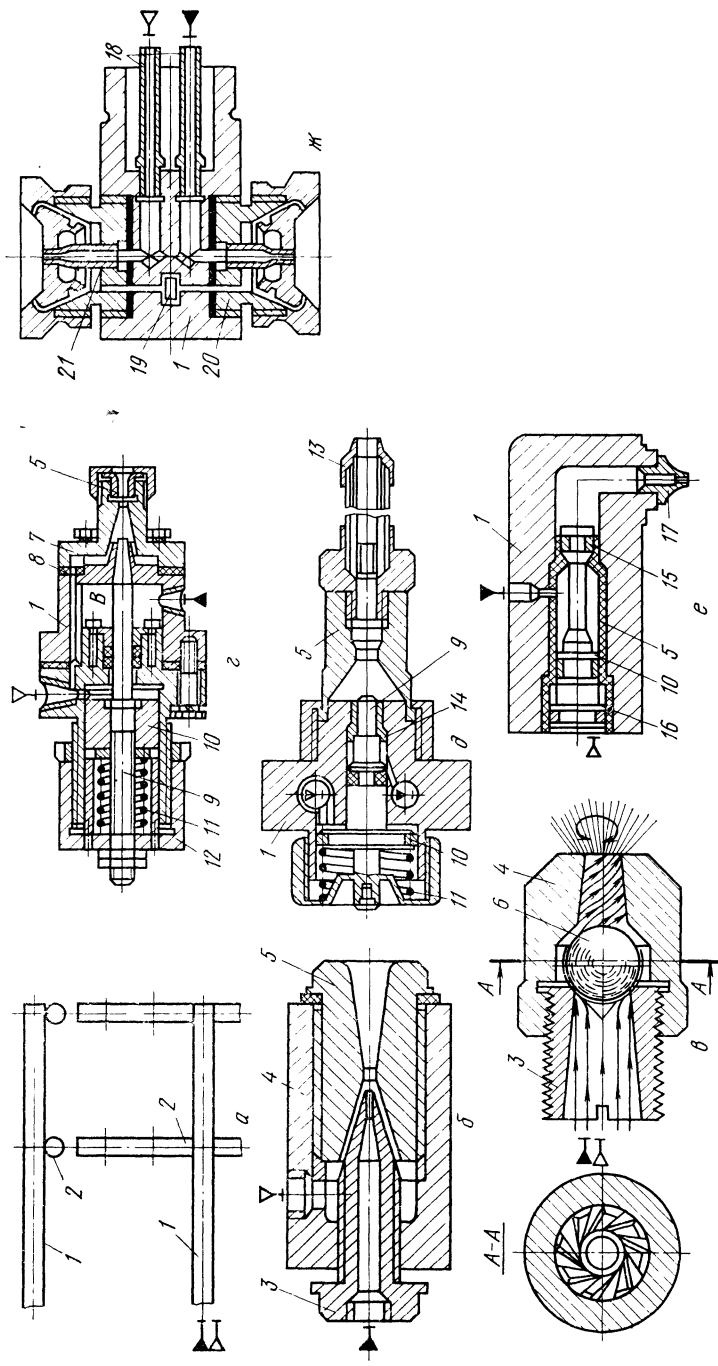


Рис. 176. Форсунки и распылители, применяемые для подачи смазки при объемной штамповке [374]

оканчивающейся сопловой частью. От формы и размеров сопла зависят параметры факела смазки. Состав аэрозоли и ее давление на выходе из форсунки регулируют расходом сжатого воздуха, изменяя расстояние между штуцером 3 и втулкой 5.

Недостатком конструкций, показанных на рис. 176, а, б, является неравномерность подачи смазки по сечению факела. Периферийная зона содержит недостаточное количество смазки, из-за чего ее необходимо расположить за пределами гравюр ручьев, что приводит к повышенному расходу смазки.

Для обеспечения большей равномерности распределения смазки в факеле устройства, которыми комплектуют установки фирмы «Шмерал», снабжены форсунками, конструкция которых показана на рис. 176, в. Смазка через штуцер 3 попадает в корпус 4, между которыми расположен шарик 6. Сопловая часть форсунки имеет спиральные канавки, которые создают противодавление, удерживающее шарик 6 между корпусом и штуцером, и обеспечивают закручивание периферийных слоев факела смазки. Размеры факела и состав аэрозоли можно регулировать изменением давления смазки и положения штуцера 3 относительно корпуса 4.

Недостатком рассмотренных конструкций являются неблагоприятное поступление смазки в момент прекращения подачи воздуха или аэрозоли. Размеры факела при этом уменьшаются, а смазка стекает в виде струй или капель.

Этот недостаток устранен в конструкциях, снабженных быстродействующими элементами прекращения подачи смазки или аэрозоли. В конструкции форсунки, предназначенной для подачи сульфитно-щелочной барды (рис. 176, з), сжатый воздух и смазка подаются через каналы в корпусе 1. Между корпусом 1 и втулкой 7 размещены прокладки 8, изменением размеров которых регулируют расход сжатого воздуха, поступающего к сопловому элементу 5. Игла дросселя 9 подачи смазки в камеру втулки 5 связана с поршнем 10. При подаче сжатого воздуха поршень 10 смещается вместе с иглой 9 влево, сжимая пружину 11 и открывая полость втулки 5 для поступления смазки. Ход поршня 10, определяющий расход смазки, регулируется гайкой 12. Недостатком конструкции является возможность засорения форсунки из-за постоянного нахождения в ней смазки. Для устранения опасности засорения форсунку можно использовать в системах, в которых смазка при помощи насоса постоянно циркулирует в системе бак со смазкой — трубопроводы — полость форсунки В. Через такую форсунку можно подавать и водно-графитовые суспензии, содержащие до 10 % графита [147].

Форсунка, показанная на рис. 176, д, не засоряется и бесперебойно обеспечивает постоянную консистенцию смазки перед подачей ее на штамп, благодаря последовательности поступления вначале сжатого воздуха, а затем уже смазки. Корпус 1 связан с диффузором втулки 5 и через нее при помощи гибкого шланга с наконечником 13. В диффузоре происходит предварительное, а в наконечнике 13 окончательное распыление смазки. При подаче сжатого воздуха в форсунку вследствие перемещения иглы 9 дросселя влево относительно упругой втулки 14 за счет движения поршня 10 к наконечнику 13 вначале поступает сжатый воздух для обдува штампа, а затем аэрозоль. При прекращении подачи воздуха в форсунку поршень 10 под действием пружины 11 возвращается в исходное положение, перекрывая при помощи иглы 9 проход смазки в диффузор. Конструкция такого типа, используемая фирмой «Ачесон», обеспечивает получение смазочных аэрозолей высокой степени дисперсности, вплоть до тумана.

Другая конструкция форсунки этой фирмы показана на рис. 176, е. Смазочная аэрозоль через отверстие в корпусе 1 подается в рабочую камеру и оттуда к соплу 17 при смещении под действием сжатого воздуха дроссельной манжеты 15 вправо относительно втулки 5. Манжета 15 установлена на общем штоке с поршнями 10 и 16. При прекращении подачи сжатого воздуха к поршню 16 поршень 10 со штоком и манжетой 15 смещается влево под давлением сжатого воздуха или аэрозоли за счет разности площадей поршня 10 и поршня с манжетой 15. Благодаря наличию конуса и манжеты в дросселе происходит практически мгновенное прекращение подачи аэрозоли к соплу 17 при прекращении подачи сжатого воздуха в форсунку.

Конструкция форсунок, применяемых на КГШП фирмой «Шмерал», показана на рис. 176, ж. Сжатый воздух по двум каналам 18 подается в корпус 1 форсунки. Выходные отверстия обеих головок 20 корпуса 1 направлены к соответствующей половине штампа. Смазка подается к головкам по каналу 19 и распыляется струей сжатого воздуха. Состав и степень распыления смазочной смеси регулируют перемещением головок сопел 21 относительно друг друга, а также регулировочными винтами, изменяющими проходные сечения для воздуха и смазки.

Стационарные и переносные установки для подачи смазки и системы подвода форсунок и распылителей к штампам

Стационарная установка, изготовленная в условиях цеха, показана на рис. 177. Все агрегаты смонтированы на общей раме 11. Воздух под давлением 0,5—0,6 МПа поступает в бак 1 и вытесняет смазку по трубопроводу 4 в масло-

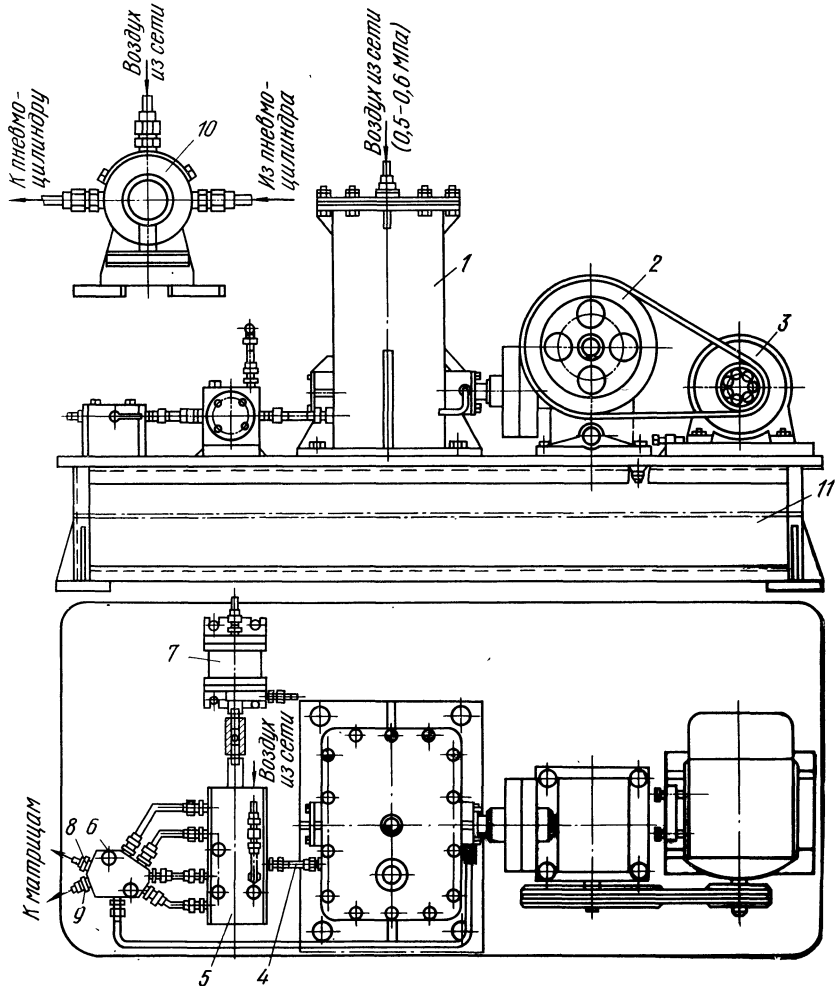


Рис. 177. Стационарная установка для подачи смазки при штамповке [433]

воздухораспределитель 5. Туда же поступает сжатый воздух из сети. Срабатывание пневмоцилиндра 7 происходит при включении ножной педали распределителя 10; при этом смазка поступает в коллектор 6, откуда по патрубкам 8 и 9 подается к верхней и нижней матрицам [375]. Привод мешалки осуществляется электродвигателем 3 через клиноременную передачу и редуктор 2.

Установки фирмы «Шмерал» (рис. 178, а) располагаются у проема правой стойки пресса. Привод для введения форсунок 2 в рабочее пространство состоит из асинхронного реверсивного двигателя мощностью 0,25 кВт, закрепленного на кронштейне в проеме станины, редуктора 3 и шестерни с рейкой 8. Электропневматическая система управления включает распределитель и электромагнит с системой рычагов для открывания и закрывания клапанов и следящую систему, которую можно настроить на срабатывание после любого числа ходов пресса в пределах от единицы до одиннадцати. Из распределителя смазку подают к форсунам 2 по гибким трубопроводам, смонтированным в стальной трубе 7. Последняя жестко связана с трубой 6, по которой от редукционного клапана подают сжатый воздух к штуцеру 1 для обдува штампа. Обе трубы вместе с жестко закрепленной форсункой и рейкой 8 совершают возвратно-поступательное движение, перемещаясь в подшипниках 4, которые с помощью косынок прикреплены к стойке пресса. Крайние переднее и заднее положения сопел форсунок 1 определяются концевыми выключателями 5. По сигналу следящей системы включается привод перемещения форсунки, которая обдувает вначале нижнюю половину штампа, а затем смазывает обе половины. Количество подаваемой смазки дозируют путем регулирования винтов в электропневматической системе и изменением проходных сечений трубопроводов подачи смазки на выходе из нее при помощи вентилях. Скорость перемещения форсунки 0,3 м/с, число сопел равно трем, диаметр сопла для смазки 2 мм, для обдува 3 мм. Объем смазки в баке составляет 30 л, давление смазочной смеси 0,05—0,1 МПа.

В установках фирмы «Фиат», располагающихся у левого бокового проема универсального КГШП, для перемещения распылителя используют пневмоцилиндр (рис. 178, б). Установка состоит из бака высокого давления 1 и тележки 2, на которой смонтирована пневмоэлектрическая система подачи патрубка 6 с распылителями 5 к штампам до упора. На тележке жестко закреплен пневмоцилиндр 3 перемещения каретки 4. Смазка под давлением сжатого воздуха из бака 1 через кран поступает совместно со сжатым воздухом в клапан двойного действия, установленный на тележке 2. Клапан срабатывает под действием кулачка, перемещаемого вместе с кареткой 4 пневмоцилиндром 3. Распыление смазки и очистки трубопроводов осуществляют через вентиль, забирающий воздух из верхней части бака 1. Предусмотрена возможность автоматического включения установки после каждого или нескольких ходов пресса, а также периодическая промывка водой трубопроводов подачи смазки. Установка этого типа может быть укомплектован любой пресс [374].

В конструкции МАТИ (рис. 178, в) распылитель укрепляют на торце изогнутого рычага 1 с трубчатым сечением, внутри которого проходят гибкие шланги, подающие смазку от предварительного воздушного смесителя [374]. С помощью шкворневого пальца рычаг связан со станиной пресса и пневмоцилиндром 2. Последний шарнирно соединен со станиной. Система управления смонтирована на баллоне высокого давления. Установка включается от ножной педали или автоматически от ползуна пресса путем подачи воздуха в пневмоцилиндр. Подача воздуха в форсунку для обдува штампа включается при достижении рычагом концевого включателя 3. Продолжительность обдува регулируется часовым механизмом. Затем включается подача смазочно-охлаждающей смеси; длительность подачи контролируется другим часовым механизмом. Предусмотрено регулирование размера факела распыления путем изменения расстояния между форсунками и гравюрами штампов и давления сжатого воздуха, а также степень предварительного смешивания смазки с воздухом в смесителе. По сигналу часового механизма с помощью золотника поршень пневмоцилиндра возвращает рычаг с форсунками в исходное положение. Предусмотрена ускоренная промывка форсунок в случае засорения. Установка может быть использована на любом прессе при различном числе ручьев в штампе.

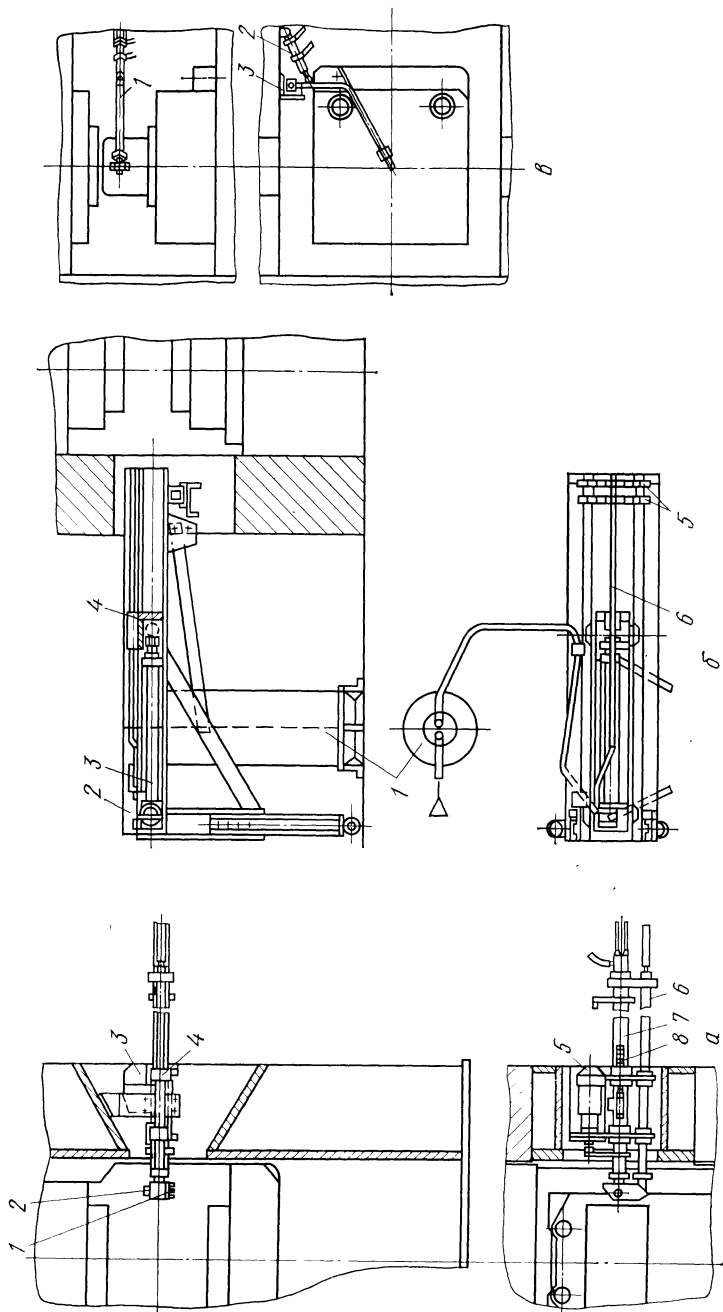


Рис. 178. Схемы автоматизированного подвода форсунок в установках фирмы «Smegal» (а), фирмы «Fiat» (б), фирмы «Fiat» (б), МАТИ (в) [374]

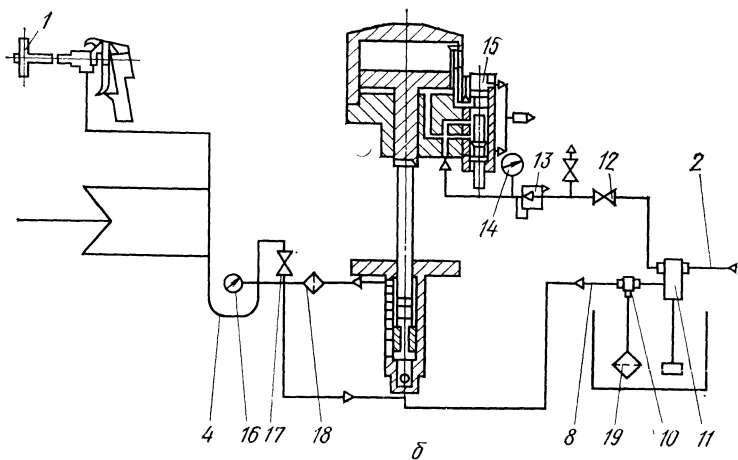
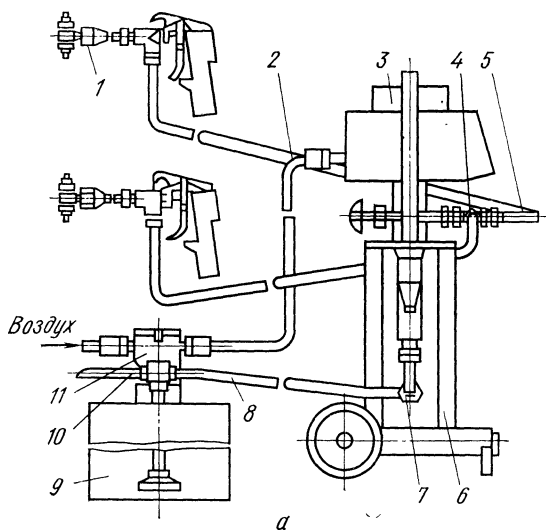


Рис. 179. Блок-схема (а) и принципиальная схема (б) установки УБР СОЖ-1:

1 — распылитель; 2 — подача сжатого воздуха; 3 — насос; 4 — линия высокого давления; 5 — шланг высокого давления; 6 — шасси; 7 — шариковый клапан; 8 — всасывающая система; 9 — емкость для смазки; 10 — промывная система; 11 — мешалка с пневмоприводом; 12 — кран; 13 — регулятор давления; 14, 16 — манометры; 15 — воздухораспределитель; 17 — кран сброса высокого давления; 18 — фильтр тонкой очистки; 19 — фильтр предварительной очистки

Установки УБР СОЖ-1 и VYZA-1 (ЧССР) работают с распылителями высокого давления (рис. 179) [432]. Давление масляно-графитовой смеси на выходе из распыляющего сопла равно 9—16 МПа. При таком давлении выдуваются остатки смазки предыдущей операции и пробивается паровая рубашка, что улучшает нанесение смазки. Количество подаваемой смазки дозируется; его можно регулировать. Пистолеты-распылители оборудованы специальной удлиняющей насадкой с двумя соплами, расположенными под 180° друг к другу. Ниже приведены технические данные установок:

Тип	УБРСОЖ-1	VYZA-1
Давление, МПа:		
воздуха на входе	0,07—0,6	0,5—0,7
смазки на выходе	≤15	9—16
Расход смазки, г/с	10	100
Расход воздуха, 10 ⁻³ , м ³ /с	3,50	2,08
Длина шланга высокого давления, м	15	5
Емкость сосуда для смазки, л	20	20
Масса установки, кг	50	20

Установка позволяет подать по 10 см³ смазки в шесть точек одновременно при ручном или автоматическом управлении.

Подача смазки при холодном выдавливании и листовой штамповке

Фосфатное покрытие на заготовки перед холодным выдавливанием наносят путем погружения заготовок в раствор на установках с линейным или круговым расположением ванн. Заготовки помещают в сетчатые корзины или барабаны, которые перемещают из ванны в ванну либо при помощи тельфера, либо путем опрокидывания корзин, поворачивающихся вокруг своих горизонтальных осей от гидравлического или пневматического приводов. Применяют установки карусельного типа, занимающие меньшую площадь. Круглый бак установки разделен на секторы, в которые опускают корзины с деталями. Перемещение корзин осуществляют при помощи центральной колонны, которая совершает периодические повороты, а также опускание, покачивание и подъем корзин. Применяют также роторно-шнековые агрегаты непрерывного действия.

Нанесение мыльной смазки или эмульсии на заготовки после фосфатирования осуществляют погружением их в ванны с раствором при выдержке до 30 мин при омыливании и до 10 мин при промасливании. Последующую сушку проводят на воздухе или в сушильных устройствах при температуре 60—70 °С в течение 5—6 мин. При использовании животных жиров или консистентных смазок их наносят галтовкой в барабанах, установленных в общей технологической цепи.

При листовой штамповке крупногабаритных деталей смазывают вручную поверхность листа, обращенную к матрице; при штамповке простых деталей смазку на листы наносят после трех—шести штамповок. При листовой штамповке и вырубке-пробивке из ленты или полосы последнюю пропускают через смазывающую машину, оборудованную обогреваемым баком со смазкой, парой смазывающих роликов, обтянутых фетром, и устройством подачи смазки на ролики (рис. 180, а). Насос 1 подает смазку из бака 2 на верхний ролик 5 при помощи капельницы 6. Нижний ролик 4 находится в контакте со смазкой, залитой в ванну 3, из которой избыток смазки стекает в бак 2. Смазанную полосу подают в вырубной штамп. При необходимости нанесения на верхнюю и нижнюю поверхность полосы различного по толщине слоя смазки лишь один смазывающий ролик покрывают войлоком. При вырубке-пробивке отверстий на рабочую часть вырубного пуансона или на полосу подают смазочно-охлаждающую жидкость путем распыления (рис. 180, б). Установка смонтирована перед валковой подачей штампового автомата. Масло из бака 1 поступает по шлангам 3 к двум пульверизаторам 4, расположенным перпендикулярно движущейся полосе 2. Сжатый воздух подают через отстойник 7 с воздушным фильтром и

электромагнитный клапан 8, срабатывающий по сигналу микровыключателя 6, установленного на автомате и подающего команду на включение только при рабочем ходе автомата. Одно подключение при давлении 0,4 МПа происходит к золотниковому управлению обоих пульверизаторов, второе — идет через редуктор 5 к игольчатому регулятору, устанавливающему расход масла.

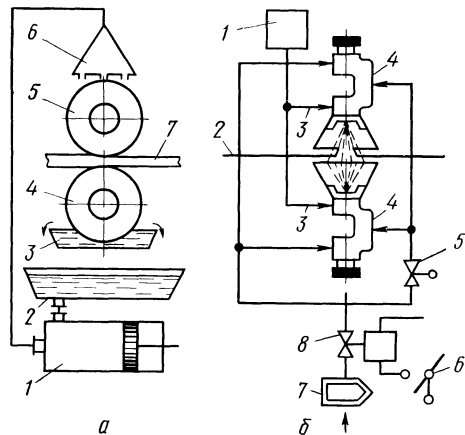


Рис. 180. Подача смазки на полосу перед листовой штамповкой и вырубкой (а — контактная, б — обрызгиванием) [434]

Эффективна подача масляного тумана на пуансон и в зону разделения. Установка для нанесения распыленных СОЖ на водной основе показана на рис. 181. Сжатый воздух под давлением 0,3—0,6 МПа через кран 1, воздухоочиститель 2 и регулятор давления 3 с манометром 4 и смазка из бака 11 поступают в распределитель-смеситель 5, где смешиваются. Полученная аэрозоль эжектируется и поступает по гибким шлангам 6 в кольцевую полость л пуансонодержателя 7, откуда через форсунки подается на рабочую часть пуансона, направляющую втулку 8, полосу 9 и матрицу 10.

Поступающий в распределитель-смеситель 5 сжатый воздух под давлением 0,15—0,20 МПа проходит по каналу а через щель дросселя 19 напрямую в камеру б и по кольцевому зазору в между первичным соплом 18 и диафраг-

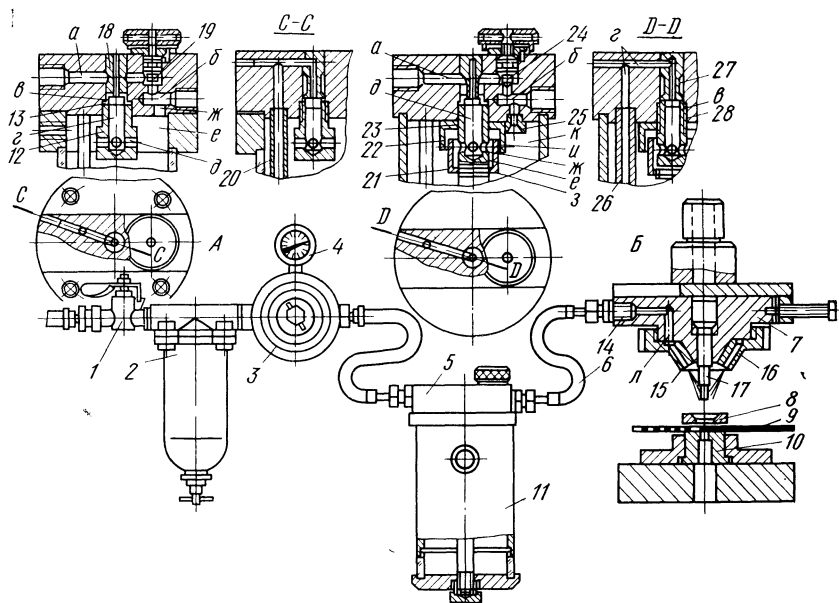


Рис. 181. Установка для нанесения распыленных СОЖ и устройство распределителя — смесителя для смазок на водной основе (А) и индустриального масла (Б) [383, 435]

мой 13. Вследствие увеличения скорости воздушного потока в зазоре *в* там создается разрежение. Жидкость из бачка со смазкой 11 подсасывается в сопло 18 по заборной трубке 20, снабженной сетчатым фильтром, и отверстиям в корпусе распределителя. При выходе жидкость подхватывается воздухом и распыливается в камере *г* вставки 12, образуя первичную обогащенную жидкостную смесь.

Выходя из отверстий *д* в камере *е* смесь обедняется вследствие того, что крупные капли жидкости оседают на стенке камеры и стекают обратно в бак, а оставшаяся обедненная смесь поступает с потоком воздуха через канал *ж* в камеру *б*, где встречается с потоком воздуха, прошедшим через щель дросселя 19. Образующаяся рабочая смесь по гибкому шлангу *б* попадает через отверстие 14 в пуансонодержателе 7 в кольцевую камеру *л*, откуда по двум диаметрально противоположным отверстиям 15 сопла 16 — на рабочую часть пуансона 17 и в зону разделения штампуемого материала.

Эмульсионный бак 10 оборудован герметично закрывающейся крышкой, имеющей заливную горловину с фильтром грубой очистки и герметичной пробкой. Расход жидкости регулируется дросселем 19. При изменении величины щели происходит перераспределение количества воздуха, прошедшего через установку, между щелью дросселя и кольцевым зазором *в*. Когда щель закрыта, весь воздух направляется в этот зазор. При этом скорость воздуха и разрежение максимальные, и расход жидкости максимален. Если щель открыта, часть воздуха не попадает в зазор *в*, уменьшается разрежение и расход смазки.

При распылении масла И-20А сжатый воздух проходит (рис. 181, б) по каналу *а* напрямую, а через щель дросселя 24 поступает в камеру *б*; часть воздуха проходит из канала *а* через кольцевой зазор *в*, образованный первичным соплом 27 и диафрагмой 28. В результате этого в зазоре создается разрежение, и масло из бака по трубке 26 и отверстиям *г* подсасывается в первичное сопло. На выходе из него масло распыливается струей воздуха в камере *д* стержня 23, образуя первичную обогащенную маслом смесь. Для интенсивного обеднения первичной смеси использован лабиринтный обеднитель, состоящий из внутреннего 21 и наружного 22 стаканов. Первичная обогащенная смесь из камеры *д* поступает в камеру *ж* через отверстие *е*. Крупные капли оседают на стенках внутреннего стакана и через отверстие стекают обратно в бак. Масловоздушная смесь проходит лабиринтный обеднитель *и*, в котором при изменении направления движения смеси происходит ее дальнейшее обеднение. Далее смесь попадает в камеру *к* и, пройдя стабилизатор расхода масла 25, представляющий собой патрубок с расширяющимся книзу коническим отверстием, поступает в камеру *б*. В этой камере при встрече с воздухом, прошедшим прямо из канала *а*, образуется рабочая воздухомасляная смесь, транспортируемая для подачи на рабочую часть пуансона.

Расход масла регулируется дросселем 24; при полностью закрытой щели дросселя расход максимален.

Рекомендуемые [435] соотношения между суммарной площадью отверстий сопла и площадью кольцевого зазора в распределителе при распыливании СОЖ и масел при наружном и внутреннем диаметрах первичного сопла, равных соответственно 4,5 и 2,3—3,5 мм, приведены ниже:

Суммарная площадь отверстий сопла, мм ²	7	10	12	16
Внутренний диаметр диафрагмы, мм *	4,7/5,0	5,0/5,5	5,5/6,0	6,0/6,5

* В числителе — при подаче СОЖ на водной основе, в знаменателе — при подаче масла.

В зарубежной практике используют разбрызгивающие тьюбики, содержащие суспензию твердой смазки в легко испаряющейся жидкости [383].

13.9. Подача смазок при прессовании

Смазка матрицы

Масляные смазки наносят вручную. Графитсодержащие смазки с различными добавками наносят в виде суспензий или паст вручную, напылением или подают по каналам в матрице. При прессовании относительно коротких заготовок суспензию или пасту наносят на диск из гофрированной бумаги или картона, который при помощи проволочной вилки помещают в контейнер [164]. Применяют также шайбы, сформованные из графита, с добавкой связующих.

При прессовании на вертикальных прессах смазку в виде порошка насыпают на поверхность матрицы; отверстие в матрице предварительно закрывают заглушкой из картона, бумаги или металлической фольги. Иногда для вертикальных и горизонтальных прессов используют сложенный в виде тора рулон стеклоткани, укладываемой на матрицу. Наибольшее распространение получили смазочные шайбы, сформованные из стеклопорошка с размером частиц от 0,1 до 2,0 мм с добавками жидкого стекла, сульфитно-спиртовой барды, бентонитового клея. При высоких температурах прессования в качестве связки используют также кремнекислый натрий; при низких — фосфорную кислоту, снижающую температуру размягчения смазки.

Стеклопорошок и связывающие вещества тщательно перемешивают, полученную смесь формуют на прессах усилием до 1 МН; отформованные шайбы подвергают сушке. Форму смазочной шайбы выбирают в зависимости от формы матрицы переднего торца заготовки. В тех случаях, когда угол образующей матрицы α_M и угол образующей переднего конца заготовки α_3 равны между собой, стеклошайба должна иметь постоянную толщину по сечению (рис. 182, а); при $\alpha_3 < \alpha_M$ толщина шайбы может быть как постоянной, так и уменьшаться к центру (рис. 182, а, б); при $\alpha_3 > \alpha_M$ толщина шайбы должна увеличиваться к центру (рис. 182, в) [164, 199].

При прессовании сплошных профилей используют шайбы как сплошные, так и с отверстием, при прессовании труб — только с отверстием (рис. 182, г, д, е). Диаметр отверстия в шайбе должен быть больше диаметра отверстия в матрице на 10—15 % [169] или на величину радиуса скругления очка матрицы [199].

Для повышения эффективности действия смазки предложено устанавливать несколько шайб с увеличивающимся диаметром отверстия, а также двухслойные шайбы, у которых слой, обращенный к заготовке, изготовлен из стекла с меньшей вязкостью по сравнению со слоем, расположенным со стороны матрицы. При прессовании несимметричных профилей предлагается применять сегментные шайбы из стекол различной вязкости. Предложено использовать толстые шайбы, в которых образуются естественные воронки [164].

Шайбы закрепляют на рабочем конусе матрицы при помощи эластичных элементов из мягких металлов, пластмассы или резиновой ленты. Шайбы с отверстиями крепят пружинящими металлическими скобами, картонными пыжами, деревянными клиньями, резинкой, натягиваемой между специальными выступами на матричном блоке, а также клеят к матрице силикатным стеклом; или клеем, содержащим, г: 170 NaHPO_4 , 163 каолина, 160 воды, с температурой застывания около 150 °С [436, 437].

При механизированной подаче (рис. 183) смазку осуществляют следующим образом: в захват 2 устанавливают шайбу 3, захват подает пневмоприводом 1 на ось прессования и проталкивают заготовку в контейнер 4 до матрицы [164]. Толщину шайб при этом необходимо увеличивать для повышения прочности.

Подача смазок на наружную и внутреннюю поверхность заготовки, иглу и оправку

Смазочный слой между стенками контейнера и наружной поверхностью заготовки и между поверхностью иглы прошивных прессов или оправки трубопрофильных прессов и внутренней поверхностью гильзы обеспечивают путем нанесения смазки либо на заготовку, либо на инструмент.

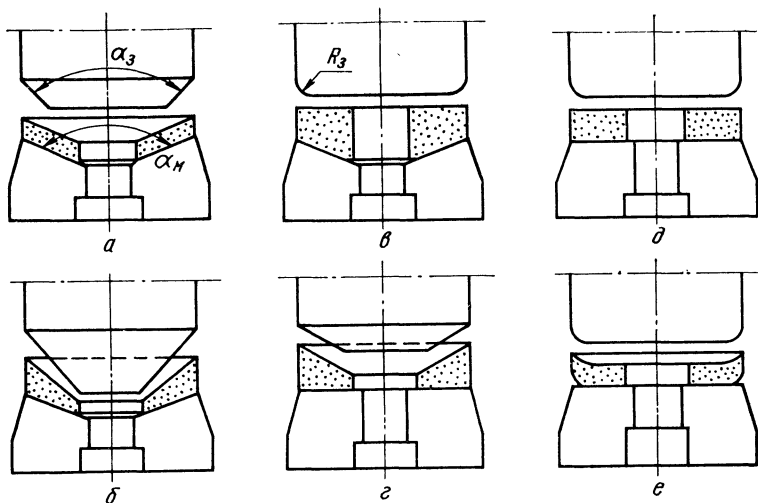


Рис. 182. Формы шайб из стеклопорошка при различном профиле матрицы и переднего конца заготовки [164]

Рис. 183. Схема механизированной установки смазочных шайб [164]

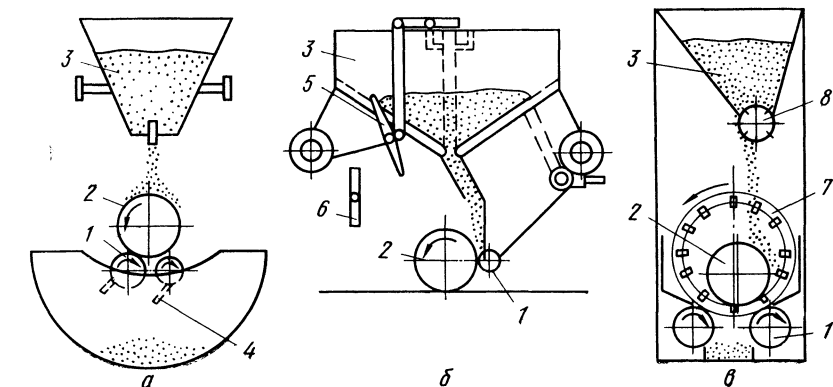
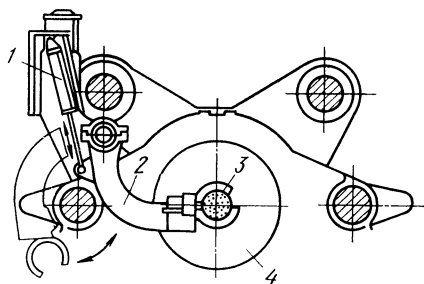


Рис. 184. Механизированные устройства для нанесения плавящихся порошкообразных смазок на боковую поверхность нагретых заготовок [164]

В вертикальных прессах порцию консистентной, порошкообразной или суспензионной смазки вводят внутрь контейнера на матрицу, на которой размещают уплотнительную прокладку. При распрессовке заготовки смазка равномерно распределяется в зазоре между наружной поверхностью заготовки и внутренней поверхностью контейнера. Для предотвращения выхода смазки из контейнера на верхний конец заготовки помещают уплотнительную прокладку, изготовленную из пластмассы, цветных металлов или стали толщиной от 0,01 до 15 мм. На горизонтальных прессах для нанесения на стенки контейнера консистентных смазок применяют вращающуюся смазочную головку.

Стекланные и шлаковые смазки наносят на наружную поверхность круглой заготовки при скатывании ее по наклонному столу, поверхность которого покрыта слоем порошка толщиной 4—5 мм, куском стеклоткани или стеклорогожки. Длина участка, покрытого смазкой и стеклотканью, равна соответственно двум—трем и одному—двум периметрам заготовки. Толщину образовавшегося на заготовке слоя смазки регулируют изменением угла наклона стола. При использовании стеклоткани слой смазки имеет более равномерную толщину, чем при накатке.

Предложены механические устройства для обертывания заготовок в стеклоткань [164] и устройства, обеспечивающие вращение заготовки с одновременным нанесением стеклопорошка на ее боковую поверхность (рис. 184). На рис. 184, а показана конструкция для напыления порошкообразной смазки при помощи неподвижного бункера — дозатора 3, установленного над роликами 1, задающими вращение заготовке 2. Для снятия смазки, налипающей на ролики 1, устанавливают скребки 4. На рис. 184, б показана конструкция, использующая бункер 3, движущийся по рельсам и толкающий заготовку по горизонтальному столу.

Порошок смазки начинает поступать на заготовку 2 только в момент соприкосновения ее с роликами 1 и открытия шибера. После прохождения определенного участка пути рычаг 5 при помощи переключателя 6 закрывает шибер подачи смазки. Иногда вращение заготовке передается решетчатый барабаном 7. Такой барабан («беличье колесо») предохраняет ролики 1 от налипания смазки (рис. 184, в). Избыток смазки собирают и используют снова. Для непрерывного поступления смазки из неподвижного бункера применяют вибраторы или вращающиеся дозаторы 8.

Устройства для нанесения смазки на наружную поверхность заготовки при вращении последней вокруг неподвижной оси предпочтительнее других [169] благодаря компактности, возможности герметизации процесса, достаточной равномерности нанесения смазки. Нанесение стеклосмазки накаткой на поверхность заготовки в камерах с защитной атмосферой предотвращает образование окалины на поверхности заготовок.

На вертикальных прессах стеклосмазка может наноситься и непосредственно в контейнере. При движении пресс-штемпеля расплавленная смазка заполняет полость между стенками контейнера и наружной конусной поверхностью по длине заготовки, меньший диаметр которой обращен к пресс-штемпелю. Также можно наносить смазку и на внутреннюю поверхность гильз, имеющих конусность по высоте как по наружной, так и по внутренней поверхностям, причем вершины конусов наружной и внутренней поверхностей должны быть расположены по разные стороны заготовки [164].

Для введения внутрь гильзы порошкообразной смазки используют коробчатые ложки, длина которых равна длине гильзы. Порошок высыпают при качении гильзы, совмещая нанесение смазки на ее наружную и внутреннюю поверхности. Количество смазки, наносимой на внутреннюю поверхность, рекомендуется увеличивать к заднему концу заготовки, что облегчает извлечение оправки после прессования. С этой целью используют коробчатую ложку переменного по длине сечения. При нанесении порошкообразной смазки на неподвижную заготовку используют трубку с отверстиями. Трубку наполняют смазкой погружением в бак со смазочным порошком, затем вводят в полость заготовки и приводят во вращение при помощи пневмопривода, распределяя смазку по всей поверхности заготовки [164].

На оправку смазку в виде суспензий наносят кистью, пульверизацией или окунанием с последующей сушкой. При работе с гильзами в виде стакана в их

полость помещают порцию смазки, которая, расплавившись, после ввода оправки выдавливается в кольцевой зазор между внутренней поверхностью гильзы и оправкой.

На иглу консистентную смазку наносят при помощи механизма, оборудованного головкой с эластичными смазывающими элементами.

При прошивке гильз на вертикальных прессах порцию смазки подают на торец заготовки вручную либо при помощи устройств, обеспечивающих более равномерное нанесение смазки. Для подачи порошкообразной смазки используют бункер, имеющий отверстие в дне, которые перекрываются заслонкой (ситом). При перемещении заслонки ее отверстия совпадают с отверстиями в дне бункера и порошок смазки насыпается на торец заготовки. При прошивке на горизонтальных прессах на оправку с прошивнем надевают толстостенную обойму, конец которой выступает за торец прошивня. Полость, образованную торцом прошивня и стенкам обоймы, заполняют стеклосмазкой со связующими добавками (или без них), либо заполняют спеченными штабиками из стеклопорошка. Предложено также формировать предварительно полость на торце заготовки, в которую перед прошивкой закладывают порцию смазки, использовать заготовки со сверлением или одевать на концевую часть иглы полый усеченный конус, спрессованный из стеклопорошка или стекловолокна [164].

13.10. Подача смазки при прокатке труб

Длинные оправки после извлечения из труб охлаждают водой в ванне или спреем до температуры 150—200 °С и подают в устройство для нанесения смазки в виде водного раствора, расположенное перед станом по оси прокатки. Устройство (рис. 185) включает рабочую камеру, закрытую кожухом 1, и ванну 7, над которой по приводным роликам рольганга 8 через окна 3 кожуха прямолинейно перемещается оправка 4. Смазка на верхнюю половину оправки поступает за счет полива из трех сопел 2, расположенных над оправкой по длине кожуха. Смазку к соплам подают от индивидуальных насосов. Нижняя половина оправки смазывается туманом, который создают барабаны 6 с лопастями, имеющие индивидуальные приводы 5. Наличие смазочного тумана в камере способствует равномерному нанесению смазки по всей поверхности оправки.

В устройстве другого типа смазку наносят поливом из сопел, расположенных над оправкой, которая, перемещаясь по косо расположенным роликам, имеет винтовое движение. Излишки смазки сливают в бак для хранения и подачи смазки, расположенный ниже уровня пола цеха. Бак оборудован насосами, системой подогрева смазки и мешалкой. По мере расходования смазки в горловину бака, выходящую на уровень пола цеха, через ситогрохот засыпают сухие компоненты смазки, и добавляют необходимое количество воды и жидких компонентов. Перед употреблением смазку размешивают в течение 20—30 мин при температуре 60—80 °С.

При прокатке на короткой оправке внутри гильз задают порошкообразную смазку вручную, пневматическими или механическими устройствами. Одно из них (рис. 186) содержит рычаг 3 с расположенной на его конце ложкой 2, которую вводят через отверстие в барабан 4 для заполнения смазкой (положение А). Одноразовая порция смазки определяется объемом полости ложки. Пневмоцилиндр 7 через тягу 8 и промежуточный рычаг 9 устанавливает ры-

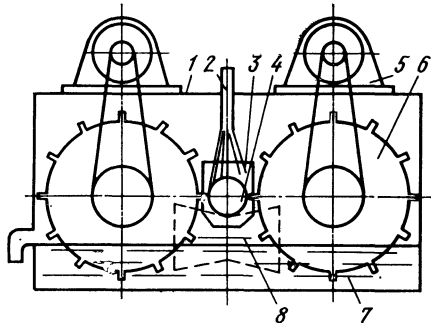


Рис. 185. Схема установки для нанесения водного раствора смазки на длинные оправки

чаг с ложкой по оси прокатки в положение Б. При ударе движущейся по рольгангу гильзы 1 о рычаг 3 порция смазки за счет сил инерции попадает внутрь гильзы, рычаг с ложкой отбрасывается в сторону и возвращается цилиндром 7 внутрь барабана 4 для очередной заправки. Благодаря постоянному вращению барабана, приводимому в движение от электродвигателя 6 через редуктор 5, смазка не слеживается. Управление цилиндром 7 осуществляется от фотоэлементов. При расходе смазки пополняют вручную через отверстие барабана.

При холодной прокатке труб на станах ХПТ и ХПТР при использовании эмульсий и жидких смазок пакеты многократно (обычно не менее трех раз)

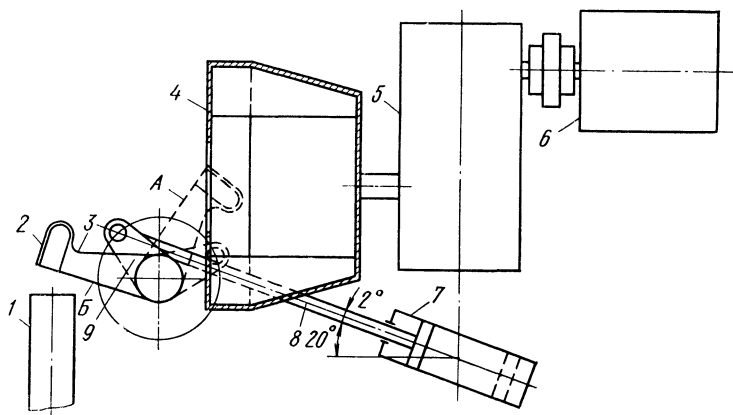


Рис. 186. Схема установки для механизированной подачи порошкообразной смазки в гильзу [438]

погружают в ванну со смазкой с последующей выдержкой над ванной до полного стекания смазки и сушкой на воздухе или в сушилах до полного высыхания смазки. Консистентные и густые смазки и масла вводят внутрь трубы вручную. Возможно использование механизированных устройств (форсунок), расположенных на грузочном столе стана ХПТ [368].

Эмульсию для охлаждения калибров к группе из трех—десяти станов подают от одной установки, снабженной эмульсионным баком, двумя насосами шестеренного типа (один из них резервный) и отстойниками. Некоторые станы оборудуют индивидуальной эмульсионной системой. Подача эмульсии на станах ХПТ-32, ХПТ-55, ХПТ-75 и ХПТ-120 составляет соответственно 60; 85; 110 и 140 л/ч.

14. Эксплуатация смазочных систем, расход и стоимость смазочных материалов

14.1. Изменения в смазке и способы очистки технологических смазок в процессе эксплуатации

В процессе эксплуатации происходит загрязнение эмульсий и масел и изменение их состава и физико-химических свойств (содержания жирных кислот, иодного числа, вязкости, показателя рН и др.). В смазке накапливаются металлургические продукты износа инструмента и обрабатываемого металла, продукты термического разложения и окисления смазки, промасливающая смазка и смазка из гидравлических систем и подшипников, соли, попадающие из травильных

растворов (до 70—140 мг шлама на м² поверхности полосы [439]) и из воды, входящей в состав смазок и эмульсий. Происходит испарение воды, унос масла, размножение бактерий; жирные кислоты, появляющиеся при разложении жиров [186], реагируют с металлом и другими веществами, образуя мыла. Масла при хранении окисляются. В пальмовом масле через 5—6 месяцев количество свободных жирных кислот возрастает с 8—12 до 20 %. При введении антиокислителей масло можно хранить 1 год в закрытых емкостях.

Соли, содержащиеся в жесткой воде, образуют с жирными кислотами водонерастворимые мыла, загрязняющие поверхность полосы. Повышенная жесткость воды отрицательно сказывается и на эксплуатационных качествах эмульсии.

Значительное содержание сульфатов и хлоридов в воде снижает стабильность эмульсий и резко ухудшает их антикоррозионные свойства. Поэтому жесткость воды для приготовления эмульсии должна быть минимальной и по опытным данным не должна превышать 2 мг экв/л, количество хлоридов — не более 25 мг/л и сульфатов — не более 60 мг/л.

Интенсивность накопления механических загрязнений в смазке зависит от температурно-скоростных условий деформации, состояния поверхности заготовки, размеров эмульсионных баков, эффективности системы очистки смазки. Содержание механических примесей не должно превышать 0,02—0,15 %, содержание неэмульгированных масел в эмульсии 5—10 % от общего содержания масла [443]. Из эмульсии необходимо удалять частицы крупнее 1—30 мкм (меньшие значения — для прокатки нержавеющей стали и цветных металлов). Для поддержания стабильного состава, требуемого объема и работоспособности необходимы добавки свежей эмульсии или чистого масла и воды (табл. 67). Полная замена эмульсии в циркуляционной системе производится 1 раз в год. При подпитке свежей эмульсией вся эмульсия обновляется в системе через 30—40 сут. Время эксплуатации метастабильных эмульсий вследствие небольших объемов баков и интенсивного уноса масла значительно меньше. Уже после

ТАБЛИЦА 67

ХАРАКТЕРИСТИКА ЭМУЛЬСИОННЫХ СИСТЕМ НЕПРЕРЫВНЫХ ЛИСТОВЫХ ЧЕТЫРЕХКЛЕТЕВЫХ СТАНОВ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ПРИ РАБОТЕ СО СТАБИЛЬНЫМИ ЭМУЛЬСИЯМИ

Стан	Емкость баков (систем), м ³	Подача эмульсии, м ³ /мин	Потери смазки	Пополнение системы	Применение
1680	36	5	Эмульсия 0,7—0,8 м ³ /ч	Концентрированная эмульсия — через 12 ч работы, вода — непрерывно *	До повышения концентрации рабочей эмульсии на 1,5—2,0 %.
1700	230	29	Вода 25 л/т, масло 0,3 кг/т	—	Через 5 сут слив эмульсии на разложение
2500	2000	20	Нет св.	Свежая эмульсия — до 2 м ³ /ч, вода — непрерывно из рентгеновских толщиномеров	Полная смена эмульсии 1 раз в год

* Режим эксплуатации: 24 ч работы, отстой, снятие шлама, обновление эмульсии (24 ч), 24 ч работы и слив на разложение.

10—20 часов работы количество добавляемого масла может быть равно исходному [418]. В течение одной недели содержание жирных кислот, которое в исходном жире не превышает 10 %, не должно возрастать более чем на 3 %, йодное число (40—70) — более чем на 10 %, перекисное число (0,5) — более чем на 150 %.

На многовалковых станах система периодически пополняется свежими порциями смазки. Размер механических примесей не должен превышать 2,5 мкм [447]. Полная замена смазки при наличии тонкой очистки производится через 1—3 года. При использовании эмульсии она заменяется 1 раз в месяц.

Из воды, атмосферы, с остатками загрязненной смазки в эмульсии попадают микроорганизмы. Микрофлора СОЖ включает грамотрицательные (*Acetobacter*, *Pseudomonas*, *Brucella*, *Profeus* и др.), грамположительные (*Sarcina*, *Stap ilococcus*, *Streptococcus*) бактерии, а также грибы и дрожжи. Развитие бактерий способствует отсутствию аэрации эмульсии (при остановках системы), наличие застойных мест в системе. Микробиологическое поражение ухудшает эксплуатационные свойства эмульсий, снижает срок их эксплуатации на 65—85 %.

Для предупреждения поражения бактериями в состав СОЖ вводят бактерициды — фенолы, формальдегиды, сульфат меди, нитрит кобальта, итол, фурацилин (добавляемый в количестве 0,01 %), гексахлорофен (0,02 %), Вазин (0,15 %), Гротана и Флорачита Ж (0,15 %). Добавка 0,1 % формальдегидов и фенолов к эмульсиям Prosol 522m и Вальдол позволяет полностью дезинфицировать их, а присадка 0,05 % итала снижает развитие микрофлоры в эмульсии Т в 8—10 раз — до $1,4 \cdot 10^6$ кл/мл [444, 445].

Концентрация бактерий в эмульсиях $1 \cdot 10^5$ кл/мл допустима. При концентрации 10^8 — 10^9 происходит интенсивное микробиологическое поражение, вызывающее необратимые изменения в эмульсии и необходимость замены ее. Поэтому бактерициды необходимо вводить в свежую эмульсию и периодически добавлять их в процессе эксплуатации при достижении концентрации 10^5 кл/мл [446]. В эмульсиях до разбавления водой микроорганизмы не развиваются.

Для удаления из СОЖ механических примесей, неэмульгированных масел, продуктов разложения и полимеризации применяют различные методы очистки.

Отстаивание применяют для очистки стабильных эмульсий и реже для масел и обычно комбинируют с другими методами очистки. Эффективность отстаивания тем выше, чем больше емкость резервуаров, температура смазки и чем ниже ее вязкость.

Для очистки СОЖ в циркуляционных системах в отечественной практике получил распространение метод напорной флотации [449]. Он осуществляется при подаче очищаемой жидкости во флотомашину насосом, который за счет эжекции насыщает жидкость воздухом. В аэролифтных (пневматических) флотомашинках воздух подается через трубки, подведенные к дну камеры и перемешивается с жидкостью благодаря циркуляции между наклонными перегородками. Для очистки стоков с небольшой концентрацией загрязнений эффективна вакуумная флотация, при которой выделение газовых пузырьков происходит за счет падения давления и уменьшения растворимости газов в жидкости.

Для грубой очистки СОЖ в циркуляционных системах применяют сетчатые (табл. 68) и дисковые фильтры. Сетчатые фильтры представляют собой цилиндрический корпус, в котором размещаются сетчатые кассеты. В дисковых фильтрах эмульсия очищается, проходя через щели между дисками, насаженными на вал патрона. Очистка дисковых фильтров осуществляется при вращении патрона с помощью неподвижных ножей, входящих заостренными кромками в щели между дисками. Тонкость очистки стабильных эмульсий в сетчатых и дисковых фильтрах находится в пределах 127 мкм, нестабильных — 250—380 мкм.

Широкое распространение получил фильтрование. В ленточном фильтре (рис. 187) смазка нагнетается под давлением в верхнюю камеру I и проходит через фильтрующий материал. С ростом слоя загрязнений на фильтре растет давление в камере I. При повышении давления на 0,105—0,140 МПа подается сигнал на продвижение фильтрующего материала (для стабильных эмульсий

ХАРАКТЕРИСТИКА СЕТЧАТЫХ ФИЛЬТРОВ [450]

Номер фильтра	Производительность фильтра, $\text{дм}^3/\text{с}$	Рабочее давление, МПа	Общая площадь фильтрующей поверхности кассет, м^2	Число кассет, шт.	Тонкость фильтрации, мм	Фильтруемая жидкость
2	—	0,4	2,0	8	0,18	Масло
3,5	4,18	0,4	3,5	7	0,14	»
9,0	—	0,6	9,0	8	0,25	Эмульсия
30	30	0,4	30	16	0,10	Масло
40	150	1,0	40	17	0,20	Эмульсия

через 2—5 ч, для нестабильных несколько чаще). Различную степень очистки получают, используя различные фильтрующие материалы — металлическую сетку, ткани, бумагу. Фильтры обеспечивают удаление частиц крупнее 5—25 мкм. Для более тонкой очистки на сетку может быть намыт слой земли. Для метастабильных эмульсий размер пор (обычно 48×60 меш) должен обеспечить пропускание капель масла. Производительность ленточных фильтров фирмы «Зак» от 90 до $770 \text{ м}^3/\text{ч}$, фирмы «Гофман» — от 5,5 до $1350 \text{ м}^3/\text{ч}$ (в этих

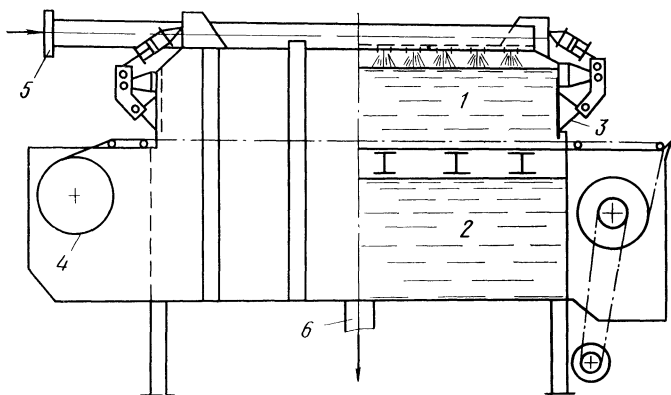


Рис. 187. Схема автоматического ленточного фильтра:

1 — грязевая камера; 2 — чистовая камера; 3 — уплотняющие устройства; 4 — рулон чистого бумажного полотна; 5 — впускной трубопровод, 6 — выпускной

фильтрах создается разрежение в нижней камере). Площадь фильтрации ленточных фильтров от 1 до 5 м^2 , скорость фильтрации от 500 до $3000 \text{ л}/\text{мин}$ на 1 м^2 в зависимости от типа эмульсии, вида и состава загрязнений.

Для повышения производительности фильтра можно использовать механический отделитель — бесконечную стальную ленту, выносящую из смазки за счет адгезии посторонние масла, пену и продукты омыления. Отделитель работает до 10 мин в течение 1 ч [440].

Эффективен фильтр ФМБ УкрНИИхиммаша. Он состоит из набора промежуточных плит, заключенных между верхней и нижней плитами, соединенных стяжками. Между плитами зигзагообразно протянута бесконечная латунная сетка. На каждой плите на кронштейнах уложены рулоны фильтровальной бумаги, подаваемой синхронно с несущей сеткой. По окончании цикла плиты разжимаются и фильтровальная сетка со шламом удаляется. Фильтр очищается за 1—2 мин.

Для очистки маловязких минеральных масел применяют намывные свечевые фильтры. Основным узлом их является находящийся под давлением резервуар. Он разделен фланцево—сетевой плитой с отверстиями, позволяющими установить до 1000 свечей с фильтровальной поверхностью от 4 до 200 м². Свечи диаметром 25 мм и длиной до 1000 мм обтянуты сетчатой тканью с ячейками размером от 60 до 120 мкм. На свечи намывают фильтрующую землю (вещества с высокой пористостью — диатомиты, кизельгуры, перлит, фильтроперлит) путем добавки к чистому маслу, которое 5—10 мин нагнетают внутрь свечей. При этом образуется слой толщиной 1,6—2,5 мм и более (300—800, до 1500 г/м²). При эксплуатации периодически намывают новую порцию земли, общая толщина слоя которой может достигать 12 мм. После 8—30 ч. работы производится регенерация фильтра. Находящееся внутри свечи отфильтрованное масло сжатым воздухом проталкивается наружу, при этом фильтрующая земля сбрасывается со свечей. Фильтры обеспечивают удаление частиц фракций более 1 мкм, степень очистки 10—50 мг/л.

В зарубежной практике используют горизонтальные пластинчатые фильтры, представляющие собой набор фильтровальных пластин, изготовленных из литых легких металлов с двойной уплотняющей кромкой. Между каждой парой расположенных в виде штабеля пластин укрепляется лента из прочных волокон полиэфира. На ленту намывается слой фильтрующей земли толщиной до 1 мм. Очистка фильтра производится также, как свечевого. Через 1 м² фильтровальной поверхности пропускается 200—250 л/мин масла, производительность фильтра до 13 000 л/мин [440]; на фильтрах типа МО 6—13—2200L задерживаются частицы размером более 0,5 мкм [441]. Применяются также фильтры «Супамик», у которых эффективную фильтрующую систему образуют трубы из стекловолна (без фильтрующей земли). Регенерацию проводят через 24 часа продувкой (после слива масла) сжатым воздухом. Фильтр обеспечивает удаление фракций менее 1 мкм и общую загрязненность до 1 мг/л.

Для очистки масел от ферромагнитных загрязнений применяют магнитные фильтры периодического и непрерывного действия. Для очистки от механических загрязнений используют также центрифуги периодического и непрерывного действия, центрифуги—фильтры и сепараторы [442].

14.2. Способы разложения эмульсий

Отработанные прокатные эмульсии содержат до 15—80 г/л свободного и эмульгированного масла и добавок, до 50 г/л взвешенных частиц и других загрязнений. При сбросе воды во внутренние сооружения содержание жиров в ней не должно превышать 3 мг/л, при сбросе во внешний водный бассейн — 1 мг/л. Разложение эмульсий производят центрифугированием и обработкой коагулянтами.

Центрифугирование позволяет использовать сепараторы как для очистки эмульсии в процессе эксплуатации, так и для разложения их. В одной из схем эмульсия и коагулянт подаются в смеситель и полученная смесь через теплообменник и подогреватель сливается в промежуточный бак, где перемешивается и поступает на центрифугу. Отделившееся в ней масло поступает в маслобункер, а вода через теплообменник отводится в водонакопитель. При необходимости перед сбросом воду нейтрализуют. Содержание масла в сточной воде составляет 50—500 мг/л.

При разложении эмульсии коагуляцией ее обрабатывают сульфатом железа или алюминия (до 4—6 г/л), которые разрушают молекулы эмульгатора. Выделившееся масло удаляют в маслобункер и через фильтры откачивают на склад. Воду нейтрализуют до pH = 8—10 известковым молоком (примерно 350 л/м³ при содержании 10—12 % СаО) и подвергают аэрации; образующиеся хлопья гидроокиси железа или алюминия адсорбируют остатки масла и оседают в виде шлама. После фильтрации вода, содержащая 10—20 мг/л масла, направляется для повторного использования. При сбросе во внешние отстойники воду дополнительно очищают, либо разбавляют свежей водой.

В качестве коагулянта используют отработанные травильные растворы, содержащие 13—18 % Н₂SO₄ и 11—17 % FeSO₄ (100—120 л на 1 м³ эмульсии).

В баках-реакторах смесь перемешивается сжатым воздухом и подогревается паром до 80—100 °С. После 1,5—2,0 ч обработки смесь отстаивается 16—24 ч. Нейтрализованные стоки содержат до 100 мг/л масел, 3000—4000 мг/л взвешенных веществ.

На КарМК и ЧерМЗ работают установки разложения эмульсии с применением флотационных машин (рис. 188). Из-за отсутствия кислотозащитных емкостей и камер флотомашины в качестве реагента используется только известковое молоко. Отработанная эмульсия, пенный продукт из отстойников и флотаторов эмульсионной системы, промывные эмульсионные стоки усредняются в баке 1 и насосом 2 подаются в контактные чаны 3, куда из бака 4 подается

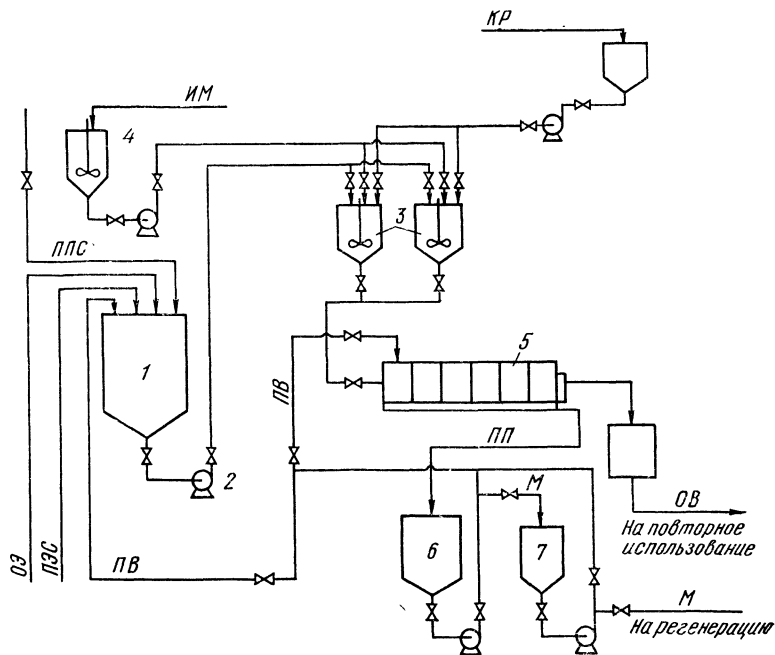


Рис. 188. Схема установки для разложения и очистки эмульсионных стоков на КарМК: ИМ — известковое молоко; ППС — пенный продукт циркулирующей системы; ОЭ — отработанная эмульсия; ПЭС — промывные эмульсионные стоки цеха; ПВ — подпиточная вода; ПП — пенный продукт; М — масло; КР — кислый реагент; ОВ — очищенная вода после нейтрализации

известковое молоко 5 %-ной концентрации (2,5—3 г/л СаО при содержании в эмульсии 12—25 г/л эмульгированных масел). Смесь самотеком поступает в шестикамерную флотационную машину 5 емкостью 2,1 м³, где происходит разделение эмульсии на масло и воду посредством вращательного движения импеллеров и аэрации. Пенный продукт (масло) удаляется с помощью лопастного пеногона в бак 6, где отстаивается при температуре 40—60 °С и масло откачивается в бак 7, а вода возвращается в бак 1. Очищенная вода (рН = 8—12) из флотомашины поступает в бак-флотатор, где дополнительно очищается от масла с помощью диспергаторов, в которые подается воздух под давлением 0,4 МПа, затем поступает в отстойники и в бак очищенной воды. Очищенная вода используется для нейтрализации кислых стоков травильного отделения. На выходе из флотомашины в воде содержится до 0,2 г/л эфирорастворимых веществ, а после нейтрализации (с учетом разбавления кислых вод 1 : 1) — не более 20 мг/л [453].

В последние годы находят применение универсальные установки разложения эмульсий, независимо от типа их эмульгатора (рис. 189) [451]. Отрабо-

танная эмульсия с ионогенными эмульгаторами подается в реактор-отстойник, где отстаивается в течение 3 ч, смешивается с серной кислотой до $\text{pH} = 7$ и подается в сепаратор, где отделяется 80—90 % диспергированного масла, а затем поступает на реагентную напорную флотацию. Для этого ее вводят в ресивер, куда одновременно подают сжатый воздух и сернокислый алюминий. Для нейтрализации подкисленной воды добавляется едкий натр. Насыщенная воздухом эмульсия подается во флотатор, где всплывающая пена (хлопья коагулянта с выделенным маслом) отстаивается, уплотняется в отдельном сборнике и обрабатывается серной кислотой.

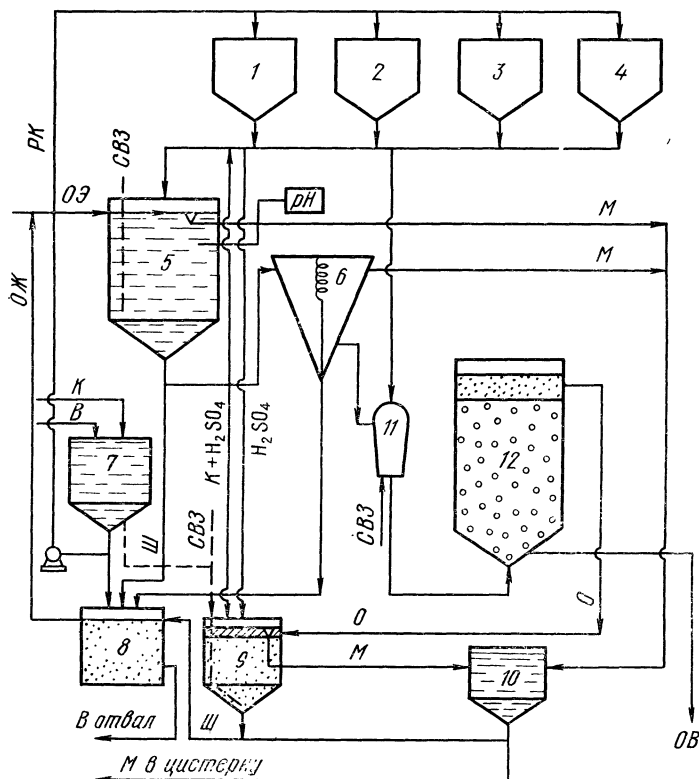


Рис. 189. Схема универсальной установки для разложения отработанных эмульсий: 1 — бак для серной кислоты; 2 — то же, сульфата алюминия; 3 — то же, известкового молока; 4 — то же, раствора едкого натра; 5 — реактор-отстойник; 6 — сепаратор; 7 — бак для приготовления раствора коагулянта; 8 — сборник шлама; 9 — то же, осадка; 10 — то же, масла; 11 — ресивер; 12 — флотатор; ОЖ — осветленная жидкость; РК — раствор коагулянта; ОЭ — отработанная эмульсия; СВЗ — сжатый воздух; К — коагулянт; Ш — шлам; В — вода; М — масло; О — осадок; ОБ — очищенная вода

Эмульсии, стабилизированные неионогенными эмульгаторами, разрушаются в реакторе-отстойнике при подкислении серной кислотой до $\text{pH} = 2$ с последующим нагреванием до 100°C или обработкой сернокислым алюминием в кислой среде.

Эмульсии, стабилизированные одновременно ионогенными и неионогенными эмульгаторами, могут разрушаться по первой или по второй схеме, а иногда комбинированным способом.

На Верх-Исетском металлургическом заводе внедрена безотходная технология очистки стоков прокатных цехов. В блоке очистных сооружений цеха

очистки производится разложение и очистка масло-эмульсионных стоков, кислых промывных вод травильных линий, промывных вод с установок покрытия. Вода, получаемая после разложения (с помощью отработанного травильного раствора) и очистки (путем отстаивания и флотации) эмульсии с содержанием 6—8 г/л поступает на установку выпаривания, которая представляет собой 6-ти корпусную батарею, обогреваемую паром. Получаемый конденсат (100 м³/ч) содержит не более 0,2 мг/л солей и поступает в оборотный цикл. Расход пара 15—20 м³/ч. Шлам, масло, пена, получаемые при разложении эмульсии и очистке воды, а также рассол после выпаривания усредняются, подогреваются, обезжириваются и поступают на установку сжигания. Для сжигания 3 м³/ч шлама расходуется 100 м³/ч природного газа.

14.3. Регенерация отработанных жировых смазок

Регенерацию смазок проводят химическим (действием серной или соляной кислот) и механическим способами (фильтрацией, центрифугированием и др.)

При регенерации пальмового масла химическим способом отработанное масло удаляется с поверхности приемного бака и под действием сжатого воздуха поступает в подогреваемую емкость для отстаивания. Затем масло подается в реактор, а вода откачивается в дренаж и далее в установку по доочистке. В реактор подается серная кислота, которая, реагируя с металлическими частицами в масле образует сульфаты железа, водный раствор которых подается на доочистку, а масло после промывки горячей и холодной водой смешивается с диатомитовой глиной. Смесь глины с водой подается в пресс-фильтр, откуда глина возвращается в емкость для чистой глины, а масло перекачивается в бак промывки, затем в сепаратор и в бак-приемник. Далее масло подогревают, подают в вакуум-испаритель для удаления остатков воды, и в дистилляционную колонну для дистиллирования под высоким вакуумом с применением эжектора. Очищенное масло со дна колонны вакуум-насосом подается через фильтр в хранилище смазки. Жирные кислоты, образующиеся в верхней части колонны, поступают через холодильник в сборник. Они могут быть отделены от растительных масел также промывкой раствором едкого натра. Образующиеся при этом растворимые в воде натриевые мыла удаляются в виде соапстока.

Регенерируемое пальмовое масло может использоваться для промасливания подката или как смазка на первых клетях жестпрокатного стана в смеси со свежим маслом. Недостатком способа является сложность установки и сравнительно высокие затраты на ее эксплуатацию.

При механическом способе регенерации усредненный в баках-мешалках и подогретый продукт разделяют на масло, воду и механические примеси в сепараторах типа ЗАООН-5036 производительностью около 200 л/час масла. В сепараторе масло полностью освобождается от влаги и от 70 % механических примесей. Шлам сбрасывают в дренажный лоток. Вода поступает в бак и далее в горизонтальные отстойники, где образуется до 12 т в сутки пенного продукта, содержащего 30—35 % масел, 5—8 % механических примесей, 60—65 % влаги.

Способ отличается простотой оборудования и небольшими эксплуатационными расходами, но уступает химическому по качеству получаемого продукта. Он может предшествовать химическому, но может функционировать самостоятельно. Смесь, содержащая 20 % регенерированного механически пальмового масла и 80 % свежего по эффективности не уступает свежему маслу при прокатке жести.

14.4. Расход и стоимость смазочных материалов

Расход смазки в виде чистого масла или в пересчете на эмульсол при холодной и горячей прокатке, профилировании и промасливании в травильных линиях приведен в табл. 69. Консервационно-штамповочной смазки расходуется 6 г/м².

Станы, агрегаты	Металл	Смазка	Расход, кг/т	Система подачи
<i>Горячая обработка</i>				
Непрерывные листовые (широкополосные)	Сталь	Эмульсия, водомасляная смесь	0,02—0,10	Прямого действия
Одноклетевые реверсивные	»	То же	0,09—0,80	То же
Сортопрокатные	»	»	0,40—0,60	»
<i>Холодная обработка</i>				
Промасливание в непрерывных травильных агрегатах	»	Масло	0,5—1,0	Циркуляционная
		Эмульсия	0,1—0,5	То же
Листовые	»	»	0,5—1,6	»
Жестепрокатные	»	Водомасляная смесь	3,0—4,5	Прямого действия
То же	»	Масло	1,0—1,5	»
Двадцативалковые	»	»	1,5—3,2	Циркуляционная
То же	»	Эмульсия	1,0—1,5	»
Одноклетевые четырехвалковые	Нержавеющая сталь	Масло	2,5—8,0	Прямого действия
		Эмульсия	0,17—0,4	Циркуляционная
Дрессировочные	Сталь	Эмульсия	0,17—0,4	Циркуляционная
Промасливание в линиях отделки	То же	Масло	0,7—1,2	То же
Профилировочные	»	»	2,2—3,6	»
То же	»	Эмульсия	0,2—0,4	»

При волочении проволоки расходуется мыльного порошка (кг/т) в одинарных волоках 0,30—0,35, при гидродинамической подаче 0,34—0,60 [207], при нанесении защитных покрытий извести 0,6—1,0, медного купороса 1,3—4,5, буры 1,3—4,5 на поточных линиях фосфатирования фосфорной кислоты 4, цинка 0,8 [339].

При горячей штамповке расход препарата ОГВ составляет 4 кг/т, графитола В-2 8 кг/т, стекломали 0,2—0,5 кг на 1 м² площади заготовки. При холодной объемной штамповке расход мыльного покрытия 2—5 г/м². Толщина лакового покрытия ХВЛ-21 0,03—0,05 мм. При холодной вытяжке алюминия расход смеси цилиндрического масла с воском (1 : 1) — 0,3 кг на 15—16 м² [149]. При холодном выдавливании цинка расход талька 1 кг/т, смеси графита с 30 % машинного масла — 5 кг/т заготовок. При листовой вырубке с подачей смазки распылителями расход смазки составляет 0,35 л за смену [383].

Теоретический расход стеклосмазки при прессовании сплошных профилей определяется из условий равномерного нанесения смазки по всей длине выпрессованного изделия. При изготовлении шайб из стеклопорошка теоретическую массу стекла увеличивают в 2—3 раза; в зарубежной практике массу шайбы принимают равной 0,9—1,0 % от массы заготовки [164]. При прессовании полых изделий из цветных сплавов со смесью цилиндрического масла с воском или парафином (1 : 1) расход составляет 0,1 кг на 8—9 м² заготовок [408].

Ориентировочная стоимость смазочных материалов

Смазка	Цена 1 т, руб.	Смазка	Цена 1 т, руб.
Авиационное МС-20 . . .	279,5	Смазка:	
Автол-18	145	ПКС-1	1560
Вазелиновое масло . . .	170	Металлургическая . . .	680
Велосит	140	А-20	345
Масло:		Олон	280
И-12А	215	СТП-1	1000
И-20А	177	Препарат ОГВ	2200
Ц-11	195	Препарат Графитол . . .	3504
Ц-24	145	Графит	100—290
Ц-52	241	Тальк	49,1
Прокатное 28	322,5	Дисульфид молибдена . . .	18 000
Трансформаторное	220	Мыльная стружка	680—820,8
Эмульсол:		Смазка КОС	100
Э2 (Б)	130	Стеклосмазки	470—950
Т	322,5	Стеарокс 6	1075
ЭТ-2	160	Эмульгатор ОП-7	940
ЭТ-2У	180	ДС РАС	90
ОМ	215	Ионол	8000
ЭГТ	160	Трибутилфосфат	2150
ЭП-29	400	Триэтаноламин	500
СП-3 (591Ц)	250	Сульфат кальция	320
Хлорпарафин (ХП-470) . . .	360	Присадка:	
Смазка:		НГ-203А	660
Т-7П	460	Акор-1	450
Т-6П	500	ДФ-11	960
ТМС-6	334	Кальцинированная сода . .	40
ЖКБ-1	170	Едкий натр	140
ТЭМП-3	420	Сульфитно-спиртовая . . .	
АНСК-50 (10 %-ная)	50	барда	20
Сульфозфрезол	110	Смазка:	
Нигрол	270	ШС-2	1000
СЖК фракции С ₇ —С ₂₀	700	584	220
СЖК фракции С ₂₁ и вы-		пущечная	140
ше	60	ГВМТ-1	377
Олеиновая кислота	796,2	ГДВМТ-1	420
Кориандровое жирное		ГОИ-54л	800
масло	1300	Солидол синтетический . . .	215
Пальмовое масло	1300	Солидол жировой	320
Хлопковое масло	1400		
Ланолин	400		

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Грудев А. П.* Внешнее трение при прокатке. М.: Металлургия, 1973. 288 с.
2. Трение, изнашивание и смазка: Справочник. Ч.1/Под ред. Крагельского И. В., Алисина В. В. М.: Машиностроение, 1978. 400 с.
3. Отделка поверхности листа/*Мелешко В. И., Чекмарев А. П., Мазур В. Л., Качайлов А. П.* М.: Металлургия, 1975. 272 с.
4. *Крагельский И. В.* Трение и износ. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1968. 480 с.
5. *Павлов И. М.* Теория прокатки. М.: Металлургиздат, 1950. 610 с.
6. *Леванов А. Н., Колмогоров В. Л., Буркин С. П.* и др. Контактное трение в процессах обработки металлов давлением. М.: Металлургия, 1976. 416 с.
7. *Гончаров Ю. В.* — Обработка металлов давлением: Научн. тр./ДметИ. М.: Металлургия, 1967, вып. LII, с. 208—220.
8. *Кубашевский О., Гопкинс Б.* Окисление металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1965. 428 с.
9. *Северденко В. П., Макушок Е. М., Равин А. Н.* Окалина при горячей обработке металлов давлением. М.: Металлургия, 1977. 208 с.
10. *Горенштейн М. М.* Увеличение обжатий по условиям трения при прокатке на обжимных станах. М.: Металлургиздат, 1960. 101 с.
11. *Казаченок В. И.* Штамповка с жидкостным трением. М.: Машиностроение, 1978. 78 с.
12. *Яловой Н. И., Тылкин М. А., Полухин П. И., Васильев Д. И.* Тепловые процессы при обработке металлов и сплавов давлением. М.: Высшая школа, 1973. 631 с.
13. *Чекмарев А. П., Грудев А. П., Сигалов Ю. Б.* — Обработка металлов давлением: Научн. тр./ДметИ. М.: Металлургия, 1970, вып. LV, с. 92—98.
14. *Тарнавский А. Л.* Эффективность волочения с противонапряжением. М.: Металлургиздат, 1959. 152 с.
15. *Динник А. А.* Теория прокатки: Материалы конференции по теоретическим вопросам прокатки. М.: Металлургиздат, 1962, с. 157—173.
16. *Тарнавский И. Я., Поздеев А. А., Меандров Л. В., Хасин Г. А.* Механические свойства стали при горячей обработке давлением. Свердловск: Металлургиздат, 1960. 264 с.
17. *Зюзин В. И., Бровман М. Я., Мельников А. Ф.* Сопротивление деформации сталей при горячей прокатке. М.: Металлургия, 1964. 270 с.
18. *Целиков А. И., Гришков А. И.* Теория прокатки. М.: Металлургия, 1970. 358 с.
19. *Чекмарев А. П., Прокофьев В. И.* Прокатное производство: Тр. ИЧМ АН УССР. Киев: Изд-во АН УССР, 1961. Т. XV, с. 3—11.
20. *Сторожев М. В., Попов Е. А.* Теория обработки металлов давлением. М.: Машиностроение, 1977. 423 с.
21. *Джонсон У., Меллор П.* Теория пластичности для инженеров. М.: Машиностроение, 1979. 567 с.
22. *Третьяков А. В.* Теория, расчет и исследование станов холодной прокатки. М.: Металлургия, 1966. 255 с.
23. *Василев Я. Д., Сафьян М. М.* Производство полосовой и листовой стали. Киев: Вища школа, 1976. 192 с.
24. *Третьяков А. В., Трофимов Г. К., Гурьянова М. К.* Механические свойства сталей и сплавов при пластическом деформировании: Справочник. М.: Машиностроение, 1971. 63 с.
25. *Третьяков А. В., Зюзин В. И.* Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением: Справочник. М.: Металлургия, 1973. 224 с.
26. *Грудев А. П., Сигалов Ю. Б.* — Обработка металлов давлением: Научн. тр./ДметИ. М.: Металлургия, 1970, вып. LV, с. 98—102.
27. *Унков Е. П.* Инженерная теория пластичности. М.: Машгиз, 1959. 328 с.
28. *Губкин С. И.* Теория обработки металлов давлением. М.: Металлургиздат, 1947. 532 с.
29. *Крейндлин Н. Н.* Расчет обжатий при прокатке. М.: Металлургиздат, 1963. 407 с.

30. *Клименко П. Л.* — Теория прокатки: Материалы конференции по теоретическим вопросам прокатки. М.: Металлургиздат, 1962. с. 492—502.
31. *Чекмарев А. П., Чуйко П. И.* Металлургия и коксохимия. Киев: Техніка, 1966, вып. 4, с. 179—190.
32. *Сафаров Ю. С., Гаращенко В. И.* — Кузнечно-штамповочное производство, 1971, № 12, с. 8—11.
33. *Шевченко К. Н.* Основы математических методов в теории обработки металлов давлением. М.: Высшая школа, 1970. 351 с.
34. *Выдрин В. Н.* — В кн.: Вопросы теории и практики обработки металлов давлением: Тр./ЧПИ. Москва — Свердловск: Машгиз, 1959, вып. 14, с. 70—75.
35. *Голубев Т. М., Зайков М. А.* — Сталь, 1950, № 3, с. 237—241.
36. *Гроссвальд В. Г., Сведе-Швец Н. И.* — Изв. вузов. Черная металлургия, 1961, № 6, с. 75—86.
37. *Динник А. А., Черногоров Л. Б.* — Обработка металлов давлением: Научн. тр./ДМетИ. М.: Металлургия, 1967, вып. LII, с. 239—245.
38. *Чекмарев А. П., Динник А. А.* — Обработка металлов давлением: Научн. тр./ДМетИ. М.: Металлургия, 1971, вып. LVI, с. 169—176.
39. *Гроссвальд В. Г.* — Тр./ВНИИметмаш. М.: ВНИИметмаш, 1963, № 8, с. 110—157.
40. *Браун Г. М.* — Материалы по теории прокатки. Сост. Галлай Я. С. М.: Металлургиздат, 1960, ч. V, с. 9—10.
41. *Королев А. А.* — Сталь, 1952, № 8, с. 711—719.
42. *Королев А. А.* Новые исследования деформации металла при прокатке. М.: Машгиз, 1953. 268 с.
43. *Van Rooyen G. T., Vaskofen W. A.* — J. of the Iron and Steel Institute, 1957, June, v. 186, Part 2, p. 235—244.
44. *Чекмарев А. П., Клименко П. Л.* — Научные доклады высшей школы М.: Металлургия, 1958, № 1, с. 117—121.
45. *Горенштейн М. М.* — Теория прокатки: Материалы конференции по теоретическим вопросам прокатки. М.: Металлургиздат, 1962, с. 453—456.
46. *Северденко В. П., Леус И. С.* — Пластичность и обработка металлов давлением. Минск: Наука и техника, 1964, с. 15.
47. *Чекмарев А. П., Клименко П. Л., Ольдзиевский С. А.* — Обработка металлов давлением: Научн. тр./ДМетИ. М.: Металлургия, 1970, вып. LV, с. 244—254.
48. *Пирязев Д. И.* — Теория прокатки: Материалы конференции по теоретическим вопросам прокатки. М.: Металлургиздат, 1962, с. 457—459.
49. *Чекмарев А. П., Прокофьев В. И., Мелешко В. И., Килиевич А. Ф.* — Изв. вузов. Черная металлургия, 1964, № 10, с. 64—69.
50. *Прокофьев В. И., Семенов В. А., Рыжов В. Г., Галицкий В. П.* — Металлургия и коксохимия. Киев: Техніка, 1968, вып. 12, с. 140—148.
51. *Чернявский А. А., Мелешко В. И., Килиевич А. Ф.* — Прокатное производство: Тр./ИЧМ. М.: Металлургия, 1971, т. XXXV, с. 75—80.
52. *Клименко П. Л., Ольдзиевский С. А.* — Металлургия и коксохимия, Киев: Техніка, 1966, вып. 4, с. 196—201.
53. *Северденко В. П., Калиновская Т. В.* — Пластичность и обработка металлов давлением. Минск: Наука и техника, 1966, с. 117—124.
54. *Mac Gregor C. W., Palme R. B.* — Applied Mechanics, 1948, vol. 15, p. 3, p. 297—302.
55. *Музалевский О. Г., Гришков А. И.* — Изв. вузов. Машиностроение, 1959, № 11, с. 82—90.
56. *Музалевский О. Г., Гришков А. И.* — Теория прокатки: Материалы конференции по теоретическим вопросам прокатки. М.: Металлургиздат, 1962, с. 484—492.
57. *Тарновский И. Я., Леванов А. Н., Поксеваткин М. И.* Контактные напряжения при пластической деформации. М.: Металлургия, 1966. 279 с.
58. *Чекмарев А. П., Санько Н. М., Каптуров Л. Е.* и др. — Металлургия и коксохимия, Киев: Техніка, 1966, вып. 6, с. 103—109.
59. *Чекмарев А. П., Каптуров Л. Е., Санько Н. М., Семенюта А. Я.* — Обработка металлов давлением: Научн. тр./ДМетИ, М.: Металлургия, 1967, вып. LIII, с. 231—249.

60. Павлов И. М., Дун Дэюань. — Научные доклады высшей школы. М.: Металлургия, 1968, № 1, с. 146—149.
61. Скорняков В. Б., Чесалова Н. Н. — Техническая информация НТО ЧМ. Первоуральск: НТО ЧМ, 1958, № 5, с. 34—37.
62. Пирязев Д. И. — Технология производства и свойства черных металлов: Тр./УНИИМ. М.: Metallurgizdat, 1960, вып. IV, с. 171—179.
63. Гарновский И. Я., Леванов А. Н., Скорняков В. Б., Маранц Б. Д. — Изв. вузов. Черная металлургия, 1961, № 6, с. 53—59.
64. Полухин П. И., Мастеров В. А., Фоменко Ю. Е. — Процессы прокатки. Тр./МИСиС. М.: Metallurgizdat, 1962, вып. XL, с. 166—172.
65. Выдрин В. Н., Агеев Л. М. — Изв. вузов. Черная металлургия, 1966, № 1, с. 105—110.
66. Унксов Е. П. — Прогрессивная технология кузнечно-штамповочного производства: Тр. ЛОНИТОмаш. М.—Л.: Машгиз, 1952, вып. 31, с. 86—107.
67. Заварцева В. М. — Конструкционная прочность стали: Тр./ЦНИИТмаш. М.: Машгиз, 1954, вып. 63, с. 130—188.
68. Игнатьева Е. И., Макеев И. М. — Тр./ВНИИметмаш. М.: ВНИИметмаш, 1963, № 8, с. 90—109.
69. Полухин П. И., Полухин В. П., Николаев В. А., Гун Г. Я. — Изв. вузов. Черная металлургия, 1964, № 12, с. 52—58.
70. Чекмарев А. П., Шломчак Г. Г., Фень Г. А. Исследование контактных напряжений нестационарных процессов прокатки поляризационно-оптическим методом. Рукопись деп. в ВИНТИ. 1970, № 1899—70.
71. Николаев В. А., Барыкин Н. П., Шломчак Г. Г. — Обработка металлов давлением: Научн. тр./ДМетИ. М.: Металлургия, 1970, вып. IV, с. 323—328.
72. Чекмарев А. П., Клименко П. Л. — Изв. вузов. Черная металлургия, 1961, № 2, с. 68—76.
73. Северденко В. П., Леус В. И. — Пластичность и обработка металлов давлением. Минск: Наука и техника, 1964, с. 25—30.
74. Северденко В. П., Леус В. И. — Пластичность и обработка металлов давлением. Минск: Наука и техника, 1964, с. 31—34.
75. Картак Б. Р., Леванов А. Н., Гарновский И. Я., Буркин С. П. — Изв. вузов. Цветная металлургия, 1968, № 6, с. 116—120.
76. Буркин С. П., Леванов А. Н., Гарновский И. Я., Картак Б. Р. — Изв. вузов. Черная металлургия, 1971, № 5, с. 108—111.
77. Гун Г. Я., Полухин П. И., Полухин В. П., Прудковский Б. А. Пластическое формоизменение металлов. М.: Металлургия, 1968, 416 с.
78. Сафаров Ю. С. — Кузнечно-штамповочное производство, 1967, № 2, с. 4—7.
79. Унксов Е. П., Сафаров Ю. С. — Кузнечно-штамповочное производство, 1970, № 8, с. 1—5.
80. Грудев А. П. — Теория прокатки: Материалы конференции «Теоретические проблемы прокатного производства». М.: Металлургия, 1975, с. 28—32.
81. Семенова А. Я. — Обработка металлов давлением: Научн. тр./ДМетИ. М.: Металлургия, 1967, вып. LII, с. 118—123.
82. Надаи А. — Материалы по теории прокатки/Сост. Галлай Я. С. М.: Metallurgizdat, 1948, ч. IV, с. 262—269.
83. Белосевич В. К., Нетесов Н. П. Совершенствование процесса холодной прокатки. М.: Металлургия, 1971, 270 с.
84. Губкин С. И. Экспериментальные вопросы пластической деформации металлов. М.: ОНТИ, 1934, вып. 1.
85. Залесский В. И., Пузанчиков А. В. — Производство и обработка стали: Тр./МИСиС. М.: Metallurgizdat, 1950, вып. XXIX, с. 224—238.
86. Гарновский И. Я. Формоизменение при пластической обработке металлов. М.: Metallurgizdat, 1954, 534 с.
87. Динник А. А. — Прокатное производство: Тр. ИЧМ. Киев: АН УССР, 1956, т. X, с. 127—128.
88. Шарпин Е. Ф. Элементы теории обработки металлов давлением. Харьков: Metallurgizdat, 1961. 208 с.
89. Кокрофт М. Г. Смазка и смазочные материалы: Смазка в процессах обработки металлов давлением: Пер. с англ. М.: Металлургия, 1970. 111 с.

90. *Male A. T., Cockroft M. G.* — Journal of the Institute of Metals, 1964, vol. 93, p. p. 38—46.
91. *Охрименко Я. М., Тюрин В. А.* Теория процессовковки. М.: Высшая школа, 1977. 295 с.
92. *Шофман Л. А.* Основы расчета процессовштамповки и прессования. М.: Машгиз, 1961. 340 с.
93. *Кравченко Н. А.* — Кузнечно-штамповочное производство, 1961, № 9, с. 12—13.
94. *Томленов А. Д.* Теория пластического деформирования металлов. М.: Металлургия, 1972. 408 с.
95. *Павлов И. М., Костычев П. С.* — Структура и свойства стали: Тр./МИСиС. М.: Металлургиздат, 1951, вып. XXX, с. 112—135.
96. А. с. 692647 (СССР). *Мазур В. Л., Тригуб В. А.* Оpubл. в Б. И., 1979, № 39, с. 18.
97. *Тафель В., Шнейдер Е.* — Материалы по теории прокатки./Сост. Галлай Я. С. М.: Металлургиздат, 1934, ч. I, с. 24—28.
98. *Экелунд С.* — Металлург, 1933, № 2, с. 78—94.
99. *Павлов И. М., Галлай Я. С., Силин Н. В.* — Металлург, 1934, № 4, с. 6—36.
100. *Павлов И. М., Гет Н. Н.* — Металлург, 1936, № 7, с. 47—54.
101. *Грудев А. П.* — Прокатное и трубное производство/Приложение к журналу «Сталь». М.: Металлургиздат, 1958, с. 41—62.
102. *Грудев А. П., Зильберг Ю. В.* — Обработка металлов давлением: Научн. тр. ДМетИ. М.: Металлургия, 1970, вып. LV, с. 102—117.
103. *Молотков Л. Ф., Николаев В. А.* — Тр./Днепродзержинского вечернего металлургического института. Киев: Гостехиздат УССР, 1955, т. 1, с. 64—77.
104. *Данченко В. Н., Григоренко В. У.* — Теория прокатки: Материалы конференции «Теоретические проблемы прокатного производства». М.: Металлургия, 1975, с. 360—365.
105. *Bland D. R., Ford H.* Communications of Cold Strip Rolling. — In: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 1948, vol. 159, p. p. 161—163.
106. *Павлов И. М., Давидков П. И., Пирязев Д. И.* — Заводская лаборатория, 1957, № 4, с. 236—238.
107. *Павлов И. М., Шелест А. Е.* — Научные доклады высшей школы. М.: Металлургия, 1959, № 1, с. 105—112.
108. *Лисицын А. И., Остренко В. Я.* Моделирование процессов обработки металлов давлением: Оптические методы. Киев: Техніка, 1976. 208 с.
109. *Грудев А. П.* — Теория прокатки: Материалы конференции по теоретическим вопросам прокатки. М.: Металлургиздат, 1962, с. 82—100.
110. *Гончаров Ю. В., Прокофьев В. И.* — Обработка металлов давлением: Научн. тр./ДМетИ. М.: Металлургия, 1965, вып. XLIX, с. 238—254.
111. *Грум-Гржимайло В. Е.* Собрание трудов. М.: Изд-во АН СССР, 1949, 247 с.
112. *Dahl T.* — Stahl und Eisen, 1937, № 8, S. 205—209.
113. *Грудев А. П.* — Обработка металлов давлением. М.: Металлургиздат, 1956, вып. IV, с. 32—41.
114. *Чекмарев А. П.* — Научн. тр./ДМетИ. Киев: Гостехиздат Украины, 1948, вып. XII, с. 36—51.
115. *Павлов И. М.* — Сталь, 1947, № 1, с. 39—48.
116. *Рокотян Е. С.* — Сталь, 1947, № 9, с. 814—820.
117. *Казаков Ю. П.* — Кузнечно-штамповочное производство, 1972, № 9, с. 20—21.
118. *Линник А. А.* — Прокатное производство: Научн. тр./ДМетИ. Харьков — Москва: Металлургиздат, 1951, вып. XXVII, с. 141—146.
119. *Перлин И. Л., Ерманок М. З.* Теория волочения. М.: Металлургия, 1971. 448 с.
120. *Ерманок М. З.* — Изв. вузов. Цветная металлургия, 1959, № 6, с. 166—177.
121. *Прозоров Л. В.* Прессование стали. М.: Машгиз, 1956. 264 с.
122. *Чертавских А. К.* Трение и смазка при обработке металлов. М.: Металлургиздат, 1955. 176 с.
123. *Грудев А. П., Зильберг Ю. В.* Обработка металлов давлением: Научн. тр./ДМетИ. М.: Металлургиздат, 1962, вып. XLVIII, с. 186—191.

124. Павлов И. М., Куприн М. И. — Технологические процессы обработки стали и сплавов: Тр./МИСиС. М.: Металлургиздат, 1955, вып. XXXIII, с. 154—192.
125. Смирнов В. С., Хан Пхе Ук. — Обработка металлов давлением: Тр./ЛПИИ. М.—Л.: Машгиз, 1959, № 203, с. 38—48.
126. Голубев Т. М., Зайков М. А. — Сталь, 1950, № 3, с. 237—241.
127. Павлов И. М., Гет Н. Н. — Металлург, 1934, № 5, с. 52—66.
128. Грудев А. П., Зильберг Ю. В. — Обработка металлов давлением: Научн. тр. ДМетИ. М.: Металлургиздат, 1962, вып. XLVIII, с. 299—310.
129. Ковалев И. Г. Коэффициент трения при глубокой вытяжке дуралюминия. Экспресс-информация бюро новой техники, МАП, 1948, № 8, с. 21 с.
130. Грудев А. П. — Тр. НТО ЧМ. М.: Металлургиздат, 1955, т. VI, с. 78—87.
131. Ефименко С. П., Капранов В. И., Обернихин С. А. — Бюллетень института «Черметинформация», 1966, № 4, с. 43—44.
132. Горештейн М. М. Трение и технологические смазки при прокатке. Киев: Техніка, 1972. 192 с.
133. Грудев А. П., Тилик В. Т. Технологические смазки в прокатном производстве. М.: Металлургия, 1975, 368 с.
134. Павлов И. М., Ващенко А. П., Гуревич Я. Б. и др. — Изв. АН СССР. Металлургия и горное дело, 1963, № 3, с. 123—126.
135. Павлов И. М., Сигалов Ю. М., Гуревич Я. Б., Зубко А. М. — Вопросы пластической деформации металла: Тр./Имет им. А. А. Байкова. М.: АН СССР, 1962, вып. IX, с. 109—114.
136. Павлов И. М., Белосевич В. К. — Вопросы пластической деформации металла: Тр./Имет им. А. А. Байкова. М.: АН СССР, 1962, вып. IX, с. 139—146.
137. Stone M. D. — Iron and Steel Engineer, 1953, vol. 30, N. 2, p. 61—74.
138. Старченко Д. И., Кузьмин В. И., Кондрус Т. В. — Пластическая и термическая обработка металлов. Тр./ЖМИ. М.: Металлургия, 1964, вып. XII, с. 21—29.
139. Грудев А. П., Зильберг Ю. В. — Металлургия и коксохимия. Киев: Техніка, 1966, вып. 4, с. 57—62.
140. Lueg W., Treptow K-G. — Stahl und Eisen, 1952, № 8, S. 399—416.
141. Справочник по применению и нормам расхода смазочных материалов. 4-е изд./Под ред. Эминова Е. А. М.: Химия, 1977, 768 с.
142. Грудев А. П., Зильберг Ю. В. — Обработка металлов давлением: Научн. тр. ДМетИ. М.: Металлургия, 1971, вып. LVI, с. 184—191.
143. Чекмарев А. П., Николаев В. А. — Изв. вузов. Черная металлургия, 1958, № 12, с. 57—67.
144. Довнар С. А. Термомеханика упрочнения и разрушение штампов объемной штамповки. М.: Машиностроение, 1975. 255 с.
145. Гершков А. Б., Колпин Ю. Г., Елисейев Г. В. — Кузнечно-штамповочное производство, 1977, № 4, с. 17—19.
146. Применение стеклянных защитных покрытий при штамповке металлов из жаропрочных сплавов/Под ред. Корнеева Н. И., Скугарева И. Г., Кулешова М. Я. М.: Машиностроение, 1966. 123 с.
147. Акаро И. Л., Зуев В. М., Желтова Н. Ф. Современные способы повышения стойкости штампов. М.: ЦНИИТЭСтроймаш, 1971. 71 с.
148. Давыдов Ю. П. — Технологические смазки для обработки металлов давлением. М.: Машгиз, 1960, с. 65—80.
149. Романозский В. П. Справочник по холодной штамповке. 6-е изд. Л.: Машиностроение, 1979. 520 с.
150. Давыдов Ю. П. — Технологические смазки для обработки металлов давлением. М.: Машгиз, 1960, 200 с.
151. Миропольский Ю. А., Мансуров И. З. — Технология обработки давлением. Серия С-6-2. М.: НИИмаш, 1979. 79 с.
152. Грудев А. П., Зильберг Ю. В. — Обработка металлов давлением: Научн. тр./ДМетИ. М.: Металлургия, 1965, вып. XLIX, с. 192—200.
153. Юхвев И. А. Волоочильное производство. Ч. I. М.: Металлургиздат, 1954. 271 с.
154. Обработка цветных металлов и сплавов: Справочник/Под ред. Миллера Л. Е. М.: Металлургиздат, 1961. 872 с.

155. *Альшевский Л. Е.* Тяговые усилия при холодном волочении труб. М.: Металлургиздат, 1952. 144 с.
156. *Шевакин Ю. Ф., Глейберг А. З.* Производство труб. М.: Металлургия, 1968. 440 с.
157. *Чуйко П. И.* — Производство труб. Днепропетровск: ВНИТИ, 1968, с. 254—258.
158. Обработка цветных металлов и сплавов давлением/Жолобов В. В., Богоявленский К. Н., Зубилов М. Е. и др. М.: Металлургиздат, 1955. 486 с.
159. *Харченко Ю. Ф., Динник А. А., Санько Н. М.* — Изв. вузов. Черная металлургия, 1981, № 2, с. 72—76.
160. *Тарновский И. Я., Поздеев А. А., Ганаго О. А.* Деформации и усилия при обработке металлов давлением. Москва—Свердловск: Машгиз, 1959. 304 с.
161. Теория обработки металлов давлением/Тарновский И. Я., Поздеев А. А., Ганаго О. А. и др. М.: Металлургиздат, 1963. 672 с.
162. *Шехтер Ю. Н., Крэйн С. Э.* Поверхностно активные вещества из нефтяного сырья. М.: Химия, 1971. 485 с.
163. *Маньковская Н. К.* Синтетические жирные кислоты. М.: Химия, 1965. 168 с.
164. *Манегин Ю. В., Анисимова И. В.* Стекло смазки и защитные покрытия для горячей обработки металлов. М.: Металлургия, 1978. 224 с.
165. *Воскобойников В. Г., Кудрин В. А., Якушев А. М.* Общая металлургия: Учебник для вузов. 3-е изд. перераб. и доп. М.: Металлургия, 1979. 480 с.
166. Свойства жидких доменных шлаков: [Справочное пособие]/*Воскобойников В. Г., Дунаев Н. Е., Михалевиц А. Г.* и др. М.: Металлургия, 1975. 182 с.
167. *Чуйко П. И., Дробич О. П., Хамхотько А. Ф.* и др. — Информация института «Черметинформация», 1969, серия 8, № 7. 9 с.
168. *Петров Г. Л.* Сварочные материалы. Л.: Машиностроение, 1972. 280 с.
169. Прессование стальных труб и профилей/*Гуляев Г. И., Притоманов А. Е., Дробич О. П., Верховод В. К. М.* М.: Металлургия, 1973. 191 с.
170. Штампы для горячего деформирования металлов/*Тылкин М. А., Васильев Д. И., Роголев А. М.* и др. М.: Высшая школа, 1977. 496 с.
171. *Степанов Л. П., Чесноков Н. А.* Современное состояние техники измерения вязкости. М.: Стандартгиз, 1959. 40 с.
172. *Белкин И. М., Виноградов Г. В., Леонов А. И.* Ротационные приборы. Измерение вязкости и физико-механических характеристик материалов. М.: Машиностроение, 1968. 269 с.
173. *Эвентова М. С.* Краткое руководство к практическим занятиям по смазочным маслам. М.: Изд. МГУ, 1961. 131 с.
174. *Золотых Е. В.* — Измерительная техника, 1955, № 3, с. 32—37.
175. *Кобзова Р. И., Ершова Т. П., Опарина Е. М., Тубянская Г. С.* — Химия и технология топлив и масел, 1967, № 8, с. 44—46.
176. *Тютюнников Б. Н.* Химия жиров. М.: Пищевая промышленность, 1966. 632 с.
177. А. с. 256927 (СССР)/*Пасечник М. С., Каминский Н. А., Осейко Н. И.* и др. Оpubл. в Б. И., 1969, № 35, с. 53.
178. А. с. 467095 (СССР)/*Додока В. Г., Грудев А. П., Сигалов Ю. Б.* и др. Оpubл. в Б. И., 1975, № 14, с. 48.
179. А. с. 759580 (СССР)/*Форостян Ю. Н., Грудев А. П., Сигалов Ю. Б.* и др. Оpubл. в Б. И., 1980, № 32, с. 117.
180. *Пасечник М. С., Терегеря Н. В.* — Бюллетень института «Черметинформация», 1966, № 10, с. 41.
181. А. с. 193656 (СССР)/*Пасечник М. С., Красильщиков Р. Б., Терегеря Н. В.* и др. Оpubл. в Б. И., 1967, № 7, с. 78.
182. *Пименов А. Ф., Галкин Д. П., Петровский А. А.* и др. — Сталь, 1972, № 1, с. 59—62.
183. А. с. 221889, 265351 (СССР)/*Бергельсон Л. Д., Дятловицкая Э. В., Грешных К. П.* и др. Оpubл. в Б. И., 1968, № 22, с. 76; 1970, № 10, с. 82.
184. А. с. 493499 (СССР)/*Левченко О. А., Казанцев Ю. В., Нецадим А. Г.* и др. Оpubл. в Б. И., 1975, № 44, с. 63.
185. А. с. 196221 (СССР)/*Авраменко И. Н., Грудев А. П., Тилик В. Т.* и др. Оpubл. в Б. И., 1967, № 11, с. 60.

186. Белосевич В. К., Нетесов Н. П., Мелешко В. И., Адамский С. Д. Эмульсии и смазки при холодной прокатке. М.: Металлургия, 1976, 416 с.
187. А. с. 110581 (СССР)/Пасечник М. С., Каминский Н. А., Самойлов И. Д. Оpubл. в Б. И., 1957, № 12, с. 52.
188. А. с. 266987 (СССР)/Пасечник М. С., Каминский Н. А., Осейко Н. И. и др. Оpubл. в Б. И., 1970, № 12, с. 74.
189. *Whetzel J. C.* — *Iron and Steel Eng.*, 1959, № 3, p. 123—132.
190. А. с. 480751 (СССР)/Додока В. Г., Тилик В. Т., Мовшович В. С. и др. Оpubл. в Б. И., 1975, № 30, с. 80.
191. А. с. 233819 (СССР)/Пасечник М. С., Каминский Н. А., Осейко Н. И. и др. Оpubл. в Б. И., 1969, № 3, с. 57.
192. Пасечник М. С., Постолов Ю. М., Ламин А. Б. и др. — Технологические смазки. Киев: УкрНИИНТИ, 1971, вып. 2, с. 81—91.
193. Тарасенко Р. И., Чуйко П. И., Рокотов В. П., Дегтярева С. И. — Бюллетень института «Черметинформация», 1975, № 3, с. 44—45.
194. Брескина А. И., Марков Н. Ф., Соловьев В. М. и др. — Бюллетень института «Черметинформация», 1979, № 1, с. 28—29.
195. А. с. 654674 (СССР)/Постолов Ю. М., Проскуряков В. А., Яковлев В. И. и др. Оpubл. в Б. И., 1979, № 12, с. 118.
196. Тилик В. Т., Ксензук Ф. А., Махнин Э. В. и др. — Бюллетень института «Черметинформация», 1973, № 3, с. 39—40.
197. А. с. 639919 (СССР)/Осейко Н. И., Петровский А. А. Оpubл. в Б. И., 1978, № 48, с. 96.
198. А. с. 405397 (СССР)/Старченко Д. И., Слюсарев А. Т., Капранов В. И. и др. Оpubл. в Б. И., 1979, № 9, с. 286.
199. Прозоров Л. В. Прессование стали и тугоплавких сплавов. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1969, 243 с.
200. Кольченко А. В., Артемьев Ю. И., Бальшиев М. В. и др. — Кузнечно-штамповочное производство, 1976, № 12, с. 16—17.
201. Санакоев Г. К., Матвеев В. А. — Кузнечно-штамповочное производство, 1971, № 8, с. 13—15.
202. Эксплуатация валков обжимных и сортовых станов/Воронцов Н. М., Жадан В. Т., Шнееров Б. Я. и др. М.: Металлургия, 1973, 288 с.
203. Розенберг А. М., Розенберг О. А., Пасечник М. С. и др. — Технологические смазки. Киев: УкрНИИНТИ, 1971, вып. 2, с. 32—37.
204. Павлов И. М., Галлай Я. С. — Металлург, 1935, № 7, с. 3—30.
205. Грудев А. П., Сигалов Ю. Б., Лега Л. С. — Технологические смазки. Киев: УкрНИИНТИ, 1971, вып. 2, с. 16—21.
206. Грудев А. П. — Листопркатное производство. Тр./НТО ЧМ. М.: Металлургиздат, 1960, т. 23, с. 353—361.
207. Колмогоров В. Л., Орлов С. И., Колмогоров Г. Л. Гидродинамическая подача смазки. М.: Металлургия, 1975. 256 с.
208. Исаченков Е. И. Контактное трение и смазки при обработке металлов давлением. М.: Машиностроение, 1978. 208 с.
209. Колмогоров В. Л., Орлов С. И., Селищев К. П. Волочение в режиме жидкостного трения. М.: Металлургия, 1957. 155 с.
210. Паришин В. С., Фотов А. А., Алешин В. А. Холодное волочение труб. М.: Металлургия, 1979. 240 с.
211. *Droke H. J.* — *Iron and Steel Eng.*, 1965, vol. 42, № 12, p. 110—116.
212. А. с. 210313 (СССР)/Ксензук Ф. А., Тилик В. Т., Грудев А. П. и др. Оpubл. в Б. И., 1968, № 6, с. 58.
213. Додока В. Г., Трощенко Н. А., Тилик В. Т. и др. — Сталь, 1968, № 7, с. 624—627.
214. Беньковский М. А., Бутылкина Л. И., Гринберг Д. Л. и др. — Сталь, 1975, № 1, с. 47—50.
215. Бочаров В. Ф., Куркин А. К., Хотомлянский А. Л. — Сталь, 1969, № 8, с. 718—719.
216. Старченко Д. И., Слюсарев А. Т., Капранов В. И. — Технологические смазки. Киев: УкрНИИНТИ, 1971, вып. 2, с. 37—41.

217. *Старченко Д. И., Капранов В. И.* — *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 1971, № 6, с. 16—17.
218. *Gregory W.* — *Tribology in Iron and Steel Works*. London, 1970, p. 287—305.
219. *Ohm A.* — *Ibid.*, p. 327—330.
220. *Вансозиц В. П., Готовкин Б. Д., Лагутин В. П.* и др. — *Бюллетень института «Черметинформация»*, 1973, № 13, с. 48.
221. А. с. 810769 (СССР)/*Белосезиц В. К., Безобразов В. Н., Орешикова Т. В.* и др. Оpubл. в Б. И., 1981, № 9, с. 102.
222. *Loose J., Korsten K., Scharne S.* — *Neue Hütte*, 1969, Bd. 14, № 2, S. 115.
223. *Behringer I., Müller H., Kaiser K.* а. о. — *Huth. Listy*, 1971, vol. 26, № 3, S. 180—187.
224. *Keischew K., Gerassimow M., Woltschew D.* и а. — *Neue Hütte*, 1977, Bd. 22, № 10, S. 550—551.
225. *Тилик В. Т., Гаражай А. П., Паргамонов Е. А.* и др. — *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 1974, № 1, с. 17—18.
226. *Тилик В. Т., Бурбело Н. Г., Сигалов Ю. Б., Кучеренко С. Г.* — *Металлургия и коксохимия*. Киев: Техніка, 1974, вып. 40, с. 66—69.
227. *Чамин И. А., Токарь И. К.* — *Бюллетень ЦИИИ ЧМ*, 1960, № 17, с. 46—48.
228. *Roberts W. L., Sommers R. R.* — *Lubricat. Engng.*, 1962, vol. 18, p. 362—363.
229. *Nasaya N., Kenzo H., Terumasa J.* — *Iron and Steel Eng.*, 1971, vol. 48, № 11, p. 53—59.
230. *Osiadly J.* — *Techn. smarown*, 1976, № 3, S. 92.
231. *Dowler L. K.* — *Iron and Steel Eng.*, 1968, vol. 45, № 11, p. 85—94.
232. *Сигалов Ю. Б., Тилик В. Т., Грудев А. П., Бурбело Н. Г.* — *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 1973, № 5, с. 16—19.
233. *Ксензук Ф. А., Трощенко И. А., Тилик В. Т.* — *Физико-химические закономерности действия смазок при обработке металлов давлением*. М.: АН СССР, 1963, с. 80—88.
234. *Горенштейн Б. М., Ширяев В. И., Данилов С. С.* др. — *Бюллетень института «Черметинформация»*, 1979, № 1, с. 26.
235. *Чекмарев А. П., Додока В. Г., Тилик В. Т.* и др. — *Сталь*, 1968, № 5, с. 435—437.
236. *Петровский А. А.* — *Бюллетень института «Черметинформация»*, 1975, № 24, с. 35—37.
237. *Антипов К. И.* — *Сталь*, 1963, № 11, с. 1033.
238. *Жадан В. Т., Елин В. И., Полухин П. И.* и др. — *Бюллетень института «Черметинформация»*, 1972, № 2, с. 44—45.
239. *Федосов Н. М., Белосезиц В. К., Папченко В. И.* и др. — *Бюллетень института «Черметинформация»*, 1972, № 17, с. 40—42.
240. *Петровский А. А., Осейко Н. И., Шварцбарт Я. С.* — *Сталь*, 1976, № 8, с. 725—730.
241. *Гришков А. И., Горенштейн М. М., Гросвальд В. Г.* — *Бюллетень института «Черметинформация»*, 1975, № 9, с. 45—46.
242. *Капранов В. И., Старченко Д. И., Шемякин А. В.* — *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 1975, № 4, с. 26—27.
243. *Чамин И. А., Петровский А. А., Давыдов Т. И.* и др. — *Бюллетень института «Черметинформация»*, 1968, № 9, с. 32—35.
244. А. с. 810767 (СССР)/*Тилик В. Т., Авраменко И. Н., Мовшиович В. С.* и др. Оpubл. в Б. И., 1981, № 9, с. 102.
245. А. с. 644812 (СССР)/*Осейко Н. И., Петровский А. А., Стерхова Л. Н.* и др. Оpubл. в Б. И., 1979, № 4, с. 92.
246. *Копиленко В. А., Бухвалов О. Б., Незамаева О. Н.* и др. — *Сталь*, 1980, № 11, с. 996—998.
247. *Авраменко И. Н., Тилик В. Т., Мовшиович В. С.* и др. — *Бюллетень института «Черметинформация»*, 1978, № 21, с. 35—37.
248. *Петровский А. А., Коробов А. Г., Караев Б. А.* и др. — *Бюллетень института «Черметинформация»*, 1980, № 15, с. 50—51.
249. *Петровский А. А., Осейко Н. И.* — *Сталь*, 1977, № 2, с. 147—150.
250. *Reihlen H.* — *Stahl und Eisen*, 1972, Bd. 5, S. 204—210.

251. Устимов В. А. Оборудование систем технологической смазки на станах холодной прокатки за рубежом. М.: НИИинформтяжмаш, 1972. 25 с.
252. Anders K. — Chem. Kund., 1963, Bd. 16, № 7, S. 126—131.
253. Дворак Л., Лисицкий Я., Постула А. Многовалковые клетки и их применение в современных цехах холодной прокатки полос. Пльзень: Книжное издательство, 1973. 123 с.
254. Finke P., Piorko J., Jung V. — Archiv für das Eisenhüttenwesen, 1972, № 7, S. 549—557.
255. Бочков Н. Г., Лилухин Ю. В., Бутылкина Л. И. и др. — Сталь, 1973, № 10, с. 910—913.
256. Сафьян М. М., Паргамонов Е. А., Троценко Н. А. и др. — Сталь, 1974, № 3, с. 233—236.
257. Бочков Н. Г., Лилухин Ю. В., Бутылкина Л. И., Рыжов В. В. — Сталь, 1975, № 9, с. 825—827.
258. Гринберг Д. Л., Кузькина Т. А., Қозыревич Н. П., Шебаленкова Е. К. — Сталь, 1978, № 11, с. 1023—1027.
259. Шехтер Ю. Н., Школьников В. Н., Богданова Т. И., Милованов В. Д. Рабочеконсервационные смазочные материалы. М.: Химия, 1979, 253 с.
260. Монид А. Г., Гринберг Д. Л., Соболенко В. П. и др. — Металлург, 1970, № 9, с. 33—34.
261. Блащук В. А., Горбанчук Е. С., Кострыкина Д. Л. и др. — Листопрокатное производство, М.: Металлургия, 1975, вып. 4, с. 173—176.
262. Кривинская Л. С., Носова З. Ф. — Бюллетень института «Черметинформация», 1977, № 18, с. 44.
263. Соловков А. К., Быковский Г. С., Войниконис Л. Н. и др. — Металлург, 1979, № 9, с. 32—33.
264. Трейгер И. Н., Гаражай П. П., Кащеева Н. А. — Бюллетень института «Черметинформация», 1974, № 18, с. 56—58.
265. Meylinghoff G. — Mineraloeltechn., 1969, 11/12, S. 88—99.
266. РЖ. Прокатное и волочильное производство, 1977, 10Д123.
267. Pesat V., Tressl V., Zak J., Cerveny L. — Hutn listy, 1976, vol. 31, № 1, S. 51—56.
268. Erdmann U. — Schienenfahrzeuge, 1979, 23, № 2, S. 90.
269. А. с. 721469 (СССР)/Тилик В. Т., Юдович С. З., Сперанский Б. С. и др. Оpubл. в Б. И., 1980, № 10, с. 105.
270. Юдович С. З., Тилик В. Т., Вязовская С. С. и др. — Автомобильная промышленность, 1980, № 11, с. 31—33.
271. Суяров Д. И., Корж В. П., Шилов В. И. — Бюллетень института «Черметинформация», 1962, № 18, с. 34—35.
272. Старченко Д. И., Капланов В. И., Швецов В. В. и др. — Сталь, 1972, № 10, с. 929—930.
273. Старченко Д. И., Капланов В. И., Швецов В. В. и др. — Изв. вузов. Черная металлургия, 1974, № 6, с. 109—113.
274. Старченко Д. И., Капланов В. И., Сидоренко А. В. и др. — Сталь, 1974, № 2, с. 149—150.
275. Долженков Ф. Е., Белянский А. Д., Манишин Г. И. и др. — Металлург, 1980, № 8, с. 31—32.
276. Грудев А. П., Должанский А. М., Гринюк Ю. Л. и др. — Реферативная информация о законченных НИР в вузах УССР, 1977, вып. 10, с. 36—37.
277. Weber F., Ahrens H. — Stahl und Eisen, 1972, № 11, S. 27—32.
278. Заверюха В. Н., Анципов В. П., Нетесов Н. П. и др. — Металлург, 1980, № 4, с. 41—42.
279. Долженков Ф. Е., Гиндин А. Ш., Чуколовский В. В. и др. — Бюллетень института «Черметинформация», 1980, № 20, с. 29—31.
280. Грудев А. П., Бурбело Н. Г., Тилик В. Т. и др. — Сталь, 1979, № 10, с. 773—776.
281. Галкин Д. П., Килиевич А. Ф., Караганов Г. Г., Нетесов Н. П. — Сталь, 1979, № 10, с. 769—770.
282. Мелешко В. Д., Долженков Ф. Е., Тубольцев А. Г. и др. — Листопрокатное производство. М.: Металлургия, 1972, вып. 3, с. 131—137.

283. *Тубольцев Л. Г., Франценюк И. Г., Долженков Ф. Е.* и др. — *Сталь*, 1979, № 10, с. 771—773.
284. *Edmunson M. R.* — *Iron and Steel Eng.*, 1970, № 10, p. 66—69.
285. *Neport G.* — *Iron and Steel Eng.*, 1971, № 2, p. 103—105.
286. *Westlake F. J., Robinson C. L., Webb C.* — *Schmieretechnik und Tribologie*, 1974, № 3, S. 51—54.
287. *Funke P., Kulbrok R., Wladika H.* — *Stahl und Eisen*, 1972, № 22, S. 1113—1123.
288. *Hostetter R. S., Vyas M. M.* — *Iron and Steel Eng.*, 1973, № 10, p. 66—70.
289. *Roberts W. L.* — *Iron and Steel Eng.*, 1974, № 7, p. 56—62.
290. Бюллетень института «Черметинформация», 1974, № 19, с. 64.
291. *Kamii Norimasa, Terakado Kyoji.* — *J. Jap. Soc. Technol. Plast*, 1976, 17, № 182, p.202—208.
292. *Takahashi J., Ijuin M., Yabuuchi K.* — *Nippon kokan Technical Report*, 1973, № 17, p. 1—12.
293. *Morikawa K., Aketa Y., Murakami K.* — *Iron and Steel Eng.*, 1973, № 12, p. 35—47.
294. *Шнееров Б. Я., Молчанов М. М., Салтавец В. И.* и др. — *Сталь*, 1973, № 5, с. 434—435.
295. *Молчанов М. М., Шнееров Б. Я., Мельников Б. Ф., Перминова Л. М.* — *Сталь*, 1975, № 11, с. 1013—1016.
296. *Чекмарев А. П., Грудев А. П., Зильберг Ю. В., Иванов К. А.* — Бюллетень института «Черметинформация», 1968, № 23, с. 39—40.
297. *Чекмарев А. П., Грудев А. П., Беда Н. И.* и др. — *Сталь*, 1970, № 4, с. 325—327.
298. *Грудев А. П., Балтруконис П. И., Лупандин В. А.* и др. — *Металлург*, 1975, № 5, с. 40—41.
299. *Грудев А. П., Должанский А. М., Иванов К. А.* и др. — *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 1976, № 2, с. 15—16.
300. *Грудев А. П., Иванов К. А., Первых А. М.* и др. — Реферативная информация о законченных НИР в вузах УССР. 1977, вып. 10, с. 34—35.
301. *Старченко Д. И., Капланов В. И., Швецов В. В.* и др. — *Изв. вузов. Черная металлургия*, 1979, № 8, с. 53—57.
302. *Чекмарев А. П., Додока В. Г., Грудев А. П.* и др. — Бюллетень института «Черметинформация», 1973, № 19, с. 46—48.
303. *Додока В. Г., Грудев А. П., Тилик В. Т.* и др. — *Сталь*, 1974, № 1, с. 47—50.
304. *Грудев А. П., Беда Н. И., Канцельсон Г. М.* и др. — *Сталь*, 1972, № 5, с. 422—425.
305. *Старченко Д. И., Капланов В. И., Шемякин А. В.* и др. — Бюллетень института «Черметинформация», 1975, № 4, с. 46—48.
306. *Старченко Д. И., Капланов В. И., Швецов В. В.* и др. — *Сталь*, 1979, № 10, с. 776—778.
307. *Старченко Д. И., Капланов В. И., Швецов В. В., Резниченко Е. И.* — Бюллетень института «Черметинформация», 1979, № 6, с. 52—53.
308. *Жучин В. Н., Гореништейн М. М., Шварцбарт Я. С., Карлов С. В.* — *Сталь*, 1979, № 10, с. 779—780.
309. *Globus A.* — *Iron and Steel*, 1970, № 8, p. 93—94.
310. А. с. 659602 (СССР)/*Форостян Ю. Н., Форостян Е. И., Марченко В. Н.* и др. Оpubл. в Б. И., 1979, № 16, с. 123.
311. *Малакуцко К. А., Вовк А. И.* — Бюллетень института «Черметинформация», 1973, № 10, с. 39—40.
312. Справочник по смазочно-охлаждающим материалам для обработки металлов./*Волчев Д., Танев Н., Митева М.* и др. — София: Техника, 1980, 191 с.
313. А. с. 523135 (СССР)/*Чуйко П. И., Дробич О. П., Хамхотько А. Ф.* и др. Оpubл. в Б. И., 1976, № 26, с. 71.
314. Современные широкополосные станы горячей прокатки США. — Информация института «Черметинформация», 1972, сер. 7, № 7, с. 47—48.
315. *Добронравов А. И., Тубольцев Л. Г., Маслов А. А.* Опыт применения технологических смазок при горячей прокатке полос./*Материалы межзаводской школы.* М.: Черметинформация, 1980. 52 с.

316. *Тилик В. Т., Ксензук Ф. А., Шаповал В. Н.* и др. — Сталь, 1970, № 9, с. 811—814.
317. *Колпачников А. И.* Прокатка листов из легких сплавов. М.: Металлургия, 1979. 264 с.
318. А. с. 407941 (СССР)/*Голобин И. П., Дусев И. И., Мазеев Г. П.* и др. Оpubл. в Б. И., 1973, № 47, с. 90.
319. А. с. 574460 (СССР)/*Смирнов В. А., Голобин И. П., Дусев И. И.* и др. Оpubл. в Б. И., 1977, № 36, с. 67.
320. А. с. 471379 (СССР)/*Баканов А. И., Диброва Н. П., Гетманский И. К.* и др. Оpubл. в Б. И., 1975, № 19, с. 70.
321. А. с. 610857 (СССР)/*Ливанов В. А., Кузнецов К. И., Мысякин Б. А.* и др. Оpubл. в Б. И., 1978, № 22, с. 84.
322. А. с. 711100 (СССР)/*Кулезнев В. Н., Мысякин Б. А., Юшкин М. П.* и др. Оpubл. в Б. И., 1980, № 3, с. 118.
323. *Мысякин Б. А., Кузнецов К. И., Рьльская С. И., Басова И. Г.* — Цветные металлы, 1978, № 12, с. 62—64.
324. А. с. 603656 (СССР)/*Селезнев Л. П., Зенцов А. И., Ревтов В. Д.* Оpubл. в Б. И., 1978, № 15, с. 77.
325. *Tripathi K. C.* — EUROTRIB'77, Eur. Tribol. — Kongr. Düsseldorf, 1977, vol. 2—3, S. 1. s. a., 71/1—71/4.
326. Современные системы технологической смазки и охлаждения листовых станов холодной прокатки в СССР и за рубежом. М.: НИИИнформтяжмаш, 1967, № 1—67—5, с. 55.
327. *Казаков В. Г., Дегтярев А. Г., Николаева Е. Г.* и др. — Технология легких сплавов, 1975, № 12, с. 75—76.
328. *Вейлер С. Я., Лихтман В. И., Петрова Н. В.* и др. — Физико-химические закономерности действия смазок при обработке металлов давлением. М.: Изд. АН СССР, 1963, с. 66—69.
329. *Мысякин Б. А., Хромовых В. Ф., Морозов В. А., Евланов А. И.* — Технология легких сплавов, 1979, № 7, с. 20—25.
330. *Schorcht U., Mistecki H., Gonschior G., Hermann H.* — Schmierungstechnik, 1980, vol. 2, S. 56—57.
331. *Чертаских А. К., Белосевич В. К.* Трение и технологические смазки при обработке металлов давлением. М.: Металлургия, 1968. 362 с.
332. *Serna P. F., Louis E.* — Aluminium (BRD), 1976, vol. 2, S. 120—122.
333. *Serna P. F., Louis E.* — 6 Int. Leichtmetalltag. Leoben—Wien, 1975, S. 232—234.
334. *Шевелкин С. Д., Родкин Д. А., Захаров А. П.* и др. — Цветные металлы, 1975, № 3, с. 64—65.
335. *Тихонов Б. С.* Прокатка цинка. М.: Металлургиздат, 1963, 217 с.
336. *Владимиров Ю. В.* — Бюллетень института «Черметинформация», 1970, № 19, с. 12—19.
337. Производство метизов/*Шахпазов Х. С., Недовизий И. Н., Ориничев В. И.* и др. М.: Металлургия, 1977. 392 с.
338. *Красильников Л. А., Красильников С. А.* Волочи́льщик проволоки. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1977. 239 с.
339. *Ладыженская Ф. М., Рябчикова О. А., Фудима Л. И.* и др. — Сталь, 1961, № 12, с. 1129—1132.
340. *Фрейберг М. А.* — Металлург, 1956, № 6, с. 31—34.
341. *Гребеничкова А. З., Стасевич П. К.* — Сталь, 1959, № 5, с. 443—444.
342. *Зубарев В. Я., Семкин А. Т., Скрипниченко В. И., Маркин В. Н.* — Сталь, 1967, № 11, с. 1054—1057.
343. *Шефтель Н. И.* Производство стальных калиброванных прутков. М.: Металлургия, 1970. 432 с.
344. *Петров П. Е., Проломов В. И., Вайсман А. Д., Кошелева В. Н.* — Бюллетень института «Черметинформация», 1979, № 1, с. 31.
345. *Владимиров Ю. В.* — Бюллетень института «Черметинформация», 1969, № 18, с. 13—15.
346. *Гончаревский М. С., Тарасенко Р. И.* — Производство труб. Харьков: Металлургиздат, 1962, вып. 8, с. 46—50.

347. *Тарасенко Р. И., Вейлер С. Я., Чуйко П. И., Постолов Ю. М.* — Производство труб. М.: Металлургия, 1969, вып. 22, с. 96—102.
348. *Трачук С. В.* — Сталь, 1979, № 12, с. 938—939.
349. *Трачук С. В., Качур В. И., Хохлова М. П., Хромова В. С.* — Сталь, 1979, № 10, с. 789—791.
350. *Зыков Ю. С., Сидельников Л. С., Хижняк С. П.* — Бюллетень института «Черметинформация», 1974, № 13, с. 50—52.
351. *Капранов В. И., Грунько Б. Н., Белецкий А. А.* и др. — Сталь, 1973, № 11, с. 1056—1057.
352. *Смирнова А. Г.* — Технологические смазки для обработки металлов давлением. М.: Машгиз, 1979, с. 81—97.
353. *Селиванов В. В., Усова В. В., Жукова Н. Н., Трошина Э. А.* — Технология легких сплавов, 1978, № 7, с. 19—22.
354. *Ватрушин Л. С., Осинцев В. Г.* — Цветные металлы, 1975, № 11, с. 64—65.
355. *Соколовский В. И., Паршин В. С., Степанов Ю. Н.* — Цветные металлы, 1975, № 7, с. 62—64.
356. *Николаева М. Я., Ольховая Л. А., Мошнин В. А.* и др. — Технология легких сплавов, 1978, № 8, с. 32—34.
357. *Хаяк Г. С.* Инструмент для волочения проволоки. М.: Металлургия, 1974. 129 с.
358. А. с. 602260 (СССР)/*Грудев А. П., Сигалов Ю. Б., Должанский А. М.* Оpubл. в Б. И., 1978, № 24, с. 28.
359. *Березин И. Ш., Днестровский Н. З.* Производство медной и алюминиевой проволоки. М.: Металлургия, 1975. 200 с.
360. *Биск М. Б., Грехов И. А., Славин В. Б.* Холодная деформация стальных труб. Ч. 1. Свердловск: Средне-Уральское книжное издательство, 1976. 231 с.
361. *Шапиро В. Я., Уральский В. И.* Бухтовое волочение труб. М.: Металлургия, 1972. 263 с.
362. *Котов В. В., Еникеев Р. Х., Шаина Л. В.* и др. — Цветные металлы, 1974, № 12, с. 46—47.
363. *Жилкин В. З., Лахотин А. Д.* — Цветные металлы, 1976, № 5, с. 60—61.
364. *Жилкин В. З., Непомнящий В. И., Жуков А. В.* и др. — Цветные металлы, 1976, № 10, с. 62—63.
365. *Фролов В. Ф., Осада Я. Е., Тимошенко Л. В.* и др. — Сталь, 1979, № 1, с. 53—55.
366. *Осинцев В. Г., Ейльман Л. С.* Оборудование для производства прутков и проволоки из цветных металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1979. 120 с.
367. *Корнеев Н. И., Певзнер С. Б., Разуваев Е. И., Скугарев И. Г.* Обработка давлением тугоплавких металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1967. 267 с.
368. *Кофф З. А., Соловейчик П. М., Алешин В. А., Гриншпун М. И.* Холодная прокатка труб. Свердловск: Металлургиздат, 1962. 431 с.
369. А. с. 222579, 208159 (СССР)/*Чуйко П. И., Цыганок Е. И., Постолов Ю. М.* и др. — Оpubл. в Б. И., 1968, № 23, с. 58, 1968, № 3, с. 85.
370. Технологический справочник по ковке и объемной штамповке /Под ред. Сторожева М. В. М.: Машгиз, 1959. 966 с.
371. *Семендий В. И., Волосов Н. Н., Данилевич В. Л., Рыбалов В. А.* — Совершенствование процессов объемной штамповки. М.: МДНТП, 1980, с. 162—167.
372. *Вейлер С. Я., Лихтман В. И.* Действие смазок при обработке металлов давлением. М.: Изд. АН СССР, 1960. 232 с.
373. *Крашевич В. Н., Ивченко В. Н., Короткий Г. П., Шевченко В. И.* — Кузнечно-штамповочное производство, 1969, № 11, с. 46.
374. *Шнейберг В. М., Акаро И. Л.* Кузнечно-штамповочное производство Волжского автомобильного завода. М.: Машиностроение, 1977. 302 с.
375. *Кузнецов А. В., Протопопов О. В., Блудов В. А., Коноплин А. А.* Горячая штамповка стальных поковок в разъемных матрицах. М.: НИИмаш, 1968. 71 с.
376. *Атрощенко А. П., Федоров В. И.* Горячая штамповка труднодеформируемых материалов. Особенности технологии и конструкции штампов, Л.: Машиностроение, 1979. 281 с.

377. Манегин Ю. В., Анисимова И. В., Попов Н. Н. — Кузнечно-штамповочное производство, 1976, № 3, с. 28—30.
378. Солнцев С. С., Туманов А. Т. Защитные покрытия металлов при нагреве: Справочное пособие. М.: Машиностроение, 1976. 240 с.
379. Булло П. М., Годин И. А., Кушакевич С. А., Романова Л. А. — Технология легких сплавов, 1975, № 12, с. 54—58.
380. Ильченко С. И., Голобин И. П., Дусез И. И. и др. — Технология легких сплавов, 1978, № 9, с. 23—27.
381. Чийко П. И., Дробич О. П., Хамхотько А. Ф. и др. — Информация института «Черметинформация», 1969, сер. 8, № 7. 9 с.
382. Холодная объемная штамповка стальных деталей в автомобильной промышленности: Руководящий технический материал: РТМ 37.002.0098—73. М.: НИИТавтпрома, 1974. 181 с.
383. Михаленко Ф. П. Стойкость разделительных штампов. М.: Машиностроение, 1976. 205 с.
384. Балин А. И., Веретенова Т. Н., Хасин В. М. — Кузнечно-штамповочное производство, 1977, № 2, с. 29—30.
385. Бровин И. Л., Латышева Л. Г., Зазулинский Ю. И. и др. — Кузнечно-штамповочное производство, 1979, № 3, с. 20—21.
386. Зубцов М. Е. Листовая штамповка, 3-е изд. Л.: Машиностроение, 1980. 431 с.
387. Давыдов Ю. П. — Технологические смазки для обработки металлов давлением. М.: Машгиз, 1960, с. 24—36.
388. Васин И. И., Тихомиров М. Н. — Автомобильная промышленность, 1973, № 1, с. 378.
389. Сильцова М. А. — Технологические смазки для обработки металлов давлением. М.: Машгиз, 1960, с. 37—50.
390. Горячий Д. В., Ефремов С. И. Эксплуатация и ремонт штампов листовой штамповки: Из опыта Горьковского автомобильного завода. М.: Машиностроение, 1969. 152 с.
391. Капранов В. И., Грунько Б. Н., Шокарев В. И. и др. — Кузнечно-штамповочное производство, 1975, № 5, с. 23—24.
392. Артемьев Ю. И., Латышева Л. Г., Бровин И. Л., Савченко М. М. — Кузнечно-штамповочное производство, 1979, № 3, с. 19—20.
393. Козлов Ю. И. — Кузнечно-штамповочное производство, 1975, № 5, с. 24—25.
394. А. с. 509636 (СССР)/Грудев А. П., Сигалов Ю. Б., Лега Л. С. и др. Оpubл. в Б. И., 1976, № 13, с. 96.
395. Барановский М., Дмитриев А., Интянов Н., Чайка В. Справочник технолога. Минск: Белорусь, 1966. 552 с.
396. Быков И. А., Митькин А. Н., Осипов Г. Б. — Совершенствование процессов объемной штамповки. М.: МДНТП, 1980, с. 162—167.
397. Митькин А. Н., Букин-Богатырев И. К., Богодист В. А., Кузьменко В. И. — Совершенствование процессов объемной штамповки. М.: МДНТП, 1980, с. 162—167.
398. Мессерле К. В. Смазка при горячей и холодной штамповке. М.: ЦИНТИМ, 1962, 21 с.
399. Санакоев Г. К., Прокудин А. П., Побединская Е. А. Технологические смазки и смазочно-охлаждающие жидкости для штамповки. М.: НИИМаш, 1979. 47 с.
400. Любченко А. А. Конструирование штампов и горячая листовая штамповка. М.: Машиностроение, 1974. 479 с.
401. Моченко В. П. Эффективная технология производства полых цилиндров. М.: Машиностроение, 1980. 217 с.
402. Ерманок М. З., Фейцин В. И., Сухоруков Н. А. Прессование профилей из алюминиевых сплавов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1977. 264 с.
403. А. с. 240151 (СССР)/Зубахин Б. Т., Каган Л. С. — Оpubл. в Б. И., 1969, № 12, с. 56.
404. Рахманов Н. С., Ливанов В. А., Березко Н. М. и др. — Технология легких сплавов, 1975, № 7, с. 30—34.

405. Манегин Ю. В., Притоманов А. В., Шпиттель Т., Кнаушнер А. Горячее прессование труб и профилей. М.: Металлургия, 1980. 272 с.
406. Корнеев Н. И., Певзнер С. Б., Разуваев Е. И., Скугарев И. Г. Обработка давлением тугоплавких металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1967. 267 с.
407. Ерманок М. З., Соболев Ю. П., Гельман А. А. Прессование титановых сплавов. М.: Металлургия, 1979. 263 с.
408. Ерманок М. З., Соломоник Е. Я., Вульфвич Л. Б. Производство труб из цветных металлов и сплавов за рубежом. М.: ЦНИИТЭИЦИ, 1967. 81 с.
409. Ерманок М. З., Каган Л. С., Головинов М. Ф. Прессование труб из алюминиевых сплавов. М.: Металлургия, 1976. 247 с.
410. Коротких Е. Л., Пономарев М. Н., Телешов В. И. — Кузнечно-штамповочное производство, 1975, № 4, с. 16—17.
411. Draht-Welt. 1974, Bd. 60, № 2, S. 48—50.
412. Wettsch J. — Iron and Steel Eng., 1966, № 8, p. 117—123.
413. Кочнев М. Ф., Тихоновский М. Г., Нетесов Н. П., Файзуллин В. Х. — Сталь, 1977, № 8, с. 727—729.
414. Холодный В. А., Мэн С. К., Качанов Е. Г. — Сталь, 1979, № 6, с. 426—430.
415. Чернов П. П., Сосковец О. Н., Урядов В. Г., Сосулин В. П. — Бюллетень института «Черметинформация», 1978, № 12, с. 40—42.
416. Ройzman С. Е. — Бюллетень института «Черметинформация», 1975, № 17, с. 20—34.
417. Matricon P. — Cire, informs techn. cent. dac. sider. 1977, 34, № 6, p. 1411—1436.
418. Roberts W. L. — Blast Furnace and Steel Plant, 1968, № 5, p. 382.
419. Bishop J. J. — Iron and Steel Eng., 1968, vol. 45, № 11, p. 81—94.
420. А. с. 343730 (СССР)/Бурбело Н. Г., Додока В. Г., Тилик В. Т. и др. Оpubл. в Б. И., 1972, № 21, с. 22.
421. Додока В. Г., Бурбело Н. Г., Тилик В. Т. и др. — Сталь, 1975, № 7, с. 627—628.
422. Bednar V. Sbornik referatu adborne konference «Trate s vice—valcovymi stalicemi a jejich pouziti v modernich valcovnách pasu za studena», Plzen, Zari, 1973, Die I, S. 1—26.
423. РЖ. Прокатное и волочильное производство, 1979, 7Д321.
424. Мелешко В. И., Тубольцев Л. Г., Адамский С. Д. — Сталь, 1979, № 10, с. 765—769.
425. Молчанов М. М., Воронцов Н. М., Романец В. А. и др. — Сталь, 1980, № 3, с. 217—218.
426. Николаева Е. Г. — Оборудование и технология производства полуфабрикатов из легких сплавов. Б. М., 1979, с. 48—52.
427. А. с. 722940 (СССР)/Грудев А. П., Бурбело Н. С., Сигалов Ю. Б. и др. Оpubл. в Б. И., 1980, № 11, с. 87.
428. Орлов С. И., Колмогоров В. Л., Уральский В. И., Стукалов В. Т. — Сталь, 1974, № 10, с. 953—956.
429. Жилкин В. З., Латохин А. Д. — Сталь, 1974, № 10, с. 958—960.
430. Норичин И. А., Акаро И. Л., Талалай К. В. — Вестник машиностроения, 1975, № 6, с. 73—79.
431. Горловский М. Б. Оборудование проволочных и канатных цехов. М.: Металлургия, 1964. 355 с.
432. Ильченко С. И., Николаева М. Р., Ольховая Л. А. и др. — Технология легких сплавов, 1977, № 9, с. 39—42.
433. Малев И. И. Штамповка на молотах. М.: Машгиз, 1960. 67 с.
434. Атрощенко А. П. Механизация и автоматизация листовой штамповки. М.—Л.: Машиностроение, 1965. 228 с.
435. Михаленко Ф. П., Дурандин М. М. — Кузнечно-штамповочное производство, 1970, № 6, с. 21—23.
436. Гуляев Г. И. — Бюллетень института «Черметинформация», 1966, № 9 (533), с. 18—28.
437. Чуйко П. И., Дробич О. П., Хамхотько А. Ф. — Информация института «Черметинформация», 1971, сер. 8, № 4, с. 12.

438. А. с. 173193 (СССР)/*Бердянский М. Г., Бродский И. И., Донец В. В.* и др. Оpubл. в Б. И., 1965, № 15, с. 24.
439. *Мелешко В. И., Николаев В. А., Адамский С. Д., Тилик В. Г.* — Листопродуктивное производство. М.: Металлургия, 1975, вып. 4, с. 169—173.
440. *Vogel К.-Н.* — *Kleipzig. Fachber.*, 1974, vol. 82, № 9, S. 342—349.
441. *Fachber. Hüttenprax. Metallweiterverarb.*, 1978, № 2, S. 128—130.
442. *Fritsche G. Ray, Sansonetti S. J.* — *Light Metal Age*, 1979, vol. 37, n. 11—12, p. p. 12, 14.
443. *Wiesner F., Dvorak F.* — *Hutnik*, 1971, vol. 12, S. 458—462.
444. *Прядкина В. М., Вышегородцева Т. Е.* — *Сталь*, 1979, № 6, с. 435.
445. *Tapew N.* — *Neue Hütte*, 1977, № 10, S. 551—552.
446. *Качан В. И., Альпатьяева Т. А., Григорьева Г. П.* — *Химия и технология топлив и масел*, 1980, № 6, с. 18—20.
447. *Vednar V., Bradee J.* — *Hutn. listy*, 1974, № 8, s. 558—564.
448. *Унифицированные методы анализа вод*: Справочник/Под ред. Ю. Ю. Лурье. М.: Химия, 1971. 187 с.
449. *Андоньев С. М., Кондратьев В. Н., Левин Г. М.* и др. — *Сталь*, 1971, № 12, с. 1099—1100.
450. *Гедык П. К., Калашикова М. И.* Смазка металлургического оборудования. М.: Металлургия, 1971. 376 с.
451. *Смирнов Д. Н., Генкин В. Е.* Очистка сточных вод в процессах обработки металлов. М.: Металлургия, 1980. 195 с.
452. *Ерохин А. В., Спиридонова С. И., Петрина Л. С.* и др. — *Сталь*, 1978, № 7, с. 639—641.
453. *Мэн С. К.* — *Водоснабжение и санитарная техника*, 1979, № 1, с. 6—9.

**Александр Петрович Грудев
Юрий Владимирович Зильберг
Василий Трофимович Тилик**

**ТРЕНИЕ И СМАЗКИ
ПРИ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ
ДАВЛЕНИЕМ**

Справочник

**Редактор В. В. Шишко
Редактор издательства Ю. Р. Хмельнов
Художественный редактор А. И. Гофштейн
Технический редактор В. М. Курпяева
Корректоры: Г. Ф. Лобанова, Ю. И. Королева**

ИБ № 1838

Сдано в набор 07.06.82. Подписано в печать 21.09.82. Т-16681. Формат бумаги 60×90^{1/16}.
Бумага типографская № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Печ. л. 19,5.
Кр.-отт. 19,5. Уч.-изд. л. 27,06. Тираж 10 000 экз. Заказ 175. Цена 1 р. 70 к.
Изд № 0172.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Металлургия», 119034, Москва,
Г-34, 2-й Обыденский пер., д. 14

Ленинградская типография № 6 ордена Трудового Красного Знамени
Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой
Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
193144, г. Ленинград, ул. Моисеенко, 10.