

Министерство образования Республики Беларусь
Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет»

А. П. Минаков, И. Д. Камчицкая, Е. В. Ильюшина

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ЗАГОТОВОК

*Рекомендовано Научно-методическим советом
Белорусско-Российского университета в качестве учебного пособия
для студентов учреждений высшего образования, обучающихся
по образовательным программам Российской Федерации
по направлениям подготовки 15.03.01 «Машиностроение»
и 15.03.06 «Мехатроника и робототехника»*

Под общей редакцией проф. А. П. Минакова

Могилев
«Белорусско-Российский университет»
2017

УДК 621.7
ББК 34.51
М 61

Рекомендовано к изданию Советом Белорусско-Российского университета
«18» ноября 2016 г., протокол № 4

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф., акад. НАН Беларуси *Е. И. Марукович*;
канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой «Автоматизация технологических процессов и производств» Могилевского государственного университета продовольствия
М. М. Кожевников

Минаков, А. П.

М 61 Проектирование и производство заготовок: учеб.
пособие / А. П. Минаков, И. Д. Камчицкая, Е. В. Ильюшина;
под общ. ред. проф. А. П. Минакова. – Могилев: Белорус.-Рос.
ун-т, 2017. – 326 с. : ил.
ISBN 978-985-492-178-5.

В учебном пособии приведены основные положения по проектированию заготовок и традиционным способам их изготовления. Рассмотрено современное технологическое оснащение литейного, кузнечного производства, а также порошковой металлургии. Представлена методология проектирования и изготовления комбинированных заготовок.

Для студентов машиностроительных специальностей вузов. Может быть использовано студентами техникумов и колледжей, а также инженерно-техническими работниками машиностроительных предприятий.

УДК 621.7
ББК 34.51

ISBN 978-985-492-178-5

© Минаков А. П., Камчицкая И. Д.,
Ильюшина Е. В., 2017
© ГУ ВПО «Белорусско-Российский
университет», 2017

ВВЕДЕНИЕ

В условиях глобального экономического кризиса резко обострилась конкурентоспособность продукции отечественного машиностроения, которая определяет экономическую стабильность государства в мировой системе хозяйствования.

Рост требований к качеству машиностроительной продукции вызывает необходимость решения проблемы выбора исходных заготовок для изготовления деталей машин, т. к. исходная заготовка является основой формирования качества деталей и изделий в целом.

От исходной заготовки зависят содержание и структура технологического процесса изготовления детали, технико-экономические показатели производства, долговечность изделия.

Заготовительное производство – динамичная система, находящаяся в непрерывном развитии. При этом главная проблема заключается в экономии материальных ресурсов.

В настоящее время более 85 % предприятий мирового машиностроения работают по принципам единичного и серийного производства, т. е. оно стало многономенклатурным [1]. При этом от 30 до 60 % металла в процессе изготовления заготовок идет в отходы (литниковые системы, прибыли, облой, угар и др.), что является проблемой.

В связи с этим вопросы проектирования и изготовления заготовок играют решающую роль в малоотходной технологии изготовления изделий на современном этапе научно-технического прогресса как с точки зрения экономии материальных ресурсов, так и повышения качества изделий, соответствующего мировым стандартам.

Ведущую роль в выборе способа изготовления заготовок конкретной детали, его эффективности выполняют конструкторы и технологи совместно с металлургами, сварщиками и др. специалистами. Используя научный анализ сведений, имеющихся в литературе, а также личный опыт и знания, специалисты должны найти наилучшие проектные решения, правильно выбрать материал, спроектировать заготовку и разработать оптимальный технологический процесс ее изготовления.

Авторами данной работы сделана попытка разработать методологические основы проблемы выбора вида и способа получения заготовок в машиностроительном производстве, которые позволят выполнить надлежащую подготовку технологов-машиностроителей. Вооружение отечественного машиностроения требуемыми специалистами заготовительного производства будет способствовать повышению качества и конкурентоспособности выпускаемой продукции.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗАГОТОВКАХ

1.1. Виды заготовок

Заготовка – предмет труда, из которого путем изменения формы, размеров, свойств поверхности и (или) материала изготавливают деталь (ГОСТ 3.1109-82).

Начальной фазой машиностроительного производства является заготовительное. Заготовку перед первой операцией изготовления детали называют исходной.

В зависимости от способа изготовления выделяют виды заготовок:

- 1) литые;
- 2) кованные и штампованные;
- 3) прокат;
- 4) сварные и комбинированные;
- 5) из порошковых и неметаллических материалов, а также полученные посредством нанотехнологий.

Выбор того или иного вида заготовок зависит от конструктивных форм деталей, их назначения, условий их работы в собранной машине, испытываемых напряжений и т. д.

Прогрессивные заготовки должны отвечать следующим требованиям:

- 1) форма и размеры заготовки должны быть максимально приближены к форме и размерам детали;
- 2) иметь низкую себестоимость изготовления;
- 3) создавать возможность специализации, механизации и автоматизации тяжелых и монотонных технологических процессов;
- 4) обеспечивать увеличение производительности труда и использование полной мощности оборудования.

Правильное решение вопроса о выборе способа изготовления заготовок можно получить только в результате технико-экономических расчетов, путем сопоставления вариантов себестоимости детали при различных видах заготовок.

1.2. Показатели технологичности заготовок

Технологичность конструкции изделия представляет собой совокупность свойств конструкции, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при изготовлении, эксплуатации и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ (ГОСТ 14.205-83). Отработка на технологичность обязательна на всех стадиях создания изделия. Между конструкцией заготовки и технологией ее изготовления имеется тесная взаимосвязь (табл. 1.1).

Табл. 1.1. Технологический анализ чертежа детали [15]

Конструктивный признак детали, объем выпуска	Фактор технологического процесса												Квалификационная категория исполнителей
	Вид заготовительной операции	Вид операции обработки резанием	Последовательность операций	Концентрация и дифференциация операций	Термическая или термохимическая обработка	Вид окончательной обработки	Способ обеспечения точности	Выбор технологических баз	Режим обработки резанием	Применяемый инструмент	Оснастка	Оборудование	
Материал	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-
Общая конфигурация	+	+	+	+	-	-	-	+	-	+	+	+	-
Порядок простановки размеров	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-
Точность: размеров поверхностей формы поверхностей относительного расположения поверхностей	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+
	-	+	+	-	+	+	-	-	-	+	+	+	+
	-	-	+	+	+	-	-	+	-	-	+	-	+
Шероховатость поверхностей	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+
Структура поверхностного слоя	+	-	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+
Твердость поверхности	-	-	+	-	+	+	-	-	+	+	-	+	-
Герметичность стенок	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Магнитные и электрические свойства	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Покрытие	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
Объем выпуска	+	+	+	+	-	-	+	-	-	+	+	+	+

Примечание. Знак «+» означает сильное влияние конструктивного признака на фактор технологического процесса, знак «-» – слабое влияние конструктивного признака на фактор технологического процесса или отсутствие влияния.

Показатели технологичности различают двух видов: качественные и количественные.

Качественную оценку («хорошо – плохо», «допустимо – недопустимо») получают путем сравнения двух и более вариантов изготовления заготовок. Критерием оценки в этом случае являются справочные данные и опыт технолога и конструктора. Такая оценка производится на стадии эскизного проектирования и предшествует количественной оценке [33]. Технологичность заготовки во многом определяется технологичностью детали, качественный технологический анализ которой представлен в табл. 1.1, а коэффициент точности обработки и коэффициент шероховатости можно найти в соответствии с ГОСТ 18831-73.

Количественная оценка (по ГОСТ 14.202-73) дает возможность объективно и достаточно точно оценить технологичность сравниваемых конструкций заготовок. Чаще всего в качестве количественных показателей технологичности выступают трудоемкость изготовления, технологическая себестоимость и коэффициент использования металла.

На ранних стадиях проектирования заготовок применяют приближенные методы оценки трудоемкости [25]. Например, трудоемкость оценивается по трудоемкости изготовления типовой заготовки, аналогичной по форме, точности и технологии изготовления:

$$T_{\text{пр}} = T_{\text{тип}} \sqrt[3]{(m_{\text{пр}} / m_{\text{тип}})^2}, \quad (1.1)$$

где $T_{\text{пр}}$, $T_{\text{тип}}$ – трудоемкость изготовления проектируемой и типовой заготовок соответственно; $m_{\text{пр}}$, $m_{\text{тип}}$ – масса проектируемой и типовой заготовок соответственно.

Для оценки технологичности на стадии механообработки используют также отношение трудоемкости механической обработки к трудоемкости получения заготовки $T_{\text{мех}} / T_{\text{заг}}$. Чем меньше это отношение, тем технологичнее заготовка (уменьшается объем механической обработки).

Критериями, позволяющими определить степень совершенства разработанного техпроцесса изготовления заготовки, являются следующие коэффициенты: выхода годного, массовой точности и использования материала [25].

Коэффициент выхода годного металла $K_{\text{в.г}}$ характеризует расход материала в заготовительном цехе, размер брака и др., определяется по формуле

$$K_{\text{в.г}} = \frac{m_3}{m_p}, \quad 0 < K_{\text{в.г}} \leq 1, \quad (1.2)$$

где m_3 – масса заготовки; m_p – норма расхода материала (с учетом литников, облоя, окарины и др.).

Коэффициент массовой точности $K_{М.Т}$ отражает степень приближения формы и размеров заготовки к форме и размерам детали, характеризует объем механической обработки:

$$K_{М.Т} = \frac{m_D}{m_3}, \quad 0 < K_{М.Т} \leq 1, \quad (1.3)$$

где m_D – масса детали.

Коэффициент массовой точности является наиболее часто употребляемым для оценки рентабельности выбранной заготовки, т. к. зависит от конструкции и массы заготовки. В общем случае, чем меньше отношение длины заготовки к ее диаметру, тем больше $K_{М.Т}$.

При прочих равных условиях более выгодны высокие значения коэффициента использования материала, определяемого как отношение массы изделия к массе израсходованного металла:

$$K_{И.М} = \frac{m_D}{m_P}, \quad 0 < K_{И.М} \leq 1. \quad (1.4)$$

С учетом коэффициентов $K_{В.Г}$ и $K_{М.Т}$ коэффициент использования материала можно найти по формуле

$$K_{И.М} = K_{В.Г} \cdot K_{М.Т}. \quad (1.5)$$

Коэффициент использования материала отражает общий расход материала для изготовления детали.

Если $K_{И.М} > 0,98$, то технология получения заготовки считается безотходной, при $0,9 < K_{И.М} < 0,98$ – малоотходной, а при $0,78 < K_{И.М} < 0,9$ – современной (средний уровень ресурсосбережения).

В табл. 1.2 даны средние значения коэффициентов $K_{В.Г}$, $K_{М.Т}$ и $K_{И.М}$.

Табл. 1.2. Средние значения коэффициентов $K_{В.Г}$, $K_{М.Т}$ для заготовок из черных и цветных металлов

Способ получения заготовки	$K_{В.Г}$	$K_{М.Т}$
Литье	0,7...0,5	0,85...0,8
Обработка давлением	0,95...0,65	0,7...0,55
Прокат	0,9...0,75	0,7...0,5

1.3. Экономическое обоснование выбора способа изготовления заготовки

Себестоимость изготовления заготовки S_3 по заготовительному цеху определяется по формуле

$$S_3 = M_3 + Z_3 + O_3, \quad (1.6)$$

где M_3 – стоимость материалов для изготовления одной заготовки, р.; Z_3 – зарплата основных рабочих заготовительного цеха, р.; O_3 – стоимость технологического оснащения, р.

При наличии нескольких равнозначных способов выбор делают исходя из условий обеспечения максимальной производительности и минимальной себестоимости заготовки для данного типа производства.

В конечном итоге учитывается и стоимость механической обработки заготовки по формуле

$$C = S_3 + C_{\text{мех}}, \quad (1.7)$$

где C – себестоимость изготовления детали, р.; $C_{\text{мех}}$ – себестоимость изготовления детали в механическом цехе, р.

Для принятого способа изготовления заготовок технологическая себестоимость может быть рассчитана с учетом марки материала и массы заготовки, точности ее изготовления, конструктивной сложности и объема выпуска заготовок. Исходными данными являются чертеж детали, чертеж заготовки и годовая программа.

Себестоимость заготовки из проката можно найти по формуле [5]

$$S_3 = M_3 + \Sigma C_{O.3}, \quad (1.8)$$

где M_3 – затраты на материал заготовки, р.; $\Sigma C_{O.3}$ – техническая себестоимость правки, калибровки прутков, разрезки их на штучные заготовки, р.

Затраты на материал определяются по массе проката, требующегося на изготовление детали, и массе сдаваемой стружки:

$$M_3 = Q \cdot S - (Q - q) S_{\text{отх}}, \quad (1.9)$$

где S – стоимость 1 кг заготовок, р.; Q – масса заготовки, кг; q – масса детали, кг; $S_{\text{отх}}$ – стоимость 1 кг отходов.

Техническая себестоимость [5]

$$C_{O.3} = \frac{C_{\text{П.З}} \cdot t_{\text{шт}}}{60}, \quad (1.10)$$

где $C_{п.з}$ – приведенные затраты на рабочем месте, р./ч; $t_{шт}$ – штучное время выполнения заготовительной операции, мин,

$$t_{шт} = \frac{L_{рез} + y}{S_M} \varphi, \quad (1.11)$$

где $L_{рез}$ – длина резания при разрезании проката на штучные заготовки, $L_{рез} = D$; y – величина врезания и перебега, $y = 6$ мм (при разрезании дисковой пилой); S_M – минутная подача при разрезании, $S_M = 50 \dots 80$ мм/мин; φ – коэффициент, показывающий долю вспомогательного времени в штучном времени. Для мелко- и среднесерийного производства $\varphi = 1,84$; для крупносерийного и массового – $\varphi = 1,51$.

В качестве приведенных затрат, приходящихся на 1 ч работы оборудования, можно принять следующие значения: резка заготовок диаметром до 55 мм на ножницах сортовых модели Н 1834 – 9 у. е./ч; резка заготовок диаметром до 140 мм на ножницах сортовых модели Н 1838 – 16,5 у. е./ч; резка на отрезных станках, работающих дисковыми пилами, – 1,5 у. е./ч; правка на автоматах – 2,5 у. е./ч.

Цены на некоторые материалы и заготовительные цены на стружку черных и цветных металлов приводятся в табл. 1.3 и 1.4.

Табл. 1.3. Оптовые цены на некоторые металлы

Наименование	Марка	Цена за 1 т, у. е.
1	2	3
Сталь обыкновенного качества круглая и квадратная		
Углеродистая	Ст 0, Ст 3	118...138
Углеродистая	Ст 4	127...147
Сталь качественная круглая, квадратная, шестигранная		
Углеродистая	10, 20, 30, 40, 45, 50, 55	151...206
Легированная	15X, 20X, 30X, 40X, 45X, 50X	157...187
Легированная	18ХГТ, 30ХГТ, 20ХГР	163...190
Легированная	15ХГС, 30ХГС	189...226
Легированная	12ХН3А, 30ХН3А	310...343
Легированная	20ХНР	208...238
Автоматная	A12, A20, A30, A40Г	146...174
Шарикоподшипниковая	ШХ9, ШХ15	230...288
Шарикоподшипниковая	ШХ15СГ	249...319
Сталь высокоуглеродистая круглая		
Качественная	У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13	173...208
Высококачественная	У7А...У13А	186...220
Легированная	ХВГ	562...616

Окончание табл. 1.3

1	2	3
Сталь качественная калиброванная (холоднотянутая) круглая		
Углеродистая	35, 40, 45, 50, 55, 60	195...292
Автоматная	A12, A20	190...261
Шарикоподшипниковая	ШХ9, ШХ15	288...404
Цветные сплавы		
Прутки латунные Ø 17...50 мм	Л62, ЛС59-1, ЛСЖ51	1260...1310
Прутки алюминиевые Ø 11...44 мм	АМГ-3	1310...1370
Прутки бронзовые Ø 17...40 мм	Бр Б2	8780...8840
Трубы (цена за 1 м)		
Горячедеформированные		
Ø 54 мм, стенка 10 мм	Сталь 15...25	2,5
Ø 70 мм, стенка 10 мм		3,3
Ø 89 мм, стенка 10 мм		4,2
Холоднокатаные		
Ø 102 мм, стенка 20 мм	Сталь 15...25	10,25
Ø 120 мм, стенка 24 мм		12,55
Ø 150 мм, стенка 24 мм		24,33
Горячедеформированные		
Ø 90 мм, стенка 11 мм	ШХ15	7,0
Ø 90 мм, стенка 19 мм		13,22

Примечание. Большие значения цен указаны для сталей Ø 10 мм, меньшие – для автоматных сталей Ø 100 мм

Табл. 1.4. Заготовительные цены на стружку черных и цветных металлов

Вид стружки	Цена за 1 т, у. е.
Брикеты из стальной стружки	36,6
Стальная стружка	31,2
Брикеты из чугунной стружки	41,4
Чугунная стружка	27,6
Лом и отходы конструкционных сталей, легированных молибденом в сочетании с хромом и др. элементами, кроме никеля и вольфрама:	
лом и отходы	64,2
стружка	40,8
Лом и отходы конструкционных сталей, легированных хромом, никелем, молибденом	67,6
Латунная стружка	380...448
Бронзовая стружка	563...1203
Алюминиевая стружка	267...350

Себестоимость заготовок, получаемых такими способами, как литье в песчано-глинистые формы и кокили, литье по выплавляемым моделям, литье под давлением, горячая штамповка на молотах, прессах, ГKM, а также электровысадкой, можно с достаточной точностью определить по формуле [5]

$$S_3 = \left(\frac{C_i}{1000} Q \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_{\Pi} \right) - (Q - q) S_{\text{отх}}, \quad (1.12)$$

где C_i – базовая стоимость 1 т заготовок, р.; Q – масса заготовки, кг; K_B – коэффициент, зависящий от массы заготовки [5]; K_M – коэффициент, зависящий от марки материала [5]; K_C – коэффициент, зависящий от группы сложности [5]; K_{Π} – коэффициент, зависящий от объема выпуска заготовок [5]; q – масса детали, кг; $S_{\text{отх}}$ – стоимость 1 кг отходов, у. е.

Для отливок, изготовленных литьем в песчано-глинистых формах и кокилях, рекомендуется пользоваться нижеприведенными данными.

Базовая стоимость 1 т отливок $C_i = 400$ у. е. (отливки из серого чугуна марок СЧ10, СЧ15, СЧ18 массой 1...3 кг, 3 группы сложности и 3 группы серийности).

Для отливок, изготовленных литьем по выплавляемым моделям, за базовую принята стоимость 1 т отливок $C_i = 2206$ у. е. (отливки из углеродистой стали массой 0,1...0,2 кг, 3 группы сложности и 2 группы серийности).

Для отливок, изготовленных литьем под давлением, за базовую принята стоимость 1 т отливок $C_i = 1406$ у. е. (отливки из алюминиевых сплавов массой 0,1...0,2 кг, 3 группы сложности и 2 группы серийности).

Стоимость горячештампованных заготовок (изготовленных на молотах, прессах, горизонтально-ковочных машинах и электровысадкой) определяется следующим образом. За базовую принимается стоимость 1 т поковок $C_i = 414$ у. е. (поковки из конструкционной углеродистой стали массой 2,5...4 кг, 3 степени сложности и 2 группы серийности).

В отдельных случаях, когда в первую очередь важны соображения социального, экологического или другого характера, для оценки эффективности внедрения нового варианта заготовительного производства могут быть использованы частные показатели, такие как повышение производительности труда, ликвидация тяжелых или вредных условий работы, улучшение качества заготовок и т. п. Например, себестоимость заготовок, изготовленных на автоматических линиях, часто оказывается выше себестоимости заготовок, изготовленных на базовом комплекте оборудования. В то же время применение автоматических линий улучшает условия труда, снижает производственный травматизм и утомляемость рабочих. Поэтому при оценке экономического эффекта рекомендуют учитывать социальный фактор, переводя его в экономический [24].

Контрольные вопросы

1. Определение заготовки. Что понимается под исходной заготовкой?
Основные виды заготовок.
2. Требования, предъявляемые к прогрессивным заготовкам.
3. Основные факторы, влияющие на выбор способа изготовления заготовки.
4. Что понимается под технологичностью заготовки?
5. Качественные и количественные показатели технологичности заготовки.

2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРИАЛОВ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК

2.1. Классификация литейных сплавов

Многообразие сплавов для изготовления заготовок можно представить в виде классификации (рис. 2.1).

Около 75 % всех отливок (по массе) изготавливают из чугуна и около 20 % – из стали. Вместе с тем отливки из цветных сплавов (медных, алюминиевых, магниевых, титановых и др.) имеют важное значение для ряда отраслей промышленности: авиастроения, судостроения, автомобилестроения, приборостроения и др.

Чугуны: серый, высокопрочный, с вермикулярным графитом, белый, ковкий, антифрикционный (табл. 2.1).

Серый чугун (ГОСТ 1412-85) обладает высокими литейными свойствами. Из него можно изготавливать отливки сложной конфигурации с минимальными размерами прибылей. Механические свойства серого чугуна повышаются с уменьшением суммарного содержания углерода и кремния.

Отличительной особенностью *высокопрочного чугуна* (ГОСТ 7293-85) с шаровидным графитом являются его высокие механические свойства. Он обладает не только высокой прочностью, но и пластичностью. В связи с этим такой чугун успешно применяют для изготовления ответственных тяжело нагруженных деталей машин: коленчатых валов, зубчатых колес, цилиндров.

Чугун с вермикулярным графитом занимает промежуточное положение между чугунами с пластинчатым и шаровидным графитом и в силу этого сочетает хорошие литейные свойства с достаточно высокими прочностью, пластичностью и ударной вязкостью. Вермикулярный графит получают путем обработки расплава лигатурами, содержащими редкоземельные металлы. Высокие показатели механических свойств и теплопроводности в сочетании с хорошими литейными свойствами позволяют использовать чугун с вермикулярным графитом для крупных отливок сложной конфигурации. В настоящее время расширяется применение этого сплава в автомобильной и судостроительной промышленности, особенно для ответственных деталей, работающих в условиях динамических и термоциклических нагрузок (блоков и головок цилиндров, тормозных дисков и др.).

Белый чугун, получаемый в результате кристаллизации по метастабильному варианту диаграммы состояния «железо – углерод», широко применяют для изготовления деталей дробильного оборудования брони шаровых мельниц, мелющих шаров, лопастей шнеков, лопаток дробебетонных турбин и т. д. Белый чугун обладает повышенной хрупкостью и при обычных режимах не поддается обработке резанием.

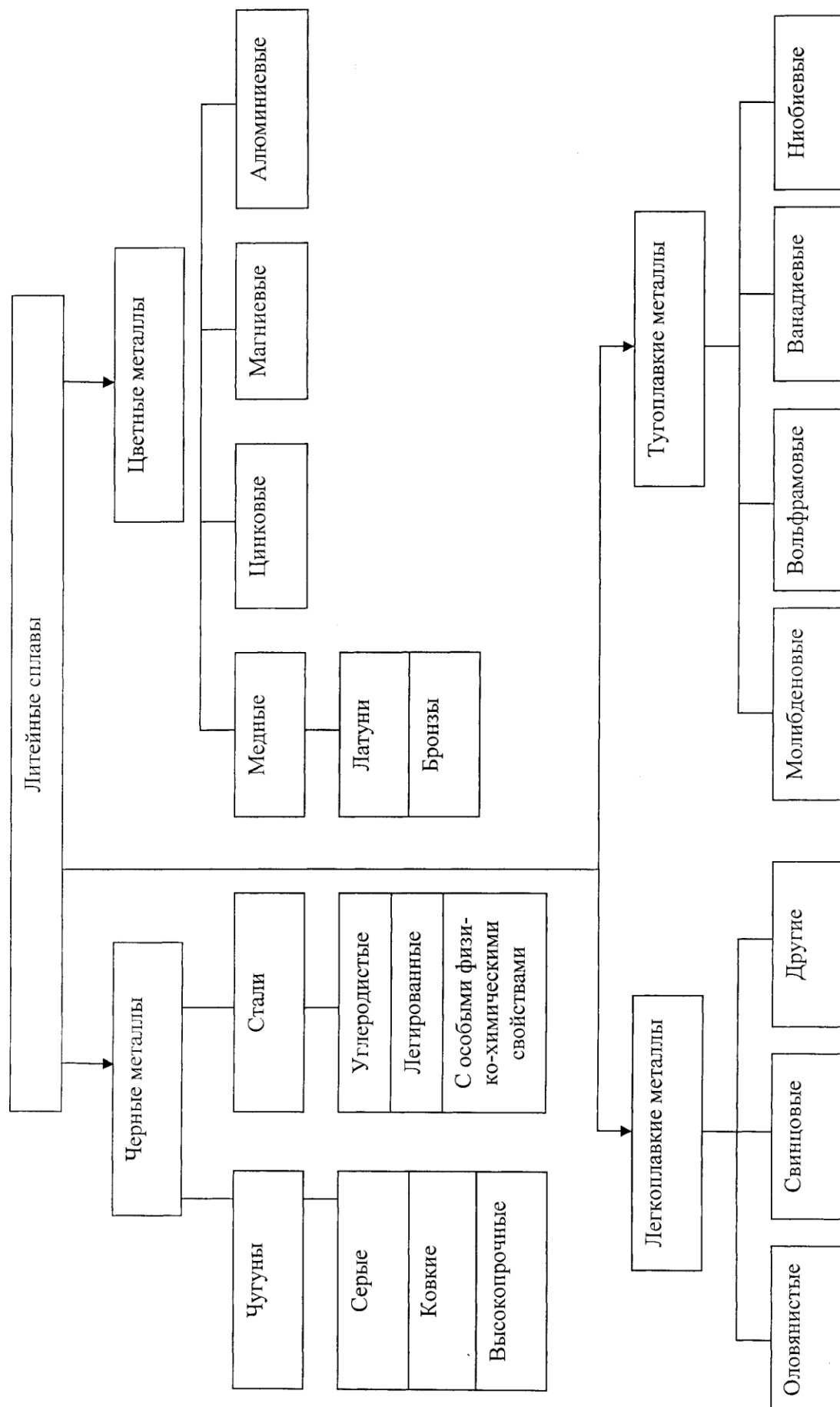


Рис. 2.1. Классификация литейных сплавов

Отливки, имеющие белый излом по всему сечению, применяют в тех случаях, когда заготовки (детали) не требуют механической обработки и не подвергаются в процессе эксплуатации ударным нагрузкам.

Детали, работающие в условиях усиленного износа и повышенных нагрузок, например прокатные валки, крановые, рудничные и конвейерные колеса, изготавливают из *чугуна с поверхностным отбелом*. Отливки с отбеленным слоем получают в результате ускоренного охлаждения наружных слоев металла с помощью холодильников.

Ковкий чугун (ГОСТ 1215-79) используют для изготовления мелких и средних тонкостенных отливок, работающих в условиях динамических знакопеременных нагрузок (детали коробок передач, шасси, рычаги, коллекторы и др.). Ковкий чугун получают из белого чугуна посредством графитизирующего отжига.

Специальное назначение имеют *антифрикционные чугуны*, способные работать в условиях трения, как, например, подшипники скольжения.

Табл. 2.1. Области применения литейных чугунов [13]

Марка чугуна	Область применения
1	2
<i>Серый чугун (ГОСТ 1412-85)</i>	
СЧ10	Умеренно нагруженные, работающие без трения детали, к которым предъявляют главным образом требование легкости, а не прочности (неответственное литье – плиты, крышки, кожухи, основания и др.)
СЧ15	Умеренно нагруженные детали, работающие при давлении между трущимися поверхностями до 50 МПа. Малоответственное литье с толщиной стенки 8...15 мм и невысокими требованиями к износостойкости (маховики, шкивы и др.)
СЧ18	Умеренно нагруженные детали, работающие на изнашивание, и ответственные отливки больших размеров с толщиной стенки 8...25 мм (основания станков, втулки, крупные шкивы, зубчатые колеса, блоки цилиндров, поршни и др.)
СЧ20	Высоконагруженные детали, работающие на изнашивание в узлах высокой герметичности. Ответственное литье с толщиной стенки 10...30 мм; детали, работающие при температуре до 300 °С (корпусы, гидроцилиндры, гильзы, станины с направляющими большинства металлорежущих станков, диски сцепления, тормозные барабаны)
СЧ24	Ответственные отливки с толщиной стенки 20...40 мм; детали, работающие при температуре до 300 °С (блоки автомобильных цилиндров, гильзы двигателей, поршни, тяжелонагруженные зубчатые колеса, кокильные формы)
СЧ25	Ответственные, высоконагруженные детали, работающие на изнашивание, в том числе при температуре до 300 °С и давлении до 8 МПа, с толщиной стенки 20...60 мм (корпусы насосов и гидроприводов, поршни и гильзы дизелей, цилиндры и головки дизелей, штампы для холодной вытяжки и др.)

Продолжение табл. 2.1

1	2
СЧ30	Ответственные, высоконагруженные детали, работающие при температуре до 300 °С и давлении до 8 МПа, с толщиной стенки 20...100 мм (цилиндры и крышки паровых машин, малые коленчатые валы, клапаны и кулачки распределительных механизмов, тяжелонагруженные зубчатые колеса, цепные звездочки и др.)
СЧ35	Наиболее ответственные, тяжелонагруженные литые детали с массивными стенками, работающие при больших нагрузках (крупные толстостенные втулки, крупные зубчатые колеса, крупные коленчатые валы, цепные звездочки, тормозные барабаны, муфты, диски сцепления, штампы, клапаны, поршневые кольца)
<i>Ковкий чугун (ГОСТ 1215-79)</i>	
КЧ 30-6	Малонагруженные детали (хомутики, муфты, пальцы, гайки, звенья малонагруженных цепей, вентили, глушители)
КЧ 33-8	Детали, работающие при умеренных статических и динамических нагрузках (собачки, держатели, коромысла, подкладки, фланцы, педали, колодки, кронштейны, гаечные ключи)
КЧ 35-10	Детали, эксплуатирующиеся при сложных переменных и ударных нагрузках, а также при изгибе (балансиры, тормозные колодки, тормозы, кронштейны, втулки, крюки, скобы, картеры)
КЧ 37-12	Детали, эксплуатирующиеся при высоких статических и динамических нагрузках (ступицы, дифференциалы, задние мосты)
КЧ45-7, КЧ50-5, КЧ55-4, КЧ60-3, КЧ65-3	Детали, эксплуатирующиеся при высоких статических и динамических нагрузках в условиях интенсивного изнашивания (коленчатые валы, вилки карданных валов, шестерни, червячные колеса, поршни, подшипники, звенья и ролики конвейерных цепей, втулки, муфты, тормозные колодки, звездочки, храповики)
<i>Высокопрочный чугун с шаровидным графитом (ГОСТ 7293-85)</i>	
ВЧ 50, ВЧ 60	Ответственные детали, испытывающие вибрационные нагрузки (корпусы, зубчатые колеса, шатуны, стаканы подшипников, диски ручных тормозов)
ВЧ 45, ВЧ 40	Детали, эксплуатирующиеся в условиях интенсивного изнашивания и испытывающие вибрационные нагрузки (корпусы и станины станков, гильзы, каретки, цилиндры, накладные направляющие станков, диски ручных тормозов)
<i>Легированный чугун (ГОСТ 7769-82)</i>	
ЧХ1	Детали повышенной коррозионной стойкости в газовой, воздушной и щелочной средах в условиях трения и износа, а также жаростойкие в воздушной среде при температурах эксплуатации до 500 °С (холодильные плиты доменных печей, колосники агломерационных машин, детали коксохимического оборудования, детали газотурбинных двигателей и компрессоров, кокили, выхлопные коллекторы дизелей)
ЧХ2, ЧХ3	Детали, жаростойкие при температурах эксплуатации 600...700 °С (детали турбокомпрессоров, стекломашин, термических печей)
ЧХ22, ЧХ28Д2	Детали, высокоустойчивые к абразивному износу и истиранию (детали горнодобывающего оборудования, установок непрерывной разливки стали, ковши, пескометы и дробометы)

Окончание табл. 2.1

1	2
ЧЮХШ, ЧЮ7Х2	Детали, жаростойкие в воздушной среде при температурах эксплуатации 650...750 °С, стойкие против истирания (пресс-формы, детали печного оборудования, ролики чистовых клетей листопрокатных станов)
ЧНХТ, ЧНХМД, ЧН2Х	Детали с высоким сопротивлением изнашиванию и коррозии в слабо-щелочных и газовых средах, в том числе в продуктах сгорания топлива и техническом кислороде (маслоты поршневых компрессионных и маслосъемных колец, седел, направляющих втулок клапанов дизелей и газомотокомпрессоров, блоки и головки цилиндров, выхлопные патрубки двигателей внутреннего сгорания, паровых машин и турбин, поршни и гильзы цилиндров паровых машин, тепловозных и судовых дизелей; детали кислородных и газовых мотокомпрессоров, дроссели, матрицы штамповочных прессов)
ЧНМШ	Детали, обладающие высокими механическими свойствами и термостойкостью при температурах до 500 °С (крышки и днища цилиндров дизелей, головки поршней, маслоты поршневых колец)

Стали. *Нелегированные стали* (15Л...50Л по ГОСТ 977-88) обладают низкой коррозионной стойкостью, удовлетворительной жидкотекучестью, не склонны к образованию трещин, хорошо свариваются, однако после сварки требуется отжиг. Применяются для изготовления несложных отливок в сварно-литых конструкциях, для станин прокатных станов, корпусов редукторов, муфт, для зубчатых колес, шайб и др. деталей, работающих при вибрационной и ударной нагрузках.

В тех случаях, когда по предъявляемым к отливкам требованиям нелегированная сталь оказывается неудовлетворительной, используют различные *легированные стали* (ГОСТ 977-88). Такие стали обладают большим пределом текучести, что позволяет допускать гораздо большие напряжения при работе литых деталей или применять для определенных условий работы более тонкостенные детали, имеющие меньшую массу. Весьма важным свойством является также и способность большинства легированных сталей обеспечивать одинаковую структуру и равномерные механические свойства по всему поперечному сечению отливок.

Особенностью *хладостойких литейных сталей* (ГОСТ 21357-87) является низкая допустимая концентрация серы и фосфора (до 0,02 % каждого). Отливки из хладостойкой износостойкой стали эксплуатируют при температуре до –60 °С. Область применения таких сталей приведена в табл. 2.2.

Табл. 2.2. Область применения литейных хладостойких сталей

Марка стали	Область применения
08Г2ДНФЛ	Крупногабаритные корпусные отливки; верхние части рам картеров, постели подшипников, детали экскаваторов большой грузоподъемности и др. свариваемые детали повышенной прочности
12ХГФЛ	Ответственные детали тракторов, сварно-литые несущие конструкции
20ГЛ, 20ФТЛ	Ответственные литые детали автосцепного устройства и тележки грузовых вагонов
14Х2ГМРЛ, 20ХГСФЛ, 25Х2НМЛ	Ответственные сварно-литые конструкции больших сечений карьерных и шагающих экскаваторов
35ХМФЛ, 35ХМЛ	Ответственные детали горнометаллургического оборудования
27ХН2МФЛ	Цельнолитые зубья и элементы их крепления (скобы, клинья) одноковшовых экскаваторов
30ГЛ, 30ХЛ	Корпусы поглощающих аппаратов грузовых вагонов
30ХГ2СТЛ	Башмаки гусеничных машин, ножи бульдозеров, рабочие органы шахтных машин, рычаги, зубчатые колеса
110Г13Л, 110Г13ХБРЛ	Зубья ковшей экскаваторов, гусеничные звенья, рабочие органы дробильного оборудования

Алюминиевые литейные сплавы. Сплавы алюминия с кремнием, медью, магнием, марганцем и др. компонентами (ГОСТ 2685-75) нашли широкое применение в машиностроении и приборостроении. Алюминиевые литейные сплавы обладают хорошими литейными свойствами, высокой удельной прочностью, малой плотностью. Удельная прочность (отношение прочности к плотности) алюминиевых сплавов с упрочняющими примесями (медь, магний) равна прочности стали. Они легко обрабатываются резанием и широко применяются для изготовления тонкостенных отливок деталей авиационных моторов, блоков и поршней автомобильных двигателей, деталей аппаратуры повышенной нагруженности и др.

Алюминиевые сплавы склонны к образованию усадочной пористости, устранение которой в отливках осуществляется установкой массивных прибылей, холодильников, а для ответственных отливок – кристаллизацией под давлением сжатого воздуха в автоклавах.

Отливки из алюминиевых сплавов изготавливают всеми известными способами литья. Около 80 % отливок получают литьем в металлические формы (в кокиль, под давлением, под низким давлением), остальные 20 % – литьем в формы одноразового использования (песчаные, оболочковые и др.).

Магниевого литейные сплавы. Магниевого сплавы (ГОСТ 2856-79) применяются там, где на первом месте стоит требование легкости. Они предназначены для изготовления высоконагруженных отливок, работающих в тяжелых атмосферных условиях. Из этих сплавов изготавливают колеса шасси самолетов, корпуса приборов, насосов, детали планера само-

лета и др. Недостатком магниевых сплавов является более низкая коррозионная стойкость по сравнению с алюминиевыми сплавами, они не устойчивы в морской воде, в среде органических и минеральных кислот. Магниевые сплавы успешно используются в конструкциях вертолетов и в ракетной технике.

Около 80 % отливок из магниевых сплавов изготавливают в металлических формах (в кокилях и под давлением) и около 20 % – в песчаных.

Медные литейные сплавы. Для изготовления фасонных отливок используют три группы медных сплавов: оловянные бронзы, безоловянные бронзы и латуни.

Оловянные бронзы (ГОСТ 613-79) применяют для литья заготовок, работающих в пресной и морской воде, в паровоздушных и масляных средах; бронзы с высоким содержанием свинца – для литья вкладышей подшипников.

Безоловянные бронзы (ГОСТ 493-79) подразделяют на четыре группы: алюминиевые, марганцевые, свинцовые и сурьмянистые.

Наиболее широко применяют алюминиевые бронзы для изготовления гребных винтов крупных судов, тяжелонагруженных шестерен и зубчатых колес, корпусов насосов.

Свинцовые бронзы используют для изготовления антифрикционных изделий: вкладышей подшипников дизельных двигателей, подшипников авиационных двигателей.

Сурьмянистые бронзы имеют высокие антифрикционные свойства и применяются в изделиях, работающих на истирание (фрикционные и зубчатые колеса).

Латуни (ГОСТ 17711-93) применяют для изготовления втулок сепараторов подшипников, работающих при ударных нагрузках, деталей для изделий тяжелого машиностроения и др.

При медленном охлаждении медные сплавы (кроме латуней и оловянных бронз с высоким содержанием олова) не склонны к образованию горячих трещин. При резком охлаждении они более подвержены трещинообразованию. По этой причине их почти не применяют для литья в кокиль и под давлением. Для создания направленной кристаллизации при литье в разовые формы широко используют холодильники. В целях борьбы с пригаром в смеси для форм вводят до 2 % мазута. Для этой же цели на рабочую поверхность высушенных форм наносят графитовые покрытия. Мелкие и сложные отливки из медных сплавов изготавливают в оболочковых формах и литьем по выплавляемым моделям.

Никелевые литейные сплавы по назначению подразделяют на жаропрочные, жаростойкие, коррозионно-стойкие и со специальными свойствами.

Жаропрочные сплавы обладают высокими механическими свойствами и, в частности, длительной прочностью при повышенных температурах.

Их широко используют в газотурбинных двигателях. Из жаропрочных сплавов изготавливают рабочие лопатки газовых турбин и цельнолитые роторы с лопатками, сопловые лопатки и др. детали, работающие при температурах 900...1100 °С.

Основой многих *жаростойких сплавов* является система Ni–Cr (15...22 % Cr). *Жаростойкие никелевые сплавы* используются для отливок арматуры печей и другого оборудования, деталей камер сгорания, чехлов термопар для работы при температурах 850...1100 °С без высоких нагрузок.

К *коррозионно-стойким* относятся сплавы в основном системы Ni–Cu (28...40 % Cu). Отливки из этих сплавов применяют для изготовления корпусов и рабочих колес насосов, клапанов, кранов и др. деталей в химическом машиностроении, нефтяной промышленности и судостроении.

К *никелевым литейным сплавам со специальными свойствами* относятся магнитные сплавы, имеющие очень высокую начальную магнитную проницаемость (примерно в 10 раз выше, чем у технического железа). Отливки из данных сплавов используются в приборах, работающих в слабых полях (радио, телефон, телеграф).

Отливки из большей части никелевых сплавов изготавливают литьем по выплавляемым моделям.

Цинковые литейные сплавы (ГОСТ 21437-95). Главные преимущества цинковых сплавов – это их хорошие литейные свойства, легкоплавкость и сравнительно низкая стоимость. Отливки из цинковых сплавов, изготовленные способом литья под давлением, находят широкое применение в приборостроении, автомобильной промышленности, электропромышленности и т. п.

Сплавы на основе титана (ГОСТ 19807-91). Технический титан, благодаря высокому сопротивлению коррозии, является прекрасным материалом для химического машиностроения, приборостроения, судостроения. Его используют для изготовления деталей насосов, перекачивающих агрессивные жидкости, теплообменников и т. д.

Изделия из титановых сплавов хорошо работают при отрицательных температурах, вплоть до температуры жидкого азота.

Так как в процессе охлаждения поверхность титана может загрязняться вследствие реакции с материалом формы, то для изготовления отливок из титана и его сплавов песчаные формы не пригодны. Отливки с чистой поверхностью можно изготавливать в массивных и тонкостенных медных водоохлаждаемых формах, однако их использование ограничено высокой стоимостью и невозможностью изготовления отливок сложной конфигурации. Удовлетворительным материалом для изготовления форм выступает плотный графит. Графитовые формы можно использовать несколько раз, но их стоимость достаточно высока. Более дешевыми являются оболочковые формы из смеси высокоогнеупорных нейтральных оксидов или графитового порошка с фенолформальдегидной смолой.

Сплавы на основе ниобия. Отливки из ниобия и его сплавов используют при высокой температуре, например для деталей турбин, работающих при 1100...1400 °С. Высокие жаропрочность и жаростойкость ниобия и его сплавов, несмотря на большие технологические трудности, делают их перспективными для изготовления изделий, работающих в особо тяжелых условиях. Литые изделия из ниобия и его сплавов изготавливают только специальными способами.

2.2. Литейные свойства сплавов

Не все сплавы в одинаковой степени пригодны для изготовления отливок. Возможность получения качественных тонкостенных отливок, сложных по форме или больших по размерам, без раковин, трещин, пригара и других литейных дефектов предопределяется литейными свойствами сплавов.

Литейные свойства сплавов проявляются в жидком состоянии, при затвердевании, в жидко-твердом, твердо-жидком и твердом состояниях.

Номенклатура литейных свойств в зависимости от уровня производства сплавов и общего развития техники может со временем меняться. К основным литейным свойствам относятся следующие:

- жидкотекучесть;
- склонность к поглощению газов и образованию по этой причине дефектов в отливках;
- склонность к образованию неметаллических включений;
- усадка и склонность к образованию усадочных раковин и пор;
- склонность к ликвации;
- склонность к образованию литейных напряжений и трещин.

К литейным свойствам относят также технологические свойства металлов и сплавов, которые прямо и непосредственно влияют на получение отливок заданной конфигурации, нужных эксплуатационных показателей, с поверхностями требуемой шероховатости и точности размеров.

Значение литейных свойств очень велико и должно быть учтено в следующих случаях:

- 1) при разработке новых сплавов; следует останавливаться на композициях, обеспечивающих наиболее благоприятное сочетание рабочих (механических, физических и др.) и литейных свойств;
- 2) в процессе проектирования и изготовления отливки; надежность и долговечность изделий в значительной степени предопределяются литейными свойствами используемого для их изготовления сплава;
- 3) во время разработки технологического процесса изготовления отливок; во всех случаях при прочих равных условиях следует отдавать предпочтение сплавам с лучшими литейными свойствами.

Жидкотекучесть проявляется в способности металлов и сплавов в жидком состоянии заполнять полости литейной формы и четко воспроизводить все контуры отливки. Она зависит от многих физических и физико-химических свойств сплава.

Хорошая жидкотекучесть важна при проведении комплекса мероприятий для получения плотных качественных отливок (улучшает условия вывода за пределы отливки усадочных раковин, уменьшает опасность образования всех видов пористости, трещин и т. д.).

Наличие в металлах и сплавах примесей может в одних случаях ухудшать жидкотекучесть, а в других – улучшать ее. Модифицирование иногда значительно улучшает жидкотекучесть, а иногда уменьшает ее (например, у сплавов системы Al–Si). Присутствие в алюминии незначительного количества железа, кремния и титана заметно ухудшает его жидкотекучесть. Во всех сплавах легкоплавкие эвтектики улучшают жидкотекучесть.

Жидкотекучесть связана и со степенью переохлаждения. При заливке в металлические формы заэвтектических алюминиевых сплавов наблюдается большая жидкотекучесть, чем у эвтектических.

Способность сплавов заполнять полости формы связана и с поверхностным натяжением. Чем больше поверхностное натяжение, тем меньшей жидкотекучестью обладает сплав. Жидкотекучесть зависит также и от характера движения потока. При турбулентном движении она будет меньшей, чем при ламинарном.

Газы в литейных сплавах в одних случаях являются вреднейшими примесями, а в других используются для получения высококачественных плотных отливок и даже для улучшения ряда свойств (например, прочности, твердости, жаропрочности и др.). В металлах и сплавах газообразные элементы могут присутствовать в следующих видах:

- газовых включений (раковин и сферических пузырей);
- твердых химических соединений с элементами, входящими в состав сплава (окислов, нитридов, гидридов и др.);
- жидких и твердых растворов, в этом случае атомы газообразных элементов могут располагаться между атомами основного металла или войти (внедриться) в его кристаллическую решетку;
- тонких слоев, адсорбированных на поверхности металла или сплава, например, в чугунах адсорбция газов может происходить на поверхности графитовых включений, расположенных в толще металлической матрицы.

Неметаллические включения в затвердевшем сплаве являются телами, нарушающими сплошность и единообразие его структуры. Твердые неметаллические включения часто имеют острые углы и края, в которых образуются значительные концентрации напряжений. Тугоплавкие для данного сплава включения, температура плавления которых превышает температуру плавления данного сплава, обычно располагаются внутри

кристаллов. Легкоплавкие включения входят в эвтектические «сетки» и размещаются по границам зерен, часто вызывая хрупкость или краснотомкость. Неметаллические включения могут неблагоприятно сказаться и на процессах вторичной кристаллизации.

Усадка. Общее уменьшение объема и размеров отливок при охлаждении называется усадкой. В течение нескольких секунд на всей поверхности отливки образуется мелкозернистая корочка, постепенно увеличивающаяся по толщине. В связи с этим дальнейшее охлаждение отливки, а также ее затвердевание происходят внутри оболочки почти без контакта с окружающей атмосферой. Вследствие уменьшения объема в отливках из ряда сплавов образуются полости (усадочные раковины или рыхлоты). Некоторые сплавы (например, серый чугун) при затвердевании увеличиваются в объеме, т. к. наблюдается выделение графита, имеющего меньшую плотность и больший удельный объем, чем исходный сплав. Дальнейшее уменьшение объема и размеров отливок из всех сплавов происходит при последующем их охлаждении в твердом состоянии.

В литейном производстве различают объемную и линейную усадку. Под объемной усадкой подразумевают разницу между объемом жидкого сплава, заполнившего полость формы, и объемом отливки после ее полного охлаждения. Линейной усадкой называют разницу линейных размеров полости формы и охлажденной отливки. Для удобства усадку обычно выражают в процентах по отношению к первоначальному объему жидкого сплава (объемная усадка) или первоначальным размерам в полости формы (линейная усадка). Можно считать, что для ряда сплавов объемная усадка приблизительно в три раза больше линейной (табл. 2.3).

Табл. 2.3. Примерные значения усадки сплавов [36]

Группа сплава	Усадка, %	
	линейная	объемная
1	2	3
Сталь:		
низкоуглеродистая и низколегированная	1,8...2,0	2,6...4,5
хромоникелевая	2,5...2,8	2,6...4,5
высокомарганцовая	2,8...3,0	2,8...5,0
Чугун:		
серый	0,9...1,3	1,8...3,6
белый	1,6...2,3	2,2...4,0
высокопрочный	1,5...1,8	2,0...3,2
Сплавы цветных металлов:		
оловянные бронзы	1,4...1,6	2,5...6,5
безоловянные бронзы	1,7...2,3	3,0...3,4
кремнистая латунь	1,6...1,8	2,2...3,6
марганцовая латунь	2,0...2,3	2,8...4,6

Окончание табл. 2.3

1	2	3
алюминиево-магниевого	1,2...1,3	4,7
алюминиево-кремниевые	0,9...1,2	3,2...3,4
алюминиево-медные	1,3...1,5	4,5...4,9
магниевого	1,5...1,9	3,8
титановые	0,9...1,1	2,6...3,1

Уменьшению усадочных раковин и рыхлости способствуют понижение температуры и скорости заливки, увеличение скорости охлаждения отливки при ее затвердевании, меньшая толщина стенок, применение металлических форм и т. д.

Ликвацией называется неоднородность по химическому составу как в отдельных частях отливки (зональная ликвация), так и в отдельных кристаллитах сплава (внутрикристаллитная ликвация); кроме того, она может иметь место при значительно разной плотности составляющих сплава (ликвация по плотности). Ликвация – крайне нежелательное явление в отливках, т. к. она может привести к понижению их свойств.

Внутренние литейные напряжения. К литейным напряжениям относятся те напряжения, которые вызываются в отливке затрудненной усадкой (усадочные напряжения), неодинаковым охлаждением ее отдельных частей (тепловые напряжения) и изменением кристаллического строения отливки (фазовые напряжения).

Охлаждение отдельных частей отливки происходит неодинаково: сразу после заливки охлаждаются быстрее тонкие части и медленнее толстые, затем тонкие части усиливают отвод теплоты от толстых частей и тем самым ускоряют их охлаждение. Поэтому между отдельными частями отливки при их неравномерном охлаждении возникают тепловые напряжения. В некоторых сплавах в процессе охлаждения изменяются их структура и размеры отдельных зерен, что вызывает увеличение или уменьшение объема отливок, так называемые фазовые превращения, совершающиеся в толстых и тонких частях в разное время. Такие фазовые превращения наблюдаются, например, в структуре стали многих марок. Все это вызывает литейные напряжения в отливках, приводящие к следующим явлениям:

- 1) если напряжения меньше предела текучести сплава, то в отливках останутся внутренние напряжения, которые могут усилиться напряжениями, получающимися при последующей обработке или эксплуатации;
- 2) если напряжение больше предела текучести, но меньше предела прочности сплава, то произойдет искривление (коробление) отливки;
- 3) если напряжение больше предела прочности сплава, то в отливке образуются трещины, что может привести к ее разрушению.

Контрольные вопросы

1. Классификация литейных сплавов, применяемых в машиностроении.
2. Отличие стали от чугуна.
3. Основные литейные свойства сплавов.
4. Влияние литейных свойств сплавов на качество получаемых отливок.

3. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

3.1. Классификация способов литья

Процесс изготовления формы является наиболее трудоемким и качество изготовленных форм в значительной степени влияет на качество изготавливаемых в них отливок. Основные способы литья, применяемые в настоящее время, можно представить в виде классификации, базирующейся на признаке используемой при заливке формы (рис. 3.1).

Возможно использование и других признаков: материал отливки, способ формовки, вид модельной оснастки и др.



Рис. 3.1. Классификация способов литья

Тип производства определяется в зависимости от массы отливки и годовой программы выпуска (табл. 3.1) [13].

Табл. 3.1. Годовой выпуск отливок (шт) при различных типах производства

Масса отливки, кг	Производство				
	единичное	мелкосерийное	среднесерийное	крупносерийное	массовое
1	2	3	4	5	6
До 20	До 300	300...3000	3000...35000	35000...200000	Св. 200000
Св. 20 до 100	До 150	150...2000	2000...15000	15000...100000	Св. 100000
Св. 100 до 500	До 75	75...1000	1000...6000	6000...40000	Св. 40000

Окончание табл. 3.1

1	2	3	4	5	6
Св. 500 до 1000	До 50	50...600	600...3000	3000...20000	Св. 20000
Св. 1000 до 5000	До 20	20...100	100...300	300...4000	Св. 4000
Св. 5000 до 10000	До 10	10...50	50...150	150...1000	Св. 1000
Св. 10000	До 5	5...25	25...75	Св. 75	—

3.2. Технологические возможности способов литья, область применения

Технологические возможности способа литья определяются классом размерной точности отливки, степенью коробления, степенью точности поверхностей, классом точности массы и др. параметрами (табл. 3.4–3.7).

В соответствии с ГОСТ 26645-85 для отливок различных способов установлены: 16 классов размерной точности (табл. 3.2), 22 степени точности, 11 степеней коробления отливки, 16 классов точности массы (табл. 3.3).

Табл. 3.2. Классы размерной точности отливок (ГОСТ 26645-85) [47]

Способ литья	Наибольший габаритный размер отливки, мм	Класс размерной точности отливки из сплавов			
		цветных легких не-термообрабатываемых	нетермообрабатываемых черных и цветных тугоплавких и термообрабатываемых цветных легких	термообрабатываемых чугунов и цветных тугоплавких	термообрабатываемых сталей
1	2	3	4	5	6
Литье по выжигаемым моделям с применением кварцевых огнеупорных материалов	До 100 100...250 250...630	3...7 4...8 5т...9т	4...8 5т...9т 5...9	5т...9т 5...9 6...10	5...9 6...10 7т...11т
Литье по выплавляемым моделям с применением кварцевых огнеупорных материалов	До 100 100...250 250...630	4...8 5т...9т 5...9	5т...9т 5...9 6...10	5...9 6...10 7т...11т	6...10 7т...11т 7...11
Литье под низким давлением и в кокиль без песчаных стержней	До 100 100...250 250...630 630...1600 1600...4000	5т...9т 5...9 6...10 7т...11т 7...11	5...9 6...10 7т...11т 7...11 8...12	6...10 7т...11т 7...11 8...12 9т...13т	7т...11т 7...11 8...12 9т...13т 9...13

Продолжение табл. 3.2

1	2	3	4	5	6
Литье в песчано-глинистые сырые формы из низковлажных (до 2,8 %) высокопрочных (более 160 кПа) смесей, с высоким и однородным уплотнением до твердости не ниже 90 ед.	До 100 100...250 250...630 630...1600 1600...4000 4000...10000	5...10 6...11т 7...11 7...12 8...13т 9т...13	6...11т 7...11 7...12 8...13т 9т...13 9...13	7т...11 7...12 8...13т 9т...13 9...13 10...14	7...12 8...13т 9т...13 9...13 10...14 11т...14
Литье по газифицированным моделям в песчаные формы. Литье в формы, отверждаемые в контакте с холодной оснасткой. Литье под низким давлением и в кокиль с песчаными стержнями. Литье в облицованный кокиль	До 100 100...250 250...630 630...1600 1600...4000 4000...10000	5...10 6...11т 7...11 7...12 8...13т 9т...13	6...11т 7...11 7...12 8...13т 9т...13 9...13	7т...11 7...12 8...13т 9т...13 9...13 10...14	7...12 8...13т 9т...13 9...13 10...14 11т...14
Литье под давлением в металлические формы и по выжигаемым моделям с применением малотерморасширяющихся огнеупорных материалов	До 100 100...250 250...630	3т...6 3...7т 4...7	3...7т 4...7 5т...8	4...7 5т...8 5...9т	5т...8 5...9т 6...9
Литье в песчано-глинистые сырые формы из смесей с влажностью 2,8...3,5 % и прочностью 120...160 кПа, со средним уровнем уплотнения до твердости не ниже 80 ед. Литье центробежное (внутренние поверхности)	До 100 100...250 250...630 630...1600 1600...4000 4000...10000	6...11т 7т...11 7...12 8...13т 9т...13 9...13	7т...11 7...12 8...13т 9т...13 9...13 10...14	7...12 8...13т 9т...13 9...13 10...14 11т...14	8...13т 9т...13 9...13 10...14 11т...14 11...15

Окончание табл. 3.2

1	2	3	4	5	6
Литье в формы, отверждаемые в контакте с горячей оснасткой. Литье в вакуумно-пленочные песчаные формы	До 100	6...11т	7т...11	7...12	8...13т
	100...250	7т...11	7...12	8...13т	9т...13
	250...630	7...12	8...13т	9т...13	9...13
	630...1600	8...13т	9т...13	9...13	10...14
	1600...4000	9т...13	9...13	10...14	11т...14
	4000...10000	9...13	10...14	11т...14	11...15
Литье в песчано-глинистые сырые формы из смесей с влажностью 3,5...4,5 % и прочностью 60...120 кПа, со средним уровнем уплотнения до твердости не ниже 70 ед.	До 100	7т...11	7...12	8...13т	9т...13
	100...250	7...12	8...13т	9т...13	9...13
	250...630	8...13т	9т...13	9...13	10...14
	630...1600	9т...13	9...13	10...14	11т...14
	1600...4000	9...13	10...14	11т...14	11...15
	4000...10000	10...14	11т...14	11...15	12...15
Литье в оболочковые формы из терморезистивных смесей. Литье в формы, отверждаемые вне контакта с оснасткой без тепловой сушки. Литье в формы из жидких самотвердеющих смесей. Литье в песчано-глинистые подсушенные и сухие формы	До 100	7т...11	7...12	8...13т	9т...13
	100...250	7...12	8...13т	9т...13	9...13
	250...630	8...13т	9т...13	9...13	10...14
	630...1600	9т...13	9...13	10...14	11т...14
	1600...4000	9...13	10...14	11т...14	11...15
	4000...10000	10...14	11т...14	11...15	12...15
Литье в песчано-глинистые сырые формы из высоковлажных (более 4,5 %) низкопрочных (до 60 кПа) смесей, с низким уровнем уплотнения до твердости ниже 70 ед.	До 100	7...12	8...13т	9т...13	9...13
	100...250	8...13т	9т...13	9...13	10...14
	250...630	9т...13	9...13	10...14	11т...14
	630...1600	9...13	10...14	11т...14	11...15
	1600...4000	10...14	11т...14	11...15	12...15
	4000...10000	11т...14	11...15	12...15	13т...16
	Св. 10000	11...15	12...15	13т...16	13...16

Примечание. К цветным легкоплавким сплавам отнесены сплавы с температурой плавления ниже 700 °С, к цветным тугоплавким – сплавы с температурой плавления выше 700 °С. К легким отнесены сплавы с плотностью до 3,0 г/см³, к тяжелым – сплавы с плотностью свыше 3,0 г/см³.

Табл. 3.3. Классы точности массы отливок (ГОСТ 26645-85) [47]

Способ литья	Номинальная масса отливки, кг	Класс точности массы отливок из сплавов			
		цветных легких нетермообрабатываемых	нетермообрабатываемых черных и цветных тугоплавких и термообрабатываемых цветных легких	термообрабатываемых чугунов и цветных тугоплавких	термообрабатываемых сталей
1	2	3	4	5	6
Литье по выжигаемым моделям с применением кварцевых огнеупорных материалов	До 1,0 1,0...10 10...100	2...9т 3т...9 3...10	3т...9 3...10 4...11т	3...10 4...11т 5т...11	4...11т 5т...11 5...12
Литье по выплавляемым моделям с применением кварцевых огнеупорных материалов	До 1,0 1,0...10 10...100	3т...9 3...10 4...11т	3...10 4...11т 5т...11	4...11т 5т...11 5...12	5т...11 5...12 6...13т
Литье под низким давлением и в кокиль без песчаных стержней	До 1,0 1,0...10 10...100 100...1000 1000...10000	3...10 4...11т 5т...11 5...12 6...13т	4...11т 5т...11 5...12 6...13т 7т...13	5т...11 5...12 6...13т 7т...13 7...14	5...12 6...13т 7т...13 7...14 8...15
Литье в песчаноглинистые сырые формы из низковлажных (до 2,8 %) высокопрочных (более 160 кПа) смесей, с высоким и однородным уплотнением до твердости не ниже 90 ед.	До 1,0 1,0...10 10...100 100...1000 1000...10000	4...11 5т...12 5...13т 6...13 7т...14	5т...12 5...13т 6...13 7т...14 7...15	5...13т 6...13 7т...14 7...15 8...15	6...13 7т...14 7...15 8...15 9т...16
Литье по газифицированным моделям в песчаные формы. Литье в формы, отверждаемые в контакте с холодной оснасткой. Литье под низким давлением и в кокиль с песчаными стержнями. Литье в облицованный кокиль	До 1,0 1,0...10 10...100 100...1000 1000...10000	4...11 5т...12 5...13т 6...13 7т...14	5т...12 5...13т 6...13 7т...14 7...15	5...13т 6...13 7т...14 7...15 8...15	6...13 7т...14 7...15 8...15 9т...16

Продолжение табл. 3.3

1	2	3	4	5	6
Литье под давлением в металлические формы и по выжигаемым моделям с применением малотерморасширяющихся огнеупорных материалов	До 1,0 1,0...10 10...100	1...7 2...8 3т...9т	2...8 3т...9т 3...9	3т...9т 3...9 4...10	3...9 4...10 5т...11т
Литье в песчано-глинистые сырые формы из смесей с влажностью 2,8...3,5 % и прочностью 120...160 кПа, со средним уровнем уплотнения до твердости не ниже 80 ед. Литье центробежное (внутренние поверхности). Литье в вакуумно-пленочные песчаные формы	До 1,0 1,0...10 10...100 100...1000 1000...10000	5т...12 5...13т 6...13 7т...14 7...15	5...13т 6...13 7т...14 7...15 8...15	6...13 7т...14 7...15 8...15 9т...16	7т...14 7...15 8...15 9т...16 9...16
Литье в песчано-глинистые сырые формы из смесей с влажностью 3,5...4,5 % и прочностью 60...120 кПа, со средним уровнем уплотнения до твердости не ниже 70 ед.	До 1,0 1,0...10 10...100 100...1000 1000...10000	5...13т 6...13 7т...14 7...15 8...15	6...13 7т...14 7...15 8...15 9т...16	7т...14 7...15 8...15 9т...16 9...16	7...15 8...15 9т...16 9...16 10...16
Литье в оболочковые формы из термореактивных смесей. Литье в формы, отверждаемые вне контакта с оснасткой без тепловой сушки. Литье в формы из жидких самотвердеющих смесей. Литье в песчано-глинистые подсушенные и сухие формы	До 1,0 1,0...10 10...100 100...1000 1000...10000	5...13т 6...13 7т...14 7...15 8...15	6...13 7т...14 7...15 8...15 9т...16	7т...14 7...15 8...15 9т...16 9...16	7...15 8...15 9т...16 9...16 10...16

Окончание табл. 3.3

1	2	3	4	5	6
Литье в песчано-глинистые сырые формы из высоко-влажных (более 4,5 %) низкопрочных (до 60 кПа) смесей, с низким уровнем уплотнения до твердости ниже 70 ед.	До 1,0 1,0...10 10...100 100...1000 1000...10000	6...13 7т...14 7...15 8...15 9т...16	7т...14 7...15 8...15 9т...16 9...16	7...15 8...15 9т...16 9...16 10...16	8...15 9т...16 9...16 10...16 11т...16

Примечание. К цветным легкоплавким сплавам отнесены сплавы с температурой плавления ниже 700 °С, к цветным тугоплавким – сплавы с температурой плавления выше 700 °С. К легким отнесены сплавы с плотностью до 3,0 г/см³, к тяжелым – сплавы с плотностью свыше 3,0 г/см³.

Табл. 3.4. Характеристика отливок по качеству точности и шероховатости

Способ литья	Максимальный размер отливки, мм	Квалитет точности	Параметр шероховатости Rz, мкм, поверхности отливок из сплавов				
			алюминиевых и магниевых	цинковых	бронзы и латуни	стали	чугуна
Под давлением	До 500	12...14	До 20	До 20	До 40	–	–
В кокиль		12...15	20...160	20...120	40...320	–	–
По выплавляемым моделям	До 100	12...15	10...80	10...40	20...80	10	–
	Св. 100 до 200		10...80	10...80	20...80	10...40	
	Св. 200 до 500		10...80	–	20...80	20...40	
В оболочковые формы	До 200	14	40...160	–	80...320	80...320	10...80
	Св. 200 до 700		40...160		80...320	80...320	20...160
В песчаные формы при формовке: ручной	До 800 Св. 800 до 1500	15...17	80...320 160...320	–	160...630 320...1000	–	–
машинной	До 200 Св. 200 до 700	14...17	40...160 80...320	–	80...320 160...450	160...320 160...320	40...320 80...320
встряхиванием	Св. 70 до 1200	14...17	160...450	–	160...630	160...320	160...320
вакуум-плечной	150–800 Св. 800 до 1200	15	40...80 40...160		40...120 40...160	–	–

Табл. 3.5. Предельные отклонения смещения элементов отливок по плоскости разъема [47]

Расстояние между центрирующими устройствами, мм	Предельные отклонения смещения, $\pm$ мм, не более, для классов точности размеров отливки									
	1...3	4...5т	5...6	7т...7	8...9т	9...10	11т...11	12...13т	13...14	15...16
До 630	0,24	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0
630...1600	0,30	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4
1600...4000	0,40	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0
Св. 4000	0,50	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0

Табл. 3.6. Предельные отклонения коробления элементов отливок [47]

Интервалы наибольших габаритных размеров отливки, мм	Предельные отклонения коробления, $\pm$ мм, не более, для степеней коробления отливок									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
До 100	—	—	—	—	—	0,10	0,16	0,24	0,4	0,6
100...160	—	—	—	—	0,10	0,16	0,24	0,40	0,6	1,0
160...240	—	—	—	0,10	0,16	0,24	0,40	0,60	1,0	1,6
240...400	—	—	0,10	0,16	0,24	0,40	0,60	1,00	1,6	2,4
400...630	—	0,10	0,16	0,24	0,40	0,60	1,00	1,60	2,4	4,0
630...1000	0,10	0,16	0,24	0,40	0,60	1,00	1,60	2,40	4,0	6,0
1000...1600	0,16	0,24	0,40	0,60	1,00	1,60	2,40	4,00	6,0	10,0
1600...2400	0,24	0,40	0,60	1,00	1,60	2,40	4,00	6,00	10,0	16,0
2400...4000	—	0,60	1,00	1,60	2,40	4,00	6,00	10,00	16,0	24,0
4000...6300	—	—	1,60	2,40	4,00	6,00	10,00	16,00	24,0	40,0
6300...10000	—	—	—	4,00	6,00	10,00	16,00	24,00	40,0	60,0

Примечания

1. При отношении наименьшего габаритного размера элемента отливки к наибольшему свыше 0,20 назначается степень коробления 1...7, при 0,20...0,10 – 2...8, при 0,10...0,05 – 3...9, при отношении до 0,05 – 4...10.

2. Меньшие значения степеней коробления относятся к простым отливкам из легких цветных сплавов; большие – к сложным, термообработываемым отливкам из черных сплавов.

Табл. 3.7. Допуски линейных размеров отливок [47]

Номиналь- ный раз- мер, мм	Допуски размеров отливок, мм, не более, для классов точности размеров																						
	1	2	3г	3	4	5г	5	6	7г	7	8	9г	9	10	11г	11	12	13г	13	14	15	16	
До 4	0,06	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	—	—	—	—	—	—	
4...6	0,07	0,09	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,9	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	—	—	—	—	—	
7...10	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	—	—	—	
11...16	0,09	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7	—	—	
17...25	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8	10	12	
26...40	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9	11	14	
41...63	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10	12	16	
64...100	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11	14	18	
101...160	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12	16	20	
161...250	—	—	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	1,80	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14	18	22	
251...400	—	—	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16	20	24	
401...630	—	—	—	—	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	1,80	2,20	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18	22	28	
631...1000	—	—	—	—	—	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20	24	32	
1001...1600	—	—	—	—	—	—	—	1,40	1,80	2,20	2,80	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18,0	22	28	36	
16001...2500	—	—	—	—	—	—	—	—	2,00	2,40	3,20	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24	32	40	
2501...4000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,20	3,60	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18,0	22,0	28	36	50	
4001...6300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32	40	44	
6301...10000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	40	50	64	

Достижение конкретного класса точности размеров связано не только с качеством точности размеров деталей, получаемых механической обработкой, но и с типом производства (массовое, серийное, единичное), а также сложностью формы отливки.

Классы точности размеров отливок по ГОСТ 26645-85 соответствуют качествам точности по ГОСТ 25346-82. Шероховатость поверхностей отливок зависит от достигаемой их степени точности (ГОСТ 26645-85). С повышением численного значения степени точности отливки высота микронеровностей становится больше. Так, для литья в песчаные формы степень точности для отливок из различных материалов находится в пределах 7...22, что соответствует шероховатости $Ra = 8...100$ мкм. Для отливок, полученных специальными способами литья, например литьем под давлением (2 степень точности), шероховатость поверхности $Ra \geq 2$ мкм.

Специальные способы литья применяют в массовом, серийном и опытном производстве (табл. 3.8 и 3.9), технологичность способов представлена в табл. 3.10 и 3.11.

Качеству точности размеров заготовок после механической обработки IT 8, IT 9 соответствуют по ГОСТ 26645-85 классы точности размеров литой заготовки 1...3т, а для IT 10-IT 13 – классы точности размеров отливок 9...16.

Табл. 3.8. Способы изготовления отливок, область применения [13]

Способ литья	Материал	Масса отливки, т	Область применения и особенность способа
В песчаные формы	Стали, чугуны, цветные металлы и сплавы	До 200	Отливки тел вращения, станины, корпуса машин, головки и блоки цилиндров ДВС
Под давлением	Стали, магниевые, алюминиевые, цинковые и свинцово-оловянные сплавы	До 0,1	Тройники, детали приборов, бытовой техники, блок ДВС
В металлические формы	Стали, чугуны, цветные металлы и сплавы	До 7	Фасонные отливки (поршни, коробки подач, корпуса)
По выплавляемым, выжигаемым, растворяемым, замораживаемым моделям	Высоколегированные стали и сплавы, титан	До 15	Лопатки турбин, клапаны, шестерни, режущий инструмент, тонкостенные отливки $s = 0,8$ мм, диаметр отверстия до 1 мм
В оболочковые формы	Стали, чугуны, цветные сплавы	До 40	Ответственные фасонные мелкие и средние отливки, точные отливки с низкой шероховатостью, станины молотов

Табл. 3.9. Классификация отливок по назначению [13]

Группа	Назначение	Характеристика
1	Отливки неответственного назначения	Отливки деталей, не испытываемых на прочность
2	Отливки ответственного назначения	Отливки деталей, испытываемых на прочность, работающих при статических нагрузках, а также в условиях трения скольжения
3	Отливки особо ответственного назначения	Отливки деталей, испытываемых на прочность и работающих в условиях динамических и знакопеременных нагрузок

Табл. 3.10. Использование материала при различных способах литья [13]

Способ литья	Коэффициент		
	выхода годного	массовой точности	использования материала
В песчаные формы	0,3...0,5	0,6...0,7	0,2...0,35
В оболочковые формы	0,5...0,6	0,85...0,9	0,4...0,55
В металлические формы (кокиль)	0,4...0,5	0,7...0,75	0,30...0,40
По выплавляемым моделям	0,6...0,8	0,85...0,90	0,50...0,75
Под давлением	0,6...0,8	0,95...0,98	0,60...0,80
Центробежное	0,4...0,5	0,7...0,8	0,30...0,40
Средние значения	0,45...0,65	0,8...0,85	0,40...0,60

3.3. Сравнительная оценка показателей способов литья

Сравнительная оценка технологических возможностей основных способов литья представлена в табл. 3.11.

Табл. 3.11. Сравнительная оценка технологических возможностей основных способов литья [31]

Технико-экономический показатель	Способ литья			
	в песчано-глинистые формы	в оболочковые формы	под давлением	в кокиль
1	2	3	4	5
Неограниченность размеров отливки	1	3	5	2
Влияние конфигурации отливки	2	3	5	4
Возможность применения различных сплавов	1	2	5	4
Стоимость оснастки	1	3	5	4

Окончание табл. 3.11

1	2	3	4	5
Продолжительность освоения технологии	1	4	5	2
Наименьшая экономичная партия	1	3	5	4
Производительность	4	3	1	2
Возрастание экономичности с увеличением партии	4	3	1	2
Шероховатость поверхностей отливки	5	3	1	4
Тонкостенность отливок	4	3	1	5
Величина припусков на механическую обработку	5	3	1	3
Возможность механизации и автоматизации	5	4	1	1

Примечание. Чем выше эффективность, тем меньше коэффициент.

Контрольные вопросы

1. Классификация основных способов литья по виду литейных форм.
2. Основные параметры, характеризующие способы литья по ГОСТ 26645-85.
3. Область применения различных способов литья.
4. Сравнительная оценка технологических возможностей основных способов литья.

4. ЛИТЬЕ В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫЕ ФОРМЫ

4.1. Основные параметры. Этапы проектирования технологии

Технологическая универсальность литья в песчано-глинистые формы (ПГФ) обуславливает его экономическую целесообразность для единичного, серийного и массового производства.

Данным способом изготавливают до 60 % от всего количества литых заготовок. Точность отливок – 14...20 квалитеты, шероховатость поверхности $Rz = 40 \dots 400$ мкм. Допускаемые отклонения при изготовлении отливок регламентируются ГОСТ 26645-85. Максимальный коэффициент массовой точности составляет 0,71; выхода годного металла – 0,3...0,5.

Процесс проектирования технологии изготовления отливок включает в себя несколько этапов:

- 1) на чертеж детали наносят контуры модели и соответствующие литейные указания;
- 2) разрабатывают технологическую карту, в которую записывают последовательность выполнения операций и способ изготовления отливки, приводят перечень указаний по изготовлению модельного комплекта, стержневых ящиков, изготовлению формы и стержней, заливке металла, выбивке отливки из формы, очистке, термообработке и контролю;
- 3) выполняют чертеж (или эскиз) собранной формы со всеми необходимыми сечениями и размерами.

Процесс изготовления отливок состоит из этапов: изготовление моделей и стержневых ящиков; приготовление формовочных и стержневых смесей; изготовление форм и стержней; сборка и заливка форм; выбивка отливок из форм; очистка и обрубка отливок; термообработка.

Изменяя способ формовки, изготавливают отливки необходимой точности, шероховатости, причем важную роль при этом отводят качеству наполнительных материалов и составу формовочных смесей.

4.2. Способы формовки и оборудование

Формовка – процесс изготовления литейных форм из формовочных материалов. В общем случае считается, что форма служит для образования наружных очертаний, а стержень – внутренних полостей отливки. На практике такое разделение не всегда соблюдается, т. е. для некоторых отливок возможно, например, выполнение внутренних полостей формой, а наружных поверхностей – стержнями.

При формовке осуществляют следующие технологические операции:

- уплотнение смеси, позволяющее получить точный отпечаток модели в форме и придать ей необходимую прочность в сочетании с податливостью, газопроницаемостью и др. свойствами;
- устройство в форме вентиляционных каналов, облегчающих выход из полости формы образующихся при заливке газов;
- извлечение модели из формы;
- отделку и сборку формы, включая установку стержней и литниковой системы.

В зависимости от степени механизации формовка может производиться вручную, на специальных формовочных машинах или на автоматических линиях.

Ручная формовка. Существует несколько основных способов ручной формовки: формовка в почве, формовка в опоках (рис. 4.1).

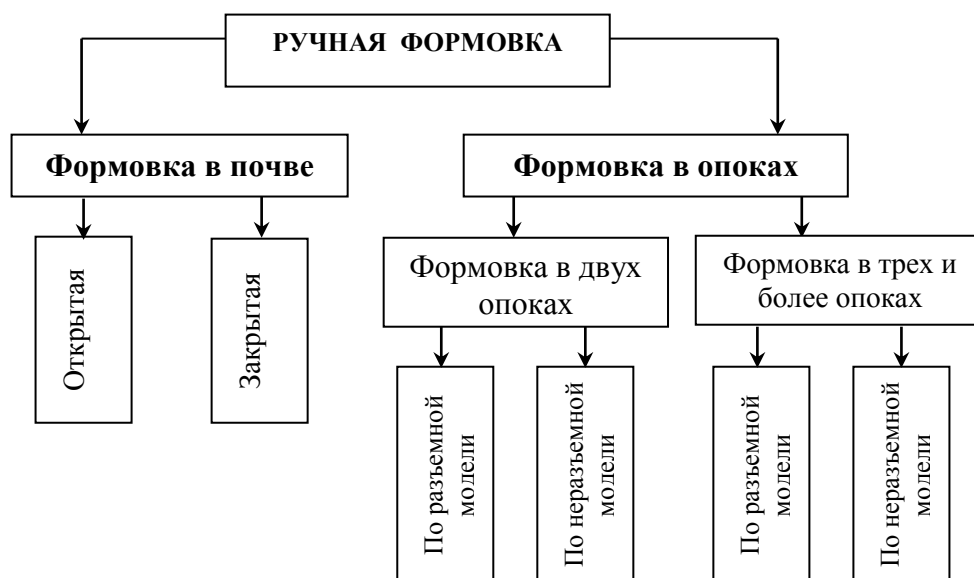


Рис. 4.1. Классификация способов ручной формовки

Формовка в почве – процесс изготовления форм на земляном плацу формовочного отделения. Способ прост, не требует специального оборудования, однако характеризуется большим объемом ручных работ, выполняемых высококвалифицированными формовщиками.

Открытая почвенная формовка применяется для изготовления отливок с плоской верхней стороной (рис. 4.2, а, б).

Для изготовления крупных и тяжелых отливок применяется *закрытая почвенная формовка*, при которой верхняя часть отливки получается в опоке, а нижняя – в твердой постели (рис. 4.2, в).

Формовка в опоках. *Формовка в двух опоках по разъемной модели* является самым распространенным способом изготовления разовых песча-

ных форм. Разъемную модель применяют, как правило, в тех случаях, когда модель не имеет плоской поверхности (рис. 4.3, а).

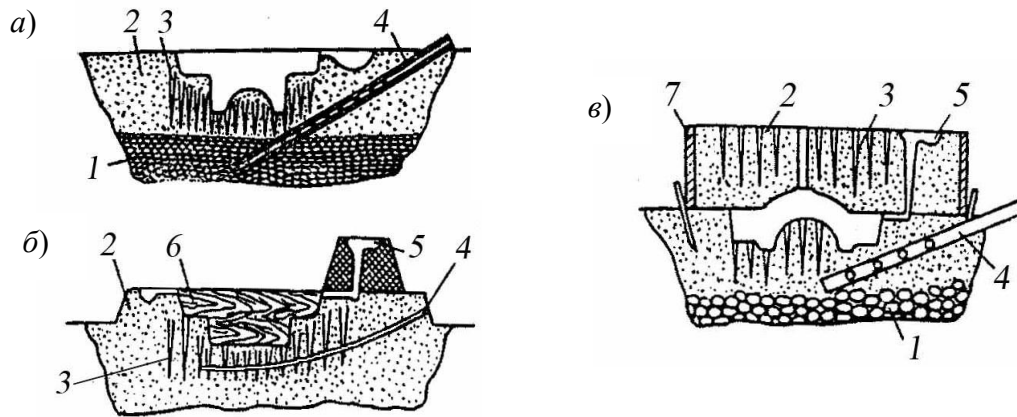


Рис. 4.2. Формовка в почве: а, б – открытая; в – закрытая; 1 – постель; 2 – земля; 3, 4 – вентиляционные каналы; 5 – литниковая система; 6 – модель; 7 – опока

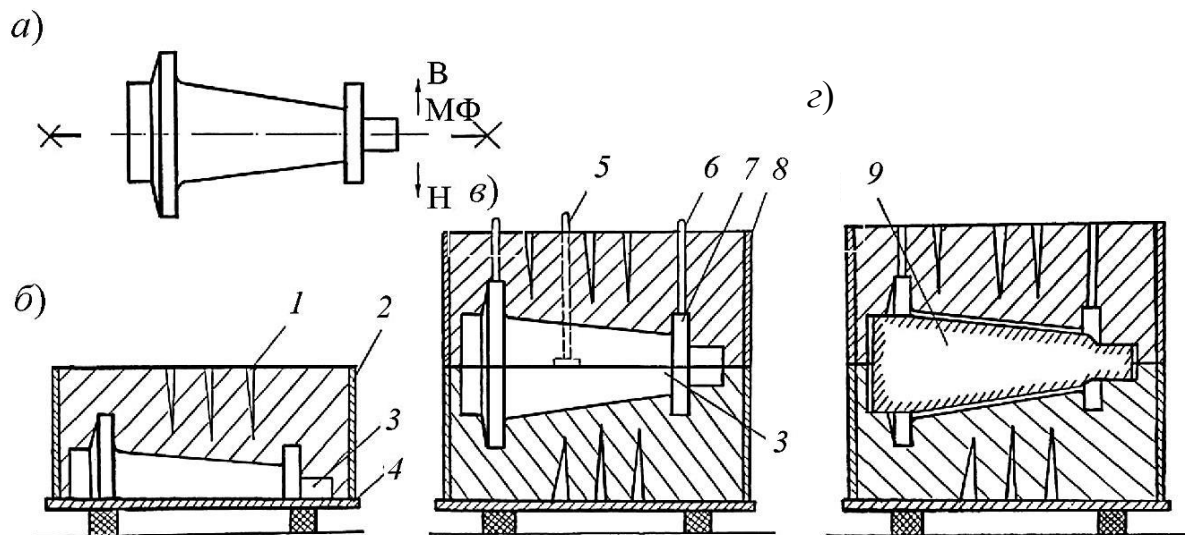


Рис. 4.3. Изготовление формы в двух опоках по разъемной модели: а – положение отливки в форме; б – одна из полуформ отливки; в – устройство литниковой питающей системы; г – расположение стержня в опоке; 1 – вентиляционный канал; 2 – нижняя опока; 3 – нижняя половина модели; 4 – модельная плита; 5 – стояк; 6 – выпор; 7 – верхняя половина модели; 8 – опока; 9 – стержень

Формы для несложных отливок могут быть изготовлены *по неразъемной модели*, допускающей ее извлечение из формы без разрушения последней. Применение неразъемных моделей сложных конфигураций возможно также при использовании специальных приемов (подрезки, фальшивой опоки и т. д.).

Иногда при изготовлении сложных отливок одна плоскость разъема не позволяет извлечь модель из верхней и нижней полуформ. В этих слу-

чаях применяют *формовку в трех и большем числе опоки*, т. е. форма имеет две и больше поверхностей разъема.

Изготовление форм из жидких самотвердеющих смесей (ЖСС).

Рассмотренные процессы изготовления форм связаны с необходимостью набивки формовочных смесей в опоки и их дополнительного уплотнения. Кроме низкой производительности, этот процесс связан с тяжелым физическим трудом рабочих-формовщиков. В настоящее время в практику литейных цехов широко внедряется прогрессивная технология, основанная на добавлении в обычные песчаные смеси химических добавок, под действием которых смесь переходит в сметанообразное состояние, в результате чего стала возможной заливка жидкой смеси в опоки. Благодаря этому устраняется ручной труд при изготовлении форм. Кроме того, данные смеси способны к самозатвердеванию, которое происходит одновременно по всему объему, следовательно, длительность самозатвердевания не зависит от размеров формы и имеет одинаковую продолжительность как для мелких, так и для крупных форм.

Машинная формовка. Высокие требования, предъявляемые в настоящее время к отливкам, могут быть выполнены только при применении машинной формовки, гарантирующей соблюдение заданных параметров технологического процесса.

Основные технологические особенности машинной формовки следующие:

- изготовление форм в двух опоках;
- замена всех боковых отъемных частей модели стержнями;
- применение опоки с ребрами для удержания формовочной смеси.

При машинной формовке наиболее широко применяется *формовка в двух опоках по разъемной или неразъемной модели*. При этом обеспечивается постоянство положения модели по отношению к стенкам опоки. При сборке полости формы всегда совпадают, что гарантирует получение точных отливок.

Внедрение машинной формовки является важным условием организации поточного производства в литейных цехах: одна группа машин формирует нижние полуформы, а другая – верхние. На участке сборки они соединяются и передаются на заливку.

По методам уплотнения смеси формовочные машины классифицируют на встряхивающие, прессовые, импульсные, пескодувные, пескочеты, вакуумные, специальные.

Уплотнение смеси встряхиванием. Встряхивающие машины, являющиеся наиболее распространенными в литейных цехах, применяются для формовки относительно высоких опоки (не менее 150...200 мм). Уплотнение смеси на этих машинах производится с помощью встряхивания опоки

на встряхивающем столе (рис. 4.4, *a*). Опoka 1 располагается на модельной плите 3, закрепленной на столе 5 машины. Под действием сжатого воздуха стол поднимается на определенную высоту, а затем падает, ударяясь о массивную опору – корпус машины 4, что приводит к уплотнению формовочной смеси. Число ударов – 150...300 в минуту, высота подъема встряхивающего стола – 10...100 мм. Степень уплотнения смеси при периодическом встряхивании увеличивается с каждым ударом.

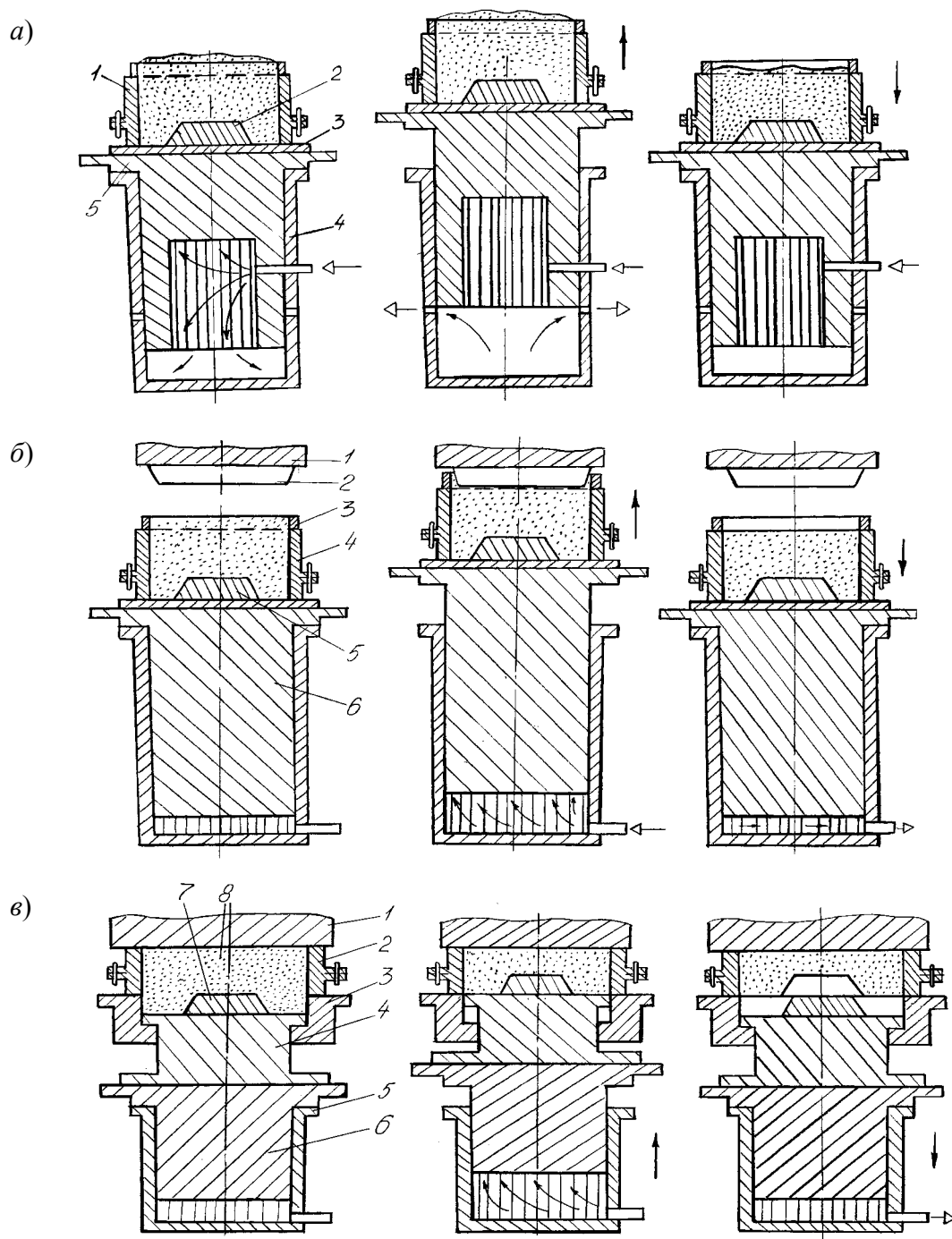


Рис. 4.4. Схемы машинной формовки: *a* – уплотнение смеси встряхиванием; *б* – уплотнение смеси верхним прессованием; *в* – уплотнение смеси нижним прессованием

Достоинствами этих машин являются универсальность и высокая производительность. Недостаток – неравномерность уплотнения формы по высоте: при встряхивании наиболее сильно уплотняются нижние слои смеси, прилегающие к модели 2. Данный недостаток можно частично устранить путем дополнительной подтрамбовки или подпрессовки. Существенным недостатком также является шум, возникающий при ударе падающих частей о корпус.

Уплотнение смеси прессованием. Прессовые машины применяются для формовки низких опок по моделям, не имеющим заметно выступающих частей. Существуют две схемы работы таких машин: с верхним или нижним прессованием. Верхнее прессование обычно применяется для изготовления форм в опоках высотой 150...200 мм, а нижнее – высотой 100...150 мм. Прессовые машины отличаются высокой производительностью и малым шумом.

Наибольшее распространение получили машины с *верхним прессованием* (рис. 4.4, б). К траверсе 1 машины, которая может отводиться в сторону, крепится прессовая колодка 2. Стол машины, на котором укреплен модельная плита с моделью 5, под действием сжатого воздуха с давлением до 0,6 МПа поднимается вверх. При этом прессовая колодка углубляется в формовочную смесь, находящуюся в наполнительной рамке 3, установленной на опоке 4. Уплотнение смеси заканчивается при выпуске сжатого воздуха из-под прессового поршня 6.

При верхнем прессовании смесь уплотняется по высоте опоки неравномерно: наиболее уплотнены верхние слои смеси. Нижние слои смеси, прилегающие к модели и оформляющие полость формы, оказываются менее уплотненными. Это может привести к нарушению конструкции отливки, т. к. при заливке именно нижние слои воспринимают динамические воздействия от заливаемого расплава.

На рис. 4.4, в приведена схема уплотнения смеси при *нижнем прессовании*. На прессовом столе 5 машины закреплена модельная плита 4 с установленной на ней моделью 7. Модельная плита, двигаясь под действием прессового поршня 6 вверх в прорези неподвижного формовочного стола 3, входит в опоку 2, расположенную между прессовой траверсой 1 и столом 3, и уплотняет формовочную смесь 8. При этом наиболее уплотняются нижние слои смеси, прилегающие к модели.

Машины с верхним прессованием проще при переналадке на другой размер опок, чем машины с нижним, для которых требуется регулировка длины хода прессования.

Равномерное уплотнение смеси достигается *повышением удельного давления прессования*. Вместо обычного давления прессования в пределах

0,2...0,4 МПа в современных прессовых машинах применяют давление до 5...10 МПа и выше. При этом обеспечивается равномерное уплотнение смеси по всему объему полуформы и образуется гладкая, малоподатливая рабочая поверхность полости формы, что приводит к получению отливок с более точными размерами и меньшими значениями шероховатости.

Повышенное и более равномерное давление при прессовании можно обеспечить, применяя многоплунжерную головку (рис. 4.5) или гибкую диафрагму (рис. 4.6).

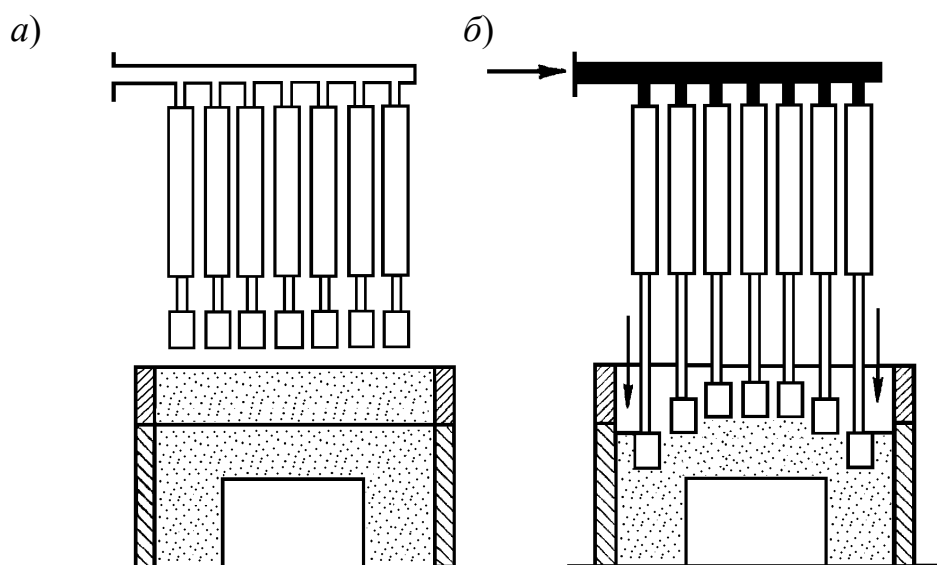


Рис. 4.5. Уплотнение формовочной смеси прессовой многоплунжерной головкой: *а* – исходное положение; *б* – конечное положение

После заполнения установленной на модельной плите 4 опоки формовочной смесью к верхнему торцу 3 опоки прижимается кожух 1 с диафрагмой 2, в полость между которыми подается сжатый воздух (рис. 4.6, *а*). Диафрагма растягивается и равномерно уплотняет формовочную смесь (рис. 4.6, *б*). Давление воздуха передается прежде всего в места, допускающие наибольшее сжатие формовочной смеси и расположенные над низкими частями модели 5. Уплотнив формовочную смесь в опоке, диафрагму извлекают (рис. 4.6, *в*).

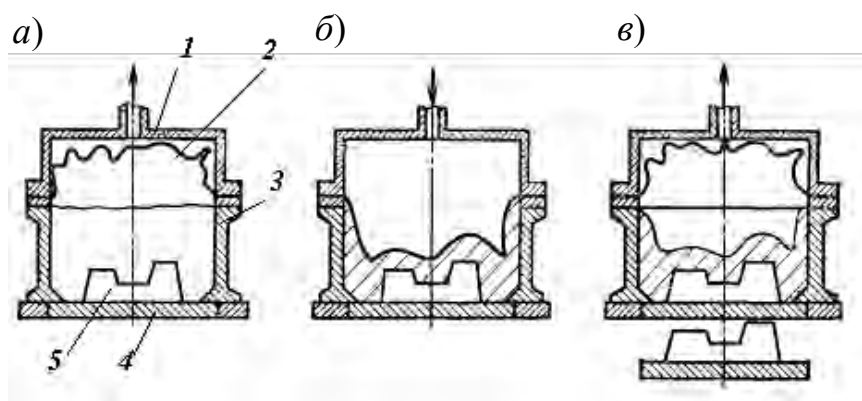


Рис. 4.6. Уплотнение формовочной смеси эластичной диафрагмой

Формовка способом СЕЙАТСУ (воздушным потоком с прессованием) разработана фирмой HEINRICH WAGNER SINTO MASCHINENFABRIK GmbH (Germany) (рис. 4.7). Это двухпозиционная карусель для изготовления разовых полуформ. На первой позиции машины производится засыпка формовочной смеси в опоку, на второй позиции осуществляется уплотнение формовочной смеси пневмопотоком (динамическое воздействие на формовочную смесь воздухом сетевого давления до 0,6 МПа) с последующим верхним прессованием плоской плитой.



Технические характеристики	
Наименование	Значение
Размеры опоки, мм	800 × 700 × 300
Режим работы	автоматический
Тип привода	гидравлический, пневматический, электрический
Мощность, кВт	22,6
Производительность, форм/ч	50
Габаритные размеры, мм	4000 × 3000 × 3800
Масса машины, кг	15000

Рис. 4.7. Общий вид и технические характеристики формовочной машины типа HSP мод. 4841

Принцип работы состоит в следующем (рис. 4.8). Гидроцилиндры стола прижимают наполнительную рамку с модельно-опочным комплектом и формовочной смесью к импульсно-прессовой головке. Открываются кратковременно два воздушных клапана и вслед за воздушным потоком

приводятся в действие цилиндры прессования, на штоках которых закреплена прессовая плита-рассекатель воздушного потока.

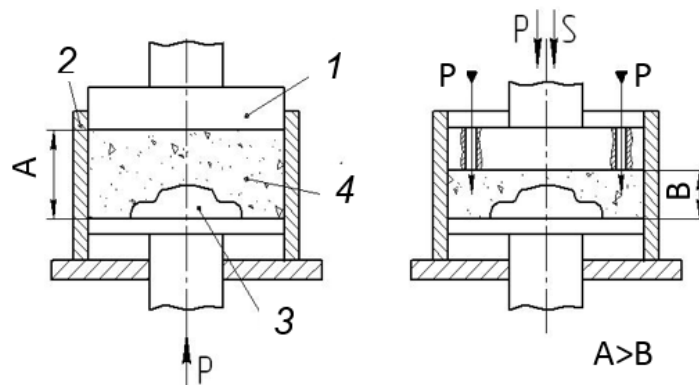


Рис. 4.8. Схема формовки: 1 – плита рассекателя; 2 – опока; 3 – модель с подмодельной плитой; 4 – смесь песчано-глинистая

По окончании прессования плита-рассекатель возвращается в первоначальное положение, стол опускается вместе с оснасткой, занимая прежнее положение.

В результате получают формы для изготовления отливок с малыми допусками и высоким качеством поверхности. Резко уменьшается потребность в очистке отливок. Обеспечивается экономия энергии по сравнению с прессованием в 2...4 раза. Во многих случаях отпадает необходимость в стержнях, т. к. благодаря равномерной твердости формы при использовании СЕЙАТСУ-процесса возможна формовка сложных контуров моделей.

Уменьшение формовочного уклона в СЕЙАТСУ-процессе до $0,5^\circ$ и менее сокращает расход металла и затраты на механическую обработку отливок (на 10 %). Воздушный поток заменяет встряхивание, поэтому уровень шума снижается до величины менее 85 дБ, что является важным шагом в сторону улучшения условий труда.

4.3. Выбивка, обрубка и очистка отливок

Вывивку форм обычно выполняют на пневматических или механических выбивных решетках, представляющих собой сварную раму, в которой вмонтирована сварная из стальных прутков, балок или литая решетка для установки на нее формы. В зависимости от конструкции рама вместе с решеткой подвергается вибрации или инерционному воздействию. Для выбивки форму ставят на раму вибрационной решетки и включают двигатель. Вследствие вибрации решетки формовочная смесь разрушается и высыпается через ячейки на ленточный транспортер, идущий в смесеприготовительное отделение. Отливки при этом могут оставаться на решетке

или проваливаться вниз, где попадают на специальный конвейер и транспортируются в обрубное отделение.

На поточных и автоматических линиях отливки удаляют из опоки с комом смеси, а затем освобождают от смеси на выбивных решетках. Ответственные отливки извлекают из формы перед ее выбивкой. Выбивка форм сопровождается выделением большого количества теплоты и пыли, поэтому участки выбивки форм оснащают мощными системами вытяжной вентиляции, а выбивные решетки большой грузоподъемности (выше 10 т) имеют пыле- и звукоизолирующие накатные кожухи.

Выбивка стержней. Остатки стержней после выбивки из форм удаляют из отливок пневматическими зубилами, на вибрационных машинах, в гидравлических камерах и электрогидравлических установках.

Для выбивки стержней из отливок небольшой массы и габарита применяют машины вибрационного типа. В гидрокамерах стержни разрушаются струей воды при давлении до 10 МПа. В электрогидравлических установках стержни разрушаются ударной волной, возникающей при высоковольтном электрическом разряде между двумя электродами в воде. При прямом методе одним из электродов является отливка. Одновременно с удалением стержня происходит очистка поверхности отливки. После выбивки стержней из отливок удаляют каркасы. Затем отливки подвергают предварительному контролю для выявления в них видимых неисправимых дефектов (не полностью заполненные металлом стенки, явное нарушение геометрии, вызванное перекосом стержней или сдвигом одной опоки относительно другой, и пр.).

Отделяют отливки от литников с помощью молотков и пневматических зубил, абразивных кругов и прессов, ленточных и дисковых пил, также используют дуговую, газовую или анодно-механическую резку. В некоторых случаях прибыли отрезают на токарных станках.

Очистка отливок. Для удаления пригара и улучшения качества поверхностей отливки подвергают очистке галтовкой, дробеструйной, дробеметной, вибрационной, электрохимической обработкам и др.

Очистку отливок *галтовкой* осуществляют в барабанах периодического и непрерывного действия. Барабаны периодического действия применяют в цехах мелкосерийного производства. В массовом производстве используют барабаны непрерывного действия. Очистка отливок в барабанах происходит в результате их взаимного трения. Для усиления эффекта трения в барабан вместе с отливками загружают звездочки из отбеленного чугуна. При вращении барабана отливки перекатываются, трутся друг о друга и о звездочки, в результате чего удаляется приставшая к поверхности отливок формовочная смесь.

Для очистки отливок широко используют *дробеструйные аппараты*. Из таких аппаратов на поверхности отливок под давлением воздуха или воды подается чугунная дробь. Она обладает большой кинетической энергией и очищает поверхность отливок тем быстрее, чем мощнее струя. Дробеструйную очистку проводят в барабанах, на поворотных столах, в специальных камерах. Выбор того или иного оборудования зависит от номенклатуры отливок и их сложности. Дробеструйной очистке нельзя подвергать отливки из мягких сплавов, т. к. это ухудшает качество их поверхностей. Для очистки отливок из алюминиевых сплавов вместо чугунной дроби используют кусочки алюминиевой проволоки.

В современных крупных литейных цехах применяют комплексные установки для очистки отливок. Например, поточная линия очистки включает выбивную решетку, галтовочный барабан, дробеметные установки, зачистные станки и систему конвейеров для передачи отливок с одной операции на другую.

4.4. Термическая обработка отливок

Отливки в литом состоянии имеют крупнозернистую структуру, высокую твердость, низкие прочностные и пластические свойства. В них сохраняются значительные внутренние напряжения. Структура и свойства отливок могут быть значительно улучшены термической обработкой. Вид термообработки (отжиг, нормализация, закалка, отпуск) определяется природой сплава, конфигурацией отливки и техническими условиями.

Термообработку для чугунных отливок применяют для снятия внутренних напряжений, стабилизации размеров, снижения твердости и улучшения обрабатываемости, повышения механических свойств или износостойкости; графитизирующий отжиг (850...980 °С) – для графитизации первичных карбидов в чугунах всех видов. При получении ковкого чугуна из белого этот вид термообработки является обязательным. При нормализации и закалке чугунных отливок улучшаются механические свойства.

Стальные отливки обычно подвергают термической обработке в два этапа. Сначала проводят предварительную термообработку (отжиг, нормализацию или нормализацию с отпуском) для снятия внутренних напряжений, измельчения структуры и уменьшения твердости перед механической обработкой. При окончательной термической обработке стальные отливки подвергают нормализации и отпуску, закалке и отпуску [18].

Качество отливок из алюминиевых и магниевых сплавов улучшают путем старения, отжига, закалки и закалки с последующим искусственным старением. Отливки из медных сплавов обычно не подвергают термиче-

ской обработке. Лишь в отдельных случаях их отжигают для снятия внутренних напряжений.

4.5. Дефекты отливок и способы их устранения. Контроль качества отливок

Распространенные дефекты отливок: недолив, перекос, коробление, нарост, трещины, газовые раковины, шлаковые раковины (рис. 4.9).

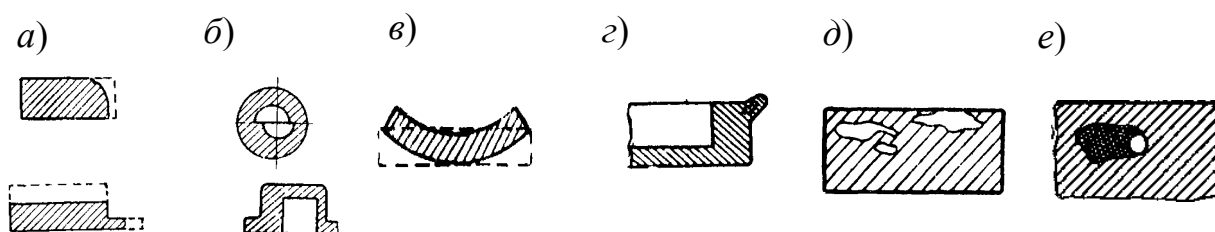


Рис. 4.9. Дефекты отливок: *a* – недолив; *б* – перекос и разностенность; *в* – коробление; *г* – нарост; *д* – газовые раковины; *е* – шлаковые раковины

Исправляют дефекты в отливках пропиткой, зачисткой, заваркой, металлизацией и т. д.

Пропитка является основным способом исправления пористых отливок. Ее производят для улучшения герметичности, внутренней антикоррозионности отливки. Для пропитки широко используют бакелитовый и асфальтовый лаки, натуральную олифу, жидкое стекло и этилсиликат.

Зачистку отливок производят ручным способом, на шлифовальных и наждачных станках, во вращающихся галтовочных барабанах, пескоструйным способом и др.

Заварку применяют для устранения наружных раковин.

Дефекты механически обработанных стальных отливок исправляют пайкой. Для пайки применяют твердые припои Cu–Ni, Cu–Ag и др.

Поверхностные дефекты заделывают пастами, состоящими из наполнителя (каменной муки, цемента, металлической стружки), связующего (жидкого стекла, эпоксидной смолы) и отвердителя.

Контроль отливок производится в соответствии с технологическими условиями, принятыми литейным цехом и согласованными с механо-сборочными цехами. В технических условиях указываются химический состав и механические свойства отливок, допуск на размеры и припуск на механическую обработку, а также требования к внешнему виду.

Внешний осмотр отливки. Внешний осмотр отливок производят два раза. Первый (предварительный) осмотр делают сразу же после извлечения отливки из формы, что позволяет выявить причины литейных дефектов на

поверхности и наметить меры устранения брака. Второй осмотр проводят после окончательной очистки отливок от литников и облоя. Качество поверхности отливки оценивают визуально, сравнивая с эталоном.

Контроль химического состава. В цеховой или заводской лаборатории проверку состава сплава проводят методами химического и спектрального анализа. Химическому анализу подвергают расплавы всех плавов. Проверяют основные элементы сплава и количество вредных примесей.

Контроль механических свойств. К механическим свойствам отливок относятся: твердость, сопротивление растяжению, относительное удлинение. Твердость отливок определяют после термической обработки (если она предусмотрена технологией) на рычажном прессе шариком диаметром 10 мм при нагрузке не менее 10 кН. Прочность при растяжении обычно проверяют испытанием образцов, вырезанных из отливки, на разрывных машинах. Этот метод часто применяют для выявления слабых мест в отливках. Относительное удлинение определяют при растяжении образца, вырезанного из отливки. Оно выражается в процентах и является характеристикой пластичности материала.

Контроль структуры отливок. Отливки проверяют по макро- и микроструктуре. Макроструктура дает представление о зернистости сплава, его однородности, строении, наличии неметаллических включений. При изучении макроструктуры выявляют также пористость, ее распределение и трещины в отливках. Микроструктуру отливок проверяют на микрошлифах под микроскопом с увеличением в 60...500 раз.

Выявление внутренних дефектов отливок. Внутренние дефекты отливок выявляют методами радиографической, ультразвуковой дефектоскопии.

Обнаружение трещин. Из всех дефектов отливок труднее всего обнаружить трещины, незаметные для невооруженного глаза. Невидимые поверхностные дефекты определяют с помощью люминесцентной, магнитной и цветной дефектоскопии.

Контрольные вопросы

1. Технологические возможности литья в ПГФ. Разработка технологии.
2. Способы ручной и машинной формовки.
3. Способы выбивки, обрубки и очистки отливок.
4. Термообработка отливок.
5. Основные дефекты отливок и методы их исправления.
6. Контроль качества отливок.

5. СПЕЦИАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ ЛИТЬЯ

Способы специального литья отличаются от литья в разовые песчаные формы по одному или нескольким признакам: по конструкции формы, материалу, из которого она выполнена; использованию внешних сил при заполнении форм и затвердевании отливок и др. Одни из них основаны на применении постоянных форм (литье в кокиль, под давлением и пр.), другие – разовых, причем форма может представлять собой одно- или многослойную оболочку (литье в оболочковые формы по выплавляемым моделям). Заполнение форм и затвердевание отливок в них происходит под действием силы тяжести, центробежных сил, избыточного давления, создаваемого воздухом (газом) или поршнем.

Технологические особенности определяют рациональную область применения каждого из специальных способов литья. Общим для них является то, что все они относятся к прогрессивным энерго- и ресурсосберегающим технологическим процессам. Эти способы позволяют получать отливки с конфигурацией и размерами, максимально приближающимися к готовому изделию, с чистой и гладкой поверхностью, с высокими механическими и эксплуатационными свойствами.

5.1. Литье в кокиль

Литье в кокиль (ГОСТ 18169-86) – это процесс изготовления отливок свободной заливкой (под действием сил гравитации) расплавленного металла в металлические формы – кокили.

Кокиль – металлическая форма, рабочие стенки которой выполнены из чугуна, стали, меди или алюминия (АЛ11) с водоохлаждением. Стенки имеют тонкослойные (краски) и толстослойные покрытия. Для крупных отливок величина покрытия составляет больше 30 мм. Кокиль используют многократно. С его помощью изготавливают отливки из стали, чугуна и цветных металлов в серийном и массовом производстве [29].

Точность отливок – 12...15 качества, шероховатость $R_z = 8...100$ мкм.

Кокили подразделяются на разъемные (с вертикальной, горизонтальной и криволинейной плоскостями разъема) и неразъемные (вытряхные). В зависимости от способа охлаждения различают кокили с воздушным, жидкостным и комбинированным охлаждением.

При литье в кокиль чугуна поверхностные слои отливок затвердевают с достаточно большой скоростью, что приводит к образованию в металле структурно-свободного цементита (отбела). Главный недостаток отливок с отбелом – их высокая твердость (600 HV) и хрупкость, затрудняющие обработку резанием. Для устранения отбела отливки подвергают

отжигу, что удлиняет технологический цикл литья, увеличивает энергозатраты.

Для предотвращения отбела без использования энергозатрат в Институте технологии металлов НАН Беларуси (г. Могилев) был разработан новый технологический процесс литья в кокиль (рис. 5.1), который позволил изменить тепловые условия затвердевания отливки.

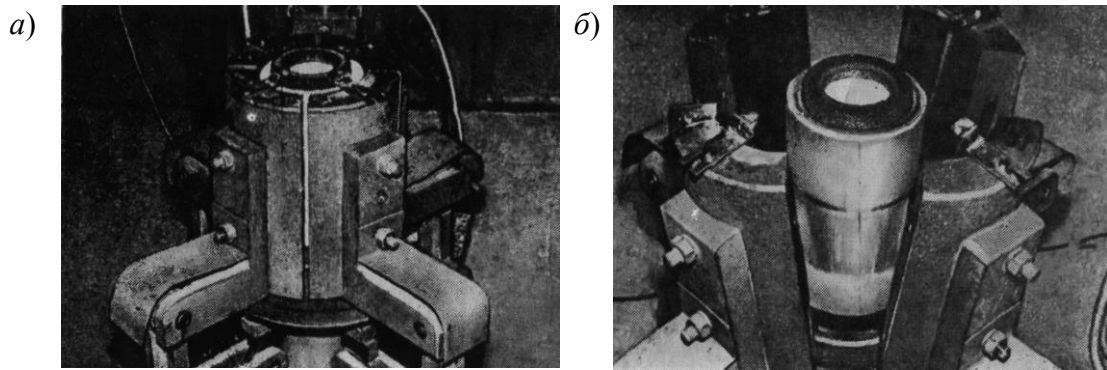


Рис. 5.1. Литье в кокиль с регулируемым воздушным зазором: *а* – кокиль раскрыт на зазор с залитым расплавом; *б* – кокиль раскрыт полностью

Сущность процесса состоит в том, что расплав заливают в створчатую форму кокиля. Он предназначен для изготовления заготовок, имеющих внутренние поверхности вращения, например гильз ДВС. Расплав, находящийся в кокиле, контактирует с одной стороны с его металлической поверхностью, обеспечивающей формообразование наружной поверхности заготовок, а с другой – со стержнем. В связи с тем, что теплопроводность металлических стенок кокиля выше, то в этой зоне начинается затвердевание металла. Как только образуется затвердевший слой, способный удерживать остальную часть расплава, створки кокиля отводят на определенное расстояние и дальнейшее затвердевание расплава происходит на воздухе. Так как теплопроводность воздуха выше в сравнении с материалом стержня (песчано-глинистой смесью), застывание расплава идет медленно, без образования отбела.

Предотвращение образования в отливках из серого чугуна отбела и уменьшения склонности к трещинам достигается также увеличением в нем содержания углерода (3,5...3,8 %) и кремния (2...2,5 %), его модифицированием ферросилицием, силикокальцием и другими модификаторами.

Литьем в кокиль на автоматизированных линиях изготавливают из серого чугуна корпуса редукторов, блоки и головки блоков ДВС, станины электромоторов, распредвалы, гильзы ДВС и др.; из высокопрочного чугуна – коленвалы; из стали – детали тракторов, железнодорожных вагонов.

При использовании жидкостекольных смесей для облицовки кокилей изготавливают отливки до 10 т из сталей и чугуна массой до 15 т, что расширяет возможности кокильного литья.

5.2. Литье под давлением

При литье под давлением (ЛПД) металлическая форма, называемая пресс-формой, заполняется расплавом под действием внешней силы, превосходящей силу тяжести, а затвердевание в ней отливки происходит под избыточным давлением. Последнее создают с помощью поршня в камере прессования, соединенной с полостью пресс-формы.

Литые заготовки получают под высоким и регулируемым давлением. Соответственно классы точности размеров для отливок из цветных сплавов, чугунных и стальных, согласно ГОСТ 26645-85, 3т...9 (JT9...JT12) и 5т...13т (JT10...JT13). В скобках указан квалитет точности отливки, отвечающий классу точности размеров по ГОСТ 25347-82. Шероховатость поверхностей отливок от Rz 2,5 до Rz 40.

ЛПД в сравнении с другими способами литья наиболее точное. Изготавливают отливки из магниевых, цинковых сплавов и латуни, бронзы, титана, стали и чугуна.

На рис. 5.2 представлена технологическая схема получения отливки из цинка. Скорость перемещения расплава $V = 100 \text{ м/с}$, $P = 10...11 \text{ МПа}$.

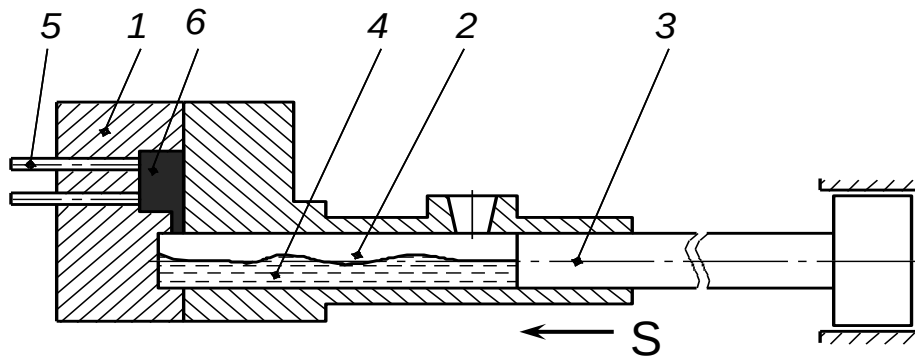


Рис. 5.2. Условная схема холодной горизонтальной камеры прессования: 1 – пресс-форма; 2 – камера прессования; 3 – поршень; 4 – расплав; 5 – выталкиватели отливок; 6 – отливка

Основные регулируемые способы литья: под низким давлением; с противодействием; вакуумным всасыванием. Объединяющим технологическим признаком этой группы способов литья является заливка формы выдавливанием жидкого металла снизу вверх из тигля установки через металлопровод под действием создаваемого в них перепада газа.

При литье под низким давлением давление газа в форме (рис. 5.3, а)

равно атмосферному. Заливка осуществляется под избыточным давлением над зеркалом расплава в ванне.

Литье под низким давлением широко применяют для изготовления сложных фасонных и особенно тонкостенных отливок из алюминиевых и магниевых сплавов, простых отливок из медных сплавов и сталей в серийном и массовом производстве. Наиболее совершенно разработаны технология и оборудование для изготовления отливок из алюминиевых сплавов [36].

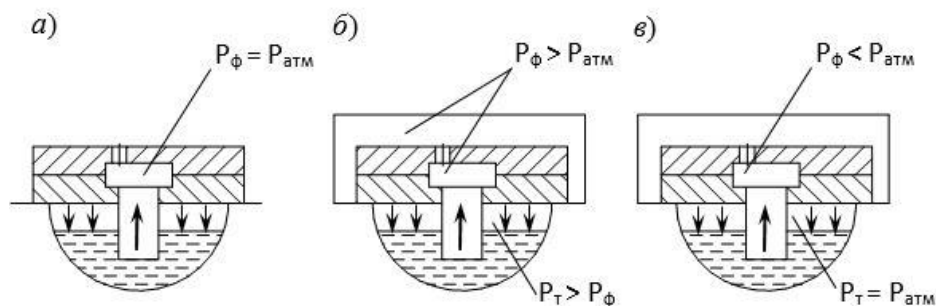


Рис. 5.3. Схемы процессов литья под регулируемым давлением

Литье с противодавлением основано на нахождении в форме сжатого газа (рис. 5.3, б), что противоположно эффекту на рис. 5.3, в.

Способ литья с противодавлением обладает достоинствами как литья под низким давлением, так и литья с кристаллизацией под давлением (автоклавного способа литья), которые заключаются в регулируемом заполнении формы и воздействии повышенного давления при формировании отливки.

Сущность процесса литья вакуумным всасыванием состоит в том, что расплав под действием разрежения, создаваемого в полости формы, заполняет ее и затвердевает, образуя отливку. Изменением разности между атмосферным давлением и давлением в полости формы можно регулировать скорость заполнения формы расплавом, управляя этим процессом.

Способом литья вакуумным всасыванием изготавливают отливки из различных алюминиевых сплавов и конструкционных сталей. Способом вакуумного всасывания с намораживанием получают цилиндрические трубные заготовки из сталей и чугуна. Наиболее часто этот способ применяют для литья заготовок втулок, вкладышей, подшипников скольжения из дефицитных медных сплавов. Вследствие того, что при данном способе заливки отсутствует литниковая система и остатки расплава из кристаллизатора сливаются в тигель, расход жидкого металла может сократиться в 2,5 раза. Кроме того, за счет разрежения и направленного затвердевания снижается брак отливок по газовым и усадочным раковинам и пористости [2].

5.3. Центробежное литье

Расплав, заливаемый во вращающуюся форму, центробежными силами прижимается к внутренним стенкам формы и воспринимает ее конфигурацию. Центробежные силы не только распределяют жидкий металл в форме, но и способствуют перемещению на внутреннюю поверхность отливки более легких, чем сплав, шлаковых и газовых включений.

Центробежным литьем изготавливают отливки, представляющие собой тела вращения (штулки, трубы и диски). Особенностью изготовления таких отливок является получение внутренних полостей без применения стержней. Отливка выходит более чистой и плотной. Точность изготавливаемых отливок 3т...9, шероховатость $R_z = 20 \dots 80$ мкм.

Для получения втулок применяют машины с горизонтальной (рис. 5.4, а) и вертикальной (рис. 5.4, б) осями вращения, реже – с наклонной.

Определенную дозу расплава из ковша 4 заливают во вращающуюся форму 1 через металлоприемник 3. Под действием центробежных сил металл 2 отбрасывается к стенкам формы. Форма вращается до тех пор, пока расплав не затвердеет, затем отливку 5 извлекают из формы. Перед каждой заливкой внутреннюю полость формы покрывают теплоизоляционными материалами [38].

Центробежным способом можно изготавливать биметаллические отливки, поочередно заливая в форму различные расплавы.

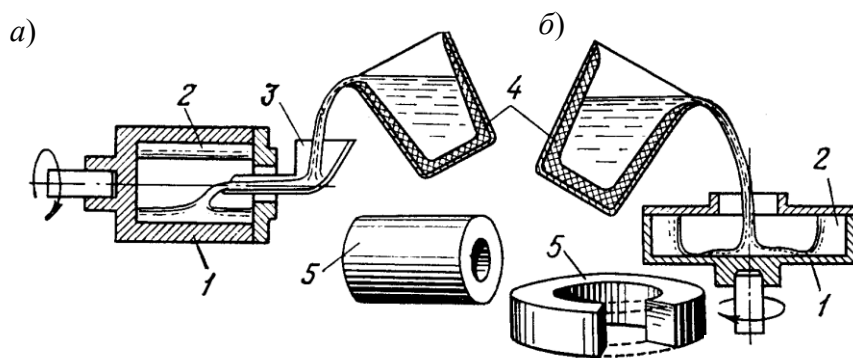


Рис. 5.4. Схема центробежного литья на машине с горизонтальной (а) и вертикальной (б) осями вращения

Способом центробежного литья с горизонтальной осью вращения в массовом производстве изготавливают длинномерные отливки, например, чугунные водопроводные трубы диаметром до 300 мм и канализационные трубы диаметром до 1800 мм и длиной до 6000...8000 мм. Из чугуна, стали и медных сплавов данным способом изготавливают толстостенные

(до 300 мм) и длинномерные (до 8000 мм) массой до 60 т заготовки валков бумагоделательных машин и прокатных станов, детали химических агрегатов, гильзы крупных дизелей, кольца подшипников качения и др.

Наиболее широко способ центробежного литья с вертикальной осью вращения применяют для изготовления втулок из медных сплавов (бронз) диаметром до 500 мм и высотой до 3 м.

Из оловянистых бронз центробежным литьем получают венцы зубчатых и червячных колес, крыльчатки центробежных насосов и т. п.

Из титановых сплавов изготавливают широкую номенклатуру отливок для силовых деталей судостроения, химического машиностроения и, прежде всего, авиастроения. Также литые титановые детали применяют для различных медицинских протезов.

5.4. Литье в оболочковые формы

Способ литья в оболочковые формы основан на получении полуформ и стержней в виде оболочек толщиной 6...10 мм. Их изготавливают путем отверждения на металлической оснастке слоя смеси, в которой связующее при нагреве вначале расплавляется, а затем затвердевает (необратимо), придавая оболочке высокую прочность.

Литьем в оболочковые формы получают отливки 11...15 квалитетов точности с шероховатостью $Rz = 20...160$ мкм.

Технология литья в оболочковые формы включает ряд операций, выполнение которых при литье данным способом имеет особенности. К ним относятся: приготовление плакированной песчано-смоляной смеси; формование на модельной оснастке тонкостенных оболочковых полуформ и стержней; сборка форм и их подготовка к заливке.

Данным способом получают отливки из любых сплавов. В сравнении с литьем в песчаные формы обеспечивается уменьшение шероховатости поверхности, улучшение товарного вида, сокращение до 10 раз объема переработки формовочных материалов, снижение в 2 раза капитальных затрат, уменьшение металлоемкости формовочного оборудования. Недостатки: высокая стоимость смоляного связующего; вредоносность процесса изготовления форм; недостаточная прочность оболочек.

Процесс изготовления оболочковой формы включает в себя следующие этапы: нагрев модельной оснастки; нанесение на рабочую поверхность подмодельной плиты разделительного покрытия, а также песчано-смоляной смеси; формование и отверждение оболочки совместно с подмодельной плитой при температуре 300...400 °С; съем готовой полуформы с модельной плиты (рис. 5.5).

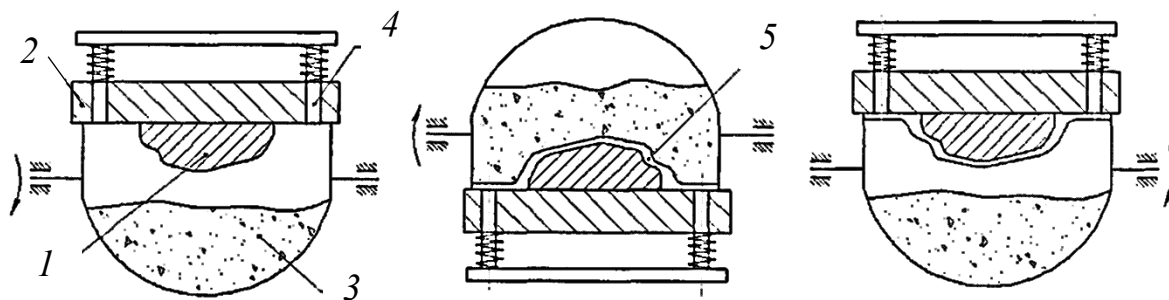


Рис. 5.5. Схема изготовления оболочковой формы: 1 – модель; 2 – подмодельная плита; 3 – песчано-смоляная смесь; 4 – выталкиватели; 5 – оболочковая форма

5.5. Литье по выплавляемым моделям

Литье по выплавляемым моделям – это способ получения отливок в многослойных оболочковых неразъемных разовых формах, изготавливаемых с использованием выплавляемых, а также выжигаемых и растворяемых моделей однократного применения. Материал отливок – любые сплавы.

Точность основного размера отливки 3...9 (ГОСТ 26645-85), что соответствует 10...14 квалитетам (ГОСТ 25347-82). Шероховатость поверхности $Rz = 10...20$ мкм.

Для изготовления формы применяют пресс-формы разъемные, точность которых выше моделей. В них в качестве модельного состава, размещаемого внутри, используют выплавляемые (воск) или выжигаемые материалы (пенополистирол). Поместив пресс-форму в автоклав и нагрев модельный состав до температуры плавления, получают модель. По модели изготавливают многослойную керамическую оболочку с необходимой прочностью на основе кварца, корунда, магнезита, а также связующих материалов (жидкое стекло и др.). При литье сплава на базе титана применяют графит, его температура плавления составляет 1713°C .

Изготовив многослойную керамическую оболочку по модели, ее выплавляют горячей водой, насыщенным паром либо выжигают (пенополистирол), затем прокаливают до температуры $850...950^{\circ}\text{C}$. Пример блока отливки представлен на рис. 5.6.

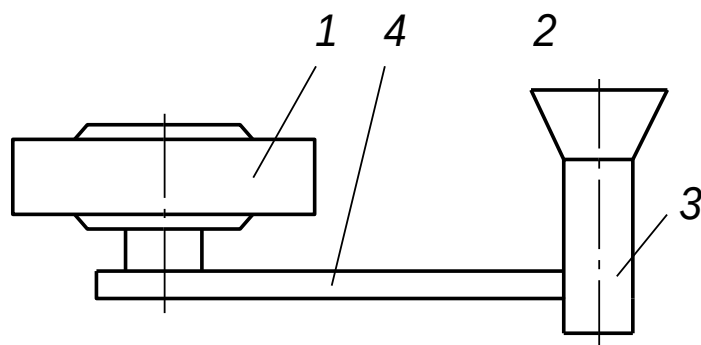


Рис. 5.6. Блок отливки шестерни: 1 – отливка; 2 – верхняя прибыль; 3 – стояк; 4 – питающий коллектор

Перед заливкой модель с подводящей литниковой питающей системой помещают в псевдокипящий песок. Необходимость придания жаропрочных свойств деталям сложной формы определило дальнейшее совершенствование литья с направленной кристаллизацией. Получают отливки из 2...4 кристаллов, ориентированных вдоль оси заготовки. Столбчатая структура повышает жаропрочность, пластичность, термостойкость и выносливость отливок по сравнению с равноосной структурой. Направленная кристаллизация со скоростью роста 25...30 см/ч увеличивает длительную прочность жаропрочных сплавов при 975 °С на 10...15 %, пластичность – в 1,5...2 раза, сопротивление усталости – на 20 %.

Литье по выплавляемым моделям широко применяют для производства мелких сложных отливок в приборо-, автомобиле-, тракторостроении и других отраслях машиностроения. Посредством выплавляемой модели, которая может быть составлена из отдельных частей путем пайки или склеивания, можно отливать сложные цельные детали, которые не удастся изготовить другими способами обработки металлов. Этим способом получают детали турбинных лопаток из жаропрочных сплавов, которые плохо обрабатываются резанием, колеса насосов из коррозионно-стойких сплавов, детали турбомашин, постоянные магниты с ориентированной кристаллической структурой и др.

К данному виду литья относится также литье по газифицируемым моделям, растворяемым, замораживаемым.

5.6. Литье по газифицируемым моделям

Способ литья по газифицируемым моделям (ЛГМ) позволяет получать точные заготовки 500...1000 кг сложной конфигурации с максимальным приближением по размерам и конфигурации к готовой детали. Он рекомендуется вместо многостержневого литья в песчаные формы, а в некоторых случаях вместо кокильного и центробежного литья,

литья по выплавляемым моделям, а также при изготовлении деталей, получаемых ранее механической обработкой из проката, т. к. обеспечивает отливкам шероховатость Ra 6,3.

В отличие от литья в песчано-глинистую форму технология ЛГМ обладает рядом специфических особенностей, обусловленных процессом взаимодействия жидкого металла с пеномоделью, получения пенополистироловой модели, компоновкой блока моделей в контейнере (опоке) (рис. 5.7).

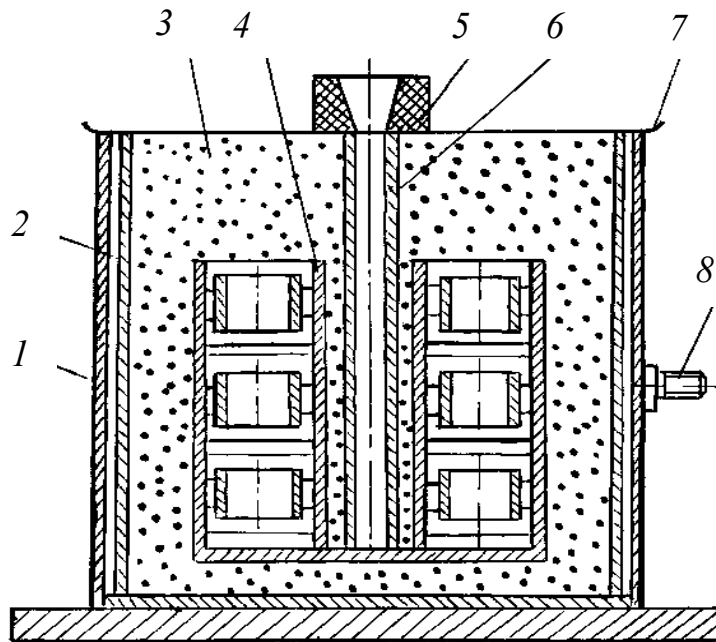


Рис. 5.7. Схема формовки при литье по газифицируемым моделям: 1 – опока; 2 – внутренняя перфорированная стенка опоки; 3 – кварцевый песок; 4 – блок моделей; 5 – литниковая чаша; 6 – стойка; 7 – полиэтиленовая пленка; 8 – шуруп

При традиционном способе ЛГМ из-за нестабильности формы из сыпучего несвязанного наполнителя невозможно наладить промышленное производство крупногабаритных деталей сложной конфигурации с внутренними полостями и поднутрениями; при значительных объемах производства затруднена нейтрализация выделяемых продуктов разложения модельного материала.

Перспективным направлением стабилизации формы из сыпучего несвязанного материала является вакуумирование формы с газифицируемыми моделями в период ее заливки [3].

Использование вакуумирования формы при сифонной заливке блоков мелких деталей (с несколькими обратными стойками) позволяет заменить применяемый при традиционной технологии ЛГМ центровой

стояк из самоотвердеющей смеси пенополистироловым, что значительно упрощает сборку блоков, дает возможность автоматизировать операцию установки в контейнер и формовки модельных блоков. Целесообразен перевод на ЛГМ под вакуумом заготовок, изготавливаемых из проката с большим объемом сложной механической обработки, и заготовок сложной конфигурации, получаемых по традиционной литейной технологии в песчаные формы с применением большого количества стержней типа корпусов насосов, ступиц колес, корпусов редукторов, опор и др. Одним из основных достоинств ЛГМ с вакуумированием является существенное улучшение санитарно-гигиенических условий труда на наиболее токсичной операции – заливке газифицируемых моделей.

5.7. Непрерывное и полунепрерывное литье

Непрерывное литье – процесс изготовления литой заготовки большой протяженности перемещением затвердевающего сплава относительно зон заливки и кристаллизации. При этом из стали, чугуна и основных цветных сплавов получают отливки различного поперечного сечения и длины.

Литье с перерывами называют *полунепрерывным литьем*.

Любой непрерывный процесс, в том числе непрерывное литье, обладает более высокой производительностью, стабильностью качества продукции, экономичностью, легко поддается автоматизации и имеет ряд других преимуществ. Именно поэтому непрерывное литье различных заготовок и сплавов быстро внедряется в производство, а технологические процессы и способы его осуществления постоянно совершенствуются.

Известно более двадцати разновидностей способов непрерывного и полунепрерывного литья. На практике для производства различных заготовок из стали преимущественно используют способ непрерывного литья вертикального типа с водоохлаждаемым кристаллизатором скольжения и периодическим разделением заготовки (рис. 5.8), реже – полунепрерывный.

С использованием указанных способов часто отливают заготовки из медных и алюминиевых сплавов. Такие способы непрерывного литья применяют преимущественно на металлургических заводах.

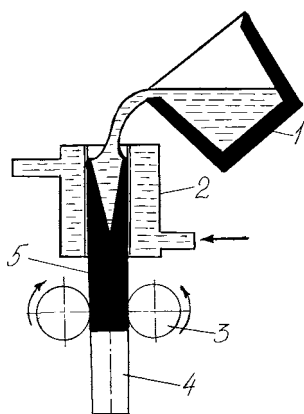


Рис. 5.8. Схема непрерывной разливки расплава: 1 – ковш с расплавом; 2 – водоохлаждаемый кристаллизатор; 3 – тянущие валки; 4 – заготовка; 5 – вытягиваемая отливка

В литейных цехах для производства заготовок из цветных, а в последнее время и чугунных сплавов применяют способ непрерывного горизонтального литья.

При полунепрерывном литье из кристаллизатора за один цикл вытягивают отливку требуемой длины, затем подачу расплава в кристаллизатор временно прекращают и возобновляют после удаления предыдущей отливки и подготовки к приему новой.

При непрерывном литье в кристаллизаторе получают отливки неограниченной длины. В полости кристаллизатора в его различных частях одновременно происходит охлаждение расплава, затвердевание и охлаждение отливки, причем все ее части последовательно проходят одни и те же зоны кристаллизатора и формируются в одинаковых условиях. Это обеспечивает однородность свойств отливки по длине.

Высокий градиент температур по сечению отливки внутри кристаллизатора и постоянное пополнение расплава в его полости создают предпосылки для направленного затвердевания и непрерывного питания отливки, поэтому отливки получаются плотными.

Непрерывным и полунепрерывным литьем получают отливки постоянного сечения в виде круга, многогранников, полосы, уголка, других сложных профилей, с внутренними полостями и т. д.

Рассматриваемый способ характеризуется высоким выходом годного литья, т. к. отсутствуют литниковая система и прибыли, повышенными плотностью, точностью и чистотой поверхности отливок, низкими удельными расходами на изготовление форм, полным исключением операций выбивки форм, обрубки и очистки отливок, улучшенными условиями труда и меньшим загрязнением окружающей среды вследствие исключения из технологического процесса формовочных и стержневых смесей.

Недостатком непрерывного (полунепрерывного) литья является невозможность изготовления отливок сложной конфигурации.

Непрерывным и полунепрерывным литьем изготавливают слитки из различных сплавов для последующей прокатки, проволочные заготовки, чугунные трубы диаметром до 1000 мм, толщиной до 50 мм и гильзы дизелей, заготовки для гаек, шестерен, корпусов гидро- и пневмоаппаратуры, прокатных валков и др.

5.8. Штамповка заготовок из расплава

Штамповка заготовок из расплава – это литье с кристаллизацией в матрице под давлением с последующей выдержкой до полного затвердевания отливки. Время выдержки металла в пресс-форме под давлением составляет 1,0...1,2 с на 1 мм толщины стенки. Давление прессования до 200 МПа. Изготавливают отливки из черных и цветных сплавов. Точность основного размера отливки 2...3т (ГОСТ 26645-85) и 8 и 9 качества (ГОСТ 25347-82). Шероховатость поверхности $R_z = 5...20$ мкм. Масса отливки 0,01...0,3 т, КИМ = 0,9. Применяется в серийном, массовом производстве.

Различают поршневое, пуансонное и пуансонно-поршневое прессование с выдавливанием расплава в закрытую полость на гидравлических, фрикционных прессах, спецоборудовании (рис. 5.9).

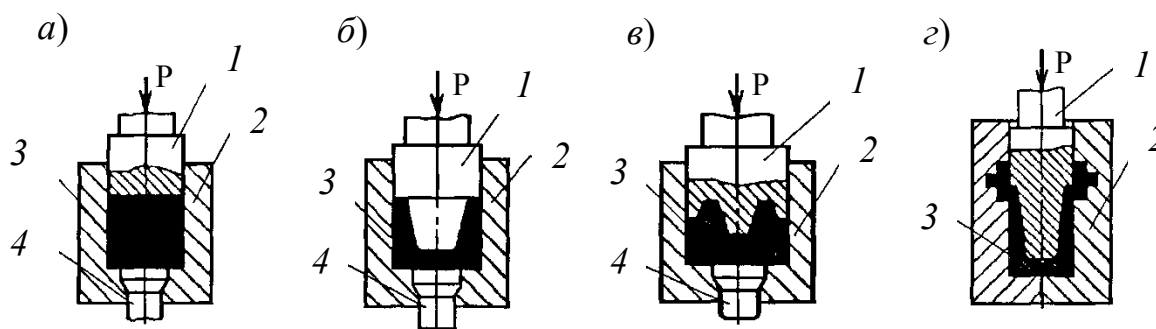


Рис. 5.9. Схемы процессов штамповки заготовок: а – поршневое прессование; б – пуансонное прессование; в – пуансонно-поршневое прессование; з – выдавливание расплава в закрытые полости; 1 – пуансон; 2 – пресс-форма; 3 – расплав; 4 – выталкиватель

Способы штамповки заготовок из расплава оцениваются коэффициентом формообразования отливки K_{ϕ} (отношение объема незатвердевшего металла, вытесненного пуансоном во время окончательного формообразования отливки, ко всему объему отливки):

- под поршневым давлением (штулки, кольца, корпуса), $K_{\phi} = 0$ (рис. 5.9, а);
- пуансонное прессование (стаканы, поршни, корпуса), $K_{\phi} = 0,1...0,4$ (рис. 5.9, б);
- пуансонно-поршневое прессование (фланцы, кольца и др.), $K_{\phi} = 0,1...0,5$ (рис. 5.9, в);
- выдавливание расплава в закрытые полости (используется редко для заготовок сложной конфигурации), $K_{\phi} = 1$ (рис. 5.9, з).

Процесс штамповки заготовок из расплава осуществляется обычно

на гидравлических или фрикционных прессах, а также на специальных литейных машинах.

К недостаткам способа относятся высокая стоимость пресс-форм, ограниченность конфигурации и размеров изготавливаемых отливок, необходимость в специализированном оборудовании.

По сравнению со многими другими способами литья рассматриваемый способ высокопроизводительный, малооперационный, легко автоматизируется, малоотходный и энергосберегающий, обеспечивающий получение отливок высокого качества.

5.9. Электрошлаковое литье

Сущность способа состоит в том, что металл заполняется электрошлаковым переплавом непосредственно в литейную форму или в емкость, а затем в форму. Это позволяет исключить контакт расплава с атмосферой, сохранив его рафинированным. Существует, наряду с другими, центробежное и кокильное электрошлаковое литье, осуществляемое с применением электрошлаковой тигельной плавки (ЭШТП) (рис. 5.10).

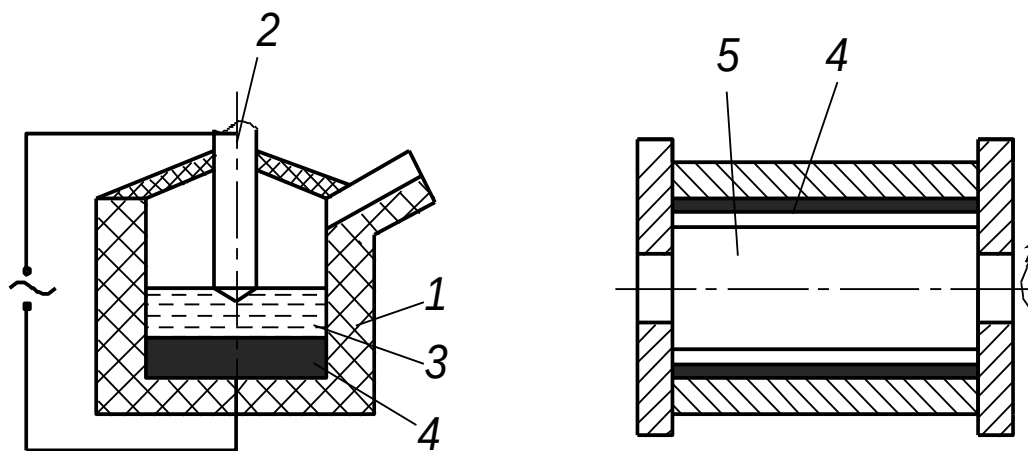


Рис. 5.10. Схема ЭШТП с заливкой металла во вращающуюся форму: 1 – тигель; 2 – электрод; 3 – шлак; 4 – расплав; 5 – заливка расплава

Материал отливок – легированные стали.

Электрошлаковым литьем изготавливают прокатные валки, бандажки цементных печей диаметром до 6 м и массой 100...150 т, сосуды, работающие под сверхвысоким давлением, коленчатые валы и шатуны судовых двигателей, ответственные детали арматуры тепловых и атомных электростанций, отливки роторов мощных турбогенераторов и др.

Контрольные вопросы

1. Технологические возможности и сущность кокильного литья.
2. Методы устранения отбела в отливках.
3. Сущность и технологические возможности литья под давлением.
4. Сущность и назначение центробежного литья.
5. Сущность процесса литья в оболочковые формы. Последовательность приготовления оболочковой формы.
6. Область применения и особенности литья по выплавляемым моделям. Последовательность получения формы.
7. Сущность способа штамповки отливок из расплава. Технологические возможности.
8. Особенности способа электрошлакового литья.

6. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК

6.1. Характеристика отливок

На выбор материала и способа получения отливки существенное влияние оказывают сложность детали и ее масса.

По сложности конфигурации отливки из чугуна и стали подразделяют на следующие шесть групп [19] (причем отливки 1 и 2 групп сложности считаются простыми, 3 и 4 групп – средней сложности, 5 и 6 групп – сложными).

1. Преимущественно плоскостные отливки общего назначения. Наружные поверхности с наличием невысоких ребер, буртов, бобышек, фланцев и отверстий. Типовые отливки – различные крышки, плиты, маховики без спиц, грузы, диски, балки и др. (рис. 6.1).

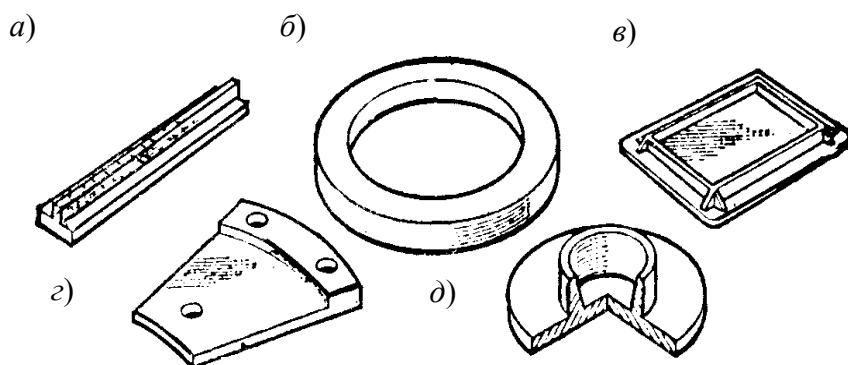


Рис. 6.1. Отливки 1 группы сложности: *а* – балка; *б* – бандаж; *в* – плита; *г* – груз; *д* – крышка

2. Отливки в основном открытой коробчатой формы. Наружные поверхности прямолинейные и криволинейные с ребрами, буртами, бобышками, отверстиями; внутренние – прямолинейные со свободным широким выходом наружу. Типовые отливки – колпаки, колеса и ролики со спицами, барабаны для мельниц, железнодорожные буксы, кронштейны и др. (рис. 6.2).

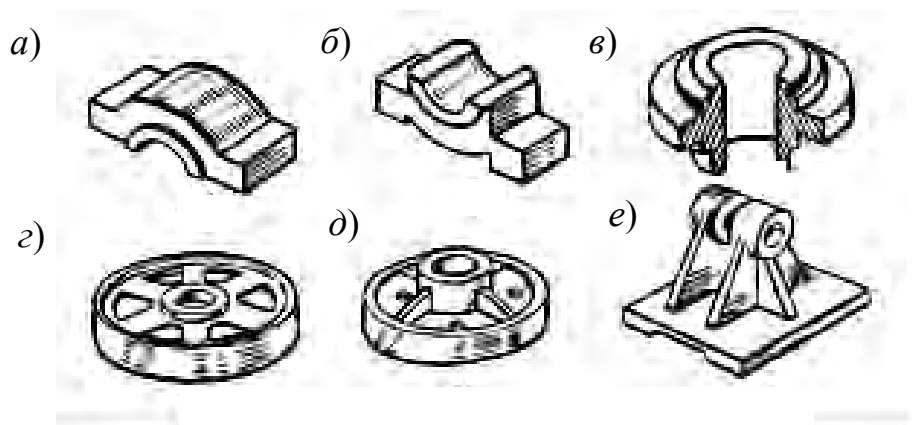


Рис. 6.2. Отливки 2 группы сложности: *а* – крышка подшипника; *б* – корпус подшипника; *в* – ступица; *г* – зубчатое колесо; *д* – ролик; *е* – кронштейн

3. Отливки открытой коробчатой или цилиндрической формы ответственного назначения, использованные для изготовления шкивов диаметром свыше 1 м, корпусов и крышек редукторов, ребристых цилиндров, зубчатых колес с литыми нарезными зубьями диаметром до 3 м, фигурных кронштейнов, тройников и др. (рис. 6.3).

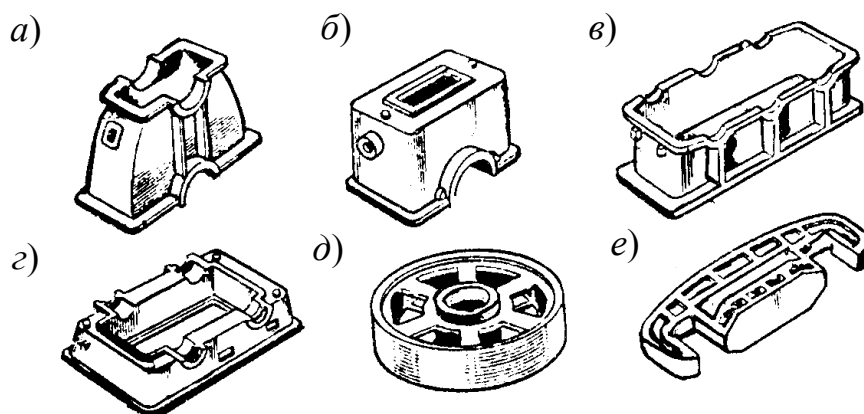


Рис. 6.3. Отливки 3 группы сложности: *а* – корпус; *б* – крышка редуктора; *в, г* – основания; *д* – зубчатое колесо; *е* – рама балансира

4. Отливки закрытой и частично открытой коробчатой или цилиндрической форм ответственного назначения, применяемые для изготовления станин, столов, оснований прессов, молотов, корпусов насосов и др. (рис. 6.4).

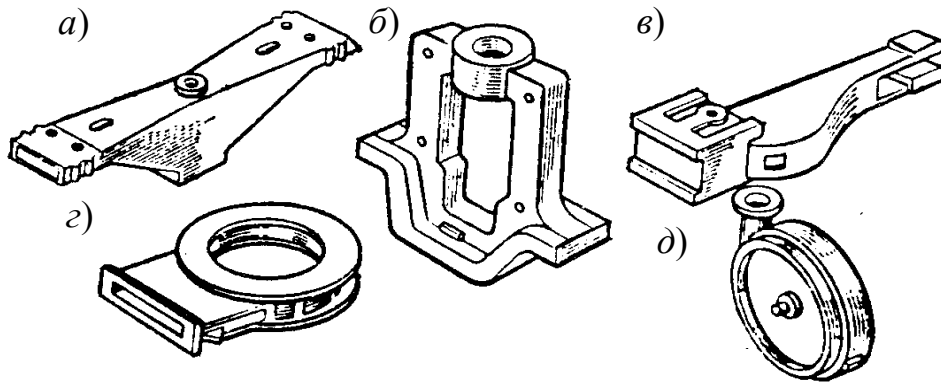


Рис. 6.4. Отливки 4 группы сложности: *а* – шкворневая балка; *б* – станина станка; *в* – ползун; *г* – корпус шибера; *д* – улитка

5. Отливки закрытой коробчатой и цилиндрической форм особо ответственного назначения, а также комбинированные, используемые для изготовления станин специальных металлорежущих станков, фасонных стальных цилиндров крупных деталей и др. (рис. 6.5).

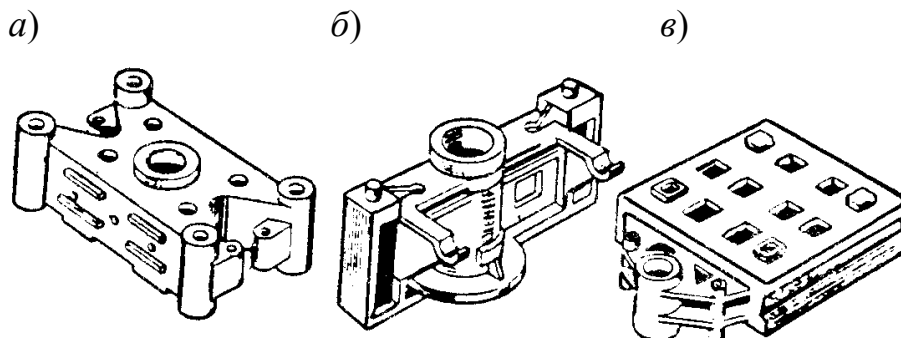


Рис. 6.5. Отливки 5 группы сложности: *а, б* – траверсы; *в* – станина

6. Отливки закрытой коробчатой и цилиндрической форм. Наружные поверхности образуются сопряжением прямолинейных и криволинейных поверхностей с переходами, тонкими ребрами и выступами. Внутренние полости особо сложной конфигурации, с наличием ленточных и кольцевых каналов, расположенных в два яруса и более. Типовые отливки – гидравлические коробки, блоки цилиндров, спрямляющие аппараты и др. (рис. 6.6).

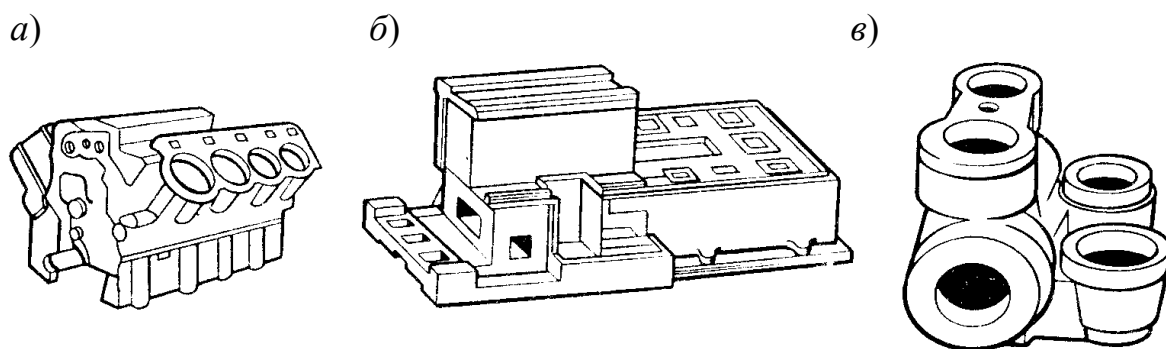


Рис. 6.6. Отливки 6 группы сложности: а – блок цилиндров; б – станина; в – гидравлическая коробка

Отливки из цветных сплавов по условию применения делят на три категории ответственности [37]. К категории I относятся отливки, длительно работающие в неблагоприятных условиях под значительными нагрузками; к категории II – отливки, используемые в нормальных условиях под средними нагрузками; отливки категории III являются мало-нагруженными.

В зависимости от массы, габаритных размеров, толщины стенки, класса размерной точности, категории ответственности отливки из алюминиевых и магниевых сплавов подразделяют также на шесть групп сложности (табл. 6.1). Причем отливки 1 и 2 групп сложности считаются сложными, 3 и 4 групп – средней сложности, 5 и 6 групп – простыми. Для определения группы сложности конкретной отливки необходимо сопоставить ее параметры с параметрами отливок каждой из групп сложности. По наибольшему числу признаков, но не менее чем по четырем, отливку относят к той или иной группе.

Табл. 6.1. Параметры алюминиевых и магниевых отливок различных групп сложности [37]

Параметр отливки	Группа сложности					
	1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7
Масса без литников и прибылей, кг, не более	30	15	8	30	15	8
Габаритные размеры, мм	400...1600	400...1000	250...1000	100...400	100...250	До 100
Толщина стенки, мм	4,5...7	4,5...6	4...6	1,5...5	Не ограничивается	
Число размеров, определяющих отливку	До 200	150...200	100...150	До 100	До 100	До 100

Окончание табл. 6.1

1	2	3	4	5	6	7
Класс размерной точности (ГОСТ 26645-85)	6...13т	5т...13т	5т...13т	3т...13т	3т...13т	3т...13т
Число стержней	До 15	До 10	До 10	До 8	До 5	Нет
Категория ответственности	I	I	I, II	I, II	II, III	II, III

ГОСТ 26645-85 устанавливает 20 классов размерной точности (3т, 3, 4, 5т, 5, 6, 7т, 7, 8, 9т, 9, 10, 11т, 11, 12, 13т, 13, 14, 15, 16) и 22 класса точности массы (1, 2, 3т, 3, ..., 16) отливок из металлов и сплавов. Класс размерной точности устанавливается в зависимости от назначения детали, типа сплава, способа литья, наибольшего габаритного размера отливки; класс точности массы – в зависимости от типа сплава, способа литья и массы отливки. При этом меньшие значения классов точности назначают на простые отливки в условиях массового производства, большие – на сложные, мелкосерийно и единично изготавливаемые отливки.

6.2. Технологичность конструкций отливок

Между конструкцией отливки и технологией ее изготовления существует тесная взаимосвязь. Правильное решение конструкторских и технологических задач оказывает решающее влияние на качество и стоимость отливок.

Под *технологичностью отливки* понимают ее конструктивные особенности, которые при наилучшем соответствии назначению детали обеспечивают минимальный уровень затрат на ее изготовление. Технологичной считают такую конструкцию отливки, которая в максимальной степени отвечает требованиям как литейной технологии, так и технологии механической обработки [14].

Технологичность отливок оценивают с помощью количественных и качественных показателей, описанных в разделе 1.

Значения коэффициентов использования материала для различных способов литья представлены в табл. 6.2.

Табл. 6.2. Коэффициенты выхода годного металла (КВГ), массовой точности (КМТ) и использования материала (КИМ)

Способ литья	Коэффициент		
	КВГ	КМТ	КИМ
В песчано-глинистые формы	0,3...0,5	0,71	0,21...0,70
В металлические формы (кокильное)	0,5...0,55	0,74	0,71...0,75
Под давлением	0,8...0,9	0,95	0,85...0,95
В оболочковые формы	0,76...0,81	0,9	0,85...0,9
По выплавляемым моделям	0,77...0,86	0,91	0,85...0,95

Кроме описанных коэффициентов, технологичность отливок можно оценивать следующими показателями:

1) коэффициентом габаритности

$$K_v = \frac{V}{M}, \quad (6.1)$$

где V – объем заготовки, см^3 ; M – масса заготовки, кг.

Чем меньше коэффициент габаритности, тем технологичнее конструкция заготовки;

2) технологичность тонкостенных отливок можно оценивать неравенством

$$200B_{\text{пр}}/L \geq 1, \quad (6.2)$$

где $B_{\text{пр}}$ – приведенная толщина отливки, находится как отношение объема отливки к площади поверхности; L – наибольший размер отливки.

Конструкция отливки должна отвечать следующим основным *технологическим требованиям*.

1. Иметь простое внешнее очертание – без резких переходов, углов и поворотов, высоких ребер и выступов, а также минимальное число внутренних полостей.

2. Обеспечивать направленное затвердевание и достаточную сопротивляемость усадочным и термическим напряжениям.

3. Толщина стенок должна быть рациональной, обеспечивающей хорошую заполняемость формы металлом при выбранном способе литья.

4. Конструктивные уклоны поверхностей должны по возможности обеспечивать изготовление литейных форм без усложняющих приемов, вызывающих, в частности, увеличение массы отливки.

5. Иметь достаточное число отверстий для удобства оформления стержнями внутренних поверхностей отливки.

6. Обладать по возможности небольшой металлоемкостью и подвергаться минимальной последующей механической обработке.

7. Материал отливки должен быть достаточно технологичным и экономичным при выбранном способе литья.

При оценке технологичности отливки с точки зрения ее формы и размеров следует стремиться к упрощению как наружных, так и внутренних поверхностей. Необходимо избегать излишне выступающих или западающих поверхностей, проверяя их наличие с помощью **правила «теней»** (рис. 6.7). Если на отливку направить пучок параллельных лучей, перпендикулярных предполагаемой плоскости разъема формы или стержневого ящика, то отсутствие теневых мест обеспечивает выполнение этого требования.

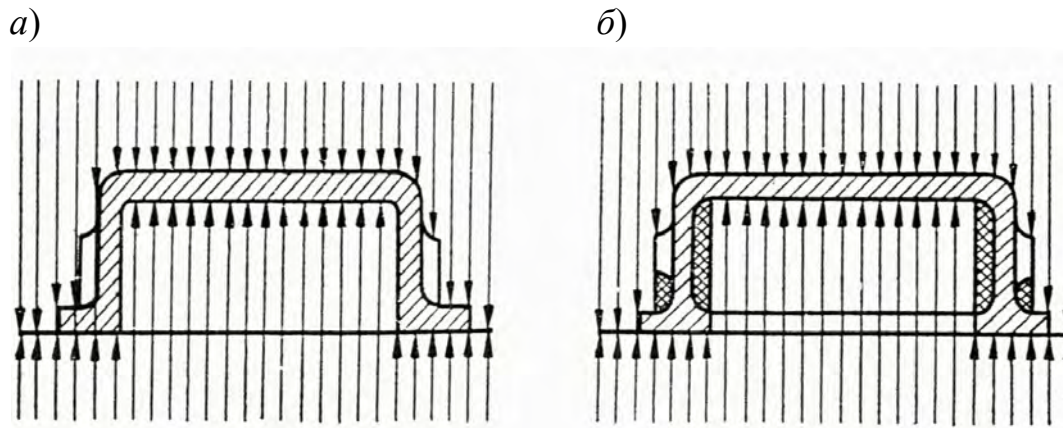


Рис. 6.7. Определение напусков методом «теней»: а – напуски не требуются; б – напуски необходимы (заштрихованные участки)

Напуски назначают на тех участках отливки, где отверстия впадины, полости и тому подобное получить литьем трудно или невозможно. Напуски удаляются механической обработкой. Назначение напусков на «теневых» участках позволяет упростить технологическую оснастку, технологию изготовления и в конечном итоге получить более качественную отливку.

Усадочные раковины и рыхлоты образуются в отливке из-за некомпенсированной усадки в процессе кристаллизации. Она может возникнуть при неправильном распределении массы металла по сечению отливки. Для того чтобы избежать этого дефекта, производят проверку конструкции стенки отливки **методом «вписанных окружностей»** (рис. 6.8). Суть его заключается в том, что по мере приближения фронта кристаллизации к прибыли диаметр окружности, вписанной в сечение отливки, должен увеличиваться.

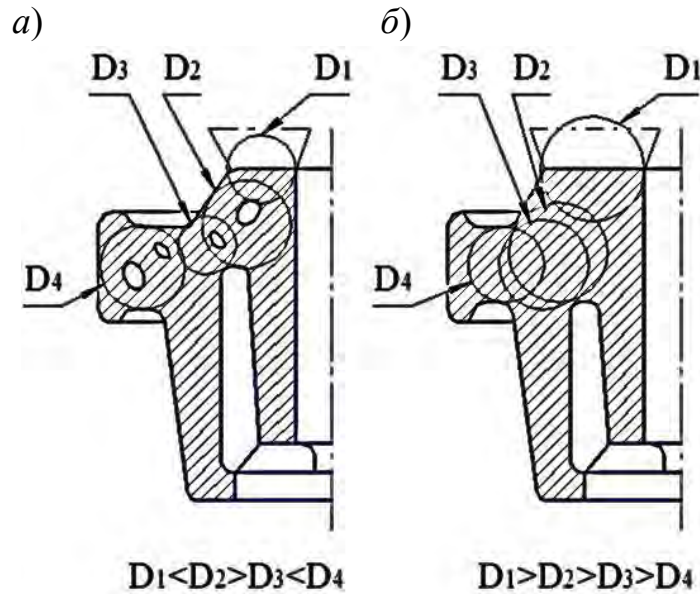


Рис. 6.8. Схема направленного затвердевания металла: а – нетехнологичная конструкция; б – технологичная конструкция

Иногда для обеспечения технологичности используют **принцип одновременной кристаллизации**, который заключается в том, что все стенки отливок – от нижней части до верхней – имеют одинаковую толщину и застывают практически одновременно. Этот принцип применяется в основном для мелких и средних отливок с тонкими стенками из сплавов с небольшой усадкой. Однако при этом не всегда обеспечиваются высокие прочность и плотность отливки.

6.3. Основные конструктивные типы отливок

Одним из главных преимуществ литья является возможность придания заготовке любой конфигурации. Отливки по своим очертаниям многообразны. Однако можно выделить два крайних основных типа отливок, обладающих определенными характерными конструктивными признаками [14].

Отливки относительно большого объема и с малой площадью поверхности относятся к конструктивному типу А (рис. 6.9, а). Это компактные массивные детали либо толстостенные конструкции с близко расположенными друг к другу стенками. Недостатком их является то, что из-за большой массы металла отливки склонны к образованию усадочных раковин вследствие различных скоростей охлаждения металла.

Отливки относительно малого объема и с большой площадью поверхности представляют собой другую крайность, их относят к конструк-

тивному типу Z (рис. 6.9, б). В эту группу входят все детали с плоскими стенками, детали сложной конфигурации, а также тонкостенные полые отливки с далеко отстоящими друг от друга стенками. Недостаток – из-за большой протяженности поверхности и небольшой толщины стенок в отливке возникают значительные внутренние напряжения.

Между крайними типами А, Z располагается бесчисленное множество конструктивных вариантов, частично сочетающих в себе признаки обоих крайних типов. Их относят к конструктивному типу М (рис. 6.9, в). В эту смешанную группу, встречающуюся наиболее часто, входят отливки, имеющие более или менее компактные части и тонкие стенки.

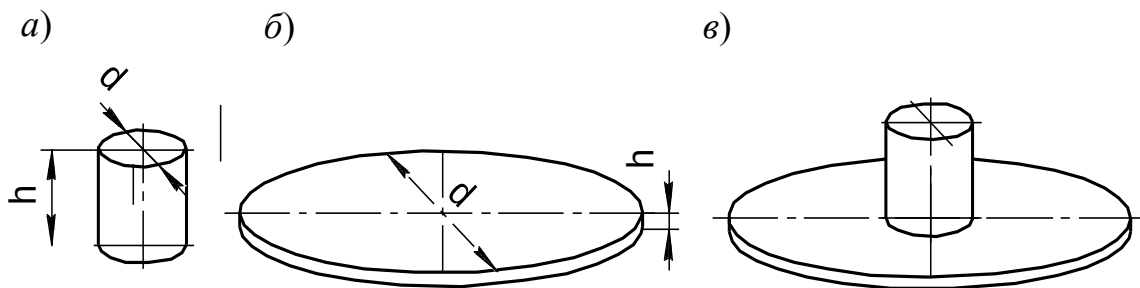


Рис. 6.9. Конструктивные типы отливок: а – тип А; б – тип Z; в – тип М = А + Z

6.4. Разработка конструкции отливки

Положение отливки в форме. При проектировании отливки необходимо учитывать ее положение в форме. Она должна располагаться так, чтобы гарантировать заполнение формы без разрушения струей металла отдельных участков формы или стержня. Конструкция формы должна обеспечивать направленную кристаллизацию отливки снизу вверх с тем, чтобы усадочные раковины, примеси, неметаллические включения выводились в части отливки, удаляемые при обрубке и очистке (выпоры, прибыли). В связи с этим, чтобы уменьшить дефекты, массивные и ответственные элементы отливок следует размещать в нижней половине формы, в крайнем случае – вертикально. Поверхности, связанные между собой точными размерами, рекомендуется располагать в одной половинке формы (желательно в нижней), чтобы не возникло искажений из-за смещений полуформ при сборке.

Отливки, имеющие удлиненные продольные размеры (патрубки, пустотелые коробки, рамы, плиты), следует располагать так, чтобы наибольший габарит был горизонтальным. В этом случае поверхность разъема

(или опоры) модели будет иметь более удобное (горизонтальное) положение.

Элементы отливок с малой и равномерной толщиной стенок следует располагать в верхней части формы для обеспечения хорошего подвода металла соответствующей конструкцией питателей. Тонкостенные элементы отливок желательно размещать вертикально или наклонно, чтобы в них не скапливались газовые пузыри. Детали типа тел вращения рекомендуется формовать с вертикальным расположением оси вращения, чтобы обеспечить верхний отвод газов из стержней. Отливку в форме следует размещать так, чтобы общая высота формы была минимальной, а полуформы имели примерно одинаковую высоту. Положение отливки в форме при заливке указывается стрелками и буквами В (верх) и Н (низ). Разъем модели и формы обозначают на всех проекциях буквами МФ [39].

Выбор положения плоскости разъема модели и формы. Выбор положения плоскости разъема формы и модели зависит от размеров отливки, ее конфигурации и способа литья. Необходимо обеспечить удобство формовки, а также сборки формы. Количество разъемов должно быть минимальным, а поверхности по возможности плоскими.

В случае машинной формовки желательно иметь только один разъем. Не рекомендуется пересекать плоскостью разъема ответственные обрабатываемые или базовые поверхности. Необходимо учитывать, что наличие разъема формы может приводить (при поврежденных элементах соединения опок) к смещению частей отливки относительно друг друга (перекосы). По возможности желательно всю отливку или ее большую часть помещать в одной части формы, лучше в нижней.

При выборе плоскости разъема следует обеспечить соответствующий подвод металла и рациональное размещение частей литниковой системы. Часто, исходя из необходимости правильного питания отливки жидким металлом, приходится делать дополнительный разъем формы. Правила выбора положения отливки в форме приведены в [28].

Внешнее очертание отливок. Внешнее очертание отливок должно быть по возможности простым. Сложные детали, а также детали с большими габаритными размерами рекомендуется делать сборными, т. к. при этом упрощаются процесс изготовления моделей и формовка, уменьшаются по размерам и упрощаются по форме стержни, появляется возможность падения внутренних напряжений в отливках. Все это создает условия для снижения брака отливок.

Особенно целесообразно разделение отливки на составные части, обеспечивающее применение машинной формовки, что позволяет полу-

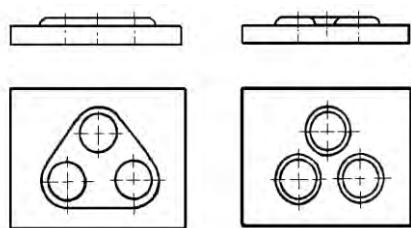
чать отливки с более точными размерами. Не рекомендуется разделение отливок деталей с повышенными требованиями к жесткости. Мелкие и простые отливки стоит комбинировать в более крупную отливку. При этом снижается расход металла на литниковую систему.

При наличии у отливки выступающих наружу крепежных приливов и бобышек рекомендуется выполнять следующее.

1. Близко расположенные приливы или бобышки необходимо объединять в один прилив (рис. 6.10).

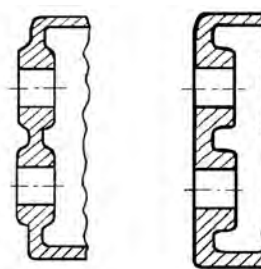
2. Если деталь имеет внутренние полости, выполняемые с применением стержней, то выступающие наружу приливы и бобышки следует переносить внутрь детали (рис. 6.11).

3. Наличие приливов и бобышек не должно вызывать местных скоплений металла, для чего их высота не должна превышать толщины стенки, на которой они расположены. При этом наименьшая высота бобышек назначается в зависимости от наибольшего габаритного размера детали. В табл. 6.3 приводятся некоторые рекомендуемые высоты бобышек.



Правильно Неправильно

Рис. 6.10. Расположение наружных приливов



Неправильно Правильно

Рис. 6.11. Расположение внутренних приливов

Табл. 6.3. Рекомендуемые пределы высот бобышек

Наибольший габаритный размер детали, мм	До 500	500...2000	Св. 2000
Наименьшая высота обрабатываемой бобышки, мм	5	10	20

Верхним (по положению при заливке) плоским поверхностям большой протяженности необходимо придавать при заливке некоторый наклон, в противном случае поверхность будет плохого качества из-за наличия таких видов брака, как ужимины и газовые раковины.

У отливки не следует допускать двустороннюю механическую обработку, при которой в стружку удаляется наиболее прочный слой металла. Примеры правильного (б) и неправильного (а) назначения поверхностей для механической обработки представлены на рис. 6.12. Остальные рекомендации даны в [19].

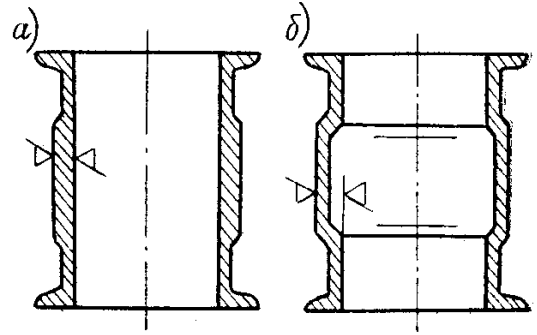


Рис. 6.12. Примеры назначения поверхностей для механической обработки

Толщина стенок отливок. После определения сложности отливки, класса точности размеров и массы отливки выбирают в зависимости от материала отливки, его механических и технологических свойств, способа литья, конфигурации и размеров отливки минимально допустимую толщину стенки. Необходимо стремиться к оптимальной толщине стенок, т. к. если толщина завышена, это может привести к появлению усадочных рыхлот, пористости и др. дефектов, что в конечном итоге вызовет снижение прочности стенок отливки и увеличение расхода материала. Однако если толщина стенок занижена, то в отливке могут появиться коробления и трещины.

Оптимальная толщина стенок назначается так, чтобы обеспечить необходимую расчетную прочность и удовлетворить требованиям технологии выбранного способа литья. Наименьшую толщину стенок определяют в зависимости от приведенного габарита отливки:

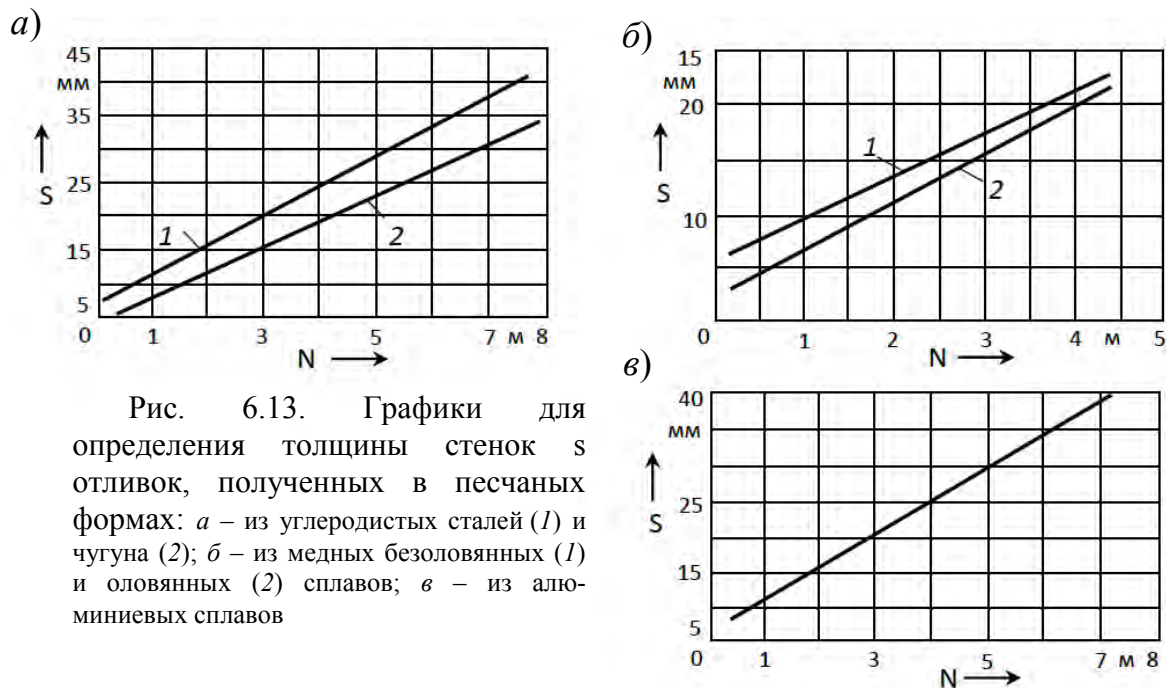
$$N = (2l + b + h) / 3, \quad (6.3)$$

где l , b , h — длина, ширина и высота заготовки соответственно, м.

Для отливок, получаемых литьем в песчано-глинистые формы, оптимальную толщину стенок находят по графикам (рис. 6.13). Если приведенный габарит N окажется равным 8, то толщину стенок принимают для стальных и чугунных отливок соответственно не менее 40 и 30 мм [25].

В зависимости от условий охлаждения и материала отливки в некоторых случаях в полученные толщины стенок отливок вносят определенные коррективы. Так, толщина внутренних стенок для чугунных и алюминиевых отливок должна быть на 10...20 % меньше толщины наружных стенок. Для отливок из модифицированного и высокопрочного чугунов толщину стенок увеличивают на 15...20 % по сравнению с отливками из серого чугуна. Если отливка из легированной стали, толщину стенки уве-

личивают на 20...30 % по сравнению с однотипной отливкой из легированной стали.



Если полученная минимальная толщина стенки окажется больше указанной на чертеже, необходимо по согласованию с конструктором произвести соответствующую корректировку.

Минимальные толщины стенок отливок для специальных способов литья [23, 29]:

– для литья в кокиль: чугун – 4...7 мм, сталь – 8...10 мм, алюминиевые сплавы – 2,2...5,5 мм, магниевые сплавы – 3 мм, бронза – 4...6 мм;

– для литья под давлением: цинковые сплавы – 0,5...1,8 мм, магниевые сплавы – 0,7...3,0 мм, алюминиевые сплавы – 0,8...3,0 мм, латуни – 1,5...3,0 мм;

– для центробежного литья – 5...8 мм;

– для литья под низким регулируемым давлением – 1,5...2,0 мм (для крупногабаритных отливок – 3...6 мм);

– для литья в оболочковые формы – не менее 1...2 мм;

– для литья по выплавляемым моделям – 2...5 мм (в отдельных случаях – 0,5...1,5 мм);

– для литья по газифицируемым моделям – 6...8 мм;

– штамповка заготовок из расплава – 0,5 мм.

Внутренние полости и отверстия в отливках. Внутренние полости отливок необходимо по возможности выполнять без применения стержней за счет выступающих частей формы. При машинной формовке выступа-

ющие части, расположенные в нижней опоке и стоящие на своем основании, могут иметь высоту H , меньшую или равную диаметру D или ширине B основания. Выступающие части верхних опок могут иметь высоту $h \leq 0,3 D (B)$. При ручной формовке вышеуказанные нормы рекомендуется уменьшать до 50 %.

Конфигурация внутренних полостей должна быть по возможности простой. При наличии сложных полостей стержни рекомендуется выполнять составными, состоящими из более простых элементов, обеспечивая тем самым удобство сборки стержня и надежность крепления его частей. Желательно, чтобы целые стержни или части составных стержней могли быть изготовлены машинным способом. Стержни должны иметь размеры в сечении, позволяющие применять металлические каркасы для увеличения их прочности. Выходные отверстия для знаков стержня изготавливаются с размерами, достаточными для надежного крепления стержней. При малом их количестве предусматриваются дополнительные отверстия.

Минимальный диаметр отверстий, выполняемых литьем в песчано-глинистые формы, выбирают таким, чтобы избежать сильного перегрева и пригара стержня к стенкам отверстия отливки. Возможность спекания стержневой смеси и пригара определяется массой окружающего материала, поэтому минимальный размер литых отверстий зависит от толщины стенки и может быть вычислен по формуле [25]

$$d_{\min} = d_0 + 0,1s, \quad (6.4)$$

где d_0 – исходный диаметр, мм; s – толщина стенки, мм.

Исходный диаметр d_0 на практике выбирается в зависимости от материала отливки: для медных сплавов – 5 мм, для чугунов и алюминиевых сплавов – 7 мм, для сталей – 10 мм.

Если указанный на чертеже размер отверстия меньше полученного расчетом $d_{\min}$, то его в литье не выполняют.

Минимальные диаметры отверстий отливок, получаемых специальными способами литья [29]:

– для литья в кокиль: чугун и медные сплавы – 10 мм, сталь – 12 мм, алюминиевые сплавы – 8 мм, цинковые сплавы – 6 мм;

– для литья под давлением: цинковые сплавы – 1,0...1,5 мм, магниевые сплавы – 1,5...2,0 мм, алюминиевые сплавы – 1,5...2,2 мм, латуни – 2,5...3,0 мм;

– для литья в оболочковые формы – 8...10 мм (с помощью стержней из цирконового песка – 4...6 мм);

– для литья по выплавляемым моделям – 6 мм.

Припуски на механическую обработку отливок. Любая заготовка, предназначенная для дальнейшей механической обработки, изготавливается с припуском. Припуск представляет собой излишек материала, необходимый для получения окончательных размеров и заданной шероховатости поверхности детали. Поверхности детали, не подвергающиеся обработке, припусков не имеют. Исходным параметром для назначения припуска является чертеж детали.

Припуски на механическую обработку отливок (на сторону) различают основные и дополнительные. *Основные припуски* выбираются в зависимости от допусков на соответствующий размер отливки и ряда припусков (ГОСТ 26645-85) [47]. Под номинальным размером при установлении припусков следует понимать номинальное расстояние между обработанной поверхностью и базой ее механической обработки, а при обработке поверхностей вращения – их номинальный диаметр. Полученные значения основных припусков относятся к поверхностям отливки, находящимся при заливке сбоку или снизу. На верхние при заливке поверхности допускается увеличение припуска до значения, соответствующего следующему ряду припусков.

Дополнительный припуск на механическую обработку предназначен для компенсации отклонений расположения элементов отливки: коробления, смещения по плоскости разъема и т. п. Его назначают в том случае, когда наибольшее из предельных отклонений превышает половину допуска на соответствующий размер отливки.

Общий припуск на механическую обработку определяется как сумма основного и дополнительного припусков.

Допуски на линейные размеры отливок. Допуски на линейные размеры отливок назначаются по ГОСТ 26645-85 в зависимости от класса точности и номинального размера. Допуски угловых размеров в пересчете на линейные не должны превышать установленных значений.

Допуски размеров элементов отливок, образованных одной частью формы или одним стержнем, устанавливают на 1...2 класса точнее, а элементов, образованных тремя и более частями формы или несколькими стержнями, – на 1...2 класса грубее.

Для размеров элементов отливки (кроме толщин стенок), размещенных в одной части формы и не подвергаемых механической обработке, предпочтительно несимметричное одностороннее расположение полей допусков «в тело», т. е. для охватывающих элементов (отверстие) – «в плюс», а для охватываемых (вал) – «в минус». Для размеров всех остальных эле-

ментов отливок, как не подвергаемых механической обработке, так и подвергаемых, рекомендуется симметричное расположение полей допусков.

Формовочные уклоны отливок. Формовочные уклоны назначаются на вертикальных стенках отливки с целью облегчения удаления модели из формы и стержня из стержневого ящика. Уклоны устанавливаются по ГОСТ 3212-80 в зависимости от размеров углублений, высоты формообразующей поверхности, способа

лития и вида модельного комплекта (табл. 6.4). На обрабатываемых поверхностях уклон устанавливается сверх припуска на механическую обработку (рис. 6.14, а), на необрабатываемых и несопрягаемых поверхностях – путем одновременного увеличения и уменьшения размеров отливки (рис. 6.14, в), на необрабатываемых, но сопрягаемых поверхностях – путем уменьшения или увеличения размеров (рис. 6.14, б, г).

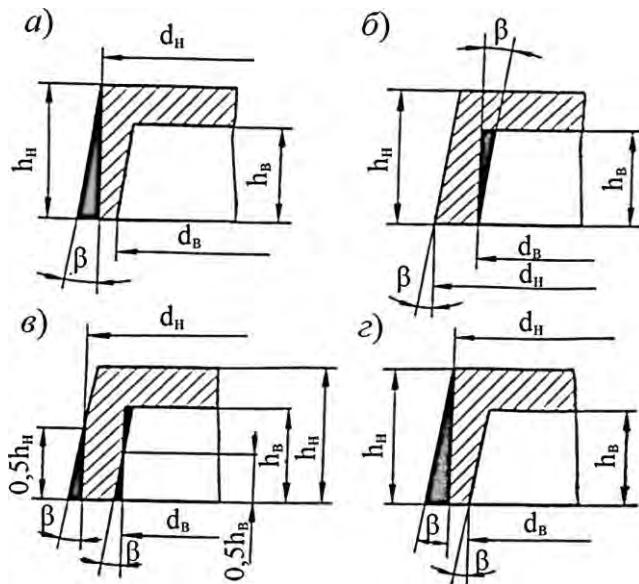


Рис. 6.14. Формовочные уклоны

Формовочные уклоны могут исказить форму необрабатываемых поверхностей, поэтому их целесообразно показывать на чертеже отливки. Образования уступов допускать не следует.

Табл. 6.4. Формовочные уклоны отливки при литье в ПГФ [41]

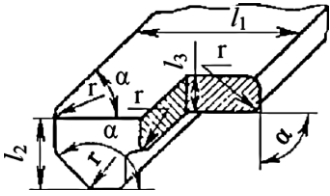
Высота h поверхности мо- дели, извлекаемой из формы, мм	Угол наклона β поверхностей			
	образующих полость формы		образующих узкие выступы и углубления в полости формы	
	Металлическая, пластмассовая модели	Деревянная модель	Металлическая, пласт- массовая модели	Деревянная модель
≤ 20	$1^\circ 30'$	3°	3°	3°
21...50	1°	$1^\circ 30'$	2°	$2^\circ 30'$
51...100	$0^\circ 45'$	1°	1°	$1^\circ 30'$
101...200	$0^\circ 30'$	$0^\circ 45'$	$0^\circ 45'$	1°
201...300	$0^\circ 30'$	$0^\circ 30'$	$0^\circ 45'$	1°
301...800	$0^\circ 20'$	$0^\circ 30'$	$0^\circ 30'$	$0^\circ 45'$
801...2000	—	$0^\circ 20'$	—	$0^\circ 30'$
> 2000	—	—	—	$0^\circ 15'$

Для специальных способов литья формовочные уклоны устанавливаются согласно [29, 31].

Радиусы закруглений наружных углов отливок. Сопряжения стенок, углов и переходов отливок.

Радиусы закруглений наружных углов отливок назначают в зависимости от размеров детали и углов между сопрягаемыми поверхностями (табл. 6.5).

Табл. 6.5. Радиусы закруглений наружных углов отливки [15]

Эскиз отливки	$l_1; l_2; l_3$, мм	Значения угла α°					
		До 50	Св. 50 до 70	Св. 70 до 105	Св. 105 до 135	Св. 135 до 165	Св. 165
	До 25	2	2	2	4	6	8
	25...50	2	4	4	6	10	16
	50...150	4	4	6	8	16	25
	150...250	4	6	8	12	20	32
	250...400	6	8	10	16	25	40
	400...600	6	8	12	20	32	50
	600...1000	8	12	16	25	40	60
	1000...1600	10	16	20	32	50	80
	1600...2500	12	20	25	40	60	100
	Св. 2500	16	25	32	50	80	120

Примечание. $l_1; l_2; l_3$ – наименьшие габаритные размеры в сечении, перпендикулярном к образующей цилиндрической поверхности закругления; α – угол между сопрягаемыми поверхностями.

При конструировании деталей часто приходится сопрягать стенки различной толщины. У отливок для большей их надежности при сопряжении стенок, отличающихся по толщине менее чем в два раза, рекомендуется применять галтели (радиусы внутренних углов). Галтели обеспечивают плавный переход и предотвращают возникновение трещин из-за неравномерного затвердевания и остывания отливки (рис. 6.15) [1].

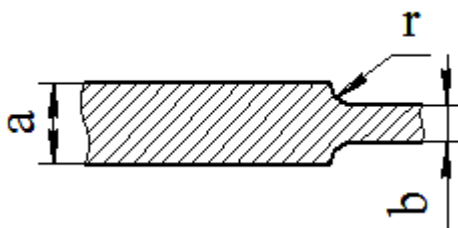


Рис. 6.15. Размеры галтели

Для литья в ПГФ радиус галтели рекомендуется выбирать по формуле

$$r = (0,17 \dots 0,33) \frac{a+b}{2}. \quad (6.5)$$

По нормальному ряду радиусов выбирают ближайший: 1, 2, 5, 8, 10, 16, 20, 25, 40. По возможности все галтели должны быть одного радиуса.

Для специальных способов радиус галтели выбирается согласно [29].

Если толщины сопрягаемых стенок различаются в два и более раза, желательно применять клиновое сопряжение (рис. 6.16). При этом сопряжение может быть выполнено по вариантам 1 и 2.

Длину сопряжения L рекомендуется принимать:

- для чугуна и цветных сплавов $L = 5(a - b)$;
- для стали $L = 5(a - b)$.

При угловых сопряжениях стенок разной толщины с отношением $(a/b) \leq 2$ для получения плавного перехода делают закругление с внешним радиусом R , равным большей толщине стенки, и внутренним радиусом $r = (0,17 \dots 0,33)(a + b) / 2$ (рис. 6.17).

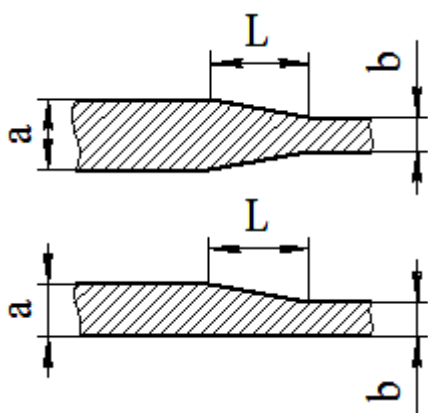


Рис. 6.16. Клиновое сопряжение

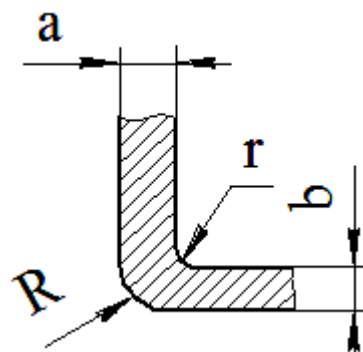


Рис. 6.17. Сопряжение стенок

Оформление сопряжений стенок под острым углом показано на рис. 6.18.

При соотношении толщин сопрягаемых стенок $(a/b) > 2$ переход необходимо оформить, как продемонстрировано на рис. 6.19. При этом $c \approx 3\sqrt{a-b}$; $b + c \leq 2$; для чугунного и цветного литья $h \approx 4c$, для стального литья $h \approx 5c$.

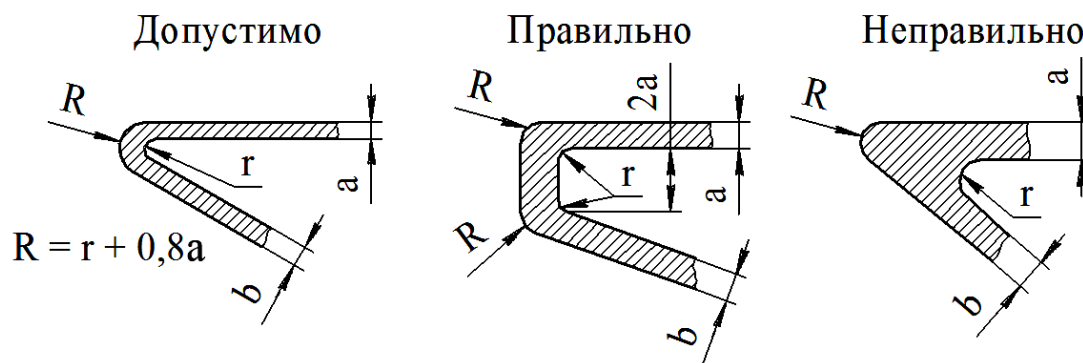


Рис. 6.18. Сопряжение стенок под острым углом

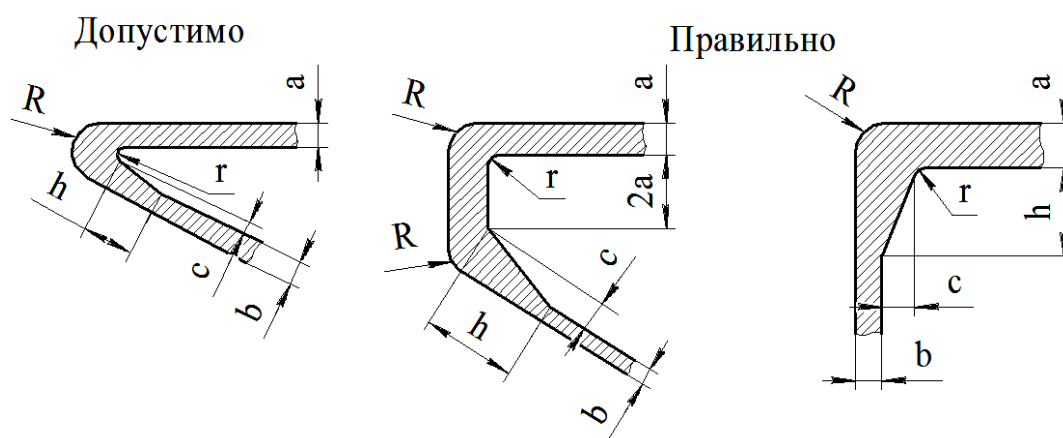


Рис. 6.19. Сопряжения стенок отливок

Сопряжения трех стенок осуществляется по вариантам, как показано на рис. 6.20.

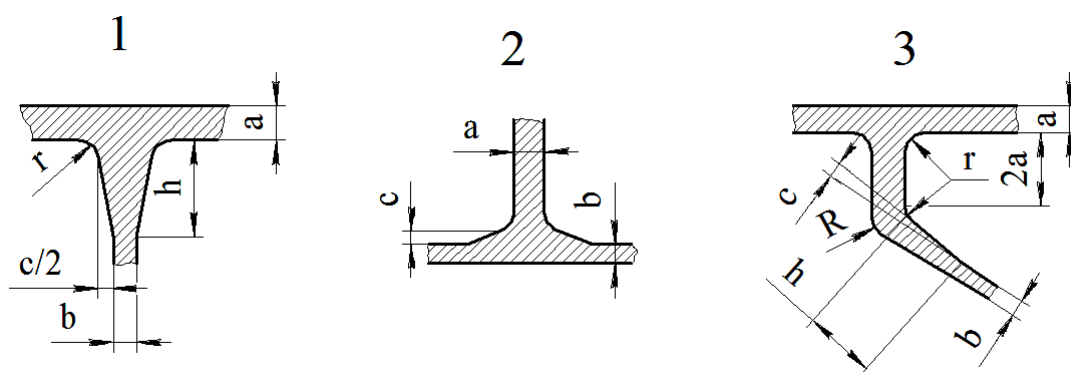
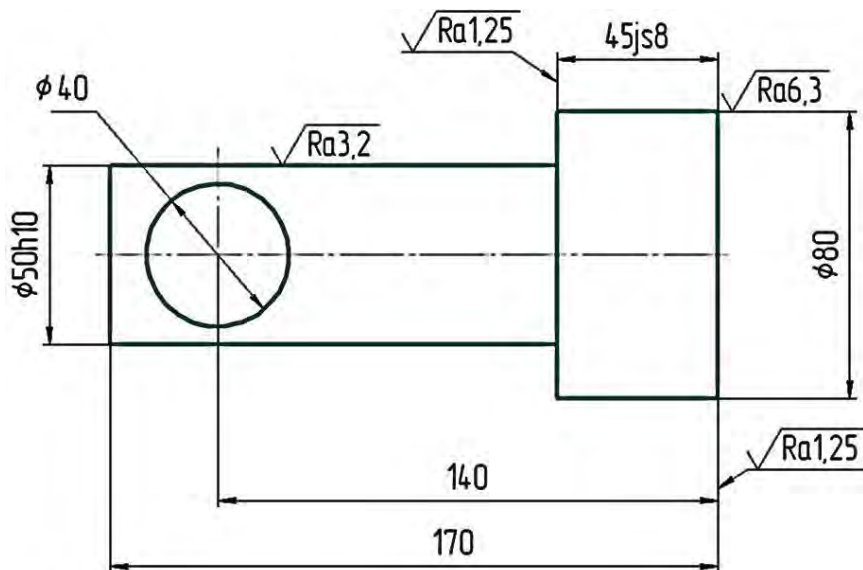


Рис. 6.20. Схемы сопряжения трех стенок

Здесь при $(a / b) \leq 1,25$ $c = 0$; при $(a / b) = (1,25 \dots 2,0)$ $c = a - b$;
при $(a / b) > 2$ $c \approx 3\sqrt{a - b}$.

6.5. Пример назначения допусков на размеры отливки и припусков на механическую обработку

Для детали, изображенной на рис. 6.21, необходимо определить класс размерной точности отливки, степень коробления, степень точности поверхностей, класс точности массы, назначить допуски на размеры отливки и припуски на механическую обработку поверхностей, определить исполнительные размеры заготовки.



1. HB ≤ 50
2. Неуказанные фаски 0,8 x 45°
3. Неуказанные предельные отклонения: H14, h14, ±IT 14/2

Рис. 6.21. Ось

Исходные данные:

- материал детали – АЛ5 (ГОСТ 2685-75), $\rho = 2698,8 \text{ кг/м}^3$;
- тип производства – серийный;
- способ получения заготовки – литье в оболочковую форму из терморезистивных смесей.

1. Назначение предельных отклонений на номинальные размеры детали, полученные механообработкой, в соответствии с их качествами точности. Определение допуска.

Согласно чертежу детали-оси устанавливаем: размеры D; D₁; L₂ обеспечиваются механической обработкой, а размеры d; L; L₁ – литейной технологией. На каждый из номинальных размеров D; D₁; L₂ назначаем предельные отклонения [46] и определяем допуски:

$D = \varnothing 50 \text{ h}10;$	$D = \varnothing 50_{-0,10};$	$\delta_D = 0,10 \text{ мм};$
$D_1 = \varnothing 80 \text{ h}14;$	$D_1 = \varnothing 80_{-0,74};$	$\delta_{D1} = 0,74 \text{ мм};$
$L_2 = 45 \text{ js}8;$	$L_2 = 45 \pm 0,019;$	$\delta_{L2} = 0,038 \text{ мм}.$

2. Определение сложности отливки.

В соответствии с табл. 6.1 отливка простая.

3. Определение положения отливки в форме (рис. 6.22).

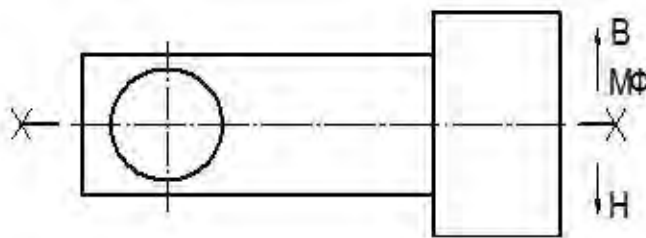


Рис. 6.22. Положение отливки в форме

Внешние очертания и конструкция литой детали должны быть такими, чтобы модель можно было по возможности изготовить с одним плоским разъемом. Модель или ее части при формовке должны легко извлекаться из формы. Для проверки этого требования можно использовать правило «теней». Для литья в оболочковые формы расположение отливки в форме определяем в соответствии с [29].

4. Установление уровня точности обработки отливки.

В соответствии с [47, табл. 15] уровень точности обработки при нормальной точности станков для серийного типа производства устанавливается средний.

5. Назначение степени точности поверхностей отливки.

Согласно [47, табл. 11] для литья в оболочковые формы при наибольшем габаритном размере отливки 170 мм, выполненной из алюминия, не подвергаемой термообработке, степень точности поверхностей отливки лежит в пределах 7...13. В соответствии с примечаниями к данному приложению необходимо произвести условную разбивку их на три группы, представив все цифры, входящие в диапазон: 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13. Соответственно для массового производства – 7; 8; 9; для серийного – 9; 10; 11; для единичного – 11; 12; 13. Причем меньшие значения относятся к простым отливкам, большие – к сложным.

Согласно исходным данным задания принимаем для серийного производства и простой отливки 9 степень точности поверхностей.

6. Установление шероховатости поверхностей отливки.

Соответствие между шероховатостью и степенями точности отливок

представлено в [47, табл. 12].

Для 9 степени точности поверхностей отливки устанавливается среднее арифметическое отклонение профиля Ra 12,5.

7. Определение классов размерной точности отливки и уточнение классов точности.

Классы размерной точности отливок приведены в [47, табл. 9].

Так как по исходным данным имеем отливку из легкого сплава, полученную литьем в оболочковую форму из термореактивных смесей, то диапазон классов размерной точности составит 7...12.

В соответствии с примечаниями к данному приложению необходимо произвести условную разбивку их на три группы, представив все цифры, входящие в диапазон: 7; 8; 9т; 9; 10; 11т; 11; 12. Соответственно для массового производства – 7; 8; 9т; для серийного – 9; 10; 11т; для единичного – 11т; 11; 12. Причем меньшие значения относятся к простым отливкам, большие – к сложным.

Принимаем 9 класс размерной точности отливки. Однако с учетом положения отливки в форме уточним класс точности каждого из размеров [47, пп. 2.2, 2.3].

Без изменений класса точности размеров сохраняются те, которые образованы двумя полуформами:

$$\begin{aligned} D'_1 &= \varnothing 80 \text{ мм (9 кл);} & D' &= \varnothing 50 \text{ мм (9 кл);} \\ L' &= 170 \text{ мм (9 кл);} & L'_1 &= 140 \text{ мм (9 кл);} & L'_2 &= 45 \text{ мм (9 кл).} \end{aligned}$$

Класс точности размеров, образованных стержнем, для $d = \varnothing 40$ мм составляет 9т кл.

8. Назначение допусков размеров поверхностей отливки.

Допуски линейных размеров отливки, изменяемых и неизменяемых обработкой, следует назначить по [47, табл. 1] в зависимости от номинального размера отливки и класса точности:

$D'_1 = \varnothing 80 \text{ мм;}$	$\delta'_{D1} = 2,2 \text{ мм;}$
$D' = \varnothing 50 \text{ мм;}$	$\delta'_D = 2,0 \text{ мм;}$
$L' = 170 \text{ мм;}$	$\delta'_L = 2,8 \text{ мм;}$
$L'_1 = 140 \text{ мм;}$	$\delta'_{L1} = 2,4 \text{ мм;}$
$L'_2 = 45 \text{ мм;}$	$\delta'_{L2} = 2,0 \text{ мм;}$
$d' = \varnothing 40 \text{ мм;}$	$\delta'_d = 1,4 \text{ мм.}$

9. Определение степени коробления отливки.

Степень коробления определяют по [47, табл. 10]. Для этого найдем численную величину отношения наименьшего размера отливки к наибольшему, т. е. $45/170 = 0,265$. Диапазон степеней коробления составит 3...6. Меньшие значения из диапазона степеней коробления относятся к простым отливкам из легких цветных сплавов. Тогда, выписав все цифры, входящие в упомянутый диапазон, и произведя разбивку (3...4...5...6), найдем, что степень коробления отливки равна 3.

10. Определение ряда припусков на обработку отливки.

Для найденной ранее 9 степени точности поверхностей отливки в соответствии с [47, табл. 14] диапазон припусков составит 3...6. В связи с тем, что рассматриваемая простая отливка выполнена из легкого цветного сплава, принимаем 3 ряд припусков на обработку отливки.

11. Определение допуска смещения отливки по плоскости разъема.

Этот допуск устанавливают по [47, табл. 1] на уровне размерной точности отливки по номинальному размеру наиболее тонкой из стенок отливки, выходящих на разъем или пересекающих его.

По чертежу детали может быть предварительно определена наиболее тонкая стенка отливки $((170 - 140) - (40/2) = 30 - 20 = 10 \text{ мм})$. В связи с тем, что для отливки в целом установлен 9 класс точности размеров, устанавливаем по [47, табл. 1] допуск смещения отливки по плоскости разъема, равный 1,2 мм.

Допуск смещения, вызванный перекосом стержня, определяют согласно [47, п. 2.8]. Его устанавливают в диаметральной выражении по [47, табл. 1] на 1...2 класса точнее класса размерной точности отливки по номинальному размеру наиболее тонкой из стенок отливки, формируемых с участием стержня.

Установим для номинального размера класс точности 9т. Тогда по [47, табл. 1] допуск смещения от перекоса стержня для толщины стенки $((50 - 40)/2 = 5 \text{ мм})$ будет равен 0,9 мм.

Допуск неровностей поверхности отливки определяют согласно [47, п. 2.17 и табл. 3]. Неровность поверхности (ГОСТ 2789-73 и ГОСТ 25142-82) – совокупность повторяющихся неровностей малой величины (микронеровностей). По [47, табл. 3] допуск неровностей поверхности составляет 0,32 мм, т. к. имеем 9 степень точности поверхностей.

12. Установление вида окончательной механической обработки.

Для установления вида окончательной механической обработки отдельно взятой поверхности чертежа отливки необходимо воспользоваться данными [47, табл. 7 и 8]. Следует учитывать, что при неуказанных допус-

ках формы и расположения обрабатываемой поверхности отливки их суммарное значение принимают равным 50 % от допуска размера от базы до обрабатываемой поверхности отливки, и эти допуски должны соответствовать данным [47, табл. 2].

Таким образом, выполнив расчет с учетом данных [47, табл. 7 и 8], принимают тот вид обработки, который соответствует более точной обработке.

Определение вида окончательной обработки по варианту 1 [47, табл. 7]. Ранее были установлены предельные отклонения и допуски размеров для детали:

$$\begin{aligned}\delta_D &= 0,10 \text{ мм;} \\ \delta_{D1} &= 0,74 \text{ мм;} \\ \delta_{L2} &= 0,038 \text{ мм.}\end{aligned}$$

Установлены допуски размеров отливки:

$$\begin{aligned}\delta'_D &= 2,0 \text{ мм;} \\ \delta'_{D1} &= 2,2 \text{ мм;} \\ \delta'_{L2} &= 2,0 \text{ мм.}\end{aligned}$$

Для определения вида окончательной механической обработки в соответствии с [47, табл. 7] необходимо найти величину соотношения между допусками размера детали и отливки от базы обработки до обрабатываемой поверхности.

$$\begin{aligned}K_7^D &= \delta_D / \delta'_D = 0,10 / 2,0 = 0,05; \\ K_7^{D1} &= \delta_{D1} / \delta'_{D1} = 0,74 / 2,2 = 0,336; \\ K_7^{L2} &= \delta_{L2} / \delta'_{L2} = 0,038 / 2,0 = 0,019.\end{aligned}$$

Согласно [47, табл. 7] устанавливаем вид окончательной обработки:

$$\begin{aligned}K_7^D &\text{ – тонкая обработка;} \\ K_7^{D1} &\text{ – черновая обработка;} \\ K_7^{L2} &\text{ – тонкая обработка.}\end{aligned}$$

Определение вида окончательной обработки по варианту 2 [47, табл. 8].

Устанавливаем в соответствии с [47, п. 2.3 и табл. 2] допуск формы и расположения для каждой из поверхностей отливки.

Однако ввиду того, что для поверхностей (размеры D' и L'_2) назначена тонкая обработка, уточнение вида обработки произведем только для поверхности с размером D'_1 .

Допуск формы и расположения элементов отливки δ'_Φ выбирается в зависимости от номинального размера нормируемого участка отливки и ее степени коробления. Согласно [47, п. 9] определена 3 степень коробления.

Тогда

$$\delta'^{D1}_\Phi = 0,20 \text{ мм.}$$

Допуск формы и расположения обработанной поверхности детали δ_Φ определим по [47, примечание табл. 8, п. 2]:

$$\delta^{D1}_\Phi = 0,5\delta_{D1} = 0,5 \cdot 0,740 = 0,370 \text{ мм.}$$

Найдем соотношение между допусками формы и расположения обрабатываемой поверхности детали и обрабатываемой поверхности отливки:

$$K^{D1}_8 = \delta^{D1}_\Phi / \delta'^{D1}_\Phi = 0,37 / 0,20 = 1,85.$$

Согласно [47, табл. 8] имеем следующее:

$$K^{D1}_8 - \text{черновая обработка.}$$

Таким образом, сравнивая результаты расчетов, произведенных с учетом данных [47, табл. 7 и 8], устанавливаем окончательные виды механической обработки для получения нижеуказанных размеров:

- D – тонкая обработка;
- D_1 – черновая обработка;
- L_2 – тонкая обработка.

13. Установление общих допусков элементов отливки.

Общий допуск для каждого из размеров отливки определяется по [47, табл. 16]. Для размера отливки D' при допуске размера от поверхности

до общей базы $\delta'_D = 2,0$ мм, а также допуске формы и расположения поверхности $\delta_{\phi}^D = 0,20$ мм общий допуск элемента отливки $\delta_{D'}^{\circ} = 2,0$ мм. Аналогично общий допуск для размера отливки D'_1 $\delta_{D1'}^{\circ} = 2,4$ мм, для размера L'_2 $\delta_{L2'}^{\circ} = 2,0$ мм.

14. Установление общих припусков на обработку.

Общие припуски на обработку на сторону назначаются по [47, табл. 6] в зависимости от общего допуска для отдельно взятого элемента поверхности, вида окончательной механической обработки и ряда припуска.

Обозначим общий припуск через Z . Тогда для получения размера D с заданной точностью для тонкой окончательной обработки, для 3 ряда припусков и при общем допуске $\delta'_D = 2,0$ мм общий припуск на сторону составит $Z_D = 2,8$ мм. Соответственно, $Z_{D1} = 1,8$ мм, $Z_{L2} = 2,8$ мм.

15. Определение исполнительных размеров отливки.

Исполнительные размеры отливки определяются по следующим формулам:

$$\begin{aligned} D' &= (D + 2Z_D) \pm \delta_{D'}^{\circ} / 2 = (50 + 2 \cdot 2,8) \pm 2,0 / 2; & D' &= 55,6 \pm 1,0; \\ D' &= 56,0^{+1,6}_{-0,4} \text{ мм}; \\ D'_1 &= (D_1 + 2Z_{D1}) \pm \delta_{D1'}^{\circ} / 2 = (80 + 2 \cdot 1,8) \pm 2,4 / 2; & D'_1 &= 83,6 \pm 1,2; \\ D'_1 &= 84,0^{+1,8}_{-0,6} \text{ мм}; \\ L' &= (L + Z_L) \pm \delta_{L'}^{\circ} / 2 = (170 + 2,8) \pm 2,8 / 2; & L' &= 172,8 \pm 1,4; \\ L' &= 173^{+2,0}_{-0,8} \text{ мм}; \\ L'_1 &= (L_1 + Z_{L1}) \pm \delta_{L1'}^{\circ} / 2 = (140 + 2,8) \pm 2,4 / 2; & L'_1 &= 142,8 \pm 1,2; \\ L'_1 &= 143^{+1,8}_{-0,6} \text{ мм}; \\ L'_2 &= (L_2 + 2Z_{L2}) \pm \delta_{L2'}^{\circ} / 2 = (45 + 2 \cdot 2,8) \pm 2,0 / 2; & L'_2 &= 50,6 \pm 1,0; \\ L'_2 &= 51,0^{+1,6}_{-0,4} \text{ мм}; \\ d' &= d \pm \delta'_d / 2 = 40 \pm 0,7 \text{ мм}. \end{aligned}$$

16. Определение массы отливки.

Определение номинальной массы отливки m_n производим по формуле

$$m_n = V \cdot \rho, \quad (6.6)$$

где ρ – плотность материала отливки (для алюминия плотность $\rho = 2698,9 \text{ кг/м}^3$); V – объем отливки, рассчитанный по номинальным размерам без учета напусков (рис. 6.23),

$$V = V_1 + V_2 - V_3 = \frac{\pi \cdot D_1'^2}{4} L_2' + \frac{\pi \cdot D'^2}{4} (L' - L_2') - \frac{\pi \cdot d^2}{4} D', \quad (6.7)$$

$$V = \frac{\pi \cdot 84^2}{4} 51 + \frac{\pi \cdot 56^2}{4} (173 - 51) - \frac{\pi \cdot 40^2}{4} 56 = 512486 \text{ мм}^3.$$

Номинальная масса отливки $m_n = 512486 \cdot 2,6989 \cdot 10^{-6} = 1,383 \text{ кг}$.

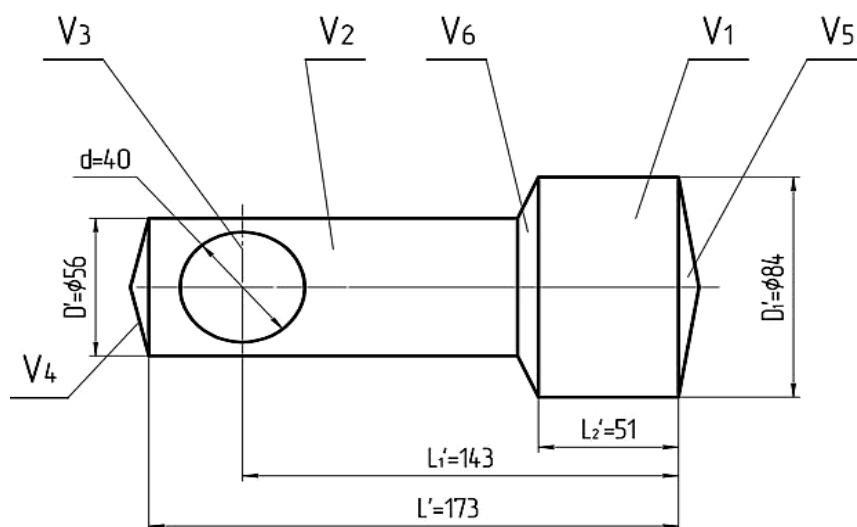


Рис. 6.23. Распределение объемов заготовки

Определение класса точности массы отливки производим по [47, табл. 13]. Согласно данным таблицы находим, что диапазон классов точности масс отливки лежит в пределах 6...13. Выписываем цифры, входящие в этот диапазон, и делим их на три равные группы:

6 7т 7 8

9т 9 10 11т

11 12 13т 13

Так как имеем простую отливку и серийное производство, то принимаем класс точности массы 9т. Таким образом, согласно найденным параметрам и требованиям [39, 47], в технических условиях чертежа условное обозначение точности отливки 9 класса размерной точности, 3 степени коробления, 9 точности поверхностей и класса точности массы 9т с допус-

ком смещения отливки по плоскости разъема 1,2 мм будет представлено следующим образом: **Точность отливки: 9-3-9-9т См 1,2 ГОСТ 26645-85.**

Масса металла, расходуемого на припуски,

$$m_{\text{пр}} = m_{\text{н}} - m_{\text{дет}}, \quad (6.8)$$

где $m_{\text{н}}$ – номинальная масса отливки, рассчитанная по ее номинальным размерам, $m_{\text{н}} = 1,383$ кг; $m_{\text{дет}}$ – номинальная масса детали по чертежу, $m_{\text{дет}} = 1,1$ кг.

$$m_{\text{пр}} = 1,383 - 1,1 = 0,283 \text{ кг.}$$

Для нахождения массы металла, идущего в напуски, создаваемые за счет литейных уклонов, определим последние по [41]: литейные уклоны равны 1° .

Объем металла, расходуемого на уклоны (см. рис. 6.23),

$$V_y = (V_4 + V_5 + V_6) = \frac{\pi \cdot R'^2 \cdot \text{tg} 1^\circ \cdot R'}{3} + \frac{\pi (R'^2 + R_1'^2 + R' \cdot R_1') \text{tg} 1^\circ (R_1' - R')}{3} + \frac{\pi \cdot R_1'^2 \cdot \text{tg} 1^\circ \cdot R_1'}{3};$$

$$V_y = \frac{\pi \cdot 28^2 \cdot \text{tg} 1^\circ \cdot 28}{3} + \frac{\pi (28^2 + 42,0^2 + 28 \cdot 42,0) \text{tg} 1^\circ (42,0 - 28)}{3} + \frac{\pi \cdot 42,0^2 \cdot \text{tg} 1^\circ \cdot 42,0}{3};$$

$$V_y = 2707 \text{ мм}^3.$$

Масса металла, расходуемого на уклоны, $m_y = 2707 \cdot 2,6989 \cdot 10^{-6} = 0,007$ кг.

17. Литейные радиусы определяем по [15, табл. 7]: $R = 6$ мм.

18. Разработка чертежа заготовки.

Оформление чертежа отливки осуществляется в соответствии с тре-

бованиями [39]. На чертеже отливки (рис. 6.24) следует указывать измерительные базы (базы разметки) и базы первоначальной обработки поверхностей [47, п. 1.7]. В рамке чертежа после названия детали под чертой в скобках указывается вид заготовки, т. е. (отливка) [39].

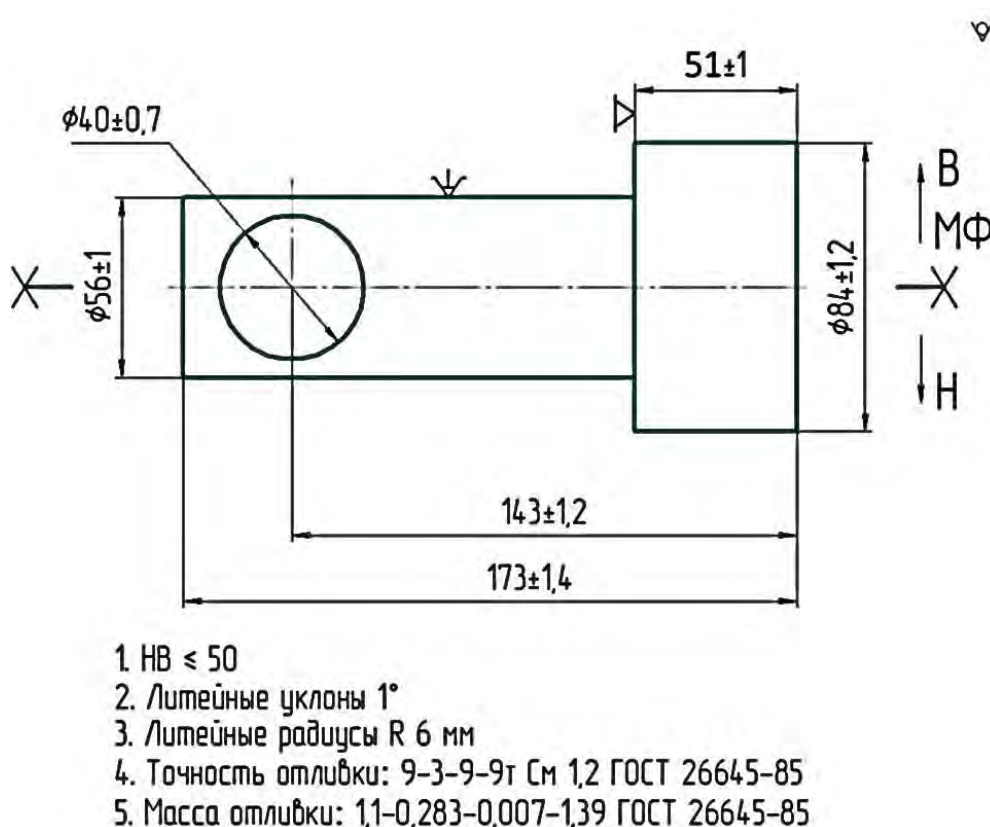


Рис. 6.24. Чертеж отливки (деталь-ось)

Контрольные вопросы

1. Критерий оценки степени сложности отливок.
2. Факторы, определяющие технологичность отливки.
3. Что влияет на определение плоскости разреза модели и формы?
4. Технологичность отливки.
5. Что определяет выбор способа изготовления отливки?
6. Разработка чертежа отливки.

7. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЗАГОТОВОК ОБРАБОТКОЙ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

7.1. Основные способы обработки металлов давлением

Обработка металлов давлением (ОМД) относится к наиболее прогрессивным способам изготовления заготовок. Ей подвергаются около 90 % (по массе) всей выплавляемой стали и более 55 % цветных сплавов. По сравнению с другими способами производства заготовок процессы ОМД отличаются относительно высокой производительностью и экономичностью. Она позволяет уменьшить количество отходов и трудозатрат на заключительных операциях обработки заготовок резанием, а также способствует изменению их внутреннего строения на микро- и макроуровнях, улучшению механических свойств материала заготовок.

Основные способы получения заготовок ОМД представлены на рис. 7.1.

Использование того или иного способа для получения заготовок во многом зависит от объема выпуска поковок (типа производства). Признаки типов кузнечно-штамповочного производства приведены в табл. 7.1.

Табл. 7.1. Признаки типов кузнечно-штамповочного производства [13, 25]

Тип производства	Ориентировочный годовой выпуск поковок, шт./год			Число типов заготовок, закрепленных за оборудованием (линией), шт.
	Мелких (до 1 кг)	Средних (1...10 кг)	Тяжелых (10...150 кг)	
Единичное и мелкосерийное	Менее 50000	Менее 10000	Менее 2000	13 и более
Серийное	50000...500000	10000...100000	2000...10000	6...12
Крупносерийное и массовое	Более 500000	Более 100000	Более 10000	1...5

Для реализации способовковки и штамповки используют технологическое оборудование – кузнечно-прессовые машины.

По конструктивным признакам их можно разделить на пять групп: молоты, винтовые и гидравлические прессы, кривошипные и ротационные машины (рис. 7.2). Внутри группы машины могут также подразделяться на различные типы в зависимости от технологического назначения.

Например, по общим особенностям принципа действия и устройства современные молоты можно подразделить на три класса: *паровоздушные*, *высокоскоростные* и *приводные* с последующим углублением классификации по наиболее характерным признакам. Из ротационных машин в зависимости от технологического назначения можно выделить гибочные, ковочные вальцы, радиально-обжимные, ротационно-ковочные машины и т. п.

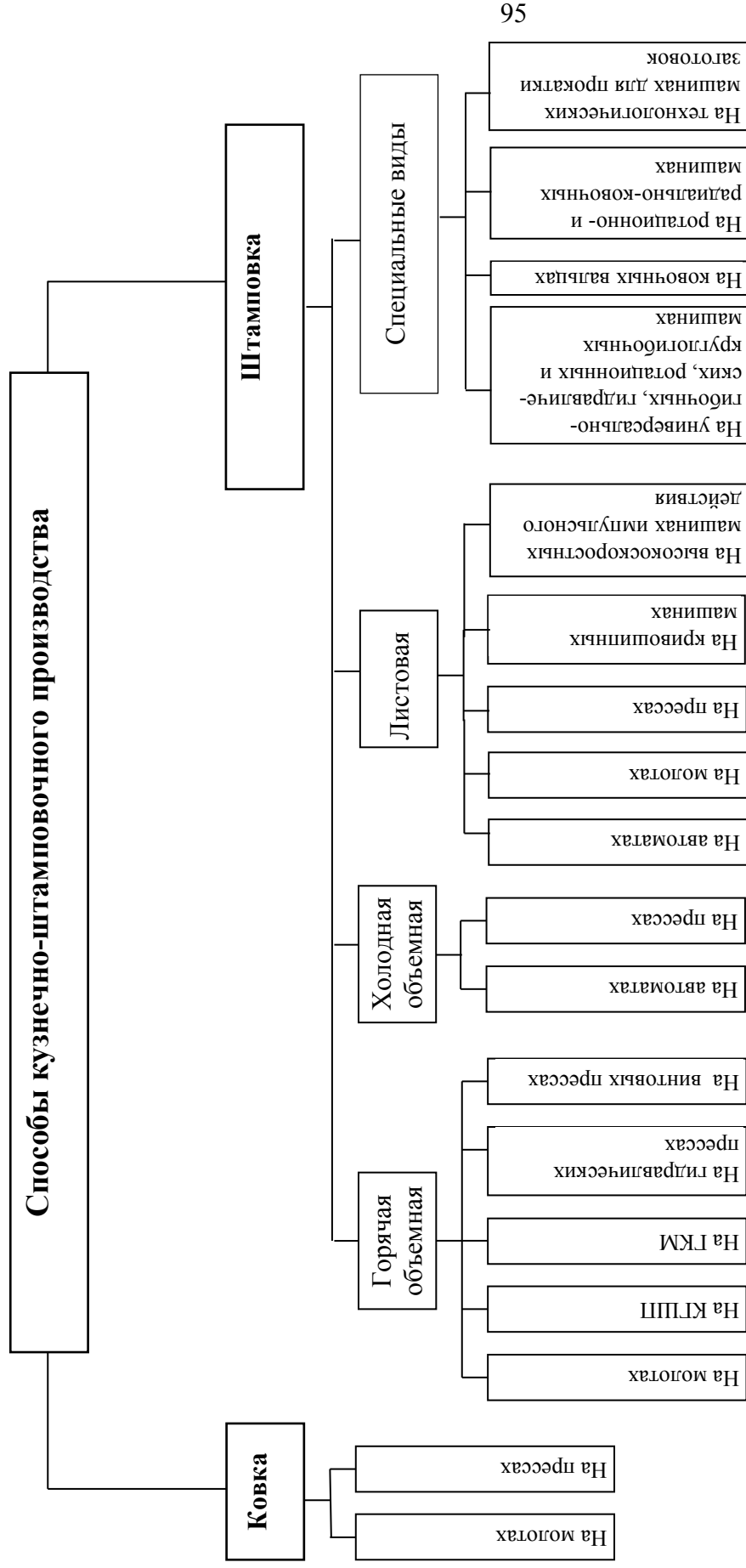


Рис. 7.1. Классификация способов кузнечно-штамповочного производства



Рис. 7.2. Классификация кузнечно-прессовых машин

7.2. Влияние ОМД на структуру и свойства металлов

7.2.1. Материалы, подвергаемые обработке давлением

Дляковки и штамповки применяют стали и в меньшей степени сплавы цветных металлов на основе меди, алюминия, магния, титана и других металлов.

Марки, химический состав и свойства сталей рассмотрены в [10].

Стали дляковки и штамповки подразделяют на группы: сталь углеродистая обыкновенного качества; сталь углеродистая качественная конструкционная; сталь легированная конструкционная; сталь высоколегированная коррозионно-стойкая, жаропрочная, жаростойкая; сталь инструментальная (углеродистая, быстрорежущая, легированная).

Углеродистые стали обыкновенного качества содержат не более 0,49 % С и подразделяются на кипящие, полуспокойные и спокойные. Сортовой прокат производят из стали марок Ст0, Ст3, Ст4 всех степеней раскисления, Ст5пс, Ст5сп, Ст6пс и Ст6сп (ГОСТ 535-2005). Тонколистовой горячекатаный и холоднокатаный прокат изготавливают из стали марок Ст1 и Ст2 всех степеней раскисления (ГОСТ 16523-97). Кипящие стали имеют пониженную прочность и повышенную пластичность. Недостаток таких сталей – склонность к старению, когда при хранении их пластические свойства снижаются.

Углеродистые качественные стали содержат не более 0,60 % С (химический состав по ГОСТ 1050-88). Для глубокой и сложной вытяжки ши-

роко применяют углеродистые кипящие стали 08кп, 10кп. Способность этих сталей хорошо штамповаться обусловлена пониженным содержанием углерода и очень низким содержанием кремния.

Штампруемость в холодном состоянии (листы толщиной до 14 мм) зависит от запаса технологической пластичности, которая в основном зависит от химического состава стали и ее структурного состояния. В сталях для глубокой вытяжки содержание углерода ограничивают до 0,1 %; при $C = 0,2...0,3$ % возможны только гибка и незначительная вытяжка. При $C = 0,35...0,45$ % допускается изгиб с определенными радиусами. Контролируемыми параметрами механических свойств, характеризующими штампруемость, являются относительное удлинение, отношение σ_T / σ_B . Чем меньше это отношение, тем лучше штампруемость. Рекомендуются $\sigma_T / \sigma_B = 0,55...0,66$.

Кремний и марганец в тех пределах, в которых они содержатся в обычных сталях (0,17...0,35 % и 0,3...0,8 % соответственно), не оказывают заметного влияния на пластичность стали. Дальнейшее увеличение содержания кремния и марганца понижает пластические свойства стали, повышая сопротивление деформирования. Сера вызывает красноломкость стали при температурах 1000...1200 °С. Поэтому содержание серы должно быть минимальным (0,03...0,05 %). Фосфор вызывает хладноломкость стали. Содержание его должно быть не более 0,03...0,04 %.

Легированная сталь (ГОСТ 4543-71) по наличию основных легирующих элементов подразделяется на группы и по процентному содержанию – на марки (15Х, 10Г2, 30ХГТ и др.). Легирующие элементы (хром, никель, вольфрам, молибден, ванадий и др.) понижают пластичность и увеличивают сопротивление деформации, причем тем сильнее, чем больше углерода в стали.

Низколегированная сталь (ГОСТ 19281-89) является переходной между углеродистыми и легированными сталями.

В ГОСТ 10702-78 приведены рекомендации по использованию марок конструкционных сталей для изготовления деталей способами холодного деформирования.

Инструментальные стали по назначению и химическому составу разделяют на пять групп: нелегированные (углеродистые) (ГОСТ 1435-99); низколегированные (ГОСТ 5950-2000); средне- и высоколегированные для инструментов холодного деформирования (ГОСТ 5950-2000); среднелегированные для инструментов горячего деформирования (ГОСТ 5950-2000); быстрорежущие (ГОСТ 19265-73, ГОСТ 28393-89). Инструментальные стали применяют для изготовления режущего и измерительного инструмента, штампов холодного и горячего деформирования, валков холодной и горячей прокатки металлов.

Высоколегированные коррозионно-стойкие стали содержат не менее 13 % Cr и большинство из них имеют в составе малое количество (до 0,15 %) C. По структуре (ГОСТ 5632-72) такие стали подразделяют на классы: аустенитные; аустенитно-ферритные; ферритные; мартенситные; мартенситно-ферритные; аустенитно-мартенситные.

Деформируемые алюминиевые сплавы в соответствии с ГОСТ 4784-97 имеют два вида обозначений и подразделяются на две группы:

1) технический алюминий и термически неупрочняемые сплавы алюминия с марганцем и магнием;

2) термически упрочняемые сплавы.

Сплавы первой группы: АД1 (1013), АД (1015); сплав системы «алюминий – марганец» АМц (1400); сплавы системы «алюминий – магний – марганец» АМг0,5 (1505), АМг1 (1510) и т. д. Сплавы этой группы отличаются высокими пластическими, технологическими свойствами, коррозионной стойкостью, хорошей свариваемостью.

Сплавы второй группы: сплавы системы «алюминий – медь – магний» Д1 (1110), Д16 (1160); сплав системы «алюминий – магний – кремний» АВ (1340); сплавы системы «алюминий – медь – магний» ВД17, Д19 (1190), В65 (1165); сплавы системы «алюминий – медь – магний – железо – никель – кремний» АК4 (1140); АК4-1 (1141); сплавы системы «алюминий – медь – магний – марганец – кремний» АК6 (1360), АК8 (1380); сплавы системы «алюминий – цинк – магний – медь» В93 (1950), В95 (1950), В96 (1950); сплавы системы «алюминий – медь – марганец» Д20, Д21. Сплавы этой группы отличаются удовлетворительной пластичностью и технологическими свойствами, повышенными прочностными свойствами.

Деформируемые магниевые сплавы (ГОСТ 14957-76) можно разделить на четыре группы [10]: I – сплав невысокой прочности ($\sigma_b = 170...230$ МПа) МА1; II – сплавы средней прочности ($\sigma_b = 230...260$ МПа) МА8, МА2; III – сплавы высокой прочности ($\sigma_b = 260...340$ МПа) МА2-1, МА5, МА10; IV – жаропрочный сплав МА11.

К сплавам на основе меди относятся латуни (ГОСТ 15527-2004) и бронзы (ГОСТ 18175-78). Из деформируемых медных сплавов изготавливают детали, требующие высоких электрической проводимости, теплопроводности и коррозионной стойкости.

Деформируемые титановые сплавы (ГОСТ 19807-91) в зависимости от назначения и физико-механических свойств разделяют на четыре группы. К первой группе относятся сплавы малой прочности ($\sigma_b \leq 600$ МПа): технический титан ВТ1-0, ВТ1-00 и низколегированный сплав ОТ4-1. Вторая группа – сплавы средней прочности ($\sigma_b = 600...1000$ МПа): среднелегированные титановые сплавы ОТ4, ВТ6, ВТ5-1,

BT5. Третья группа – высокопрочные сплавы ($\sigma_b = 1000$ МПа) BT14, BT16 и BT20. Четвертая группа – жаропрочные сплавы BT3-1, BT9 и BT18.

7.2.2. Пластичность и сопротивление металла деформированию

Влияние температуры. Температура оказывает существенное влияние на механические свойства металлов и сплавов. Изменение прочности и пластичности в зависимости от температуры носит сложный характер. Так, при нагревании малоуглеродистой стали до температуры 100 °С наблюдается некоторое повышение пластичности, при дальнейшем возрастании температуры до 300 °С значительно увеличивается прочность и снижается пластичность стали (явление синеломкости). Последующее повышение температуры вызывает интенсивное понижение прочности. При температуре около 1000 °С предел прочности уменьшается более чем в 10 раз. Пластичность стали в интервале 800...900 °С понижается из-за протекания фазовых превращений, при дальнейшем повышении температуры она интенсивно растет.

Влияние скорости деформации. При деформировании металла следует различать две скорости: скорость деформирования, представляющую собой скорость перемещения инструмента, и скорость деформации, представляющую собой изменение степени деформации в единицу времени. Средняя скорость деформации $\dot{\epsilon}_{\text{ср}}$ – отношение деформации ϵ ко времени t , в течение которого она осуществлялась.

При обработке на прессах скорость деформирования составляет примерно 0,1...0,5 м/с, а скорость деформации – 1...5 с⁻¹; при обработке на молотах – 5...10 м/с и 200...250 с⁻¹ соответственно. При деформировании взрывом скорость изменяется сотнями метров в секунду. С увеличением скорости деформации сопротивление металла деформированию обычно возрастает, а пластичность падает. Особенно резко падает пластичность некоторых медных, магниевых сплавов, а также высоколегированных сталей, что объясняется малыми скоростями рекристаллизации. Менее чувствительны к скорости деформации алюминиевые сплавы, низколегированные и углеродистые конструкционные стали.

Влияние контактного трения. Силы контактного трения при пластической деформации оказывают значительное влияние на пластичность и сопротивление деформации. Они изменяют схему напряженного состояния металла, повышают усилие деформирования и износ инструмента. Обычно силы внешнего трения играют отрицательную роль, однако некоторые способы обработки, например прокатка без натяжения, вообще невозможны без трения. Силы трения при пластической деформации зависят

от деформируемого тела, механических свойств металла, состояния контактных поверхностей инструмента и температурно-скоростных условий деформации.

Влияние механической схемы деформации. Напряженное состояние в некоторой точке или объеме тела характеризуют схемой главных напряжений и схемой главных деформаций. Механическая схема деформации оказывает существенное влияние на пластичность металлов. Наилучшие условия пластической деформации наблюдаются при объемном трехосном сжатии и схеме главных деформаций с одной деформацией растяжения, наихудшие – при схеме с двумя деформациями растяжения. Таким образом, один и тот же металл имеет разную пластичность при различных схемах деформации.

7.2.3. Деформация при повышенных температурах, возврат и рекристаллизация

При нагревании деформируемого металла в последнем возникают разупрочняющие процессы, а именно возврат и рекристаллизация. Таким образом, при повышенных температурах в процессе деформации протекают одновременно как упрочняющие, так и разупрочняющие процессы.

При холодной деформации вследствие неодинакового направления плоскостей скольжения в зернах, неравномерного распределения деформаций в объеме заготовки, различия в форме, размерах и свойствах зерен последние получают разную по величине упругую деформацию. В результате после снятия внешних усилий в холоднодеформированном металле возникают остаточные напряжения.

При нагреве до определенных температур амплитуда тепловых колебаний атомов увеличивается настолько, что облегчает возвращение атомов в положение равновесия. В связи с этим возникающие при деформации упругие деформации зерен в значительной мере выравниваются, что обеспечивает снижение остаточных напряжений после снятия внешних усилий (если не учитывать термических напряжений, которые могут наблюдаться при неравномерном охлаждении заготовки после деформирования). Это явление называется *возвратом (отдыхом)*.

Для чистых металлов возврат проявляется при абсолютных температурах выше $T > (0,25...0,30)T_{пл}$. Наличие растворимых примесей в металле приводит к увеличению температуры возврата (отдыха).

Возврат протекает во времени; с увеличением температуры скорость возврата возрастает. В связи с этим эффект возврата зависит от соотношения между температурой и скоростью деформации. Повышение скорости

деформации при данной температуре может снизить эффект возврата. Возврат происходит также при нагреве (отпуске) металла после его холодного деформирования.

Нагрев холоднодеформируемого металла до температуры возврата не оказывает заметного влияния на показатели его механических свойств (показатели прочности незначительно уменьшаются, а показатели пластичности несколько увеличиваются).

Возврат повышает сопротивление холоднодеформируемого металла коррозии и резко снижает возможность самопроизвольного растрескивания. Последнее явление наблюдается в деталях, полученных холодной штамповкой, особенно из латуни, и происходит под действием остаточных напряжений при уменьшении сопротивления разрушению за счет межкристаллитной коррозии.

У ряда металлов и сплавов, например у углеродистой стали, при температурах возврата может возникать явление старения, оказывающее противоположное возврату воздействие на механические свойства. Старение приводит к увеличению показателей прочности при одновременном уменьшении показателей пластичности.

Увеличение температуры деформируемого металла сверх температуры возврата способствует началу процесса рекристаллизации. *Рекристаллизация* при пластической деформации заключается в появлении зародышей, возникновении и росте новых зерен взамен деформированных.

Процесс рекристаллизации происходит во времени с некоторой скоростью, которая зависит от температуры и степени деформации. Чем выше температура и степень деформации, тем выше скорость рекристаллизации.

Для чистых металлов температура начала рекристаллизации определяется из соотношения $T_{\text{рекр}} \approx 0,4T_{\text{пл}}$. Наличие растворимых примесей несколько повышает температуру рекристаллизации.

Рекристаллизация происходит также и при нагреве холоднодеформированного металла до температуры, несколько превышающей температуру начала рекристаллизации (низкий или рекристаллизационный отжиг).

7.2.4. Горячая, неполная горячая, неполная холодная и холодная деформации

Упрочняющие и разупрочняющие процессы при обработке давлением протекают во времени с определенными скоростями, обусловленными условиями деформации (температура, скорость и степень деформации) и природой деформируемого металла.

От того, какой из процессов будет преобладающим, зависят резуль-

таты деформации.

По С. И. Губкину, различают горячую, неполную горячую, неполную холодную и холодную деформации [32].

При *горячей пластической деформации* (с полным разупрочнением) рекристаллизация протекает полностью. Температура горячей пластической деформации $T = 0,7T_{пл}$ (где $T_{пл}$ – абсолютная температура плавления деформируемого металла). В результате горячей деформации металл получает полностью рекристаллизованную равноосную микроструктуру при отсутствии каких-либо следов упрочнения.

При *неполной горячей деформации* (с неполным разупрочнением) рекристаллизация протекает не полностью при температуре $T = (0,5 \dots 0,7)T_{пл}$. При неполной горячей деформации, а также после окончания деформации в металле одновременно имеют место микроструктуры двух разных типов: рекристаллизованная (с равноосными зернами) и нерекристаллизованная (с вытянутыми зернами). Наличие рекристаллизованных зерен, наряду с деформированными, приводит к увеличению неравномерности деформации, которая способствует уменьшению пластичности металла и возрастанию вероятности разрушения. Металл, подвергнутый неполной горячей деформации, имеет значительные по величине остаточные напряжения, которые могут при недостаточной пластичности вызвать его разрушение. Неполной горячей деформации (особенно при деформировании литого металла) следует избегать, т. к. она обуславливает низкое качество поковки. Этот вид деформации легко возникает у сплавов с малой скоростью рекристаллизации (например, у некоторых алюминиевых и магниевых сплавов, представляющих многофазные метастабильные системы). Поэтому деформирование их производят с малыми скоростями.

Неполной холодной деформацией (с неполным упрочнением) называют деформацию, при которой рекристаллизация отсутствует, но процесс возврата успевает произойти ($T = (0,3 \dots 0,5)T_{пл}$). В результате неполной холодной деформации металл получает полосчатую микроструктуру без следов рекристаллизации, а при значительной деформации – текстуру деформации. Пластические свойства его выше, чем у металла, деформированного при отсутствии возврата, а прочностные свойства несколько ниже. Неполная холодная деформация может быть при температуре деформации большей, чем температура начала возврата; при этом скорость деформации должна быть такой, чтобы возврат успевал полностью произойти.

При *холодной деформации* (с полным упрочнением) рекристаллизация и возврат полностью отсутствуют и деформированный металл имеет все признаки упрочнения. Холодная деформация протекает при температурах, меньших температуры начала возврата ($T < 0,3T_{пл}$).

Таким образом, температурно-скоростные условия оказывают существенное влияние на строение деформированного металла.

7.3. Общие теоретические представления о пластической деформации металлов

7.3.1. Понятие о сущности деформации

Для правильного понимания процессов обработки металлов давлением необходимо знать основные закономерности, происходящие в металле под воздействием внешних сил.

Все металлы и сплавы в твердом состоянии имеют кристаллическое строение. Кристаллическое строение твердого тела характеризуется идентичностью взаимного расположения атомов на расстояниях, существенно превышающих межатомные, или трехмерной повторяемостью одного и того же элемента строения на значительные расстояния (дальний порядок).

Расстояния между атомами в твердых телах имеют определенную величину, зависящую от рода материала, его химического состава и температурных условий и изменяющуюся в данном теле в весьма узких пределах. Между атомами действуют силы притяжения и силы отталкивания, и величина межатомных расстояний определяется условием равенства этих противодействующих сил.

Приложением внешних сил можно вызвать в кристалле упругую или пластическую деформацию. Если деформация, вызванная внешними силами, исчезает при прекращении их действия и твердое тело полностью восстанавливает свои исходные форму и размеры, то такую деформацию называют *упругой*. Если же при прекращении действия внешних сил твердое тело не полностью восстанавливает свои исходные форму и размеры, то такую деформацию называют *пластической* (остаточной). Как упругая, так и пластическая деформация происходит без разрушения деформируемого тела или отдельных его участков (без нарушения сплошности).

При упругой деформации величина смещения атомов из положений равновесия не превышает расстояния между соседними атомами. Смещение атомов из положения равновесия возрастает с увеличением элементарных сил, вызывающих это смещение. Для металлов в определенных пределах нагружения обычно существует пропорциональная зависимость между деформирующими силами (напряжениями) и смещениями атомов из положений равновесия (деформациями), которая соответствует условиям упругой деформации и известна как закон Гука.

С ростом величины упругих деформаций потенциальная энергия твердого тела повышается. Смещение атомов из положения равновесия является реакцией на действие внешних сил на все твердое тело или его отдельную часть. В любых условиях нагружения действие внешних сил на тело уравнивается противодействием межатомных сил, стремящихся вернуть атомы в положения, соответствующие минимуму потенциальной энергии.

Однако увеличение потенциальной энергии тела за счет смещения атомов из положения равновесия не может происходить безгранично. При достижении определенного предела потенциальной энергии атомы получают возможность смещаться на расстояния большие, чем межатомные расстояния ненагруженного твердого тела. В этом случае после снятия внешних усилий атомы не возвращаются в свои исходные положения равновесия, а занимают новые положения устойчивого равновесия. Сумма смещений атомов из положения равновесия создает пластическую деформацию или же остаточное изменение формы и размеров твердого тела в результате действия внешних сил.

Для того чтобы смещение атомов в новые положения равновесия не приводило к нарушению сплошности, необходимо, чтобы в процессе такого смещения атомы не удалялись один от другого на расстояния большие, чем размеры зоны активного действия сил взаимного притяжения атомов.

Под нагрузкой атомы всегда смещены из положения равновесия. Отсюда следует, что в условиях пластического деформирования общая (полная) деформация содержит как пластическую составляющую, так и упругую, исчезающую после снятия деформирующих сил.

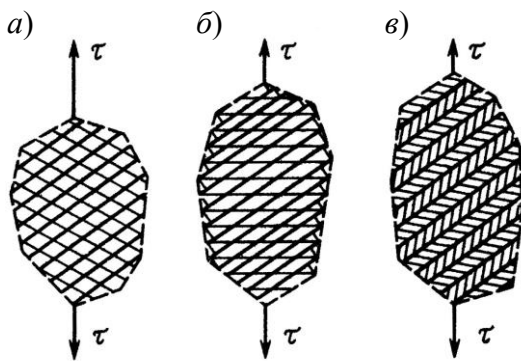


Рис. 7.3. Схемы пластической деформации кристалла: *а* – исходное положение; *б* – скольжение; *в* – двойникование

Пластическая деформация монокристалла может происходить в основном двумя путями: скольжением и двойникованием (рис. 7.3).

Скольжение (рис. 7.3, *б*) в монокристаллах происходит по определенным кристаллографическим плоскостям, которые называются *плоскостями скольжения*. Обычно плоскостями скольжения выступают плоскости с наибольшей плотностью размещения атомов, а направления скольжения являются те направления,

по которым межатомные расстояния имеют минимальную величину.

При двойниковании (рис. 7.3, в) части кристалла, разделенные линиями скольжения, переходят в положение, симметричное другим частям кристалла относительно некоторой плоскости, называемой плоскостью двойникования. Решетка части кристалла, получившей деформацию двойникованием, является зеркальным изображением решетки недеформированной части кристалла относительно плоскости двойникования (двойником), и взаимное расположение атомов в двойнике аналогично размещению их в недеформированном металле. Двойникование сравнительно редко происходит при статическом нагружении и значительно чаще при деформировании ударом. Может возникать не только в результате воздействия на деформируемое тело внешних сил, но и в результате отжига после пластической деформации. Двойникование может сопутствовать деформации скольжением [6]. У металлов процесс пластической деформации в основном осуществляется путем скольжения. В настоящее время значительное распространение получила теория, объясняющая процесс скольжения перемещением в плоскости скольжения отдельных несовершенств пространственной решетки, так называемых *дислокаций*.

7.3.2. Виды деформаций

Различают деформации линейные, угловые, поверхностные и объемные. Эти виды деформаций могут относиться как к элементарному объему, выделенному в твердом теле, так и ко всему телу.

Линейные деформации характеризуют изменение какого-либо одного размера.

Угловые деформации характеризуют изменение угла между какими-либо двумя линиями, проведенными в деформируемом теле.

Поверхностные деформации характеризуют изменение площади и механических свойств какого-либо сечения или участка поверхности.

Объемные деформации характеризуют изменение объема.

Указанные деформации, в свою очередь, можно разделить на абсолютные, относительные и логарифмические.

Абсолютная деформация выражает абсолютное изменение какого-либо линейного размера, углового размера, площади сечения или участка граничной поверхности элемента, выделенного в деформируемом теле, или всего тела.

Относительная деформация характеризует изменение тех же величин. Обычно ее определяют как отношение абсолютного изменения какого-либо параметра (абсолютной деформации) к первоначальному значению этого параметра.

Логарифмическая деформация является разновидностью относительной деформации. Она представляет собой натуральный логарифм отношения измененного в результате деформирования размера элемента тела или всего тела к первоначальному до начала деформирования.

Степень деформации является относительной деформацией, характеризующей общее формоизменение деформируемого тела. При неравномерном распределении деформаций в теле степень деформации дает представление о некоторой средней для всего тела величине деформации [32].

Величина обжатия при ковке или прокатке может быть численно определена абсолютной и относительной деформациями либо уковом.

Абсолютная деформация не характеризует степень воздействия деформации на металл и ее можно рассчитать по следующим формулам [7]:

$$\Delta H = H - h; \quad (7.1)$$

$$\Delta F = F_H - F_K, \quad (7.2)$$

где H , F_H – высота и площадь слитка (заготовки) до деформации (начальные); h , F_K – высота и площадь слитка (заготовки) после деформации (конечные).

Относительную деформацию в процентах определяют по формулам [7]:

$$\varepsilon = \frac{H - h}{H} 100 \%; \quad (7.3)$$

$$\varepsilon = \frac{F_H - F_K}{F_H} 100 \%. \quad (7.4)$$

Пример. Пусть первая заготовка имеет начальную высоту H , равную 1000 мм, вторая – 500 мм. Осадим каждую из них на величину h , равную половине начальной высоты, т. е. величина абсолютной деформации ΔH составит для первой заготовки 500 мм, для второй – 250 мм.

Подсчитав относительную деформацию по формуле (7.3), получим для первого и второго случаев одинаковую величину, равную 50 %, что свидетельствует об одинаковой степени воздействия деформации на металл при разных ее абсолютных значениях.

Уков показывает, во сколько раз произошло уменьшение поперечного сечения слитка (заготовки), и определяется по формуле [7]

$$y = \frac{F_H}{F_K}. \quad (7.5)$$



7.3.3. Основные законы пластической деформации при ОМД

Наука о пластических деформациях опирается на определенные законы, которые дают возможность правильно понять природу пластической деформации.

Закон постоянства объема: объем тела до деформации равен его объему после деформации. Изменения объема металла за счет уплотнения структуры столь незначительны, что ими пренебрегают. Этот закон используют для определения объема и размеров исходной заготовки, необходимой для получения поковки с заданными размерами, расчета переходов и изменения размеров заготовки в процессе деформирования.

Закон наименьшего сопротивления: в случае возможности перемещения точек деформируемого тела в различных направлениях каждая точка тела перемещается всегда в направлении наименьшего сопротивления. Например, при осадке заготовки с квадратным сечением наименьшее сопротивление течению металла оказывается в направлениях, перпендикулярных ее сторонам, а наибольшее – в направлениях ее диагоналей, поэтому при осадке заготовка с квадратным сечением (рис. 7.4, а) постепенно превращается в цилиндр (рис. 7.4, б, в).

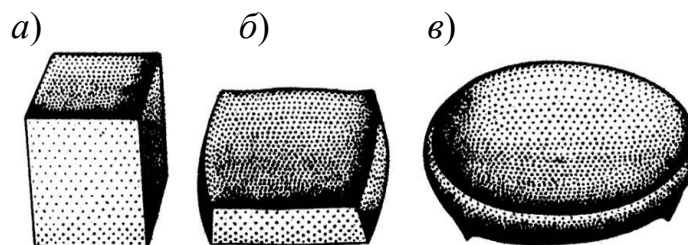


Рис. 7.4. Превращение кубической заготовки в цилиндрическую при осадке

Практическое значение этого закона состоит в том, что он позволяет учесть предпочтительное направление течения металла, определить, какая часть полости штампа заполнится быстрее, какие размеры и форму поперечного сечения получит заготовка с тем или иным сечением в результате обработки давлением.

Закон сдвигающих напряжений: пластическая деформация может наступить только в том случае, если сдвигающие напряжения, возникающие в деформированном теле, достигнут определенной величины, зависящей от природы тела и условий деформации, т. е. значительное развитие процесса пластической деформации возможно только путем скольжения.

7.4. Исходные заготовки для изготовления поковок

Стальной слиток. Слитки используются для получения проката и поковок, качество которых во многом определяется качеством слитков. Слитки малой массы дляковки имеют круглое, реже – квадратное сечение, а средние и крупные слитки массой до 500 т, также предназначенные дляковки, – многогранное. Во избежание появления трещин при охлаждении и нагревании слитка его грани делаются вогнутыми. Существуют различные разновидности кузнечных слитков.

Удлиненные слитки (отношение длины слитка к среднему диаметру составляет $L_{сл} : D_{ср} = 3...5$) используют, если отсутствует осадка или предусмотрена разрубка слитка на части. Отходы при отделении прибыльной части составляют всего около 12 %, а донной – 1...3 %. Химический состав металла удлиненных слитков однороднее состава металла обычных слитков и имеет большую плотность за счет меньшего количества пустот и пузырей; это позволяет снизить уковку для устранения следов литой структуры при ковке.

Полые слитки. Внешние размеры и форма полого слитка такие же, как и у обычного сплошного слитка, исключение составляет несколько меньшая его длина (отношение $L_{сл} : D_{ср} = 1,25$). Применение полых слитков эффективно для поковок с отверстиями, т. к. устраняется операция прошивки.

Малоприбыльные слитки получают при подогреве и специальном утеплении надставки в период заливки и остывания стали в изложнице. Металл, находящийся относительно длительное время в жидком состоянии, питает небольшую по объему зону усадочной раковины, которая оказывается высоко расположенной. Коэффициент выхода годного при ковке из таких слитков достигает 0,84...0,87.

Бесприбыльные слитки получают в обычных изложницах с недоливом. Раковина получается небольшой по сечению, но удлиненной, что удобно для полых поковок, у которых середина удаляется прошивкой.

Металлопрокат. В качестве заготовок дляковки и горячей объемной штамповки чаще всего используют прокат (рис. 7.5). Обжатую заготовку – *блум* – получают прокаткой слитков квадратного сечения массой 7...10 т на обжимных станах – блюмингах. Блюмы выпускают со стороной квадрата от (140 ± 5) до (450 ± 10) мм и длиной от 1,5 до 6 м.

Сортовой прокат получают на станах сортовой прокатки. К нему относятся: заготовка квадратная (ГОСТ 2591-88), сталь горячекатаная круглая (ГОСТ 2590-88). Кроме блюмов и сортового проката, для горячей штамповки используют *горячекатаный профильный* и *полосовой прокат* (ГОСТ 103-76), а также *трубы*. Для точной штамповки исходным материалом выступают калиброванные (ГОСТ 8559-75, ГОСТ 7417-75,

ГОСТ 8560-78), т. е. подвергнутые волочению, стальные прутки.

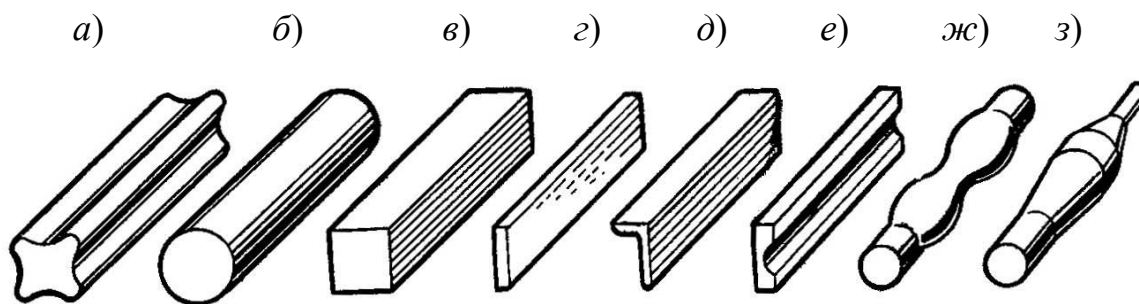


Рис. 7.5. Виды металлопроката: а – блюм; б, в, г – круглый, квадратный и полосовой прокат; д – фасонный сортовой прокат; е – профильный сортовой прокат; ж, з – периодический прокат

Для горячей штамповки в крупносерийном и массовом производстве все шире используют различные виды *периодического проката*. Периодическим называют прокат с переменным, периодически повторяющимся сечением по длине. Применение заготовок из такого проката для горячей штамповки позволяет уменьшить расход металла, повысить производительность труда и улучшить качество поковок. Периодический прокат, получаемый на станах продольной прокатки (ГОСТ 8319-75), может иметь разнообразную форму поперечного сечения по длине. Периодический прокат, получаемый на станах поперечно-винтовой прокатки (ГОСТ 8320-83), имеет только круглый профиль.

Обжатые заготовки и сортовой прокат могут иметь следующие дефекты:

- *наружные трещины* появляются вследствие низкой пластичности металла;
- *риски продольные* – мелкие открытые царапины на поверхности глубиной 0,2...0,5 мм; они просматриваются до дна и возникают при прокатке от повреждений или неправильно установленной арматуры;
- *волосовины* – тонкие трещины глубиной 0,5...1,5 мм, не просматриваемые до дна; возникают при прокатке стального слитка от подкорковых газовых пузырей;
- *заусенцы* – излишек металла, вытекающий при прокатке в зазор между валками;
- *закат* – складка металла, образующаяся при прокатке заготовки с заусенцами;
- *плёны* – наслоение металла толщиной до 1,5 мм на поверхности проката; появляются на прокате от плен слитка;
- *смещение профиля* получается в результате осевого сдвига валков прокатного стана.

Дефекты исходного металла оказывают существенное влияние на его дальнейшую обработку. Заготовки с обнаруженными внутренними дефектами, например флокенами и расслоениями, бракуют. Расслоения иногда обнаруживают в поковках лишь послековки или штамповки, когда обрезают облой. Поверхностные дефекты заготовок приковке и штамповке, как правило, остаются на поковках, увеличивают припуски на обработку и могут привести к браку. Плены, если они не успеют обгореть при нагреве заготовки, снижают качество поверхности поковки. Приковке и штамповке волосовины и заусенцы на заготовках из проката вызывают появление трещин. Совершенно недопустимыми являются дефекты заготовок, образующиеся при резке проката (торцовые трещины и поперечный излом).

7.5. Способы разделки исходного металла на заготовки

Экономичность операций деления исходного металла на заготовки существенно влияет на эффективность всего технологического процессаковки или штамповки и прежде всего на расход металла. Деление можно производить различными способами (рис. 7.6). Каждый способ характеризуется совокупностью технико-экономических показателей и имеет свою рациональную область применения [10].

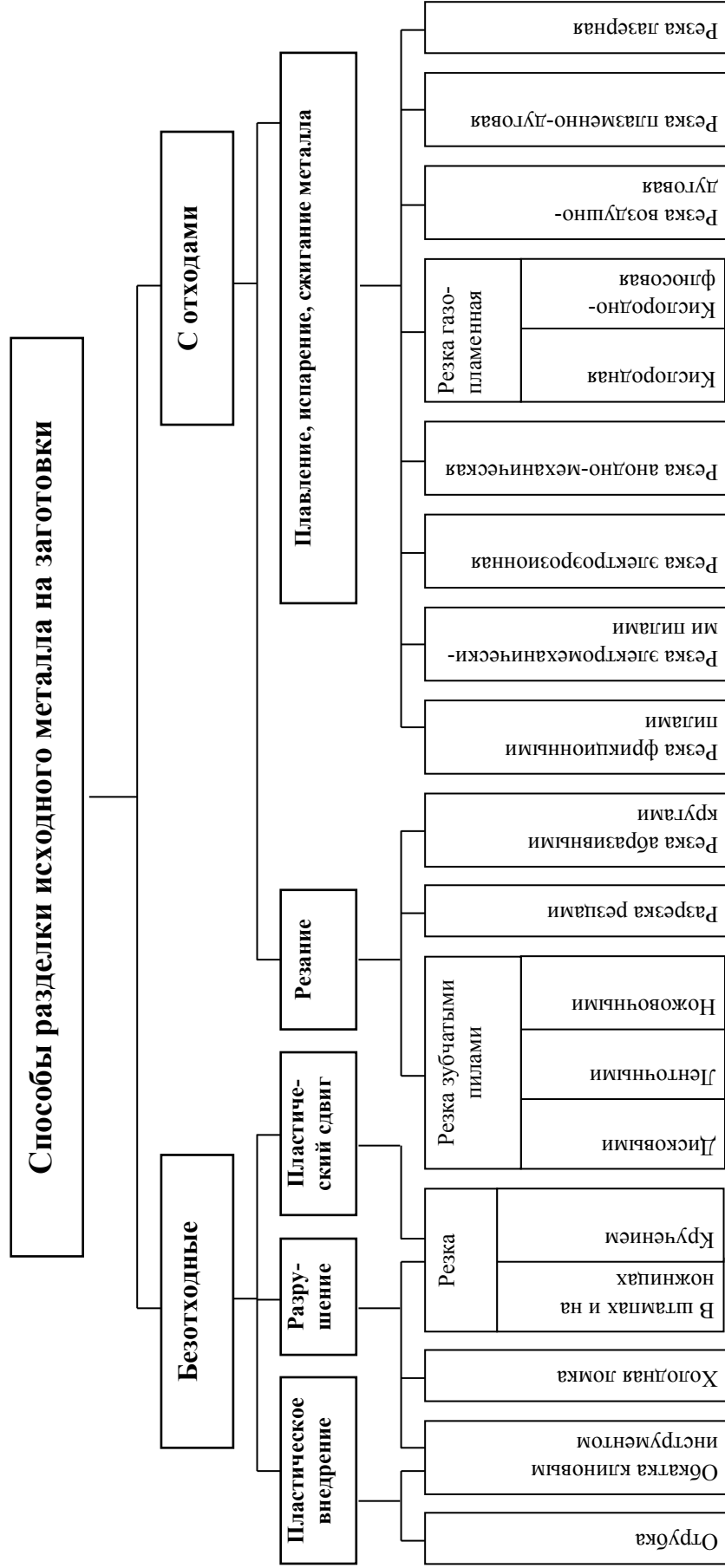


Рис. 7.6. Классификация способов разделки исходного металла на заготовки

В табл. 7.2 приведена характеристика способов резки проката.

Табл. 7.2. Характеристика способов резки проката [13]

Способ и оборудование	Точность резки, мм	Область применения
1	2	3
<i>Газовая резка:</i> ацетилено-кислородная	При ручной резке $\pm 4 \dots \pm 10$; при машинной $\pm 1 \dots \pm 2$	Резка заготовок различной конфигурации и листового проката толщиной до 200 мкм
кислородная		Резка заготовок различной конфигурации и листового проката толщиной 100 мм, профильного проката, труб (с наружным диаметром 150...300 мм и толщиной стенок до 16 мм); листового проката с одновременной подготовкой X- или U-образных кромок
кислородно-флюсовая		Резка заготовок из проката, выполненного из хромоникелевых и коррозионно-стойких сталей (толщина до 450 мм), чугуна, цветных металлов и сплавов
плазменно-дуговая	$\pm 1 \dots \pm 6$	Резка заготовок из проката толщиной до 100 мм, выполненного из низкоуглеродистых легированных сталей и цветных металлов
<i>Резка на ножницах:</i> пресс-ножницах с прямыми и фасонными ножами	$\pm 1 \dots \pm 6$	Резка листового и полосового проката толщиной до 25 мм, квадратного и круглого проката диаметром до 200 мм, углового проката
гильотинных	$\pm 0,25 \dots \pm 3$	Резка листового и полосового проката толщиной до 20 мм и шириной до 1500 мм
дисковых с параллельными осями	$\pm 0,25 \dots \pm 0,6$	Резка листового проката толщиной до 20 мм и шириной до 300 мм
дисковых с наклонными осями	$\pm 0,4 \dots \pm 1$	Резка листового проката толщиной 6...8 мм для заготовок с контурами, очерченными кривыми и прямыми линиями. Наименьший радиус кривизны составляет 0,4...0,7 диаметра дискового ножа
многодисковых с параллельными осями	До $\pm 0,25$	Одновременная резка широкой ленты (до 1500 мм) и листов на узкие полосы. Толщина проката составляет 0,5...4 мм
вибрационных	$\pm 0,25 \dots \pm 0,6$	Резка листового проката для заготовок с малым радиусом кривизны ($R < 12$ мм) и вырезка отверстий без предварительного сверления (толщина проката не более 3 мм)
угловых	$\pm 0,6 \dots \pm 1,3$	Резка углового проката размером до $200 \times 200 \times 25$
рофильных	$\pm 0,6 \dots \pm 1,9$	Резка балок и швеллеров до № 60

Продолжение табл. 7.2

1	2	3
<i>Резка на прессах:</i> механических и гидравлических	$\pm 2 \dots \pm 4$	Резка в штампах проката диаметром до 30 мм
<i>Резка на пилах и ножовках:</i> дисковых	$\pm 0,4 \dots \pm 3$	Резка круглого проката больших сечений
ленточных	$\pm 1,5 \dots \pm 5$	Резка проката любого профиля из стали и цветных металлов диаметром до 250 мм. Ширина реза составляет 0,8...1,3 мм
приводных ножовках	$\pm 2 \dots \pm 4,5$	Резка круглого и профильного проката диаметром до 300 мм. Ширина реза составляет 1...3,5 мм
фрикционных и электрофрикционных ножовках	$\pm 1,6 \dots \pm 5$	
<i>Отрезка на отрезных станках и установках:</i> фрезерно-отрезных	$\pm 2,5 \dots \pm 4,5$	Отрезка круглого и профильного проката диаметром до 500 мм на универсальных станках и диаметром 800 мм на специальных
токарно-отрезных	$\pm 0,3 \dots \pm 0,8$	Отрезка прутков и труб диаметром до 80 мм
горизонтально-фрезерных	$\pm 0,4 \dots \pm 0,7$	Отрезка проката размером до 60 мм
абразивно-отрезных	$\pm 0,3 \dots \pm 0,7$	Отрезка проката с высокой твердостью. Применяют абразивные круги диаметром 30...500 мм и толщиной 0,5...4 мм и алмазные круги диаметром 50...320 мм и толщиной 0,15...2 мм
<i>Отрезка на отрезных станках и установках:</i> анодно-механических	$\pm 0,15 \dots \pm 0,3$	Отрезка проката с высокой твердостью диаметром 200...250 мм. При применении вместо дисков стальной ленты толщиной 1...2 мм и шириной 15...20 мм или стальной проволоки диаметром 2...2,5 мм можно осуществлять фигурную вырезку заготовок
ультразвуковых	$\pm 0,1 \dots \pm 0,5$	Отрезка твердых и хрупких материалов (керамика, кварц, кремний, стекло, германий, алмаз, рубин и т. п.)
электроэрозионных	Черновой $\pm 0,5 \dots \pm 2$; чистой $\pm 0,03 \dots \pm 0,2$	Отрезка круглого проката и труб, выполненных из стальных и твердосплавных материалов. При применении латунной проволоки диаметром 0,05...0,3 мм можно осуществлять фигурную вырезку

Окончание табл. 7.2

1	2	3
электронно-лучевых	$\pm 0,01 \dots \pm 0,05$	Отрезка небольших заготовок из металлов, полупроводниковых и изоляционных материалов. Можно осуществлять фигурную вырезку и прорезку щелей
лазерных	$\pm 0,001 \dots \pm 0,05$	Отрезка небольших заготовок из любых материалов. Можно осуществлять фигурную вырезку и прорезку щелей

Отрубка – отделение заготовки внедрением клинового инструмента. Выполняют на молотах и гидравлических прессах для разделения исходного металла на заготовки под ковку. Отход металла незначительный.

Способ отрубки для импульсного холодного или горячего разделения металла применен в машинах «МИР», разработанных в Харьковском авиационном институте (рис. 7.7). Разделение осуществляется внедрением движущихся навстречу друг другу клинообразных пластин – ножей. Начальная скорость внедрения ножей составляет до 30 м/с. Отходы ничтожно малы, что позволяет условно отнести этот способ к безотходным.

Обкатка клиновым инструментом. Применяют для безотходного разделения прутков круглого профиля и труб из металлов средней и высокой твердости на относительно длинные заготовки. Сначала во вращающийся прут, зажатый в патрон токарного станка, внедряется ролик, образуя V-образную канавку (рис. 7.8). Затем нажимом на консольный конец отрезаемой части прутка отделяют ее разрушением по плоскости надреза. Полученная заготовка имеет фаски по кромкам и шероховатую поверхность торцов. Способ находит ограниченное применение.

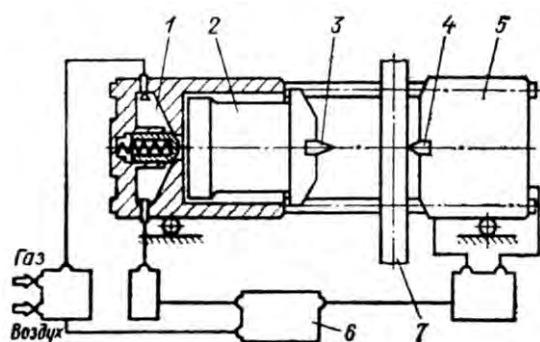


Рис. 7.7. Схема машины «МИР» для импульсной отрубки: 1 – камера сгорания; 2 – шток; 3, 4 – ножи; 5 – шабот; 6 – блок управления; 7 – разрезаемая заготовка

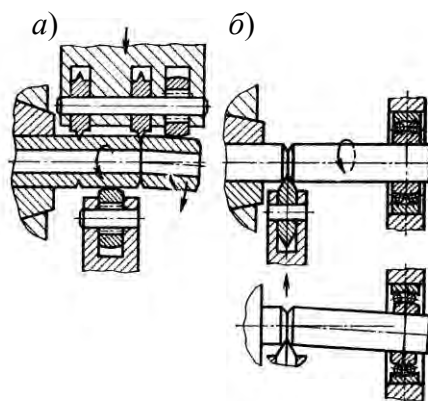


Рис. 7.8. Схема разделения круглого проката и труб на заготовки: а – обкатка клиновым роликом; б – обкатка и разрушение

Холодная ломка. Способ представляет собой разделение проката на заготовки разрушением по предварительно нанесенным надрезам (концентраторам напряжений) путем поперечного статического или динамического нагружения. Холодная ломка является производительным безотходным способом разделения проката из твердых металлов: сталей 45, 40Х, ШХ15 и т. д. Мягкие металлы при холодной ломке сильно деформируются, поэтому для них она мало пригодна. Ломку низкоуглеродистых сталей применяют с нагревом до 250...300 °С преимущественно для разделения прутков с диаметром сечения более 50 мм на заготовки длиной более 0,8 диаметра сечения. Особенно эффективна ломка для разделения проката больших сечений.

На рис. 7.9 представлены различные схемы ломки. Наименьшую точность поверхности раздела имеют заготовки, полученные консольной ломкой, что объясняется асимметрией нагружения.

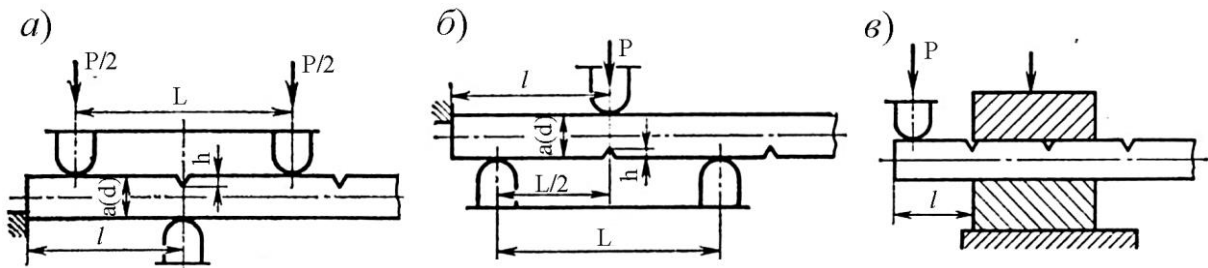


Рис. 7.9. Схемы холодной ломки: а – одноопорная ломка; б – двухопорная ломка; в – консольная ломка

Ломку выполняют на универсальных кривошипных и гидравлических прессах и специальных вертикальных и горизонтальных гидравлических прессах.

Преимущества холодной ломки: малая энергоемкость; простота и долговечность инструмента; возможность безотходного разделения проката больших сечений, использования уникальных прессов, контроля по излому качества металла.

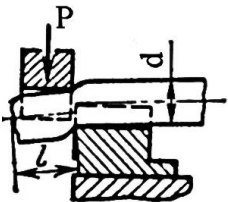
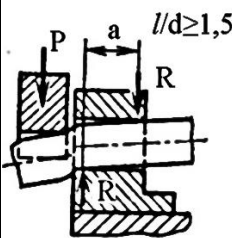
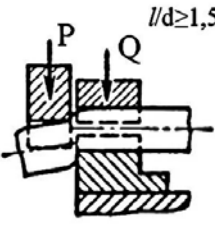
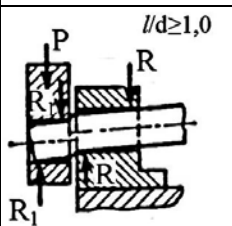
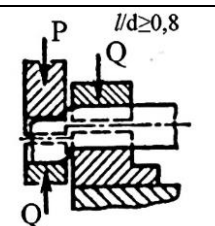
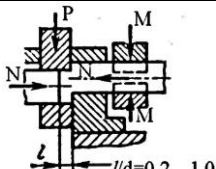
Недостатки холодной ломки: неуниверсальность способа (непригодность для разделения труб, профилей и пластичных металлов); необходимость предварительного нанесения надреза; отклонение от плоскостности и шероховатая поверхность торцов получаемых заготовок; образование торцовых трещин при ломке прутков из некоторых высоколегированных сталей; необходимость специальных мероприятий по технике безопасности для защиты от возможного отделения кусочков металла, отлетающих с большой скоростью, и от удара прутком и отделяемой заготовкой. Особенностью силового режима ломки является мгновенное падение усилия, со-

проходящееся сильным звуковым эффектом.

Резка в штампах и на ножницах. Производят без отхода металла путем смещения (сдвига) отрезаемой части прутка по поверхности раздела под воздействием сближающихся ножей. Это наиболее распространенный и экономичный способ разделения проката на заготовки.

От температуры металла и скорости деформирования существенно зависит качество получаемых заготовок. Резка в штампах и на ножницах может быть выполнена способами, приведенными в табл. 7.3.

Табл. 7.3. Классификация способов и схем резки заготовок сдвигом

Резка	Закрепление			
	без прижима	с поперечным зажимом		с осевым сжатием
		пассивным	активным	
1. Открытая		—	—	—
2. Не полностью открытая	—			—
3. Не полностью закрытая	—			—
4. Закрытая	—	—	—	

1. Открытая резка. Подвижность прутка и его отрезаемой части относительно ножей не ограничивается. Способ не обеспечивает получение заготовок точной формы, находит ограниченное применение в единичном производстве для отрезки длинных заготовок ручными ножницами.

2. Не полностью открытая резка. Отличается от открытой резки ограничением поворота прутка в неподвижном ноже, но подвижность отрезаемой части не ограничена. Этот способ не обеспечивает точной формы отрезаемых заготовок, эффективен при высокой скорости отрезки (более 40 м/с). Благодаря применению открытого подвижного ножа отличается простотой удаления заготовки («на провал»).

3. Не полностью закрытая резка. Отличается от не полностью открытой тем, что исключена возможность поворота и изгиба не только прутка, но и его отрезаемой части. Это достигается пассивным или активным поперечным зажимом прутка в ножах. Заготовки, отрезанные таким способом, имеют значительно меньшее искажение формы, чем способами 1 и 2. Данный способ наиболее распространен и является основным способом безотходной резки в штампах и на сортовых ножницах точных заготовок длиной более 0,8 высоты сечения прутка. Не полностью закрытую резку с пассивным поперечным зажимом чаще всего производят в штампах с цельными втулочными ножами (с поперечным зазором между прутком и ножом), а с активным поперечным зажимом – в штампах с открытыми ножами-полувтулками и зажимными устройствами, обеспечивающими прижим прутка к ножам внешней силой Q . Эта схема является наилучшей схемой не полностью закрытой резки и обеспечивает отрезку наиболее точных заготовок.

4. Закрытая резка. Отличается от предыдущих способов тем, что отрезаемая часть прутка, замкнутая в полости ножей, подвергнута осевому сжатию, вследствие чего в зоне реза создается благоприятное для пластической деформации напряженное состояние всестороннего сжатия. При достаточных удельных усилиях осевого сжатия [$q_{oc} = (2...5)\sigma_T$] разделение происходит путем пластического сдвига без разрушения. Заготовка составляет одно целое с прутком до полного отделения. Торцы заготовки имеют гладкую ровную, перпендикулярную к оси заготовки поверхность. Закрытая резка – единственный из четырех способов, принципиально пригодный для отрезки геометрически точных, коротких заготовок длиной более 0,2 высоты сечения прутка.

Однако под воздействием больших усилий осевого сжатия при закрытой резке происходит схватывание металлов прутка и ножей и образование дефектов (задилов) на торцах заготовки и плоскостях ножей. Поэтому способ 4 применяется в основном для разрезки на точные заготовки медных прутков и прутков из мягкого алюминия, у которых схватывание почти не проявляется [10].

Резка кручением. Применяют для разделения на заготовки прутков круглого профиля и преимущественно труб. Пруток 1 (рис. 7.10) и его отделяемая часть закреплены зажимами 2 и 3. На поверхности прутка по

плоскостям раздела нанесены концентраторы в виде круговых V-образных канавок. Зажим 3 может поворачиваться вокруг оси и перемещаться вдоль нее. При повороте зажима 3 с зажатой в нем отрезаемой частью прутка происходит отрезка кручением.

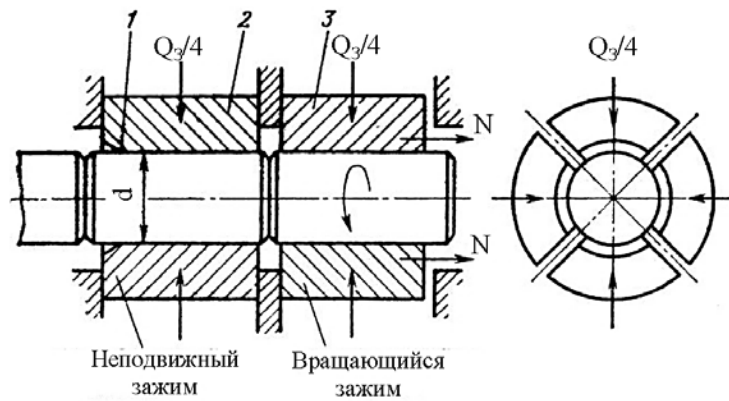


Рис. 7.10. Схема резки кручением

Качество поверхности раздела определяется механическими свойствами разрезаемого металла. Резка кручением хрупких сталей (P18, 3X2B8, ХВГ, 9ХС и др.) невозможна, а при резке вязких сталей получаются некачественные заготовки, поэтому способ пригоден только для резки прутков и труб из среднеуглеродистых и низкоуглеродистых конструкционных сталей 35...50, 35Х, 40ХС, 65Г и титановых сплавов, а также труб из сталей 20, 20Г, 20Х. Данным способом отрезают заготовки длиной более одного диаметра от прутков и более трех диаметров от труб. Наиболее рациональная область применения – разделение толстостенных труб на заготовки.

Резка зубчатыми пилами. Применяется во всех отраслях металлообработки, в основном в мелкосерийном производстве. Обеспечивает хорошее качество поверхности реза и точную длину заготовки.

Резка дисковыми пилами. Используется для разделения на заготовки металла в холодном и горячем состояниях.

Преимущества отрезки пилами: чистая поверхность; возможность отрезки точных и очень коротких заготовок; отсутствие упрочнения металла в приторцовых зонах; универсальность (возможность разрезать прутки различных сечений без смены инструмента). При разрезании стальных заготовок производительность составляет 2000...8000 мм²/с.

Недостатки способа резки дисковыми пилами: наличие отхода металла; значительная стоимость инструмента; потребность в заточных станках; загрязнение рабочего места и воздушного пространства мелкой стружкой; невозможность разделения термически упрочненных металлов с $\sigma_B \geq 1200$ МПа; сильный шум при работе.

Резка ленточными пилами. Ленточно-отрезные станки с инструментом в виде «бесконечной» зубчатой ленты находят все большее применение в заготовительном производстве. Они развивают скорость 10...240 м/мин, обеспечивают хорошее качество поверхности среза, высокую производительность (в 1,5...2 раза выше производительности фрезерно-отрезных станков), малый отход металла и расход энергии; работа про-

текает с незначительным шумом. Ширина пропила обычно не превышает 2,2 мм. Ограниченным фактором применения ленточно-отрезных станков является недостаточная стойкость ленточных пил (5...15 ч). Для устранения этого недостатка используют биметаллические ленточные пилы.

Резка ножовочными пилами. Применяют в единичном, мелкосерийном и серийном производстве. Станкостроительная промышленность изготавливает ножовочно-отрезные станки с прямолинейным возвратно-поступательным перемещением пильного полотна и с движением по дуговой траектории.

Производительность резки на ножовочных станках зависит от усилия прижима полотна к разрезаемому металлу. Это усилие задают в соответствии с толщиной полотна.

Длину ножовочного полотна выбирают в зависимости от длины пропила (ширины сечения разрезаемого прутка); шаг зубьев – в зависимости от твердости металла и размеров разрезаемой заготовки.

Резка резцами на токарно-отрезных станках. Способ применяют в единичном и мелкосерийном производстве для разделения круглых прутков и труб на заготовки с хорошим качеством поверхности среза и высокой точностью по длине. Резку производят на универсальных токарных и специальных токарно-отрезных станках и автоматах. Преимуществом способа является его универсальность и простота. Шероховатость поверхности торцов соответствует $Rz = 10...20$ мкм. На торцах по оси могут быть выступы до 1,5 мм. Упрочненный слой металла распространяется на глубину до 0,2 мм от торцов.

Недостатки способа: низкая производительность (при резке прутка с сечением диаметром 50...80 мм отрезают одну-три заготовки в минуту); малая стойкость резцов; большой отход металла в стружку; высокая себестоимость заготовки. В кузнечно-штамповочном производстве этот способ находит ограниченное применение. Отход металла определяется шириной резца, которая зависит от диаметра разрезаемого прутка.

Резка абразивными кругами. Используют для разделения на заготовки проката, труб, профилей из высокопрочных металлов. Для абразивной разрезки применяют станки с ручной подачей круга, полуавтоматы с механической подачей и автоматы, в которых автоматически выполняется подача материала, его зажим, подача круга и снятие материала.

На абразивно-отрезных станках разрезают прокат с сечением до 200 мм, трубы диаметром до 600 мм. Круги вращаются со скоростью 30...100 м/с.

Преимущества абразивной резки: высокая геометрическая точность и малая шероховатость поверхности среза ($Ra = 0,32...1,25$ мкм); возможность разрезки высокопрочных металлов любой твердости; высокая произ-

водительность. Производительность резки углеродистых и конструкционных сталей абразивными кругами равна $240 \text{ см}^2/\text{мин}$, быстрорежущих – $120 \text{ см}^2/\text{мин}$, коррозионно-стойких – $30 \text{ см}^2/\text{мин}$. По экономичности способ превосходит разрезание дисковой пилой и на токарно-отрезных станках. Поверхность среза обычно не нуждается в дальнейшей обработке.

К недостаткам способа относятся шум при работе, выделение пыли (требуется присоединение станка к вентиляционной системе), быстрое изнашивание кругов, относительно большая ширина пропила (приблизительно 1 % от диаметра круга).

Резка фрикционными пилами. Применяют для резки сталей, содержащих вольфрам или молибден, а также для никелевых, хромистых, хромокремнистых сталей. Производительность фрикционной пилы выше производительности дисковой пилы с зубьями для холодной резки металла в 3...4 раза. Сущность способа состоит в том, что контактное трение вращающегося с большой скоростью тонкого стального диска вызывает местный нагрев и размягчение или расплавление разрезаемого металла, частицы которого выбрасываются из прорези в виде снопа искр. Режущей частью диска является его внешняя кромка. В качестве инструмента используют следующие формы дисков: гладкий, с накатанными зубьями разной формы, насечкой (наиболее производительный). Скорость резки дисковыми фрикционными пилами составляет 15...140 м/с.

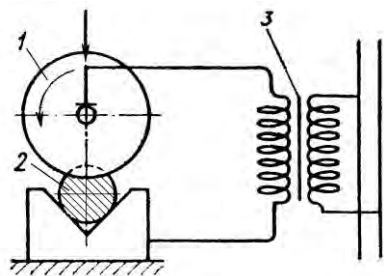


Рис. 7.11. Принципиальная схема электромеханической резки

Резка электромеханической пилой. Способ электроконтактной обработки, отличающийся от резки пилой трения тем, что металл в зоне реза не только разогревается трением, но и расплавляется электрической дугой. Схема резки приведена на рис. 7.11. Электроэнергия подводится к диску 1 и заготовке 2 от трансформатора 3. Расплавленный металл выносится из прорези вращающимся диском.

Диск вращается с частотой 2200 об/мин, сила тока до 1000 А, рабочее напряжение до 20 В. Производительность резки электромеханической дисковой пилой в несколько раз выше, чем резки обычной пилой трения, шум при работе меньше. Ширина прорези не превышает 3 мм. К преимуществам способа относятся применение дешевого и несложного инструмента, работа на переменном токе невысокого напряжения, низкие удельные усилия на инструменте (30...50 МПа).

Недостатки способа: низкая чистота поверхности реза; изменение структуры металла в широкой зоне теплового влияния; необходимость защитного устройства от брызг металла и светового излучения.

Посредством данного способа осуществляется резка сортового проката из легированных сталей до диаметра 240 мм, труб и толстых алюминиевых листов. При диаметре диска 1000 мм применяют скорость 30 м/с.

Электроэрозионная (электроискровая) резка (рис. 7.12). Осуществляется дисковым или ленточным инструментом в ванне с жидким диэлектриком (керосин, вода и др.). В зазоре между инструментом – катодом 1 и разрезаемой заготовкой 2 – возникают часто повторяющиеся импульсы электрического разряда. Источник постоянного тока 5 заряжает через сопротивление 4 конденсатор 3, который несколько сотен раз в секунду разряжается через искровой промежуток между прутком и инструментом. В зоне реза, в микрообъемах разрезаемого металла плотность тока достигает сотен тысяч ампер на квадратный миллиметр, температура повышается до 10000 °С, происходит плавление, сгорание и испарение металла. Способ пригоден для разрезания труднодеформируемых металлов. Обеспечивает возможность отрезки очень коротких заготовок и высокое качество резки. Недостатками являются малая стойкость инструмента и большой расход энергии.

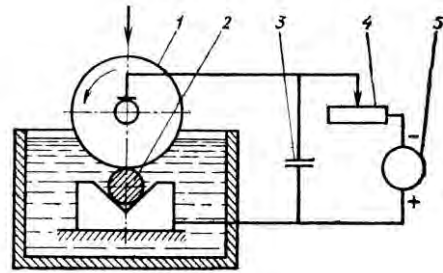


Рис. 7.12. Принципиальная схема электроискровой резки

Анодно-механическая резка. Способ основан на термическом и электрохимическом разрушении металла при прохождении электрического тока между двумя электродами (заготовка – анод, инструмент – катод); разновидность электроэрозионной обработки. Осуществляется расплавлением и удалением движущимся инструментом частиц разрезаемого металла в поле постоянного электрического тока силой 45...80 А, напряжением 20...30 В. В зону пропила подается электролит – водный раствор жидкого стекла.

На практике применяют две схемы анодно-механической резки: вращающимся тонким гладким диском и поступательно перемещающейся «бесконечной» лентой или проволокой.

Преимущества анодно-механической резки: возможность резки любых токопроводящих материалов; низкая стоимость инструмента и простота изготовления; малое силовое воздействие на разрезаемую заготовку, что позволяет резать нежесткие профили; малая ширина прорези.

Недостатки способа: высокая стоимость оборудования; необходимость применения специального электролита; необходимость промывки станка и деталей горячей водой; невысокая производительность; низкое качество поверхности среза; сложность защиты направляющих и других

частей станка от жидкого стекла. Применение анодно-механической резки целесообразно в тех случаях, когда механическая разрезка невозможна или затруднена.

Газопламенная резка. Осуществляется сжиганием металла в струе кислорода, которая одновременно служит для удаления продуктов сгорания. Подогрев металла до температуры его воспламенения производится с помощью горючего газа (ацетилена, пропана, метана, паров бензина, керосина и др.), который пропускается через подогревающий наружный мундштук резака. Высокое качество резки обеспечивается только при горении металла в твердом состоянии.

Применяют два вида газопламенной резки: кислородную и кислородно-флюсовую.

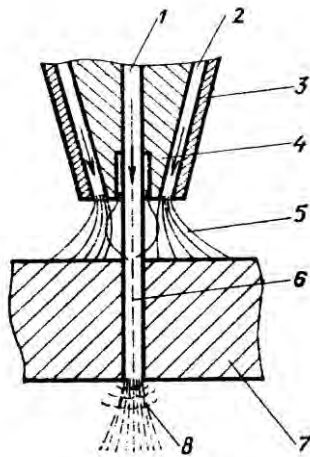


Рис. 7.13. Кислородная резка:
1 – канал для кислорода; 2 – канал для ацетилена;
3 – наружный мундштук; 4 – внутренний мундштук; 5 – подогревающее газовое пламя;
6 – струя режущего кислорода; 7 – разрезаемый металл; 8 – шлак

Кислородная резка (рис. 7.13)

применяется для низко- и среднеуглеродистых сталей, низколегированных сталей, титановых сплавов при толщине заготовки до 1500 мм. Ее используют также для зачистки металла от поверхностных дефектов.

Кислородная резка может быть ручная и машинная. Ширина прорези при кислородной резке зависит от толщины разрезаемого металла и составляет 2,5...10 мм. Она неравномерна по высоте. На выходной стороне ширина больше на 10...50 %, чем на входе. Высота неровностей на поверхности раздела зависит от толщины разрезаемого металла и достигает

1...4 мм – при ручной резке и 0,25...2,5 мм – при машинной.

К недостаткам кислородной резки, наряду со значительной потерей металла, следует отнести также большой расход кислорода и загазованность помещения.

Кислородно-флюсовая резка. Отличается от кислородной тем, что в зону раздела вместе с кислородом вводится флюс (железный порошок), который, сгорая, повышает температуру в зоне разрезки. Образующиеся шлаки разжижаются и легко удаляются кислородной струей. Способ применяется для разрезки заготовок из высоколегированных, хромистых, хромоникелевых сталей, сталей, содержащих вольфрам, медных и алюминиевых сплавов.

Воздушно-дуговая резка. При этом способе резки металл расплавляется дугой, образующейся между заготовкой и неплавящимся угольным или графитовым электродом, и выдувается из полости реза сжатым воздухом, подаваемым под давлением 0,5...0,7 МПа. Способ находит ограниченное применение для резки низкоуглеродистой и низколегированной сталей и широкое – для поверхностной обработки металла, разделки трещин, удаления дефектных участков. Наибольшая производительность 600 мм²/с. Способ используется в том случае, если нельзя применить кислородную резку.

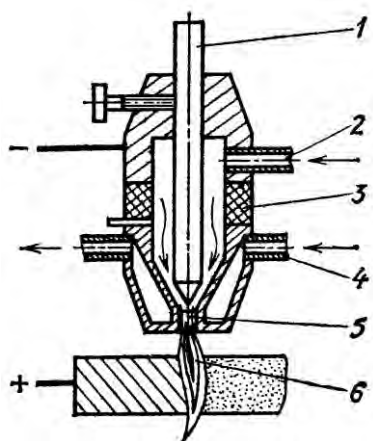


Рис. 7.14 Схема плазменно-дуговой резки

Плазменно-дуговая резка. Резка проводится струей плазмы. Плазма – вещество в состоянии сильно ионизированного газа. Вдоль электрической дуги по каналу плазмотрона подается газ (азот, аргон, водород или их смеси), который сжимает дугу и выходит в виде плазмы, имеющей температуру 10000...30000 °С (рис. 7.14). Способ пригоден для резки любых металлов толщиной до 300 мм, но наиболее эффективен при резке высокопрочных тугоплавких сталей и сплавов, меди, алюминия. Ширина прорези непостоянна. Глубина зоны термического влияния не превышает 0,8 мм.

Лазерная резка. Разрезание лазерным лучом происходит, когда невидимый мощный луч когерентного монохроматического света расплавляет, испаряет металл и разрезает его в экзотермической реакции с использованием кислорода в качестве режущего газа.

Резку лазером, работающим на углекислом газе, применяют для многих металлов, которые поглощают (абсорбируют) лазерное излучение и имеют относительно невысокую теплопроводность (стали, титановые сплавы и др.).

Преимущества лазерной резки: не требуется изготавливать инструмент; отсутствует силовое воздействие на обрабатываемый металл; возможно вырезание сложных контуров с острыми углами и малыми радиусами, с высокой точностью размеров; низкий уровень шума; узкая прорезь (0,13...0,38 мм); малая зона термического влияния (0,1...0,2 мм); отсутствуют утяжина, скругление кромок и заусенцы; высокая скорость резания (до 15 м/мин); гладкая поверхность реза (Ra 20); малое подготовительно-заключительное время; простота программирования вырезки контуров с помощью ЧПУ.

Контрольные вопросы

1. Основные способы ОМД.
2. По каким признакам и на какие группы классифицируют кузнечно-прессовое оборудование?
3. Как влияет ОМД на структуру и свойства металла заготовки?
4. Какие исходные заготовки и материалы используют для изготовления поковок?
5. Какие существуют способы для разделки металла на заготовки?

8. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЗАГОТОВОК КОВКОЙ

8.1. Область применения и технико-экономическая эффективность изготовления заготовок

Ковка – процесс получения заготовок с высокими механическими свойствами в условиях мелкосерийного и единичного производства. Ковкой изготавливают самые разнообразные поковки, масса которых достигает сотен тонн. Наиболее ответственные детали, такие как валы и диски турбин, роторы, коленвалы судовых двигателей, барабаны котлов высокого давления и т. п., к которым предъявляются высокие требования по качеству металла и механическим свойствам, изготавливают из поковок.

Ковка осуществляется при температурах горячей деформации, поэтому для такого способа обработки применяют все стали и сплавы, используемые при обработке металлов давлением. Шероховатость поверхности поковок, полученных ковкой, не превышает $Rz = 320 \dots 80$ мкм. При использовании подкладных штампов шероховатость поверхности поковок может быть доведена до $Rz = 80 \dots 40$ мкм. Коэффициент массовой точности поковок не превышает 0,3...0,4, что вызывает большой объем механической обработки.

Применениековки для получения заготовок объясняется рядом ее преимуществ по сравнению с другими способами обработки:

1) возможность изготовления крупногабаритных поковок большой массы (несколько сотен тонн). Получение этих поковок другими способами неосуществимо. При обработке таких поковок используется сравнительно маломощное оборудование, т. к. обработка ведется деформированием отдельных участков заготовки;

2) применение универсального оборудования и универсальной оснастки, позволяющей получать поковки широкого ассортимента;

3) улучшение качества металла, повышающее его механические свойства, пластичность и ударную вязкость.

Основные недостаткиковки: низкая производительность, значительная трудоемкость изготовления поковок и повышенный расход металла на изделие.

8.2. Оборудование дляковки

В зависимости от массы и размеров сечения поковки ее могут изготавливать на паровоздушном и приводном пневматическом молотах или гидравлическом ковочном прессе. Главной характеристикой ковочного

молота является масса падающих частей, а пресса – усилие, которое он может развивать. Основные характеристики предмета производства при ковке сведены в табл. 8.1.

Табл. 8.1. Основные характеристики предмета производства при ковке [13]

Способковки	Тип производства	Размер или масса	Форма заготовки
На молотах и прессах	Единичное, мелкосерийное	До 250 т	Простая
На молотах с использованием подкладного инструмента (колец и штампов)	Мелкосерийное	10 кг и более	Средней сложности
На радиально-ковочных машинах	Серийное	До 150 мм (диаметр прутка трубы)	Тела вращения

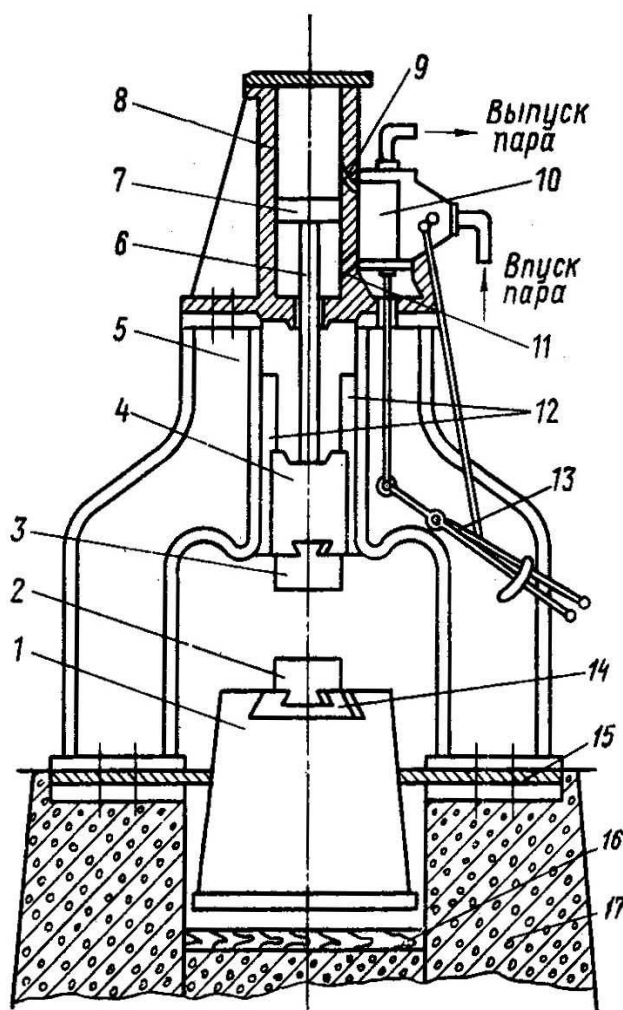


Рис. 8.1. Схема паровоздушного ковочного молота

Паровоздушный ковочный молот обладает простотой устройства и управления, применяется в единичном и мелкосерийном производстве. На нем изготавливают поковки средней массы преимущественно из прокатанных заготовок, а также куют поковки в подкладных штампах.

По типу станины молоты разделяются на одностоечные и двухстоечные. Молоты состоят из станины, шаблона, рабочего цилиндра, падающих частей, систем смазки и управления.

На рис. 8.1 изображена схема паровоздушного ковочного молота двойного действия арочного типа. Станина состоит из двух стоек 5 коробчатого или таврового сечения, усиленных ребрами жесткости. Вверху стойки крепятся к основанию литого

цилиндра 8. Внизу стойки устанавливаются на литую фундаментную плиту 15 и крепятся к фундаменту анкерными болтами.

В таком молоте пар или воздух по трубопроводу поступает в золотниковое парораспределительное устройство 10. Из этого устройства, в зависимости от положения золотника, пар (воздух) может попасть в нижнюю полость цилиндра, поднимая падающие части молота, или в верхнюю полость, опуская их. Отработанный пар (воздух) из верхней и нижней частей цилиндра через золотниковое устройство поступает на выпуск. К падающим частям молота относятся поршень 7 рабочего цилиндра, шток 6, баба 4 и верхний боек 3. Нижний боек 2 с подушкой 14 укреплен на шаботе 1. Шабот молота представляет собой массивную стальную или чугунную отливку, масса которой в 15 раз больше массы падающих частей молота.

Основные размеры и параметры паровоздушных ковочных молотов двойного действия регламентированы стандартом, предусматривающим изготовление двухстоечных молотов арочного и мостового типов с массой падающих частей 1000...8000 кг при эффективной энергии удара 25...200 кДж. Число ударов таких молотов при наибольшем ходе бабы – 63...31 в минуту, а КПД составляет 2...3 %.

Паровоздушные ковочные молоты приводятся в действие паром, поступающим по паропроводу от котла под давлением 0,7...0,9 МПа, или сжатым воздухом, который подается по трубопроводу от компрессора под давлением до 0,7 МПа.

Пневматические ковочные молоты предназначены для выполнения операцийковки на плоских или вырезных бойках в условиях мелкосерийного и среднесерийного производства. В крупносерийном производстве пневматические молоты применяются для осуществления операцийштамповки в открытых подкладных штампах [10]. Пневматические молоты быстроходны, позволяют регулировать эффективную энергию удара в процессе работы, обладают сравнительно высоким КПД, просты по устройству и не требуют тщательного ухода.

Основные узлы пневматического молота (рис. 8.2) следующие: станина 3, отлитая заодно с рабочим 11 и компрессорным 2 цилиндрами; пустотелая баба 10, которая одновременно служит поршнем и штоком рабочего цилиндра; шабот 9; воздухораспределительные устройства 12 и привод. Последний состоит из электродвигателя 7, ременной 6 и зубчатой 5 передач, кривошипного вала 8, шатуна 4 и поршня 1 компрессорного цилиндра [17]. Энергоносителем является сжатый воздух. Баба движется под действием сжатого воздуха, который подобно упругому элементу сжимается и расширяется в замкнутых объемах нижних и верхних полостей компрессорного и рабочего цилиндров.

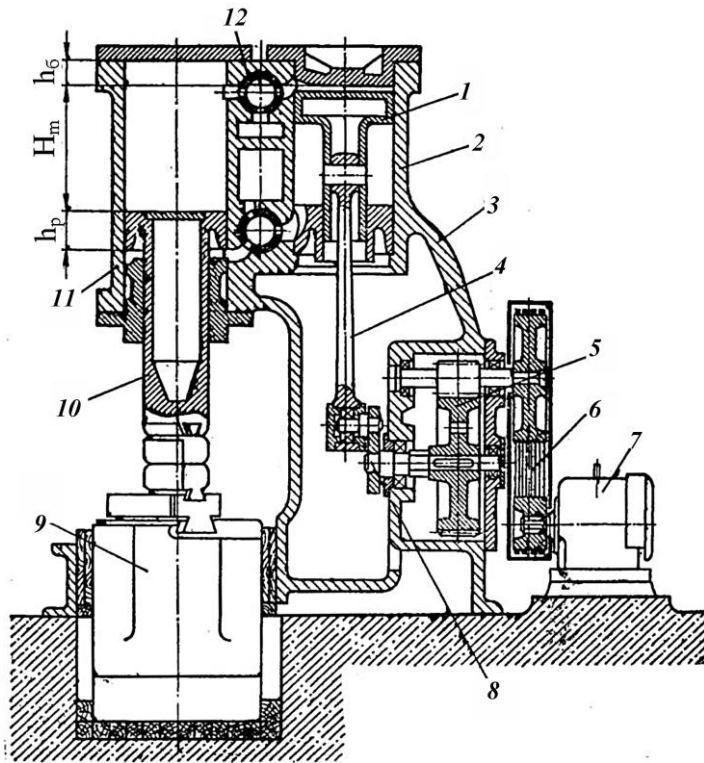


Рис. 8.2. Пневматический ковочный молот

Согласно стандарту пневматические ковочные молоты изготавливают с массой падающих частей (м. п. ч.) 30...1000 кг. Масса шабота превышает м. п. ч. в 10...15 раз. Эффективная энергия удара для молота с м. п. ч. 50 кг составляет 800 Дж, а для молота с м. п. ч. 1000 кг – 28 кДж. Число ударов в минуту для малых молотов – 230, а для крупных – 100. КПД этих молотов составляет 6...7 %.

Ковочные гидравлические прессы. Гидравлические прессы с усилием до 200 МН (20000 т) предна-

значены для изготовления поковок из слитков массой до 500 т. Скорость движения бойка прессы составляет 0,1...0,3 м/с. КПД гидравлического прессы – 6...8 %.

Прессы с парогидравлическим приводом имеют небольшую величину хода, но по скорости движения не уступают гидравлическим прессам. Недостаток парогидравлических прессов заключается в значительной дороговизне привода – парогидравлического мультипликатора. Установку таких прессов можно рекомендовать только при наличии дешевого пара, а их преимуществом является большая гибкость в управлении.

Принцип действия гидравлического прессы основан на законе Паскаля. Гидравлический пресс (рис. 8.3) имеет нижнюю неподвижную поперечину 13, которая крепится на фундаменте. На нижней поперечине установлен стол 12 с нижним бойком 1. Четыре стальные колонны 3 связывают нижнюю неподвижную поперечину 13 с верхней неподвижной поперечиной 10, на которой укреплены рабочий цилиндр 6 и возвратные цилиндры 9. В этих цилиндрах могут перемещаться соответственно рабочий 5 и возвратный 8 плунжеры. Рабочий плунжер 5 скреплен с подвижной поперечиной 4, к которой крепится верхний боек 2. Плунжеры возвратных цилиндров соединены с траверсой 7, которая тягами 11, в свою очередь, соединена с подвижной поперечиной 4.

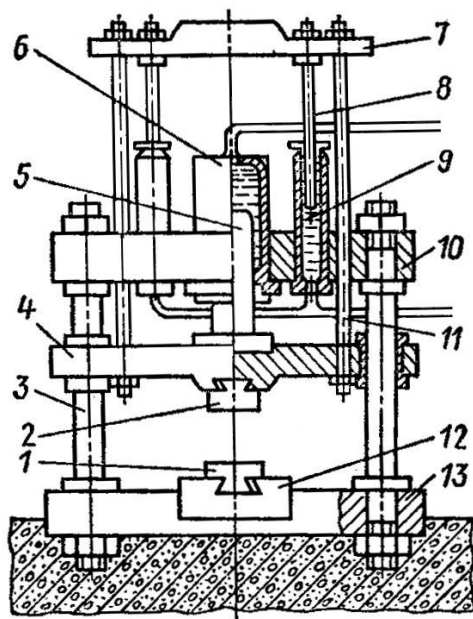


Рис. 8.3. Ковочный гидравлический пресс

Холостой ход производится жидкостью низкого давления, которая поступает в рабочий цилиндр из наполнительного бака. При рабочем ходе в рабочий цилиндр пресса подают жидкость (водную эмульсию или минеральное масло) высокого давления (20...45 МПа). При опускании подвижной поперечины 4 жидкость из возвратных цилиндров вытесняется плунжерами 8 в сливной бак. При обратном ходе жидкость под давлением подается в возвратные цилиндры 9, а из рабочего цилиндра вытесняется плунжером 5 в сливной бак.

Основные показатели качества поковок приведены в табл. 8.2.

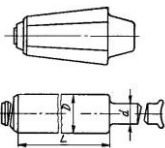
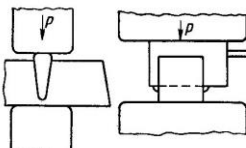
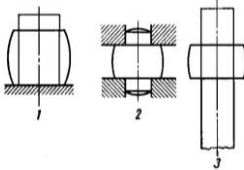
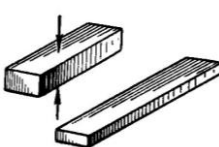
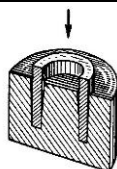
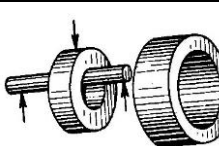
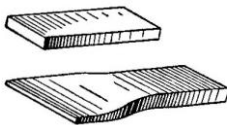
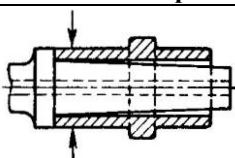
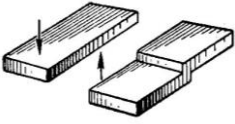
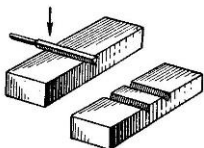
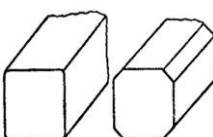
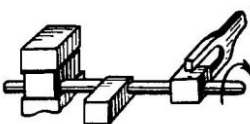
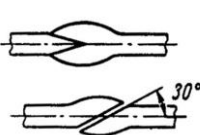
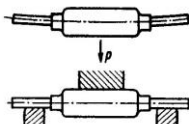
Табл. 8.2. Основные показатели качества поковок [13]

Способковки	Допуск основного размера, мм	Параметр шероховатости Rz, мкм
На молотах и прессах	3,0...30,0	80...320
На молотах в подкладных кольцах и штампах	1,0...2,5	40...80
На радиально-ковочных машинах: холодная горячая	0,04...0,4 0,1...0,6	До 40

8.3. Операцииковки

Разнообразие форм кованых поковок достаточно велико. Для придания заготовке заданной формы, размеров и структуры, обеспечивающей требуемые механические и эксплуатационные характеристики, применяют операции, классификация которых приведена в табл. 8.3.

Табл. 8.3. Ковка слитков и заготовок [21]

Операция	
1. Предварительные	
Обкатка (билетировка)  Превращение слитка в заготовку (сбивка ребер и устранение конусности)	Отрубка, разубка  Разделение слитка, заготовки или поковки на части топором
2. Основные	
Осадка 1, осадка в кольцах 2 и высадка 3  Увеличение поперечных размеров и уменьшение высоты заготовки (осадка) или ее части (высадка)	Протяжка  Увеличение длины заготовки или ее части за счет уменьшения ее сечения. Операция состоит из ряда смежных обжатий вдоль оси заготовки
Прошивка, пробивка  Образование полости в заготовке или поковке. Осуществляется сплошным или полым прошивнем	Раскатка  Увеличение внешнего и внутреннего диаметров кольцевой заготовки обжатиями между верхним бойком и оправкой, установленной на козлах
Разгонка  Увеличение ширины части заготовки за счет смежных обжатий поперек ее оси с уменьшением толщины заготовки	Протяжка на оправке  Увеличение длины проштампованной заготовки за счет ее обжатия по обе стороны оправки двумя бойками
Передача  Смещение одной части заготовки относительно другой при сохранении параллельности осей или плоскостей частей заготовок	Гибка заготовки или поковки  Образование или изменение углов между частями заготовки или придание ей криволинейной формы
3. Вспомогательные	
Надрубка  Внедрение деформирующего элемента (топора) на неполную толщину заготовки для образования уступов, выступов, выемок	Сбивка углов  Предотвращение вредного влияния остывания ребер заготовки. Применяется при ковке высоколегированной стали
Скручивание  Поворот части заготовки или поковки вокруг продольной оси	Сварка кузнечная  Соединение частей заготовок. Применяется при ковке на молотах
4. Отделочные	
Правка  Устранение непредусмотренной кривизны поковки	Клеймение  Нанесение знаков марки стали, номера плавки, шифра поковки и т. д.

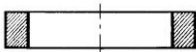
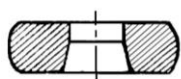
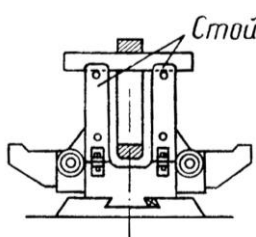
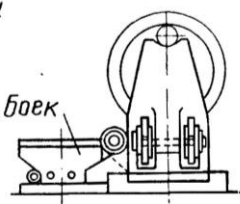
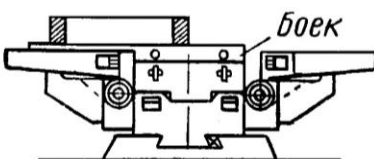
8.4. Классификация поковок

Классификация поковок произведена с учетом формы поперечного сечения и изменения его по длине, наличия или отсутствия отверстий, прямолинейности или изогнутости главной оси заготовки. С этой точки зрения все поковки делятся на семь групп (рис. 8.4).

В соответствии с принятой классификацией для каждой группы поковок рекомендуются определенные ковочные операции, последовательность которых выбирается согласно [10].

На основании рекомендаций таблиц можно составить технологический процессковки. Например, в табл. 8.4 приведен типовой техпроцессковки на молоте поковки бандажа (группа V).

Табл. 8.4. Типовой техпроцессковки на молоте заготовки бандажа (группа V) [11]

	
Операция	Эскиз перехода
Исходная заготовка	
Садить заготовку	
Прошить отверстие с двух сторон	
Раскатать на универсальном раскатном приспособлении  	
Откинуть стойки приспособления для раскатки. Повернуть боек в рабочее положение. Оправить поковку по высоте 	

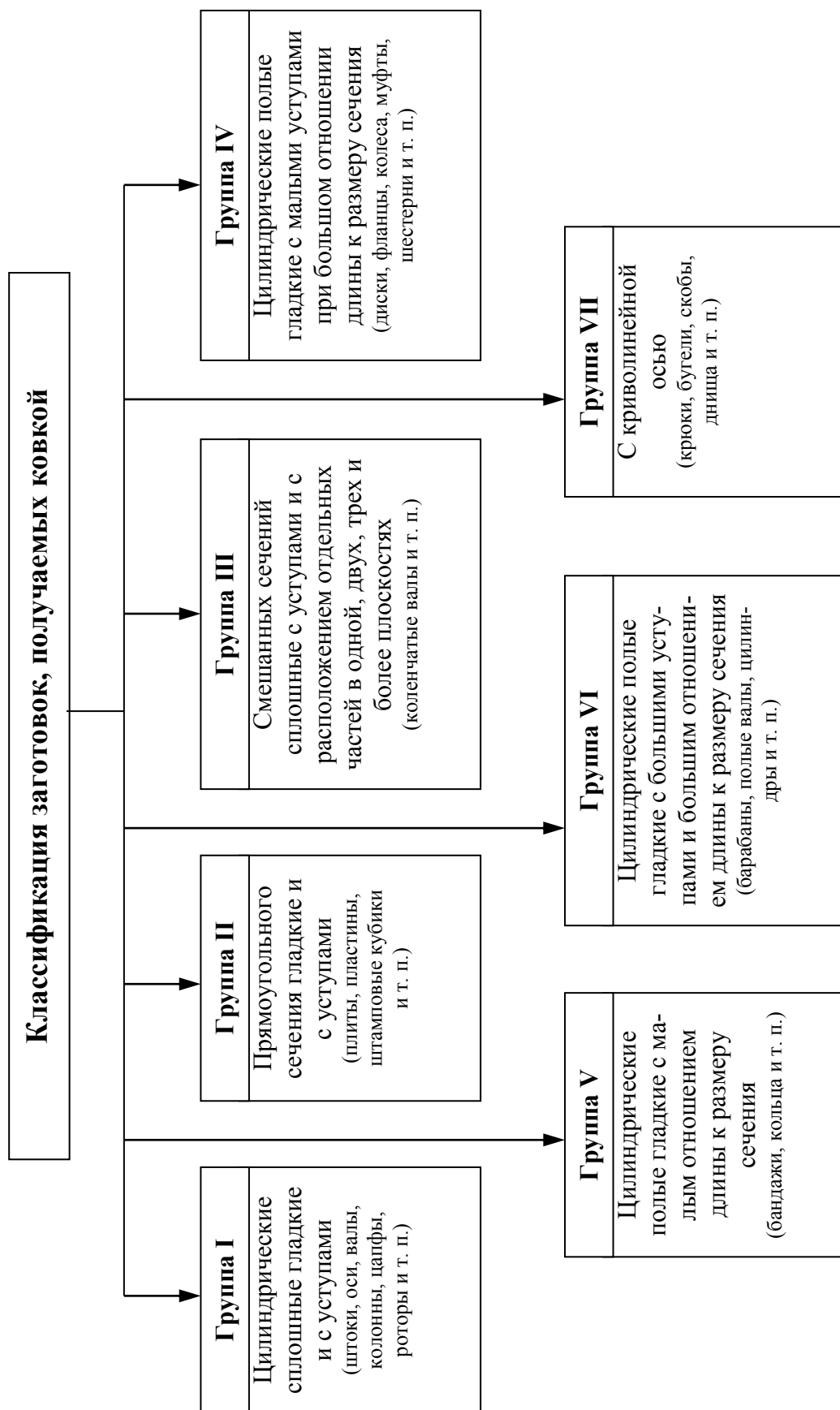


Рис. 8.4. Классификация заготовок, получаемых ковкой на молотах и прессах

8.5. Разработка чертежа заготовки

Основные этапы разработки.

1. Анализ чертежа детали и определение по [42, 44] типа поковки. Выбрав тип поковки, необходимо, используя рекомендации и таблицы стандартов, назначить припуски, допуски и напуски.

2. Оформление чертежа поковки, указывая необходимые технические требования [40, 45].

3. Определение массы и размеров исходной заготовки.

4. Определение расхода металла на одну заготовку и коэффициента использования металла.

5. Определение массы падающих частей молота и температурного интервалаковки.

1. Назначение припусков и допусков на поковки.

В качестве примера назначения припусков и допусков на поковку рассмотрим ковку на молотах. Номинальные размеры детали приведены на рис. 8.5. Используя [44, табл. 1], определяем, к какому типу поковки, с учетом конфигурации и соотношения размеров (длины, диаметра или стороны), может быть отнесена заготовка. Затем устанавливаем номер типового чертежа и таблицы для определения припусков и предельных отклонений.

Назначение основных и дополнительных припусков и предельных отклонений:

а) основные припуски и предельные отклонения на диаметры уступов и выступов детали назначают по табл. 8.5:

- на диаметр 300 мм припуск и предельное отклонение 16 ± 5 мм;
- на диаметр 200 мм припуск и предельное отклонение 14 ± 4 мм;
- на диаметр 263 мм припуск и предельное отклонение 16 ± 5 мм;
- на диаметр 284 мм припуск и предельное отклонение 16 ± 5 мм;
- на диаметр 233 мм припуск и предельное отклонение 15 ± 4 мм;
- на диаметр 180 мм припуск и предельное отклонение 14 ± 4 мм;

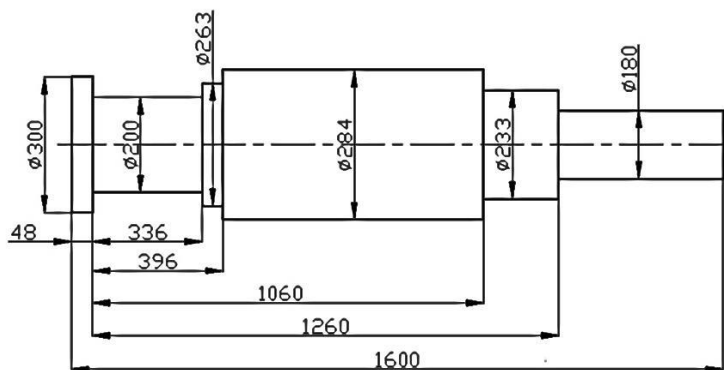


Рис. 8.5. Номинальные размеры вала

Табл. 8.5. Припуски и предельные отклонения на диаметры уступов и выступов детали [44]

Длина детали L, мм	Диаметр детали D или размер сечения B, H, мм									
	До 50	Св. 50 до 70	Св. 70 до 90	Св. 90 до 120	Св. 120 до 160	Св. 160 до 200	Св. 200 до 250	Св. 250 до 300	Св. 300 до 360	
	Припуски (δ , δ_1 , δ_2 , δ_3) и предельные отклонения ($\pm\Delta/2$; $\pm\Delta_1/2$; $\pm\Delta_2/2$; $\pm\Delta_3/2$), мм									
До 250	5 ± 2	6 ± 2	7 ± 2	8 ± 3	9 ± 3	–	–	–	–	
Св. 250 до 500	6 ± 2	7 ± 2	8 ± 2	9 ± 3	10 ± 3	11 ± 3	12 ± 3	13 ± 4	14 ± 4	
Св. 500 до 800	7 ± 2	8 ± 2	9 ± 3	10 ± 3	11 ± 3	12 ± 3	13 ± 4	14 ± 4	15 ± 4	
Св. 800 до 1200	8 ± 2	9 ± 3	10 ± 3	11 ± 3	12 ± 3	13 ± 4	14 ± 4	15 ± 4	16 ± 4	
Св. 1200 до 1700	–	10 ± 3	11 ± 3	12 ± 4	13 ± 4	14 ± 4	15 ± 4	16 ± 5	17 ± 5	
Св. 1700 до 2300	–	11 ± 3	12 ± 3	13 ± 4	14 ± 4	15 ± 4	16 ± 5	17 ± 5	18 ± 5	
Св. 2300 до 3000	–	–	13 ± 4	14 ± 4	15 ± 4	16 ± 5	17 ± 5	18 ± 5	19 ± 5	
Св. 3000 до 4000	–	–	–	15 ± 5	16 ± 5	17 ± 5	18 ± 5	19 ± 5	20 ± 6	
Св. 4000 до 5000	–	–	–	16 ± 5	17 ± 5	18 ± 5	19 ± 5	20 ± 6	21 ± 6	
Св. 5000 до 6000	–	–	–	–	18 ± 5	19 ± 5	20 ± 6	21 ± 6	22 ± 6	

б) припуски и предельные отклонения на длину уступов и общую длину детали назначают в соответствии с ГОСТ 7829-70. Припуск δ на общую длину детали принимают равным 2,5 припускам на диаметр или размер выступа наибольшего сечения. Предельные отклонения $\pm\Delta/2$ на общую длину детали принимают равными 2,5 отклонениям на диаметр или размер выступа наибольшего сечения. Припуски δ на длину уступов и выступов принимают кратными припуску на диаметр или размер выступа наибольшего сечения согласно рис. 8.6. Длину уступов и выемок на чертеже поковки указывают от единой базы.

За базу принимают торец выступа наибольшего сечения, не являющийся торцом поковки. Предельные отклонения $\pm\Delta/2$ на длину уступов и выступов принимают равными 1,5 отклонениям на диаметр или размер выступа наибольшего сечения согласно рис. 8.6.

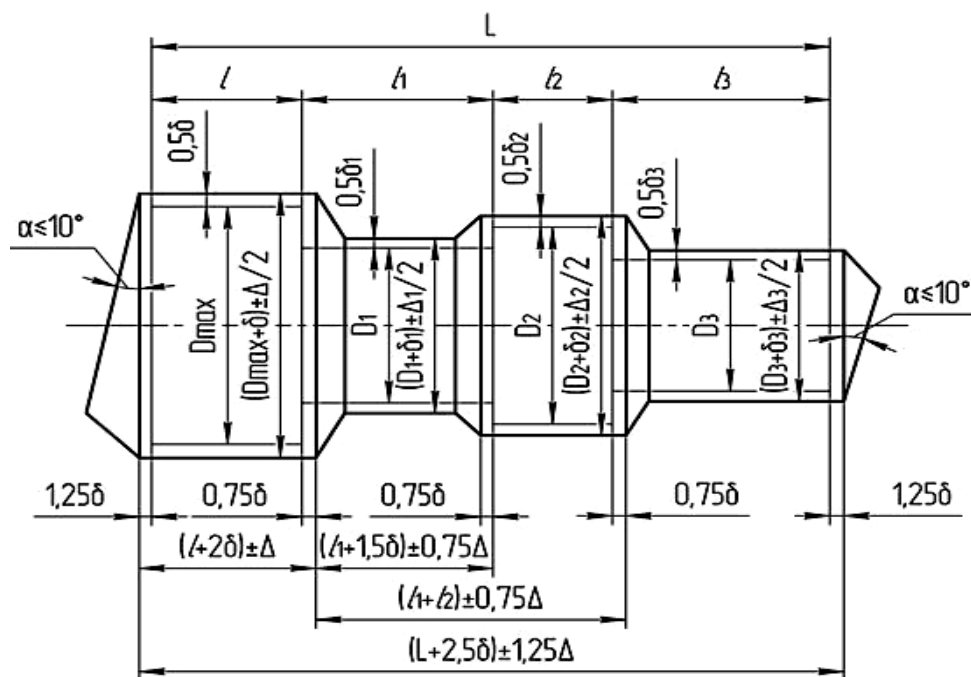


Рис. 8.6. Эскиз поковки вала для назначения припусков и предельных отклонений

В примере за базу принят торец выступа диаметром 300 мм (рис. 8.7):

- на длину 48 мм припуск и предельное отклонение 32 ± 10 мм;
- на длину 336 мм припуск и предельное отклонение 24 ± 8 мм;
- на длину 396 мм припуск и предельное отклонение 24 ± 8 мм;
- на длину 1060 мм припуск равен нулю, а предельное отклонение ± 8 мм;

– на длину 1260 мм припуск равен нулю, а предельное отклонение ± 8 мм;

– на длину 1600 мм припуск и предельное отклонение 40 ± 13 мм.

Поковка с назначенными на нее основными припусками и предельными отклонениями приведена на рис. 8.7;

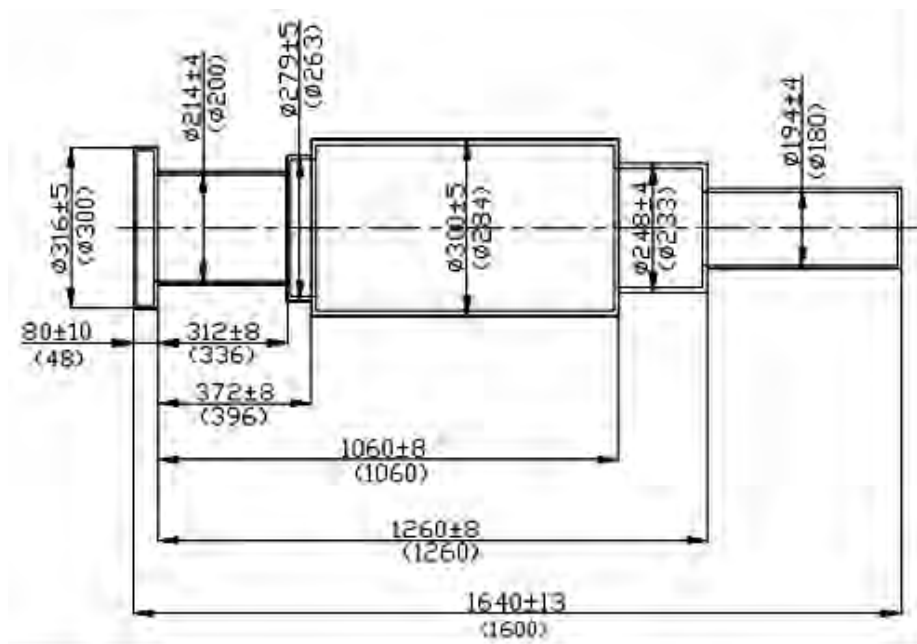


Рис. 8.7. Эскиз поковки вала с назначенными припусками и предельными отклонениями

в) дополнительный припуск на несоосность назначают предварительно на все диаметры поковки (см. рис. 8.7), кроме наибольшего диаметра 316 мм. Величину припуска определяют по табл. 8.6:

- на диаметр 214 мм припуск 6 мм;
- на диаметр 279 мм припуск 3 мм;
- на диаметр 300 мм припуск 3 мм;
- на диаметр 248 мм припуск 4 мм;
- на диаметр 194 мм припуск 7 мм.

Табл. 8.6. Дополнительные припуски на диаметр [44]

В миллиметрах

Разность диаметров (размеров) наибольшего и рассматриваемого сечений	До 40	Св. 40 до 80	Св. 80 до 100	Св. 100 до 120	Св. 120 до 140	Св. 140 до 160	Св. 160 до 180	Св. 180
Дополнительный припуск на диаметр (размер) S_1 ; S_2 ; S_3 ...	3	4	5	6	7	8	9	10

Определяют основное сечение, для чего рассчитывают площади продольных сечений ступеней (см. рис. 8.7):

$$D'_{\max} \cdot l' = 316 \cdot 80 = 2,53 \cdot 10^4 \text{ мм}^2;$$

$$D'_1 \cdot l'_1 = 214 \cdot 312 = 6,67 \cdot 10^4 \text{ мм}^2;$$

$$D'_2 \cdot l'_2 = 279 \cdot (372 - 312) = 1,67 \cdot 10^4 \text{ мм}^2;$$

$$D'_3 \cdot l'_3 = 300 \cdot (1060 - 372) = 20,63 \cdot 10^4 \text{ мм}^2;$$

$$D'_4 \cdot l'_4 = 248 \cdot (1260 - 1060) = 4,96 \cdot 10^4 \text{ мм}^2;$$

$$D'_5 \cdot l'_5 = 194 \cdot (1640 - 1340) = 5,82 \cdot 10^4 \text{ мм}^2.$$

Для ступеней, площадь продольного сечения которых более площади продольного сечения ступени наибольшего диаметра $D'_{\max} \cdot l' = 2,53 \cdot 10^4 \text{ мм}^2$, рассчитывают произведения A_i :

– для диаметра 214 мм $A_1 = 6(214 \cdot 312 - 316 \cdot 80) = 24,8 \cdot 10^4 \text{ мм}^2$;

– для диаметра 214 мм $A_3 = 3(300 \cdot 688 - 316 \cdot 80) = 54,3 \cdot 10^4 \text{ мм}^2$;

– для диаметра 214 мм $A_4 = 4(248 \cdot 200 - 316 \cdot 80) = 9,7 \cdot 10^4 \text{ мм}^2$;

– для диаметра 214 мм $A_5 = 7(194 \cdot 300 - 316 \cdot 80) = 22,8 \cdot 10^4 \text{ мм}^2$.

За основное сечение принимают ступень диаметром 300 мм, для которой произведение A_3 является наибольшим.

В связи с тем, что за основное сечение принят выступ не с наибольшим диаметром, назначаем на диаметр 316 мм дополнительный припуск 3 мм.

Поковка с назначенными на нее основными и дополнительными припусками приведена на рис. 8.8.

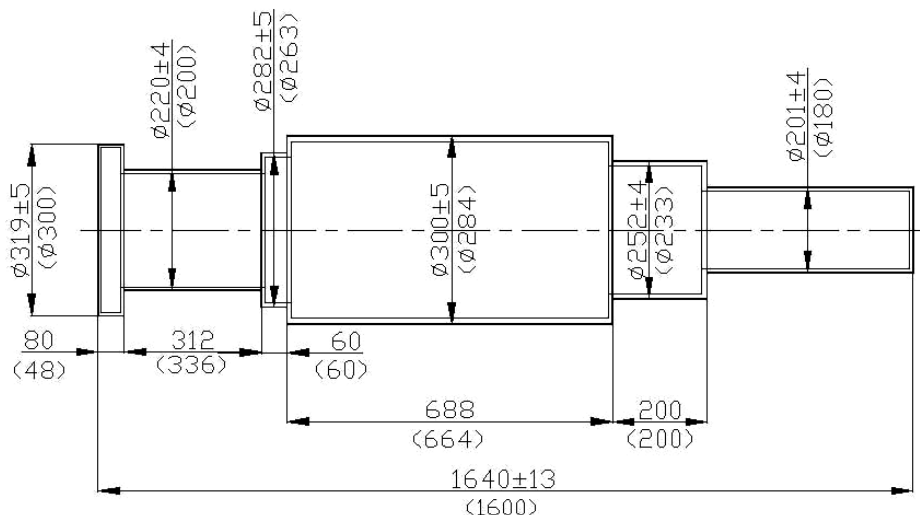


Рис. 8.8. Эскиз поковки вала с назначенными основными и дополнительными припусками

Проверка выполнимости концевых и промежуточных уступов, фланца и выемки (см. рис. 8.8).

Примем, что поковка будет изготавливаться на молоте, имеющем бойки шириной $B_6 = 350$ мм. Тогда:

а) промежуточный уступ диаметром 282 мм и длиной 60 мм невыполним, т. к. его длина менее величины $l = 0,5 \cdot B_6 = 175$ мм, регламентируемой табл. 8.7. Доведение уступа до выполнимых размеров за счет напуска по длине нецелесообразно, т. к. при этом прилегающая к нему выемка будет невыполнимой.

В связи с этим уступ ликвидируют за счет напуска по диаметру. Принимают диаметр уступа равным диаметру соседнего выступа 300 мм;

Табл. 8.7. Минимальная выполнимая высота уступа [44]

В миллиметрах

Диаметр (D'_1 ; D'_2 ; D'_3) или размер (B) уступа	До 100	Св. 100 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250
Минимальная выполнимая высота уступа (h'_1 ; h'_2 ; h'_3)	4	5	6	7

б) промежуточный уступ диаметром 252 мм и длиной 200 мм выполним, т. к. высота уступа $h' = 0,5 \cdot (300 - 252) = 24$ мм более минимальной высоты 7 мм, регламентируемой табл. 8.5, а его длина более минимальной длины $l' = 0,5 \cdot B_6 = 0,5 \cdot 350 = 175$ мм, регламентируемой табл. 8.8;

Табл. 8.8. Минимальная длина выполнимого уступа [44]

В миллиметрах

Ширина бойка B_6	До 150	Св. 150 до 300	Св. 300
Минимальная длина выполнимого уступа (l'_1 ; l'_2 ; l'_3)	$0,3B_6$	$0,4 B_6$	$0,5 B_6$

в) концевой уступ диаметром 201 мм и длиной 324 мм выполним, т. к. высота его $h' = 0,5 \cdot (252 - 201) = 26$ мм более минимальной высоты 6 мм, регламентируемой табл. 8.7, а длина более минимальной длины $l' = 0,5 \cdot B_6 = 0,5 \cdot 350 = 175$ мм, регламентируемой табл. 8.8;

г) выемка диаметром 220 мм и длиной 312 мм невыполнима, т. к., согласно табл. 8.9, минимальная длина засечки $l'' = 0,7 \cdot B_6 = 0,7 \cdot 350 = 245$ мм, а минимальный диаметр выполнимой выемки длиной $l'_2 = 312$ мм при присекании ее диаметра $D_3 = 300$ мм из условия постоянства объема ступени

$$D_{\min} = D_3 \sqrt{\frac{l''}{l'_2}} = 300 \sqrt{\frac{245}{312}} = 266 \text{ мм};$$

Табл. 8.9. Минимальная длина между насечками [44]

В миллиметрах

Ширина бойка B_6	До 300	Св. 300 до 400	Св. 400
Минимальная длина участка между насечками l_2''	$0,5 B_6$	$0,7 B_6$	B_6

д) фланец диаметром 319 мм и длиной 80 мм при диаметре соседнего уступа 266 мм выполним, т. к. длина его более минимальной величины $319 \cdot 0,2 = 64$ мм.

Окончательные размеры поковки с назначенными на нее основными и дополнительными припусками после проверки выполнимости уступов, фланца и выемки приведены на рис. 8.9.

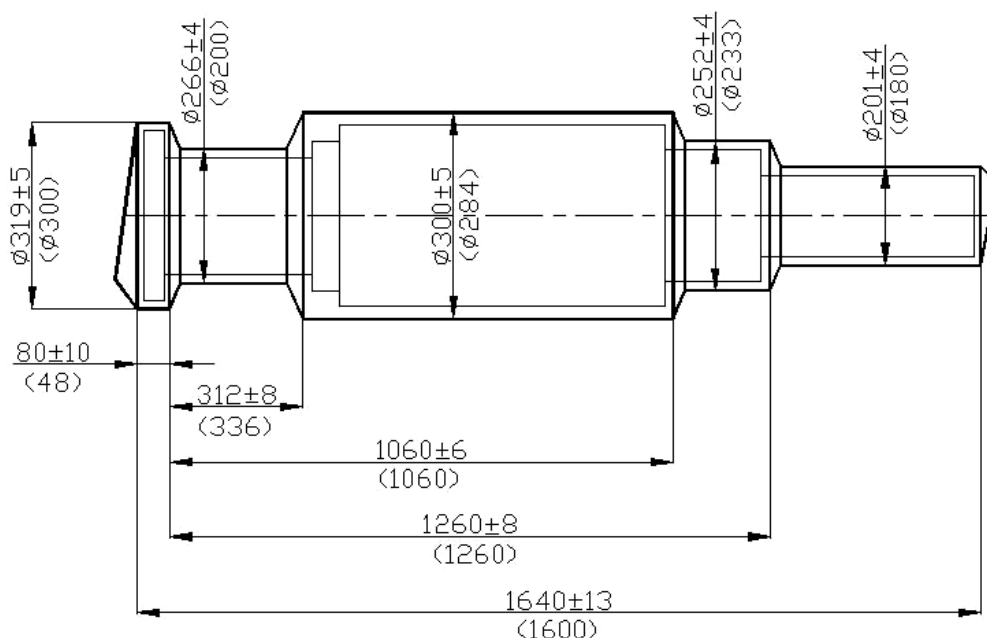


Рис. 8.9. Эскиз поковки с окончательными размерами

2. Оформление чертежа поковки (ГОСТ 3.1126-88).

Чертеж поковки, как правило, выполняется в том же масштабе, что и чертеж детали. При этом контур детали наносится штрихпунктирной линией с двумя точками. Размеры проставляются с учетом предельных отклонений. На чертеже указывается общая длина поковки. В поковках типа вала длину элемента, который куют последним, определяют расчетным путем. Размеры поволоков типа вала с уступами проставляют от базового сечения. Выше размерной линии указываются размеры, относящиеся к поковке. На чертеже поковки в верхнем правом углу проставляется знак шероховатости R_z . В штампе чертежа под названием детали проводится черта, под которой в скобках указывается тип заготовки (поковка).

В технических условиях чертежа оговариваются следующие сведения: допустимые отклонения формы и размеров поковки, не указанные на чертеже; виды, размеры и количество допускаемых дефектов; вид термообработки; твердость заготовки, способ и место ее замера; место и условия отбора технологических проб; требования к микро- и макроструктуре поковки.

3. Определение массы и размеров исходной заготовки.

Масса расчетной заготовки для изготовления поковки зависит от вида заготовки (слиток или прокат), состава кузнечного оборудования и технологической схемыковки.

При ковке поковок из слитков массу исходной заготовки можно найти по формуле

$$G_{\text{заг}} = G_{\text{п}} + G_{\text{уг}} + G_{\text{отх}} + G_{\text{дн}} + G_{\text{пр}}, \quad (8.1)$$

где $G_{\text{п}}$ – масса поковки; $G_{\text{уг}}$ – масса отхода металла на угар; $G_{\text{отх}}$ – масса технологических отходов; $G_{\text{дн}}$ и $G_{\text{пр}}$ – масса отходов при отрубке донной и прибыльной частей слитка соответственно.

При ковке поковок из катаного металла масса исходной заготовки определяется как сумма масс поковки и отходов (отходы донной и прибыльной частей отсутствуют):

$$G_{\text{заг}} = G_{\text{п}} + G_{\text{уг}} + G_{\text{отх}}. \quad (8.2)$$

Масса отхода на угар при нагреве слитков и заготовок в печах, работающих на жидком и газообразном топливе,

$$G_{\text{уг}} = [0,02 + (m - 1) \cdot 0,015] G_{\text{п}}, \quad (8.3)$$

где m – общее число нагревов и подогревов заготовки в процессековки.

На практике при изготовлении поковок прессованием отходы на угар за первый нагрев составляют 2 % от массы слитка для поковок сплошного сечения; за каждый последующий нагрев – 1...1,25 %; 1,25...1,5 % – для удлиненных поковок; 2,5...3 % – для прошитых или раскатанных.

Технологические отходы в процессековки составляют 1...5 % от массы поковки.

Масса отходов при обрубке $G_{\text{дн}}$ и $G_{\text{пр}}$ зависит от типа применяемого слитка. Для традиционных кузнечных слитков $G_{\text{дн}} = 5...7$ % от их массы, $G_{\text{пр}} = 20...25$ %; для удлиненных слитков – соответственно 3...5 % и

12...15 %; для других типов слитков (укороченных, малоприбыльных и др.) – 10...15 %.

Для приближенного расчета отходов металла при ковке поковок из проката можно воспользоваться зависимостью для расчета коэффициента выхода годного и табл. 8.10.

При изготовлении поковок осадкой размеры исходной заготовки ($d_{\text{заг}}$ – диаметр заготовки или $a_{\text{заг}}$ – сторона квадрата) определяются по зависимостям:

$$d_{\text{заг}} = (0,8...1,0)\sqrt[3]{V_{\text{заг}}} ; \quad (8.4)$$

$$a_{\text{заг}} = (0,75...0,9)\sqrt[3]{V_{\text{заг}}} , \quad (8.5)$$

где $V_{\text{заг}}$ – объем заготовки.

Табл. 8.10. Значения коэффициента выхода годного для различных способов изготовления поковок

Группа поковок	Технология изготовления и вид поковки	Коэффициент выхода годного
1	Без обесечки (фланцы гладкие, круглые, овальные пластины, кубики)	0,98...0,97
2	Протяжкой с последующей гибкой (скобы, вилки)	0,97
3	Осадкой с последующей разгонкой полотна (шестерни, фланцы, муфты, крышки)	0,97
4	С помощью клиновых накладок (клинья, шпонки)	0,95...0,92
5	Протяжкой, длинноосные одинакового сечения по длине (валы, бруски, планки, стержни)	0,94...0,92
6	Протяжкой, с односторонними уступами (двухступенчатые валы, валы с фланцами, болты)	0,93...0,92
7	Протяжкой, с двусторонними уступами (многоступенчатые валы, прямоугольные бруски с уступами)	0,92...0,91
8	Осадкой с последующей прошивкой, раскаткой, протяжкой на оправке (кольца, втулки, обечайки)	0,90...0,8
9	С обесечкой краёв (секторы, державки, кулисы, собачки)	0,92...0,8

По расчетным значениям сечения (диаметра) или стороны квадрата находят ближайшие размеры сечения заготовки по ГОСТу (на сортовой прокат), а потом, зная объем и сечение, определяют и высоту (длину) заготовки:

$$h_{\text{заг}} = \frac{V_{\text{заг}}}{F_{\text{заг}}}, \quad (8.6)$$

где $F_{\text{заг}}$ – площадь заготовки.

Выбор операцийковки и их последовательности производят в зависимости от конфигурации поковки, материала и технических требований на ее изготовление.

4. Определение расхода металла на одну заготовку с учетом отходов при разделке прутков из проката.

Расход металла G_{Σ} на одну заготовку с учетом отходов концевых по некратности и потерь на пропиловку определяется по формуле

$$G_{\Sigma} = G_{\text{заг}} + \frac{q}{1000} \left(\frac{l_{\text{н}}}{n} + l_{\text{пр}} \right), \quad (8.7)$$

где q – масса 1 м прутка данного размера, кг/м; $l_{\text{пр}}$ – длина прутка, расходуемая на пропиловку или на газовую резку, мм; $l_{\text{н}}$ – длина отхода прутка по некратности, обычно принимаемая в среднем $l_{\text{н}} \approx 0,5h_{\text{заг}}$, мм; n – число заготовок, получаемых из прутка торговой длины ($L_{\text{пр}} = 2...6$ м, чаще $L_{\text{пр}} = 2...4$ м),

$$n = \frac{L_{\text{пр}} - l_{\text{н}}}{h_{\text{заг}} + l_{\text{пр}}}. \quad (8.8)$$

При разделке заготовок принимают длину прутка, расходуемую на пропиловку:

- на ножницах, в штампах и хладноломах $l_{\text{пр}} = 0$;
- при газовой резке $l_{\text{пр}} = 4...6$ мм;
- при резке пилами $l_{\text{пр}} = 2...8$ мм;
- при резке электромеханическими пилами $l_{\text{пр}} = 3$ мм.

5. Выбор коэффициента укова.

В процессековки различных поковок применяют несколько операций (осадка, протяжка, раскатка и др.). Общий коэффициент укова равен произведению коэффициентов укова за каждую операцию, которые рассчитываются по формулам:

- при осадке

$$k = H_o / H_k; \quad (8.9)$$

– при протяжке

$$k = F_o / F_k = L_k / L_o ; \quad (8.10)$$

– при раскатке на оправке

$$k = F_o / F_k = \delta_o / \delta_k , \quad (8.11)$$

где H_o и H_k – исходная и конечная высота заготовки соответственно; F_o и F_k – исходная и конечная площадь поперечного сечения заготовки соответственно; L_k и L_o – конечная и исходная длина заготовки соответственно; δ_o и δ_k – исходная и конечная толщина заготовки соответственно.

Практикой установлено, что при ковке слитков углеродистых сталей хорошее качество поковок обеспечивает общий уков $k = 2,5 \dots 3$; при ковке поковок из удлиненных слитков $k = 2 \dots 2,5$; при ковке из сортового проката $k = 1,5 \dots 2$. В общем случае коэффициент укова за операцию не должен превышать 2. При ковке полых поковок раскаткой на оправке $k = 1,6 \dots 1,8$. Для тонкостенных колец значительной высоты $k = 1,4 \dots 1,6$. При протяжке на оправке коэффициент укова за операцию обычно задают в пределах $k = 1,6 \dots 2$.

6. Определение температурного интервалаковки.

Температурный интервалковки устанавливается в зависимости от материала поковки (табл. 8.11).

Табл. 8.11. Температурный интервал обработки давлением

Марка стали	Рекомендуемый интервал температурковки, °С	Марка стали	Рекомендуемый интервал температурковки, °С
10, 15	1280...750	40ХГ	1180...830
20, 25, 30, 35	1250...800	30ХГ2	1200...820
40, 45, 50	1200...800	15ХФ, 12ХМ	1230...820
55, 60	1190...800	15НМ, 20НМ	1230...820
65, 70, 40Г, 50Г	1180...800	40НМ, 12Х2Н3МА	1180...870
15Г, 20Г, 30Г	1230...800	20Х2НУ	1150...780
60Г, 65Г	1180...800	35ХНА	1130...900
70Г, 18ХГМ	1180...780	20ХНЧФА	1180...870
10Г2, 30Г2, 35Г2	1200...800	33ХН3МА	1130...870
40Г2, 45Г2, 50Г2	1180...830	40ХНМА	1150...820
15ХГ	1230...850	ШХ15СГ	1150...850
20ХГ	1200...850		

8.6. Дефекты кованных заготовок

Качество поковок определяет точность их геометрических форм и размеров, механические свойства, структуру и отсутствие поверхностных и внутренних дефектов. Получение высококачественных поковок зависит от правильной разработки их чертежей, проектирования и выполнения технологического процессаковки, а также от организации работы технического контроля.

В производственных условиях причинами брака могут быть:

1) дефекты, связанные с исходным металлом. Это несоответствие химического состава, размеров и формы исходной заготовки, риски, волосяины, трещины, закаты, плены и др. Заусенцы, волосины, трещины, закаты удаляют заточкой и вырубкой;

2) дефекты, связанные с ошибками при нагреве заготовок. Возможно образование завышенного слоя окалины, обезуглероженного поверхностного слоя, изменение микроструктуры металла (перегрев, пережог); при несоблюдении температурного режимаковки – возникновение наружных и внутренних трещин (расслоение), неблагоприятной макроструктуры поковки;

3) дефекты, связанные с искажением формы, что увеличивает концевые припуски (забоины, вмятины, вогнутые торцы).

При очистке на поверхности поковки могут обнаружиться забоины, остатки окалины и следы травления. Необходимо отметить, что торцовые и закалочные трещины, расслоения, пережоги, значительные отклонения формы являются неисправимыми дефектами.

Контрольные вопросы

1. Когда применяют процессковки и какое качество поковок можно получить?
2. Какое оборудование применяют при ковке?
3. Перечислите ковочные операции и дайте их краткую характеристику.
4. Как классифицируют поковки, получаемые ковкой?
5. Какие дефекты возникают в процессековки?
6. Как оформляется чертеж поковки, полученной ковкой?

9. ГОРЯЧАЯ ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА

9.1. Общие сведения

Объемная штамповка – придание заготовке заданной формы и размеров путем заполнения материалом рабочей полости штампа, в результате чего его течение происходит в осях X , Y , Z , в отличие отковки, где фиксированное положение заготовки определяется вдоль одной или двух осей. Полость штампа, которую заполняет металл, называют *ручьём*.

Горячей объемной штамповкой получают заготовки для ответственных деталей автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных машин, железнодорожных вагонов, самолетов, металлообрабатывающих станков, швейных машин и т. д. Более 65 % массы всех поковок и до 20 % массы деталей большинства машин изготавливаются из заготовок, полученных горячей объемной штамповкой. Способ наиболее эффективен при массовом, крупносерийном и серийном производстве деталей массой от нескольких граммов до нескольких тонн (примерно до 3 т). Целесообразно изготовление штамповок массой не более 50...100 кг. При использовании групповой технологии способ действенен также в условиях единичного, мелкосерийного производства.

По сравнению с ковкой горячая объемная штамповка имеет следующие *преимущества*:

- поковки имеют близкую к детали форму и лучшее качество поверхности (табл. 9.1);
- поковки можно получать со значительно меньшими допусками, чем при ковке;
- существенно повышается производительность труда (десятки и сотни поковок в час);
- за счет наличия в конструкции штамповочного оборудования выталкивателей штамповочные уклоны можно значительно уменьшить, что повышает коэффициент использования материала.

Табл. 9.1. Качество поверхности штампованных поковок

Масса штампованной поковки Q , кг	Высота неровностей R_z , мкм	Дефектный слой T , мкм
До 0,25	60	150
Св. 0,25 до 4,0	100	200
Св. 4,0 до 25	240	250
Св. 25 до 40	320	300
Св. 40 до 100	350	350
Св. 100 до 200	400	400

К недостаткам горячей объемной штамповки относятся:

- ограничения по массе получаемых поковок;
- дополнительный отход металла в облой, масса которого составляет от 10 до 30 % от массы поковки;
- для горячей объемной штамповки требуются большие усилия деформирования, чем дляковки; инструмент (штамп) является более сложным и дорогим, чем универсальный инструмент дляковки.

Чем выше серийность производства, трудоемкостьковки и сложность поковок, тем целесообразнее переход отковки к штамповке.

Краткая характеристика основных способов горячей штамповки приведена в табл. 9.2.

Табл. 9.2. Ориентировочная характеристика способов горячей штамповки [13]

Способ горячей штамповки	Характеристика получаемых заготовок	Припуски и допуски	Используемое оборудование
1	2	3	4
В открытых штампах	Масса до 3 т (в основном 50...100 кг); сложной формы. Углубления или отверстия в боковых стенках поковок невозможны	Припуски и допуски по ГОСТ 7505-89. Припуски на сторону для поковок, изготавливаемых на молотах, массой до 40 кг с размерами до 800 мм – от 0,6...1,2 до 3,0...6,4 мм.	Кривошипные горячештамповочные прессы силой 6,3...100 МН; штамповочные молоты с массой падающих частей:
В закрытых штампах	Масса до 50...100 кг; простой формы, преимущественно в виде тел вращения. Применяются для сокращения расхода металла (отсутствует заусенец) и для сталей и сплавов с пониженной пластичностью	Поле допусков – соответственно от 0,7...3,4 до 1,6...11 мм. Для штампованных заготовок, изготавливаемых на кривошипных прессах, припуски на 0,1...0,6 мм меньше. При холодной калибровке (чеканке) допуски от $\pm(0,1...0,25)$ мм (калибровка обычной точности) до $\pm(0,05...0,15)$ мм (калибровка повышенной точности)	паровоздушные двойного действия – 0,5...35 т; гидравлические – до 2,5 т; с двусторонним ударом паровоздушные и гидравлические – до 60 т; простого действия, паровоздушные, цепные – соответственно до 10,5 и 8 т; винтовые фрикционные прессы силой 0,4...60 МН; гидравлические штамповочные прессы усилием до 700 МН

Продолжение табл. 9.2

1	2	3	4
Выдавливание и прошивка	Масса до 75 кг; круглые, конические или ступенчатые, фасонного сечения; стержень с массивной головкой различной формы; типа втулок (стаканов) с глубокой глухой или сквозной полостью и односторонним фланцем	Припуски и допуски для наружных диаметров 5...150 мм – от $0,4^{+0,3}_{-0,1}$ до $1,6^{+0,7}_{-0,8}$, для диаметров полостей 10...100 мм – от $1,6^{+0,3}_{-0,1}$ до $5,0^{+0,5}_{-1,5}$	Кривошипные горячештамповочные (модифицированные винтовые фрикционные и гидравлические прессы)
В штампах с разъемными матрицами	Масса до 150 кг, сложной формы, например, с отверстиями в боковых стенках, не выполняемыми без напусков другими способами	Аналогичные штамповке в открытых штампах, но допуски несколько больше в направлении разъема частей матриц	То же и специальные машины
На горизонтально-ковочных машинах	Масса до 30 кг; в виде стержней с головками или утолщениями различной формы, полые, со сквозными или глухими отверстиями, фланцами и выступами. Предпочтительна форма тела вращения	Максимальные припуски и допуски по ГОСТ 7505-89. Припуск на 40...50 % больше, чем при штамповке на молотах	Горизонтально-ковочные машины усилием 1...4 МН
Гибка	Изогнутые в одной или нескольких плоскостях, получаемые из проката различного профиля	В зависимости от исходной заготовки. В результате гибки возникают искажения на участках с малым радиусом	Горизонтально-гибочные машины (бульдозеры) силой 0,15...5 МН, кривошипные прессы

Продолжение табл. 9.2

1	2	3	4
Специальные процессы: <i>радиальное обжатие</i>	Сплошные и полые прямые поковки удлиненной ступенчатой формы в виде тел вращения с цилиндрическими или коническими участками, ступенчатые или с заострениями, квадратного или прямоугольного сечения	Припуск в случае надобности под шлифование. Допуск при обжатии соответствует 11...13 квалитетам. Шероховатость поверхности при обжатии $Ra = 2,5...0,63$ мкм	Ротационно-обжимные машины для обжатия прутков диаметром 4...110 мм, труб диаметром 10...200 мм; радиально-обжимные для обжатия прутков диаметром 10...200 мм, труб диаметром 10...320 мм
<i>высадка на электровысадочных машинах (с одновременным контактным электронагревом)</i>	В виде стержней с массивными утолщениями на конце или определенной части заготовки (клапаны, валики, с фланцами и т. п.)	Несколько больше, чем при штамповке на горизонтально-ковочной машине	Электровысадочные машины однопозиционные и многопозиционные, горизонтальные и вертикальные для высадки заготовок диаметром 50...60 мм
<i>высадка на вертикально-ковочных машинах</i>	Небольшие, изготавливаемые вытяжкой типа костылей, бородков, зубил, шинных гвоздей, веретен и т. п.	Примерно те же, что и при штамповке	Вертикально-ковочные машины двух-, трех- (преимущественно) и четырехбойковые
<i>раскатка</i>	Типа колец диаметром 70...700 мм при высоте 20...200 мм из заготовок, штампованных на ГКМ или кованных на молоте	Допуск для поволоков колец шарикоподшипников диаметром 80...700 мм; по наружному диаметру и высоте – 1...6 мм, по внутреннему диаметру – 1,5...10 мм	Раскаточные машины для колец диаметром до 700 мм
<i>накатка зубьев</i>	Получение зубьев с модулем m до 10 мм цилиндрических, конических и шевронных зубчатых колес диаметром до 600 мм	При горячей накатке (для $m > 2,5$ мм) точность по 8...11 квалитетам; шероховатость $Ra = 5...1,25$ мкм; при холодной накатке $Ra = 1,25...0,32$ мкм	Вертикальные и горизонтальные зубонакатные станы

Окончание табл. 9.2

1	2	3	4
<i>поперечная прокатка</i>	Удлиненной формы типа ступенчатых валиков, а также втулок	Несколько меньше, чем при штамповке в открытых штампах	Трехвалковые станы с коническими или дисковыми вальками, двухвалковые станы с винтовыми калибрами
Комбинированные процессы	Требующие применения нескольких способов для получения отдельных участков	В зависимости от комбинации примененных способов	Комплекс из нескольких машин: например, молот (пресс) и горизонтально-ковочная или горизонтально-гибочная машина и т. п.
Штамповка на высокоскоростном оборудовании	Сложной формы (оребранные), получают за один удар, экономия металла, нет уклонов, тонкие ребра – 0,5...0,8 мм	Допуск $\pm(0,125...0,8)$ мм, шероховатость до Ra 10	Высокоскоростные молоты

9.2. Оборудование и штампы для штамповки

Горячей объемной штамповкой поковок получают на молотах, кривошипных горячештамповочных прессах (КГШП), горизонтально-ковочных машинах (ГКМ), гидравлических прессах, высокоскоростных молотах и другом оборудовании. Основные показатели качества заготовок после горячей штамповки на различном оборудовании приведены в табл. 9.3.

Табл. 9.3. Основные показатели качества заготовок, полученных способами горячей штамповки [13]

Способ горячей штамповки	Допуски основного размера, мм, или квалитет, IT	Шероховатость, мкм
На молотах и прессах	0,7...11,0	Rz = 20...80
С последующей калибровкой	IT8...IT12	Ra = 0,32...2,50
С высадкой на горизонтально-ковочных машинах	0,7...3,4	Rz = 20...80
Выдавливанием	0,2...0,5	Rz = 20...80
На чеканочных прессах	IT8...IT14	Rz = 20...80

Формообразование заготовок при горячей объемной штамповке осуществляется инструментом – штампом.

По ряду признаков штампы подразделяют:

- в зависимости от оборудования, на котором они устанавливаются: молотовые, прессовые, высадочные штампы ГKM и т. д.;
- по назначению: штамповочные, обрезающие, правочные и калибровочные;
- по основному технологическому признаку: открытые и закрытые;
- по конструктивному признаку: с одной, двумя и более плоскостями разреза, с выталкивателями и без них, цельные и сборные, одно- и многоручьевые.

В зависимости от типа применяемого штампа штамповка подразделяется на следующие виды: в открытых штампах; в закрытых штампах; в штампах для выдавливания.

Штамповку в открытых штампах применяют для деталей любой конфигурации. Она характеризуется тем, что штамп в процессе деформирования остается открытым. Зазор h между подвижной и неподвижной частями штампа является переменным, в него затекает (выдавливается) металл при деформировании, образуется облой, т. е. технологический напуск, размеры которого рассчитывают при проектировании инструмента в зависимости от размеров поковки.

Основное назначение облоя – компенсация колебаний исходных заготовок по массе. Облой тормозит вытекание излишков металла из полости, тем самым обеспечивая заполнение ее углов. С этой целью щель между частями штампов выполняют в виде специальной канавки (рис. 9.1). Облойная канавка состоит из рабочей пороговой части (высотой в конце штамповки h) и накопителя-магазина (высотой h_m).

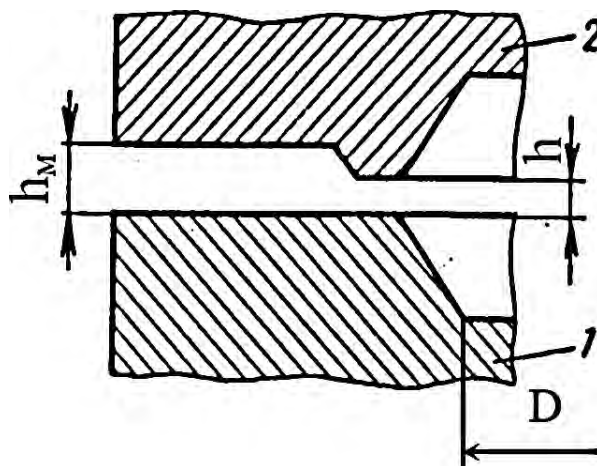


Рис. 9.1. Облойная канавка

Штамповка в открытых штампах характеризуется следующими основными признаками.

1. Объем металла, находящегося в ручье, в процессе штамповки непостоянен ($V \neq \text{const}$). При штамповке предусматривается вытеснение части металла в виде облоя, который обеспечивает заполнение углов полости штампа, этот металл поступает в отход.

2. Направление вытеснения металла в облойную канавку (поперечное) перпендикулярно направлению движения штампа, толщина облоя в процессе штамповки уменьшается.

3. Наличие облоя увеличивает расход металла, кроме того, для обрезки облоя необходимо применение специальных обрезных прессов и штампов.

4. По месту обрезки облоя волокна металла у поковки оказываются перерезанными.

Штамповка в закрытых штампах осуществляется на горизонтально-ковочных машинах, прессах и молотах. Штамп в процессе деформирования остается закрытым, т. е. металл деформируется в закрытом пространстве.

Штамповка в закрытом штампе характеризуется следующими признаками.

1. Колебание объема исходной заготовки незначительно. Объем металла в полости практически не изменяется ($V = \text{const}$).

2. Заусенец, часто образующийся вследствие затекания металла в зазор по месту разъема штампа, незначителен, толщина его не изменяется в процессе штамповки, а направление вытекания совпадает с направлением движения штампа.

3. Макроструктура поковки такова, что волокна металла получают очертания контура поковки (рис. 9.2).

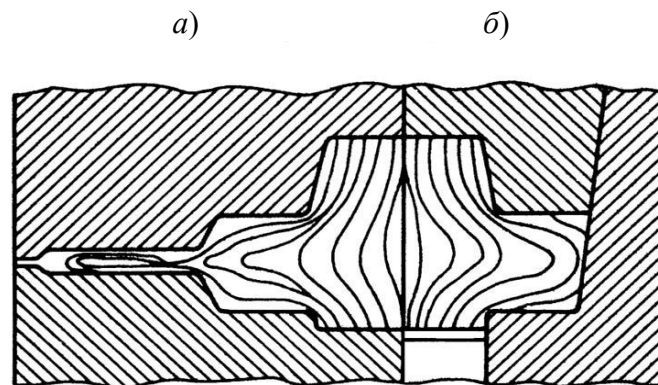


Рис. 9.2. Расположение волокон металла при штамповке: а – открытая; б – закрытая штамповка

Основное требование к штамповке в закрытых штампах сводится к точности объема заготовок. Меньший объем заготовок, чем требующийся, приводит к незаполнению углов штампов и браку поковок; больший – к распору штампа, что отрицательно сказывается на его долговечности.

Главный недостаток способа штамповки в закрытых штампах состоит в его неуниверсальности и ограниченности рациональных форм штампуемых поковок (применяется для сравнительно простых деталей, в основном тел вращения). На долю закрытых штампов приходится менее 10 % штампуемых поковок. Однако штамповку в закрытых штампах постоянно совершенствуют и постепенно расширяют ее применение.

Во избежание перегрузки штампов и оборудования при попадании в штампы заготовок, объем которых превышает некоторый предельный, М. В. Сторожев предложил удалять излишки металла в специальный приемник, названный компенсатором. Для каждой конфигурации поковок и соответствующего оформления штампа устанавливают место наиболее трудного заполнения металлом. В нем предусматривают отверстие или щель, в которые выдавливается лишний металл после оформления поковки. Удаление излишка металла, поступившего в компенсатор, осуществляется отрезкой в процессе штамповки или путем механической обработки на станках [22].

Штамповка в штампах для выдавливания – наиболее прогрессивный технологический процесс горячей штамповки. При его использовании значительно снижается расход металла (до 30 %), повышается коэффициент массовой точности, поковки получаются точные, максимально приближающиеся по форме и размерам к деталям, производительность труда увеличивается в 1,5...2 раза.

Процесс осуществляют на прессах, горизонтально-ковочных машинах и даже молотах (ударное выдавливание). Для выдавливания наиболее целесообразны следующие типы поковок: стержень с фланцем, клапаны двигателей, полые детали типа стаканов и т. п. Схемы штамповки в штампах для выдавливания приведены на рис. 9.3, где течение металла указано стрелками. Этим способом можно получать заготовки из углеродистых и легированных сталей, алюминиевых, медных и титановых сплавов.

Штамповка выдавливанием характеризуется следующими признаками.

1. Объем металла в основной полости инструмента в процессе штамповки уменьшается ($V \neq \text{const}$), т. к. предусматривается выдавливание некоторой части объема заготовки для образования стержневой части поковки.

2. Не предусматривается отход металла, но при наличии избыточного металла в заготовке (вследствие неточности дозировки) он может быть

вытеснен в виде сосредоточенного объема в стержневую часть поковки и затем легко удален отрезкой в штампе или механической обработкой.

3. Поковки, полученные выдавливанием, отличаются высоким качеством, плотной микроструктурой, отсутствием внутренних трещин, пустот и других дефектов, устраняемых в процессе деформирования в условиях трехосного сжатия при высоком среднем напряжении.

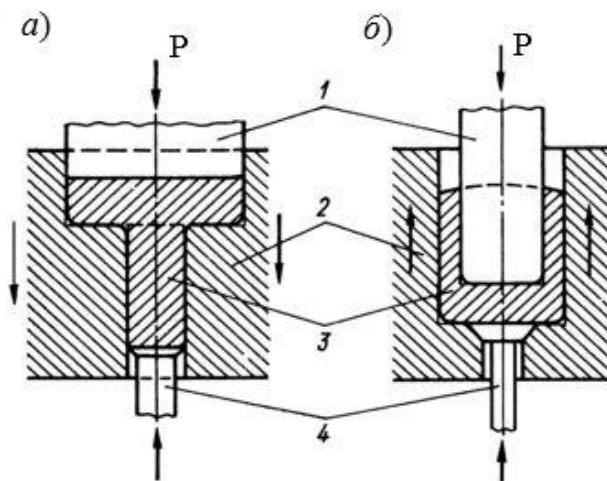


Рис. 9.3. Схемы штамповки выдавливанием: а – прямое; б – обратное: 1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – поковка; 4 – выталкиватель

Основное преимущество процесса выдавливания перед штамповкой в открытых штампах – получение поволоок с точными размерами и высоким качеством поверхности (рис. 9.4). Недостатки: высокие удельные усилия деформирования; большие энергозатраты на реализацию процесса; низкая стойкость штамповой оснастки. Выбор штампа – открытый, закрытый или для выдавливания – определяется, во-первых, конфигурацией и сложностью поковки, во-вторых, ее массой и материалом, в-третьих, характером производства. Следует учитывать также и существенные различия в макроструктуре материала поволоок, полученных в различных штампах.

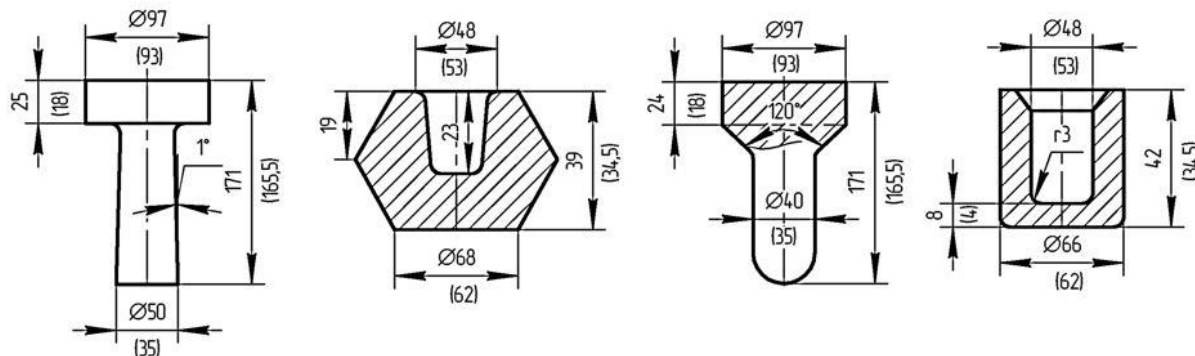


Рис. 9.4. Эскизы поволоок, получаемых на молоте (а, б) и выдавливанием (в, г)

9.3. Выбор плоскости разъема штампа

Разъем у открытых штампов необходим для вкладывания заготовки в ручей, извлечения из него поковки и размещения в плоскости разъема канавки для заусенца.

Существуют условия, определяющие положение плоскости разъема штампов:

а) поковка должна свободно извлекаться из штампа, но в то же время не должна иметь лишних напусков;

б) плоскость разъема должна совпадать с плоскостью наибольших габаритных размеров поковки, тогда будет обеспечиваться лучшее заполнение ручья и потребуются меньшие напуски для создания штамповочных уклонов;

в) плоскость разъема должна быть расположена так, чтобы количество переходов для изготовления заготовки было минимальным;

г) необходимо стремиться к выполнению прямой плоскости разъема штампа, т. к. такая конструкция упрощает и удешевляет штамп;

д) плоскость разъема должна обеспечивать удобный контроль смещения штампов.

Рассмотрим основные положения плоскости разъема, возможные для поковок различных геометрических форм (рис. 9.5).

Шар. В этом случае (рис. 9.5, а) плоскость разъема 1–1 может проходить только через диаметрально сечение фигуры. Смещение плоскости разъема, например в положение 2–2 (рис. 9.5, б), приведет к напускам и потере металла. Форма поковки при этом изменится. При штамповке эллипсоида возможны два варианта плоскости разъема штампов: по большому и малому диаметрально сечениям.

Куб. Для него возможны три положения плоскости разъема штампов (рис. 9.5, в): разъем 1 требует напусков от штамповочных уклонов по четырем боковым граням; разъем 2 столько же, хотя потери металла в напуски здесь меньше. Самым целесообразным является разъем 3, при котором по двум плоскостям в каждой части штампа имеются естественные откосы. Напуски от штамповочных уклонов здесь небольшие и предусмотрены только на двух гранях.

Цилиндр. Возможны три варианта разъема (рис. 9.5, г). Вариант 1 имеет те же недостатки, что и в случае с кубом (большие потери металла от штамповочных уклонов). Обрезка заусенца у торца поковки усложнена. В зависимости от соотношения высоты H_0 и диаметра D_0 выбирают варианты разъема 1–3 штампов. Для цилиндров большой длины целесообразнее применять вариант 3, при котором заготовку штампуют поперек оси,

так как напуски от штамповочных уклонов здесь будут только у торцов; для цилиндров небольшой длины, которые штампуют в торец, – вариант 2.

Усеченный конус. Возможны два варианта разъема (рис. 9.5, д). Вариант 1 применяют, когда величина угла конуса α достаточна для извлечения поковки из ручья без приложения значительных усилий, однако при этом должен быть использован обрезной штамп с направляющими колонками и с двумя режущими кромками рабочего инструмента. Поковки большой длины обычно штампуют по варианту 2 с напусками от штамповочных уклонов только на торцах. Штамповка сопровождается появлением горизонтальных сил; при этом используют обрезной инструмент с одной режущей кромкой.

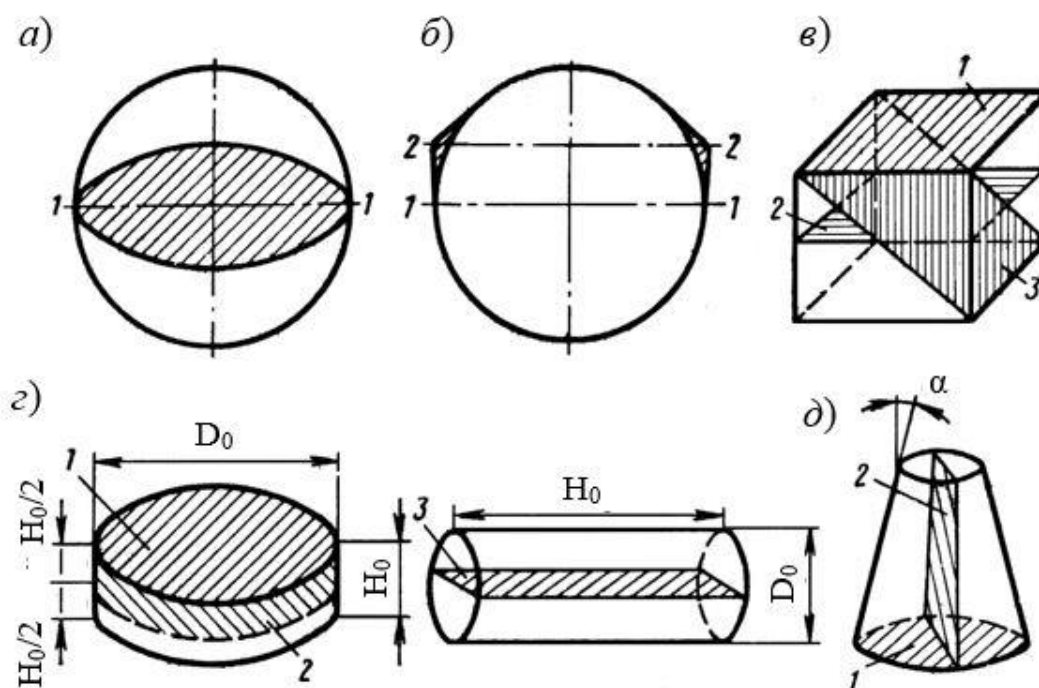


Рис. 9.5. Возможные положения плоскостей разъема штампов для простых геометрических фигур

Реальные поковки можно рассматривать как сложные геометрические фигуры, состоящие из элементарных фигур. Если плоскость разъема штампов выбирают по максимальным габаритным размерам поковки, то полости штампов получаются неглубокими, облегчается их заполнение, но увеличиваются периметр и объем облоя, а также площадь зеркала штампа, занятая ручьями.

Рассмотрим примеры. Требуется изготовить деталь типа шкива, втулки, шестерни и т. п. (рис. 9.6, а). Выбирая разные плоскости разъема штампов, получим поковки различной формы (рис. 9.6, б, в). При положе-

нии разъема, показанном на рис. 9.6, б, применяют торцовую штамповку, при которой удастся сделать наметку отверстия, что обычно дает значительную экономию металла и упрощает механическую обработку поковки. Разъем, соответствующий рис. 9.6, в, отвечает поперечной штамповке [22].

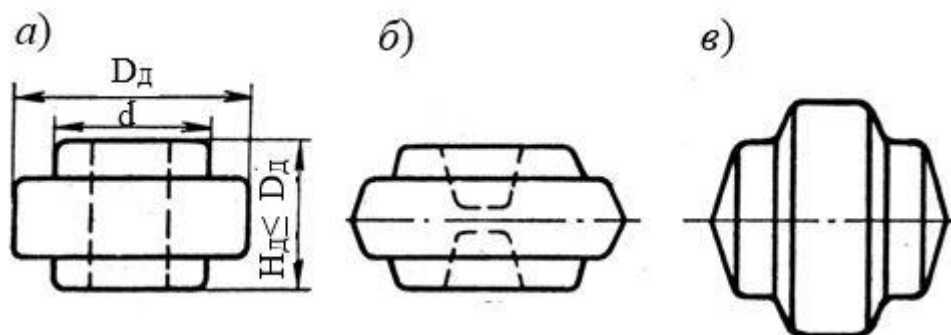


Рис. 9.6. Возможные положения плоскости разъема открытых штампов для поковки типа тела вращения (шестерни)

Если речь идет о поковке шестерни, то при любых соотношениях ее размеров предпочтительнее торцовая штамповка. В этом случае макроструктура поковки получится одинаковой у всех зубьев шестерни и обеспечит высокую их прочность. При поперечной штамповке часть зубьев шестерни ослаблена из-за невыгодного расположения в них волокна.

Достоинства варианта штамповки, показанного на рисунке 9.6, в, заключаются в отсутствии напусков от штамповочных уклонов на боковые поверхности цилиндрических элементов поковки. Чем больше длина поковки, тем целесообразнее ее штамповать по указанному варианту.

В некоторых случаях положение плоскости разъема штампов и, соответственно, форма поковки определяются заданной макроструктурой. Например, если деталь машины (рис. 9.7) работает на срез по плоскости $a-a$, то волокно должно быть перпендикулярно плоскости среза. Положение плоскости разъема $II-II$ в данном случае не является удовлетворительным, и поэтому, пренебрегая некоторыми недостатками, связанными с положением разъема $I-I$, все же следует выбрать этот последний вариант.

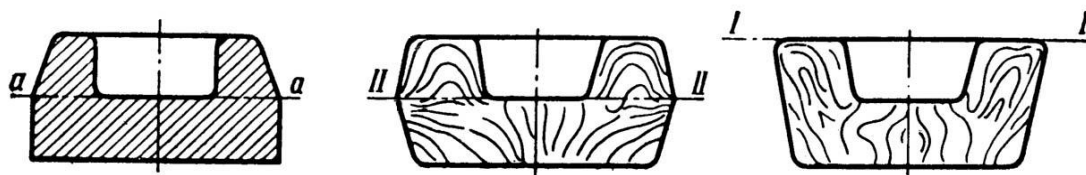


Рис. 9.7. Выбор положения плоскости разъема штампа по условию работы детали

На рис. 9.8 показано влияние положения плоскости разъема штампа относительно оси поковки типа тел вращения на их форму. На рис. 9.8, *а*, *б* сравниваются торцовая и поперечная штамповки. Для поковки с отверстием и коническим корпусом (верхняя на рис. 9.8) потери металла с напусками от штамповочного уклона (заштриховано густо) небольшие при торцовой и очень большие при поперечной штамповках.

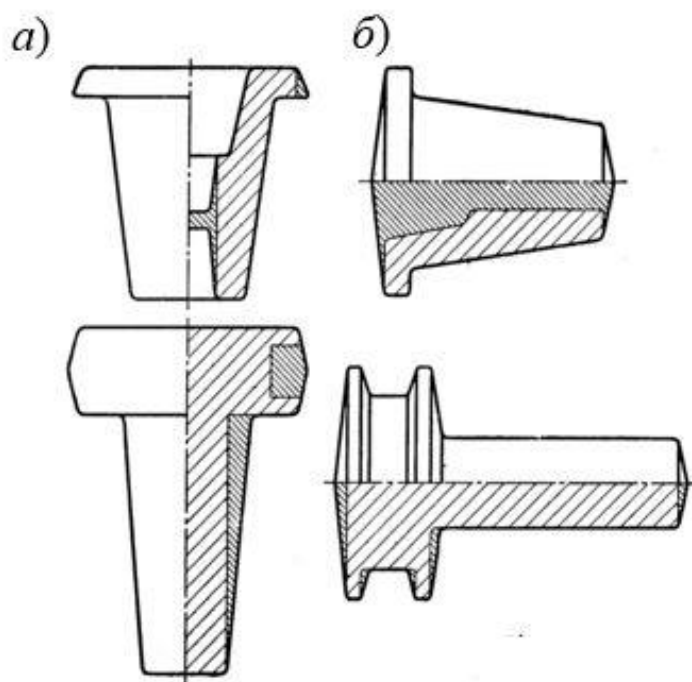


Рис. 9.8. Положения поковки: *а* – торцовая; *б* – поперечная штамповка

Наоборот, для поковки с боковой выемкой и цилиндрическим стержнем эти напуски очень большие при торцовой штамповке.

В табл. 9.4 для сравнения даны оба варианта штамповки, более выгодные условия отмечены знаком «плюс» и менее выгодные – знаком «минус».

Оценка правильности выбора плоскости разъема штампов не исчерпывается данными, перечисленными в табл. 9.4. В частности, необходимо учитывать базовые поверхности при обработке поволоков резанием. При прочих равных условиях более правильный разъем штампа обеспечивает зажим поковки не по конической, а по цилиндрической части.

Табл. 9.4. Сравнение двух вариантов штамповки (к рис. 9.8) [22]

Сравнительный параметр технологического процесса	Вариант штамповки			
	Поковка с отверстием		Поковка со стержнем	
	Торцовая	Поперечная	Торцовая	Поперечная
Сложность исходной заготовки	+	—	+	—
Конструкция основного штампа	+	—	+	—
Условия укладки заготовки в штампы	+	—	+	—
Величина отхода в облой	+	—	+	—
Конструкция обрезного штампа	+	—	+	—
Условия обрезки поковок	+	—	+	—
Макроструктура (расположение волокон)	+	—	+	—
Величина отхода металла в напуск	+	—	—	+

В большинстве случаев выполнить все перечисленные требования к плоскости разъема не удастся. Поэтому в каждом конкретном случае выделяют некоторое число требований, которые и являются главными.

9.4. Припуски, допуски и кузнечные напуски на поковки при горячей объемной штамповке

Материал, приведенный в данном разделе, соответствует ГОСТ 7505-89. Припуски, допуски и кузнечные напуски устанавливаются в зависимости от конструктивных характеристик поковки.

Конструктивная характеристика поковок. Поковки в зависимости от назначения изготавливаемых из них деталей подразделяют:

1) *по точности изготовления* поковок различают пять классов точности. Класс точности (табл. 9.5) устанавливают в зависимости от требований, предъявляемых к поковке, и используемого оборудования;

2) *по группам стали.* При назначении группы стали определяющим является среднее массовое содержание углерода и легирующих элементов (Si, Mn, Cr, Ni, Mo, W, V).

М1 – сталь с массовой долей углерода до 0,35 % включительно и суммарной массовой долей легирующих элементов до 2,0 % включительно; М2 – сталь с массовой долей углерода свыше 0,35 до 0,65 % включительно или суммарной массовой долей легирующих элементов свыше 2,0 до 5,0 % включительно; М3 – сталь с массовой долей углерода свыше 0,65 % или суммарной массовой долей легирующих элементов свыше 5,0 %;

Табл. 9.5. Выбор класса точности поковок [43]

Основное деформирующее оборудование, технологический процесс	Класс точности				
	T1	T2	T3	T4	T5
Кривошипные горячештамповочные прессы:					
открытая (облойная) штамповка				+	+
закрытая штамповка		+	+		
выдавливание			+	+	
Горизонтально-ковочные машины				+	+
Прессы винтовые, гидравлические				+	+
Горячештамповочные автоматы		+	+		
Штамповочные молоты				+	+
Калибровка объемная (горячая и холодная)	+	+			
Прецизионная штамповка	+				

Примечания. 1. Прецизионная штамповка – способ штамповки, обеспечивающий устанавливаемую точность и шероховатость одной или нескольких функциональных поверхностей поковки, которые не подвергаются окончательной обработке.

2. При пламенном нагреве заготовок допускается снижение точности для классов T2–T4 на один класс.

3. При холодной или горячей плоскостной калибровке точность принимается на один класс выше.

3) по конфигурации поверхности разъема штампа: с плоской поверхностью – П, изогнутой симметрично – И_с и несимметрично – И_н;

4) по степени сложности различают поковки первой степени сложности – С1, второй – С2, третьей – С3 и четвертой – С4. Степень сложности определяют по табл. 9.6 и путем вычисления по формуле

$$C = \frac{G_{\text{п}}}{G_{\text{ф}}}, \quad (9.1)$$

где $G_{\text{п}}$ – масса (объем) поковки, кг; $G_{\text{ф}}$ – масса (объем) геометрической фигуры, в которую вписывается форма поковки.

Табл. 9.6. Определение степени сложности поковок [43]

Степень сложности	C1	C2	C3	C4
Значения отношения $C_{\text{п}}/G_{\text{ф}}$	Св. 0,63	Св. 0,32 до 0,63 включ.	Св. 0,16 до 0,32 включ.	До 0,16

Геометрическая фигура может быть шаром, параллелепипедом, цилиндром с перпендикулярными к его оси торцами или прямой правильной призмой (рис. 9.9).

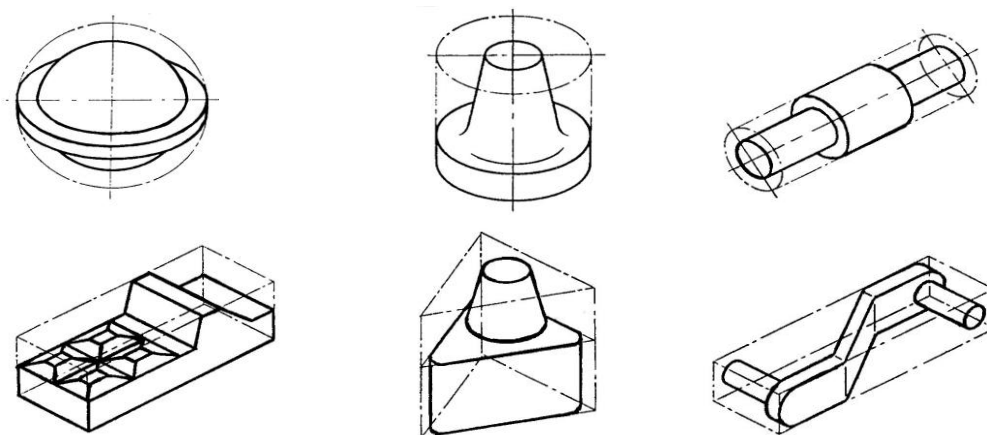


Рис. 9.9. Геометрические фигуры, в которые может вписываться поковка

При вычислении отношения C_{π}/G_{ϕ} принимают ту из геометрических фигур, масса (объем) которой наименьшая. При нахождении размеров описывающей поковку геометрической фигуры допускается исходить из увеличения в 1,05 раза габаритных линейных размеров детали, определяющих положение ее обработанных поверхностей.

Степень сложности C_4 устанавливается для поволоков с тонкими элементами, например, в виде диска, фланца, кольца (рис. 9.10), в том числе с пробиваемыми перемычками, а также для поволоков с тонким стержневым элементом, если отношения t/D ; t/L ; $t/(D - d)$ не превышают 0,20 и t не более 25 мм (где D – наибольший размер тонкого элемента; t – толщина тонкого элемента; L – длина тонкого элемента; d – диаметр элемента поковки, толщина которого превышает величину t).

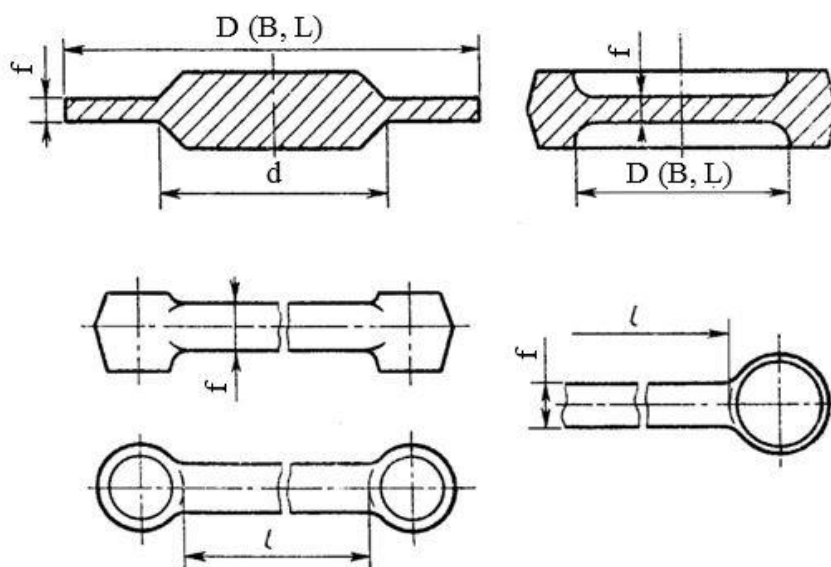


Рис. 9.10. Поковки четвертой степени сложности C_4

Примеры поковок различных степеней сложности приведены в табл. 9.7.

Табл. 9.7. Поковки различных степеней сложности [43]

Поковки	Степень сложности			
	C1	C2	C3	C4
Изготавливаемые на молотах и прессах: типа тел вращения в плоскости разъема штампа	Без отверстия	С отверстием	С отверстием и выступами	С отверстием, выступами, ребрами, рычагами; шестерни с зубьями
призматические	—	С выступами (звено гусеницы)	—	—
крестовины различной конфигурации	Без отверстия	С отверстием	—	—
	Рычаги без отверстий и наметок	Шатуны двигателя с плавными переходами к ребрам, гаечные ключи	Шатуны, балки передней оси с полками и без полок для рессор	Шатуны, лопатки турбин, стойки поворотных кулаков, вилки переключения скоростей с тонкими высокими ребрами и выступами
валы, валики	Валики с переменным сечением	Коленчатые валы с изгибом в одной плоскости (фланец получают при штамповке вала)	Коленчатые валы с изгибом в одной плоскости с противовесами (фланец получают отдельной операцией – высадкой); распределительные валы	Коленчатые валы с противовесами и расположением колен в разных плоскостях (фланец получают отдельной операцией – высадкой)
Изготавливаемые на горизонтально-ковочных машинах и прессах выдавливанием (блок шестерен, поковки с полостями и раструбами, концевые высадки, полуоси, стержни с меняющимся сечением, поковки с полостями без фланцев и с фланцами и др.)	За два перехода	За три перехода	За четыре перехода	За пять и более переходов

Для последующего назначения основных припусков, допусков и допускаемых отклонений определяют исходный индекс, зависящий от массы, марки стали, степени сложности и класса точности поковки. При этом пользуются [43, табл. 2].

Назначение припусков. Припуск – слой металла на обрабатываемых частях поверхности поковки, удаляемый при ее механической обработке. Состоит из основного и дополнительного припусков, учитывающих отклонения формы. Основные припуски определяются в зависимости от исходного индекса, линейных размеров и шероховатости поверхности детали по ГОСТ 7505-89; дополнительные припуски, учитывающие смещение поковки, изогнутость, отклонения от плоскостности и прямолинейности, межцентрового и межосевого расстояний, угловых размеров, – исходя из формы поковки, технологии ее изготовления и класса точности Т.

Радиусы закругления. Различают два вида радиусов закругления штампов: внутренние $r_{вн}$ и наружные или внешние $r_{н}$ (рис. 9.11, б). У поковок буквенные обозначения радиусов расположены в обратном порядке (рис. 9.11, а). Наружный радиус $R_{н}$ у поковок трудно выполнить небольшим: металл затекает в угол штампа с малым радиусом в последнюю очередь; при этом требуется большое удельное усилие для течения металла. Чем больше глубина полости штампа, тем труднее получить малый радиус закругления у поковки, если полость заполняется выдавливанием в нее металла. Малые радиусы $r_{вн}$ могут привести к разрушению штампа в результате концентрации напряжений.

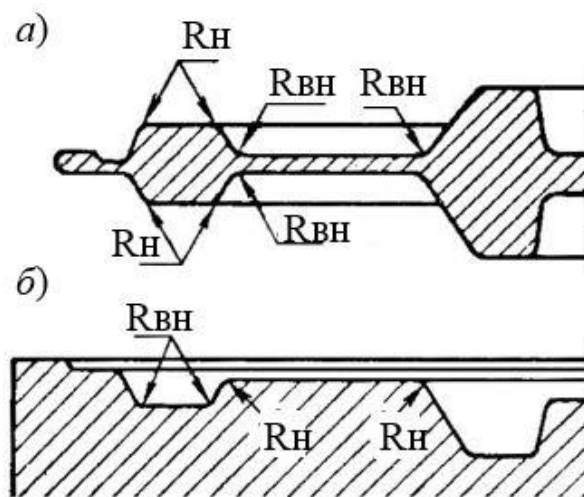


Рис. 9.11. Наружные и внутренние радиусы закругления поковки и штампа

Радиус закругления $r_{н}$ также не может быть очень малым, т. к. штамп в этом месте подвергается смятию, образуя поднутрение полости ручья,

в котором поковка застревает. При наличии радиуса r_n недостаточной величины может произойти неправильное течение металла и образование складки (зажима), т. е. брак поковок.

Большая величина радиуса $R_{вн}$ приводит к увеличению припусков, а слишком малая затрудняет дробеструйное удаление окалины с поковок.

Обычно $R_{вн} = 1 \dots 6$ мм, а $R_n = 1 \dots 8$ мм. Чем глубже полость, тем большим принимают радиус закругления. Величину радиусов выбирают также в соответствии со способом заполнения полости при штамповке. Если полость заполняется выдавливанием, то радиус должен быть большим, чем при заполнении ручья осадкой.

Назначение допусков. Допуски и допускаемые отклонения линейных размеров поковок назначаются в зависимости от исходного индекса и размеров поковки по [43, табл. 8]. Дopusкаемые отклонения внутренних размеров должны устанавливаться с обратными знаками; допуски и допускаемые отклонения толщины, учитывающие недоштамповку, – по наибольшей толщине поковки и распространяться на все размеры ее толщины.

Назначение кузнечных напусков. Кузнечные напуски могут быть образованы на поковке штамповочными уклонами, радиусами закругления внутренних углов, непробиваемой перемычкой в отверстиях и невыполнимыми в штамповочных операциях поднутрениями и полостями.

Штамповочные уклоны. Для предотвращения застревания поковок в ручьях боковые стенки полости штампов выполняют с уклонами (штамповочные уклоны), при этом поковка получается с напуском. На практике применяют штамповочные уклоны $1 \dots 10^\circ$. Они не должны превышать величин, установленных в табл. 9.8.

Табл. 9.8. Штамповочные уклоны [43]

Оборудование	Штамповочные уклоны, град	
	На наружной поверхности	На внутренней поверхности
Штамповочные молоты, прессы без выталкивателей	7	10
Прессы с выталкивателями, ГКМ	5	7
Горячештамповочные автоматы	1	2

Влияние площади контакта для различных форм поковок на силу выталкивания их из штампа неодинаково. Чем относительно глубже полость штампа, тем больше должен быть штамповочный уклон для свободного удаления поковок из ручья. Для ряда геометрически подобных поковок штамповочный уклон уменьшается при переходе от мелких к крупным изделиям.

На поковках и в штампах различают внешние и внутренние штамповочные уклоны (рис. 9.12).

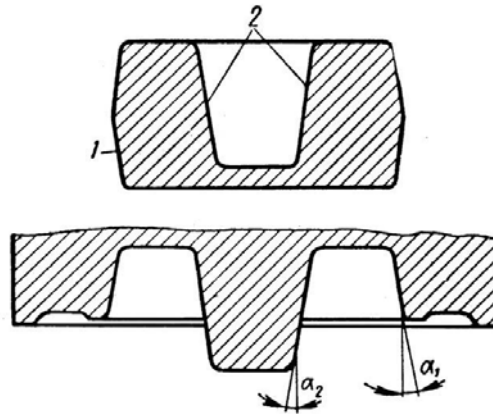


Рис. 9.12. Наружные и внутренние уклоны на поковке и в штампе

Внешние штамповочные уклоны *1* относятся к тем поверхностям, по которым между поковкой и стенкой штампа образуются зазоры вследствие тепловой усадки при остывании металла. Внутренние штамповочные уклоны *2* относятся к тем поверхностям поковки, которые при ее остывании приводят к горячей посадке поковки на выступ штампа. Эти штамповочные уклоны должны быть больше внешних ($\alpha_2 > \alpha_1$).

Полости и наметка отверстия в поковках. При наличии в детали полости или отверстия проектируют наметку отверстия. Поковки с очень глубокими полостями не являются типичными для штамповки под молотами вследствие больших штамповочных уклонов и значительных потерь металла с напусками. Неглубокая полость в поковке (рис. 9.13, *а*) может быть образована в молотовых штампах тем легче, чем больше диаметр этой полости.

При штамповке таких поковок в наиболее тяжелых условиях работают выступы штампов, называемые знаками. Вследствие малой стойкости штамповых знаков полости диаметром менее 30 мм при горячей штамповке по ГОСТ 7505-89 не выполняют. При штамповке поковок деталей большой высоты с отверстием ограничиваются получением лишь глухих наметок (рис. 9.13, *б*) без последующей просечки отверстий, обрабатываемых поковкой резанием. Наметки можно получить с двух сторон поковки. Высота нижней наметки полости обычно меньше верхней, так как стойкость нижнего знака меньше верхнего (из-за большего его разогрева). Для обеспечения устойчивости положения заготовки при закладывании ее в ручей, нижний знак должен быть невысоким (если отсутствует предварительная подготовка полости в заготовке). Согласно ГОСТ 7505-89 для глухих наметок установлена глубина, равная не более 0,8 их диаметра.

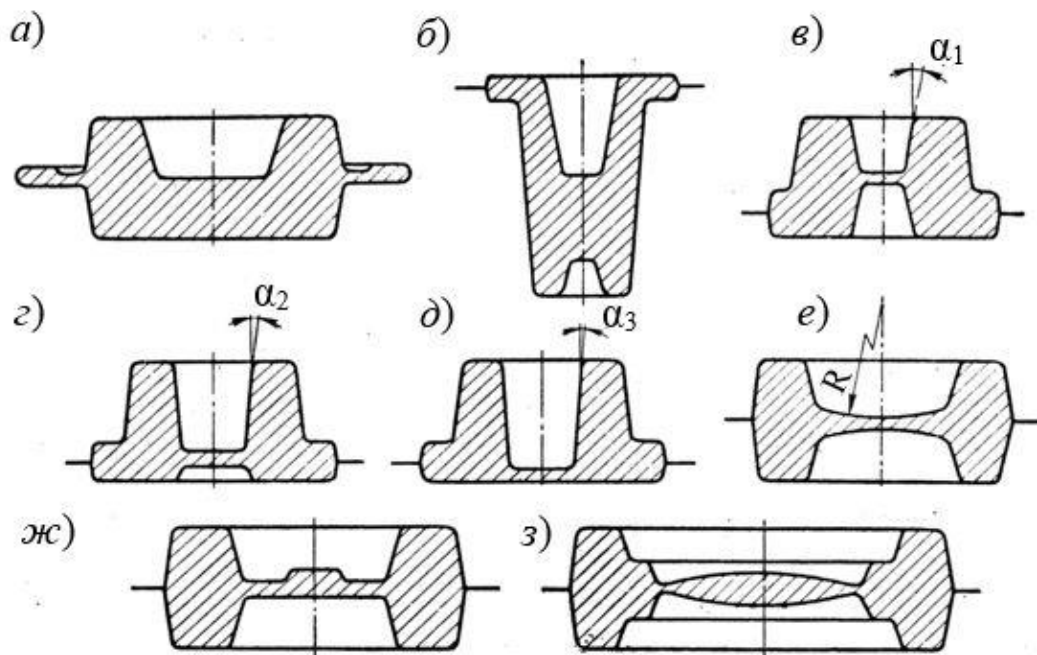


Рис. 9.13. Типы поковок с наметками

Если штампуют поковку небольшой высоты со сквозным отверстием, то наименьший расход металла и правильный радиальный поток его обеспечиваются при получении одинаковых наметок с двух сторон поковки при условии несовпадения уровней плоскостей разреза штампа и образования перемычки (рис. 9.13, в). Перемычка легко удаляется в просечном штампе при обрезке облоя. Так как плоскость разреза штампа проходит ниже торца нижнего знака, то необходим нижний вставной знак. Его применяют, чтобы избежать больших потерь металла при строжке штампового кубика для нижней части штампа с выступающим знаком выше его зеркала (на исходном кубике). Решение, показанное на рис. 9.14, г, обеспечивает совпадение уровня вершин знаков с плоскостью разреза штампов, однако потери металла в напуски здесь относительно большие. Исходя из условий течения металла, этот вариант имеет и тот недостаток, что радиальный поток металла, выдавливаемого между знаками, устремляется непосредственно в облойную канавку, что сопровождается более ранним и увеличенным облоем. Вариант решения приведен на рис. 9.13, д. Здесь угол штампового уклона $\alpha_3 > \alpha_1$ и потери металла в напуск еще больше возрастают. В этом случае удаление перемычки отверстий значительно усложняется; стойкость знака наиболее низкая.

При штамповке поковок с наметкой отверстий приходится считаться с тем, что слишком толстые перемычки отверстий тяжело срезать, а чрезмерно тонкие нерациональны по затрате энергии при штамповке и из-за снижения стойкости штамповых знаков. При штамповке в черновом ручье

целесообразно получать перемычку между знаками с большими радиусами закруглений (рис. 9.13, е). При штамповке в чистовом ручье (рис. 9.13, ж) применяют такие знаки, которые образуют в середине перемычки магазин (карман). Металл с утолщенных мест перемычки вытесняется в него, при этом перемычку легко удалить.

Если поковка имеет большой диаметр и не представляет собой массивного изделия, то во избежание складок в чистовом ручье применяют штампы с карманом другой формы (рис. 9.13, з).

Наметки в зависимости от формы и размеров отверстия бывают с плоской перемычкой, с раскосом, с магазином, с карманом и глухие.

9.5. Определение массы и размеров заготовки

Масса поковки находится по формуле

$$M = V \cdot \rho, \quad (9.2)$$

где V – объем поковки; ρ – плотность материала.

Расчетная масса поковки, используемая для назначения припусков и допусков, определяется как масса подвергаемых деформации поковки (поковок) или ее частей. В массу поковки не входят масса облоя и перемычки пробитого отверстия. При высадке поковок на горизонтально-ковочных машинах или штамповке на молотах и прессах масса поковки включает массу части стержня, зажатого штампами.

Ориентировочную величину расчетной массы поковки допускается вычислять по формуле

$$M_{п.р} = M_{д} \cdot K_p, \quad (9.3)$$

где $M_{п.р}$ – расчетная масса поковки; $M_{д}$ – масса детали; K_p – расчетный коэффициент, устанавливаемый в соответствии с табл. 9.9.

Табл. 9.9. Коэффициент для определения ориентировочной расчетной массы поковки [43]

Группа	Характеристика детали	Типовой представитель	K_p
1	2	3	4
1	<i>Удлиненной формы</i>		
1.1	С прямой осью	Валы, оси, цапфы, шатуны	1,3...1,6
1.2	С изогнутой осью	Рычаги, сошки рулевого управления	1,1...1,4

Окончание табл. 9.9

1	2	3	4
2	<i>Круглые и многогранные в плане</i>		
2.1	Круглые	Шестерни, ступицы, фланцы	1,5...1,8
2.2	Квадратные, прямоугольные, многогранные	Фланцы, ступицы, гайки	1,3...1,7
2.3	С отрезками	Крестовины, вилки	1,4...1,6
3	<i>Комбинированной (сочетающей элементы 1 и 2 групп) конфигурации</i>	Кулаки поворотные, коленчатые валы	1,3...1,8
4	<i>С большим объемом необрабатываемых поверхностей</i>	Балки передних осей, рычаги переключения коробок передач, буксирные крюки	1,1...1,3
5	<i>С отверстиями, углублениями, поднутрениями, не оформляемыми в поковке при штамповке</i>	Полые валы, фланцы, блоки шестерен	1,8...2,2

Масса заготовки, необходимая для получения штампованной поковки на молоте или прессе,

$$G_{\text{заг}} = G_{\text{пок}} + G_{\text{обл}} + G_{\text{уг}}, \quad (9.4)$$

где $G_{\text{пок}}$ – масса поковки; $G_{\text{обл}}$ – масса облоя (учитывается только при штамповке в открытом штампе); $G_{\text{уг}}$ – масса отхода металла на угар.

Массу облоя ориентировочно подсчитывают по формуле

$$G_{\text{обл}} = (0,5...0,8)\rho \cdot F_{\text{обл}} \cdot L, \quad (9.5)$$

где ρ – плотность металла; $F_{\text{обл}}$ – площадь поперечного сечения канавки для облоя; L – периметр поковки по линии разреза.

Ориентировочные площади поперечного сечения канавки для облоя $F_{\text{обл}}$ в зависимости от массы поковки приведены в табл. 9.10.

Табл. 9.10. Выбор площади поперечного сечения канавки для облоя от массы поковки

$G_{\text{пок}}, \text{ кг}$	До 0,5	0,5...1,5	1,5...5	5...12	12...25	25...40	40...100	Св. 100
$F_{\text{обл}}, \text{ см}^2$	1,1	1,6	2,4	3,2	4,2	5,3	11,2	19,5

Масса отхода металла на угар при нагреве в пламенной печи принимается равной 1,5...3 % массы поковки с облоем и клещевиной, а при электронагреве – 0,5...1 %.

Площадь поперечного сечения заготовки для штамповки поперек оси

$$F_{\text{заг}} = \frac{KV_{\text{заг}}}{L_{\text{пок}}}, \quad (9.6)$$

где K – коэффициент, учитывающий перемещение металла заготовкой вдоль ее оси; $V_{\text{заг}}$ – объем заготовки без клещевины; $L_{\text{пок}}$ – длина поковки без клещевины.

Значения K : 1,02...1,05 – при отсутствии заготовительных ручьев; 1,3 – при пережимном ручье; 1,05 – при формовочном ручье; 1,05...1,2 – при подкатном ручье; 1,05...1,1 – при гибочном ручье ($L_{\text{пок}}$ в этом случае считают по средней линии развертки). Если применяют один протяжной ручей без других заготовительных ручьев (за исключением гибочного или формовочного), площадь поперечного сечения заготовки принимают равной максимальной площади поперечного сечения поковки с облоем.

Длина заготовки

$$L_{\text{заг}} = \frac{V_{\text{заг}}}{F_{\text{заг}}}. \quad (9.7)$$

При штамповке с клещевинной к длине заготовки добавляют длину клещевого конца. Длина клещевины должна быть не менее 25 мм и составляет 0,6...1 диаметра или стороны квадрата заготовки.

При изготовлении поволоков осадкой в торец отношение m длины заготовки $L_{\text{заг}}$ к ее диаметру $d_{\text{заг}}$ (или стороне A квадратной заготовки) должно составлять 1,25...2,8 (наиболее часто принимают $m = 2$).

Задаваясь значением коэффициента m , находят диаметр заготовки

$$d_{\text{заг}} = 1,08 \sqrt[3]{\frac{V_{\text{заг}}}{m}} \quad (9.8)$$

и ее длину

$$L_{\text{заг}} = 4 \frac{V_{\text{заг}}}{\pi d_{\text{заг}}^2} \quad (9.9)$$

или сторону квадратной заготовки

$$A = \sqrt[3]{\frac{V_{\text{заг}}}{m}} \quad (9.10)$$

и ее длину

$$L_{\text{заг}} = \frac{V_{\text{заг}}}{A^2}. \quad (9.11)$$

9.6. Дефекты штампованных поковок

Поковки, соответствующие техническим требованиям, изложенным в ГОСТ 8479-70, являются годными. Поковки, имеющие те или иные исправимые дефекты, называются дефектными (их исправляют дополнительной обработкой). Поковки с неисправимыми дефектами считаются браком.

Дефекты поковок обусловлены многими причинами:

- *неглубокие риски, волосовины, плены* на поверхности поковок и т. д. являются результатом дефектов исходного металла;
- *косой и грубый срез или скол металла, искривления* и чрезмерное *смятие конца* заготовки появляются при неправильно выбранной величине зазора между ножами при резке;
- *торцовые трещины*, образующиеся главным образом при резке крупных профилей из высокоуглеродистых сталей, являются результатом больших внутренних напряжений, вызванных неравномерностью деформации при резке;
- *несоответствие длины заготовки* заданной появляется при неправильной установке упоров, недостаточной жесткости их крепления или неполной подаче прутка до упора;
- *крупнозернистая структура металла* получается при перегреве заготовок или окончании штамповки при слишком высокой температуре, вследствие чего снижаются механические свойства поковок (этот дефект исправляют термообработкой);
- *пережог металла*, являющийся неисправимым браком, возникает в результате длительного нагрева заготовок при излишне высоких температурах в окислительной атмосфере;
- *вмятины* – заштампованная окалина или отпечаток от нее на поверхности поковки – получаются при недостаточных сбиве и удалении паром или воздухом окалина, в первую очередь, из заготовительных ручьев штампа;
- *лом-бой* – поковка, испорченная в результате удара при неправильной укладке в окончательный ручей штампа, при обрезке облоя со смещением поковки в обрезной матрице (допустимый остаток от облоя установлен ГОСТ 7505-89) или из-за незаполнения полости ручья штампа при недостаточном объеме металла заготовки;

– *недоштамповка* – увеличение всех размеров поковки в направлении движения инструмента сверх допуска – возникает при недостаточных числе ударов молота, усилии штамповочного оборудования и температуре нагрева металла, а также завышенном объеме заготовки;

– *перекос* – смещение одной половины поковки относительно другой в плоскости разъема штампов – возникает вследствие больших зазоров между бабой и направляющими, а также из-за неправильной установки штампов;

– *зажим* – складка металла на поковке – образуется вследствие встречного течения металла в ручье, эксцентрической укладки заготовки в черновой и чистовой ручки или несоответствия форм чернового ручья штампа и чистового;

– *кривизна* – отклонение осей и плоскостей поковки от заданных чертежом – может возникать при обрезке облоя, короблении при термообработке и остывании поковки;

– *забоины* – местные механические повреждения поковок – могут появиться при очистке от окалины в галтовочных барабанах, дробеметных и дробеструйных установках.

Иногда дефекты поковок выявляются и после обработки резанием: если глубина вмятины или забоины, получившейся в результате заштамповки окалины, превысит размер припуска на обработку резанием, на обработанной поверхности детали остается чернота, которая может возникнуть также из-за кривизны поковки, неполноты ее формы, ослабления размеров и при неправильном выборе базовых поверхностей поковки.

Некоторые дефекты штампованных поковок могут быть устранены. Незначительное несоответствие структуры, твердости и механических свойств металла поковок требованиям технических условий может быть ликвидировано повторной термической обработкой. Заусенцы, волосовины, закаты и зажимы, если их глубина не превышает половины припуска на обработку резанием, устраняют зачисткой шлифовальным кругом или вырубкой пневматическим зубилом. Недоштампованные поковки неответственного назначения и не подвергаемые обработке резанием могут быть перештампованы за один нагрев; недоштампованные поковки, обрабатываемые резанием, во избежание получения брака перештамповывать не рекомендуется – их, если это целесообразно, подвергают предварительной обдирке в механическом цехе. Кривизну поковок устраняют правкой; иногда для недостаточно жестких по конструкции поковок в технологическом процессе их изготовления заранее предусматривают операцию правки; правку в горячем состоянии с использованием нагрева под штамповку или термообработку выполняют в случае недостаточного усилия правильных средств.

Окончательный контроль штампованных поковок предусматривает проверку их геометрических размеров (с помощью универсального и специального мерительного инструмента, предназначенного для контроля больших партий одинаковых поковок), качества поверхности и механических свойств. Наружные дефекты поверхности поковок обнаруживают визуальным осмотром, скрытые – люминесцентным и магнитным методами контроля, а также методом керосиновой пробы. При проверке механических свойств одновременно определяют марку стали, выполняют металлографические исследования и испытания твердости; с помощью рентгеновского, гамма- и ультразвукового излучений выявляют внутренние дефекты.

Контрольные вопросы

1. Какие преимущества и недостатки имеет горячая объемная штамповка?
2. Перечислите виды штамповки в зависимости от применяемых типов штампов.
3. Как выбрать плоскость разъема штампа?
4. Какие дефекты возникают при штамповке?

10. ШТАМПОВКА НА МОЛОТАХ

10.1. Применяемое оборудование

Молоты применяют для горячей штамповки поковок преимущественно в открытых штампах в условиях серийного производства.

Паровоздушный штамповочный молот двойного действия имеет массу падающих частей до 630...25000 кг при эффективной энергии удара 16...630 кДж. Давление пара или сжатого воздуха составляет 0,6...0,9 МПа.

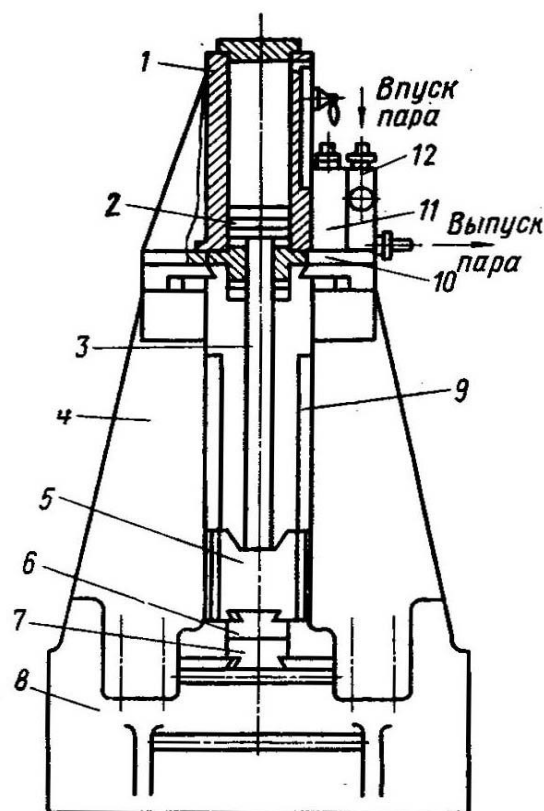


Рис. 10.1. Паровоздушный штамповочный молот

Устройство паровоздушного штамповочного молота показано на рис. 10.1. Основными частями молота являются: станина, состоящая из двух стоек 4; рабочий цилиндр 1; падающие части (поршень 2, шток 3, баба 5 и верхняя часть штампа 6); шабот 8; парораспределительное золотниковое устройство 11; дроссельное устройство 12 с механизмом управления для регулирования давления, меняющегося в зависимости от нагрузки.

По принципу действия штамповочный паровоздушный молот аналогичен ковочному молоту. Отличаются они следующими конструктивными особенностями: стойки 4 штамповочных молотов устанавливаются непосредственно на шаботе и соединяются с ним болтами с пружинами; сверху стойки скрепляются подцилиндровой плитой 10 с замком. Такое конструк-

тивное решение обеспечивает повышенную жесткость и лучшее направление движения бабы, уменьшает вибрации верхней части молота и снижает напряжения в соединительных болтах. Баба движется в длинных регулируемых с помощью клиньев направляющих 9, чем предотвращается сдвиг одной части штампа относительно другой. Высота бабы штамповочного молота несколько больше, чем у ковочного.

Если у ковочных молотов отношение массы шабота к массе падающих частей равно 10...15, то у штамповочных молотов это отношение больше и составляет 20...30, благодаря чему обеспечивается больший КПД

удара и происходит лучшее заполнение полости штампа металлом.

Технологические преимущества и недостатки паровоздушных молотов. К основным *преимуществам* штамповки на паровоздушных молотах относятся следующие.

1. Возможность регулирования энергии удара. Слабые удары могут быть нанесены с повышенной частотой.

2. Деформирование в одном ручье за несколько ударов (особенно важно для штамповки в окончательном ручье). В связи с этим наиболее крупные поковки штампуют преимущественно на молотах. Влияние больших скоростей деформации при штамповке на молотах благоприятно сказывается на заполнении сложного рельефа штампа.

К *недостаткам* этих молотов относятся следующие.

1. Неэкономичность в эксплуатации при штамповке мелких и средних по массе поковок. Высокая стоимость молотовых установок связана с использованием котельных или компрессорных станций и громоздких фундаментов.

2. Малый КПД (не более 3 %).

3. Относительно невысокая производительность работы, особенно при многоручевой штамповке, когда при выполнении подготовительных операций молот работает не на полную мощность.

4. Тяжелые условия труда, сложность механизации и особенно автоматизации процессов штамповки.

5. Большой расход металла в напуски от штамповочных уклонов вследствие ограниченного применения выталкивателей.

6. Невысокая точность размеров поковок (допуск достигает нескольких миллиметров).

7. Сотрясения зданий и приборов от ударов молота, частые поломки штампов.

Высокоскоростные молоты. Многочисленные наблюдения специалистов [16] убеждают в том, что для ряда металлов и сплавов благоприятными являются термомеханические режимы высокоскоростного ударного нагружения при объемной штамповке. В этом случае используют в качестве оборудования *высокоскоростные молоты*. В термомеханических системах высокоскоростных молотов применяются два вида энергоносителя: сжатый газ высокого давления, взрывчатое вещество или горючая смесь. Высокоскоростная объемная штамповка, по сравнению с обычной, позволяет снизить на 30...40 % расход металла, в 2...3 раза повысить коэффициент его использования, максимально приблизить форму и размеры поковок к форме и размерам детали, повысить механические характеристики и точность поковок.

Процесс удара в высокоскоростном молоте происходит существенно

быстрее, чем в паровоздушном. Скорость движения инструмента высокоскоростного молота в момент соударения 8...40 м/с и более, в то время как у паровоздушных молотов она составляет 4...6 м/с. Наличие значительных сил инерции и высокой пластичности металла позволяет высокоскоростной штамповкой получить высококачественные заготовки с тонкими стенками и ребрами, расположенными под углами к направлению движения деформирующего инструмента, поковки зубчатых колес с оформленным зубом и другие сложные заготовки. Точность поперечных размеров поковок соответствует 8...12 квалитетам, а шероховатость поверхности Rz 20. Минимально допускаемые припуски на механическую обработку составляют 0,5...1,5 мм. Штамповочные уклоны можно принимать в 2...5 раз меньше рекомендуемых, радиусы закруглений могут отсутствовать в направлении приложения нагрузки и не превышать 2 мм в плоскости удара. Энергия удара молотов достигает от 10 до 500 кДж.

Длительность цикла одного двойного хода у высокоскоростного газового молота довольно велика и доходит до 30...60 с в зависимости от размеров машины. Однако штамповка на таких молотах осуществляется за один удар, поэтому часовая производительность составляет 50...120 поковок. Кроме того, невысокая производительность компенсируется сокращением механической обработки. К недостаткам высокоскоростных молотов относят усложненный привод. Кроме того, детали высокоскоростных молотов работают в сложных условиях динамических нагрузок, поэтому приходится их изготавливать из высококачественных сталей и других материалов. Однако стоимость 1 Дж эффективной энергии удара эквивалентных по мощности высокоскоростных газовых и паровоздушных штамповочных молотов примерно одинакова. В то же время на высокоскоростных молотах нельзя производить многопереходную штамповку, т. к. существующие конструкции молотов не обеспечивают возможности нанесения нескольких ударов различной мощности.

Целесообразность применения высокоскоростной штамповки необходимо решать в каждом конкретном случае исходя из технико-экономической эффективности и технологических возможностей оборудования.

Механические молоты. Механические молоты относят к молотам простого действия. Это означает, что баба молота падает под действием только силы тяжести. Скорость падающих частей в момент удара и, соответственно, эффективная энергия удара у таких молотов определяются высотой подъема. Основные преимущества молотов: невысокая стоимость; простота конструкции; удобство эксплуатации; наличие индивидуального электропривода. Недостаток – небольшое число ударов в минуту (30...50). Механические молоты предназначены для горячей объемной штамповки

поковок, не требующих подкатки или протяжки, для правки и калибровки.

В зависимости от типа передаточного механизма механические молоты подразделяют на *фрикционные с доской* и молоты с *гибкими связями*. У фрикционных молотов с доской одним из элементов передаточного механизма является доска, у молотов с гибкими связями – ремень или цепь [17].

Гидравлические молоты. В гидравлических молотах, применяемых для горячей объемной штамповки преимущественно в одном ручье, для правки, иногда для калибровки, энергоносителем (рабочим телом) является жидкость высокого давления – 12...18 МПа (водная эмульсия, минеральное и синтетическое масла). Гидравлические молоты могут быть простого и двойного действия.

В *молотах простого действия* жидкость используют для подъема падающих частей (бабы молота) в верхнее положение. Ход вниз производится под действием силы тяжести, как и в механических молотах. Скорость в момент удара достигает 5...6 м/с. Для обеспечения таких скоростей высота падения бабы молота должна быть 1,35...2,2 м, в связи с чем молоты простого действия подразделяют на молоты с короткими и длинными ходами. Эти молоты строят с массой падающих частей 500...2000 кг, что позволяет для молотов с длинным ходом получать эффективную энергию удара 9...40 кДж. Гидравлические штамповочные молоты простого действия успешно конкурируют с приводными, так как они более экономичны и надежны в работе. Молоты простого действия применяют также для листовой штамповки.

Молоты двойного действия имеют насосный аккумуляторный привод (рис. 10.2), основными элементами которого являются рабочий цилиндр 2, шток с поршнем 1, насос 5, сливной бак 6, аккумулятор 4, распределительные устройства 3, предохранительный клапан 7 и соединительные трубопроводы.

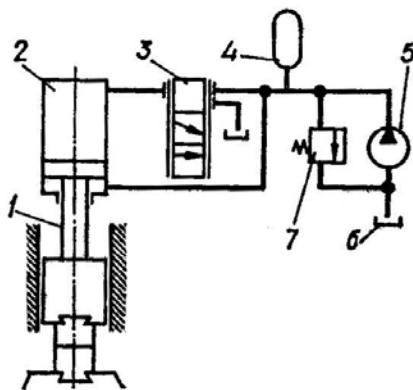


Рис. 10.2. Привод гидравлического молота двойного действия

В исходном положении падающие части (баба молота) находятся в крайнем нижнем положении (штампы сомкнуты). Верхняя полость рабочего цилиндра изолирована, а нижняя соединена с аккумулятором. Для подъема падающих частей вверх необходимо верхнюю полость рабочего цилиндра соединить со сливом. В результате равнодействующая сил, направленных вверх, будет больше и падающие части начнут подниматься. Для хода вниз (разгона падающих частей) следует верхнюю полость рабочего цилиндра соединить с аккумулятором. Жидкость высокого давления устремится в верхнюю полость рабочего цилиндра. Площадь поршня в верхней полости больше, чем кольцевая площадь поршня в нижней. Равнодействующая сил, действующих на поршень, будет направлена вниз. Падающие части ускоренно движутся вниз и в момент соударения расходуют накопленную кинетическую энергию для деформирования заготовки.

Выбор молота для штамповки поковок производят, определив необходимую массу падающих частей машины. На основании полученной массы по каталогам выбирают нужный молот [11].

10.2. Классификация молотовых поковок

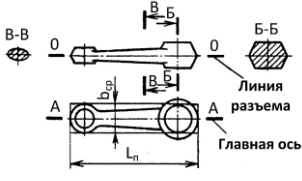
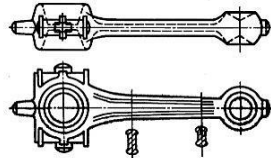
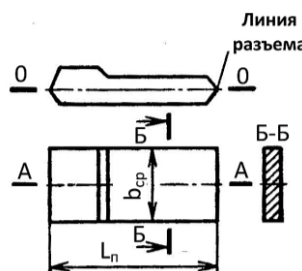
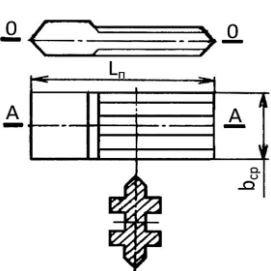
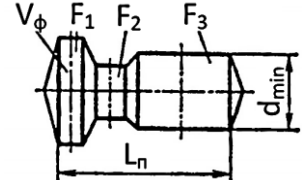
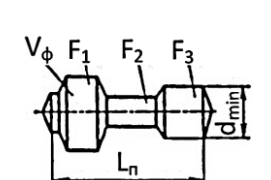
В соответствии с классификацией, приведенной в табл. 10.1, поковки подразделяют на группы и подгруппы по признакам [11]:

- 1) способу штамповки: осадкой в торец (продольная) или поперек оси (поперечная);
- 2) форме поковки и соотношению ее основных размеров, влияющих на выбор тех или иных заготовительных ручьев или заготовительно-предварительных ручьев;
- 3) форме поперечных сечений поковки, обуславливающей характер формоизменения при заполнении полостей штамповочного ручья и необходимость применения заготовительно-предварительных ручьев;
- 4) формам главной оси поковки и линии разъема, предопределяющим применение особых заготовительных ручьев или необходимость уравнивания сдвигающих усилий при штамповке.

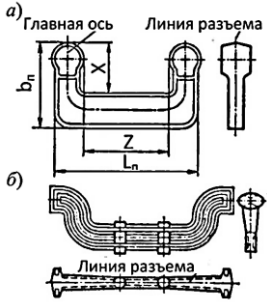
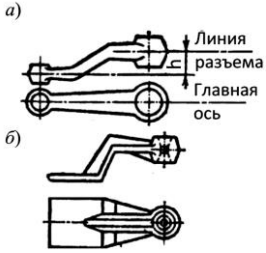
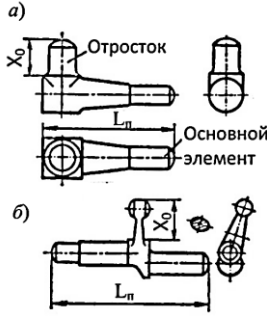
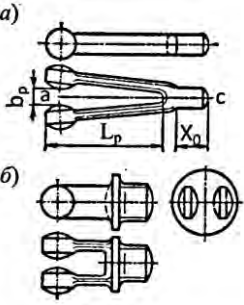
В зависимости от выбранного способа штамповки, в значительной степени определяющего характер технологического процесса, различают две группы молотовых поковок.

Группа I – удлиненные и изогнутые поковки, штампуемые перпендикулярно оси заготовки (штамповка плашмя); для этих поковок характерна значительная величина отношения их длины к средней ширине в плане; деформация заготовки в штамповочных ручьях протекает главным образом при формоизменении по двум осям – в направлении высоты и ширины поковки, в направлении же главной оси (длины поковки) деформация незначительна.

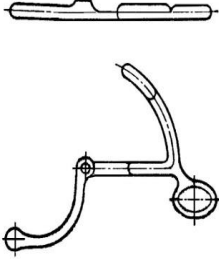
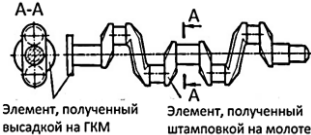
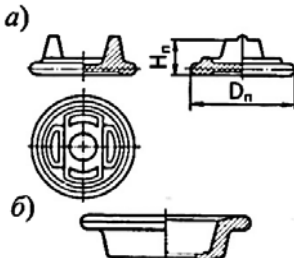
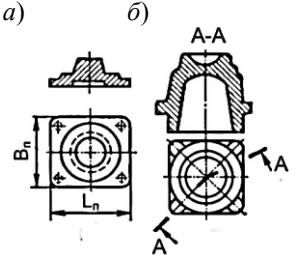
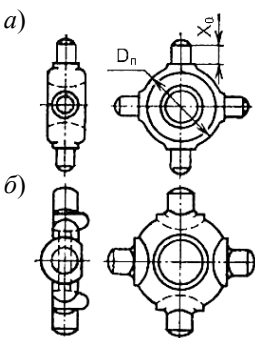
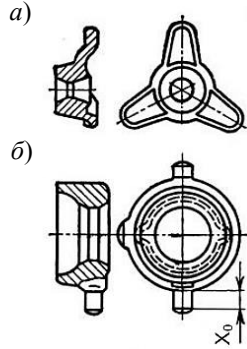
Табл. 10.1. Классификация молотовых поковок [11]

Название подгруппы; основная характеристика поковок	Технологические особенности изготовления поковок	Поковка типа	
		А	Б
1	2	3	4
Группа I. Поковки, штампуемые перпендикулярно оси заготовки (штамповка плашмя)			
1. С прямой линией разреза 0–0 и прямой удлиненной главной осью А–А; отношение длины к средней ширине поковки в плане $\frac{L_n}{b_{cp}} > 2,5$	Необходимы заготовительные операции для распределения металла исходной заготовки в соответствии с площадями поперечных сечений поковки	С простыми поперечными сечениями (круглые, трапециевидные и т. д.), получаемые при незначительном выдавливании металла 	Со сложными поперечными сечениями (ребристые, двутавровые и т. д.), получаемые при значительном выдавливании металла 
2. С прямой линией разреза и прямой главной осью при $1,5 < \frac{L_n}{b_{cp}} < 2,5$	Необходимы заготовительные операции для некоторого перераспределения металла исходной заготовки по длине поковки в соответствии с площадями поперечных сечений поковки и для уширения заготовки	То же, что и для подгруппы 1 (кроме круглых) 	
3. Удлиненные в плане с прямой осью, имеющие фланец или бурт, с небольшой разницей в площадях поперечных сечений на других участках поковки ($F_1 \gg F_2$; $F_2 \approx F_3$)	Необходимы заготовительные операции: для поковок типа А – высадка фланца или бурта; для поковок типа Б с большим объемом V_ϕ фланца – высадка фланца с предварительной протяжкой стержня	С фланцем относительно небольшого объема $V_\phi < 3 \frac{\pi d_{min}^3}{4}$ 	С фланцем большого объема $V_\phi > 3 \frac{\pi d_{min}^3}{4}$ 

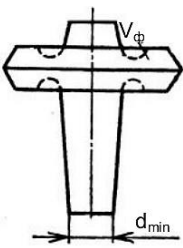
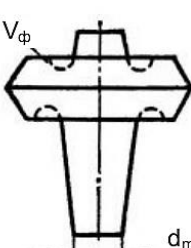
Продолжение табл. 10.1

1	2	3	4
4. С изогнутой осью, у которых главная ось (поковки типа А) или линия разъема (поковки типа Б) представляет собой кривую (ломаную) линию. При небольшом размере x поковки типа А могут быть отнесены к подгруппе 5 (тип А) (поковки с отростками); при небольшом перепаде h (тип Б) – к подгруппе 1; при небольшом z – к подгруппе 5 (тип Б) (поковки с развилинами)	Выполняют переходы (если они необходимы) по перераспределению объема исходной заготовки и гибку для поковок типа А, как правило, в гибочном ручье штампа. Для поковок типа Б гибку не проводят, т. к. заготовка изгибается в штамповочных ручьях – предварительном и окончательном. При штамповке необходимо уравнивать сдвигающие усилия (предусматривается в конструкции штампа)	С кривой главной осью и с формой поперечного сечения: <i>а</i> – простой; <i>б</i> – сложный 	С кривой линией разъема и с формой поперечного сечения: <i>а</i> – простой; <i>б</i> – сложный 
5. Удлиненные с отростками и развилинами; с односторонне смешанными элементами, что приводит к плавному или резкому искривлению главной оси поковки (тип А): с главной осью, которая на некотором участке <i>ас</i> проходит не по телу поковки, а между отдельными ее элементами, составляющими развилину (тип Б)	Кроме заготовительных ручьев, применяют заготовительно-предварительный ручей; для поковок типа А – со специальным элементом, обеспечивающим последующее получение отростка; для поковок типа Б – с рассекателем для разгонки металла по направлению от оси <i>а-с</i> к полости под развилину. Для получения поковок типа А иногда применяют формовочный ручей, чтобы сместить металл в сторону отростка. При значительной длине x_0 отростка применяют также штамповку в свернутом виде с последующей (после обрезки облоя) разводкой	С вытянутой осью и отростком 	С развилиной; могут быть отнесены к подгруппе 1 из-за значительной длины развилины (L_p/b_p велико) или стержня 

Продолжение табл. 10.1

1	2	3	4
6. Удлиненные комбинированной формы, изготавливаемые с расчленением процесса и комбинированием агрегатов в соответствии со спецификой отдельных участков поковки; могут быть приведены к подгруппам 1–5 при изменении формы; после штамповки на молоте штампуют на других агрегатах	В соответствии с формой и размерами отдельных участков поковки применяют различные штамповочные агрегаты, наиболее отвечающие требованиям рациональной штамповки этих участков	Изготавливаемые на штамповочном молоте в сочетании с прессом или специальными машинами 	Изготавливаемые на штамповочном молоте в сочетании с горизонтально-ковочной машиной 
Группа II. Поковки, штампуемые вдоль оси заготовки (штамповка осадкой в торец)			
1. Круглые и квадратные в плане; типа колец, втулок, шестерен, поршней, круглых фланцев диаметром в плане D_n (тип А); типа фланцев, кожухов и крышек, квадратные в плане ($B_n \times B_n$) или близкие к ним по форме ($L_n \approx B_n$; тип Б)	Технологические приемы сводятся в основном к комбинированию таких видов формоизменения, как осадка, выдавливание и прошивка	Круглые, штампуемые с преобладанием осаживания и выдавливания металла (а) или осаживания и прошивки с раздачей металла 	Квадратные, штампуемые с преобладанием осаживания и выдавливания металла (а) или осаживания и прошивки с раздачей металла (б) 
2. Типа крестовин, относящиеся к типу А; поковки круглые и квадратные в плане с различным расположением отрезками X_0 (тип Б)	То же, что и для подгруппы 1	Типа крестовин с четырьмя симметрично расположенными отрезками одинаковой длины (а) и вертикальными выступами (б) 	С тремя симметрично расположенными отрезками (а) и с отрезками различной длины (б) 

Окончание табл. 10.1

1	2	3	4
3. Типа стержней с фланцем и цилиндрическим или коническим стержнем без впадин	Необходимы заготовительные операции: высадка фланца или бурта – для поковки типа А; протяжка в специальном протяжном ручье или высадка и протяжка – для поковки типа Б с большим объемом фланца	С относительно небольшим объемом фланца $V_{\phi} < 3 \frac{\pi d_{\min}^3}{4}$ 	С большим объемом фланца $V_{\phi} > 3 \frac{\pi d_{\min}^3}{4}$ 

Группа II – круглые и квадратные поковки или поковки, близкие к ним по форме в плане (два взаимно перпендикулярных размера в плане приблизительно равны); поковки с отостками (основные элементы имеют круглую или квадратную форму); штампуются вдоль оси заготовки (штамповка осадкой в торец); деформация в штамповочных ручьях протекает при различных видах формоизменения: осаживании (высадке), выдавливании и прошивке.

Каждой поковке присваивают индекс. Например, индекс II-3-А означает: поковка группы II, подгруппы 3, типа А, т. е. поковка типа стержня с фланцем с цилиндрическим или коническим стержнем без впадин (см. табл. 10.1). Достоинство классификации состоит в том, что в ней приводятся технологические особенности изготовления поковок.

10.3. Молотовые штампы

На практике применяют несколько разновидностей штамповки на молотах: в открытых и закрытых штампах; одноручьевую и многоручьевую штамповки заготовок простого профиля и фасонных. В открытых молотовых штампах изготавливают поковки всех форм (см. табл. 10.1); в закрытых – преимущественно поковки группы II с вертикальными или почти вертикальными стенками по периметру наружной поверхности.

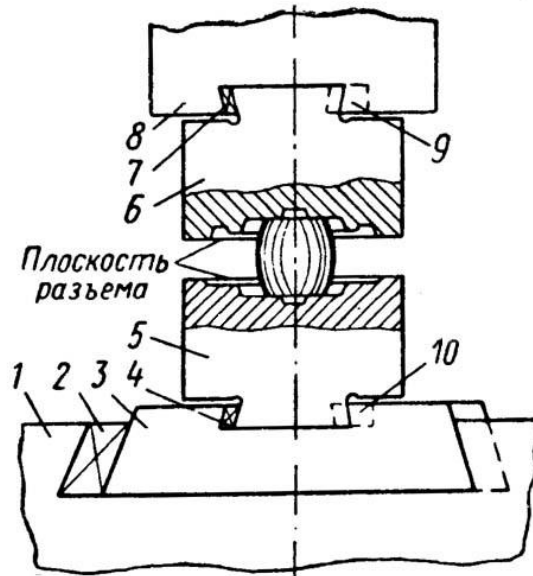


Рис. 10.3. Устройство открытого молотового штампа

Рассмотрим конструктивное оформление молотовых штампов. Молотовый штамп (рис. 10.3) состоит из двух массивных блоков 5 и 6 с опорами-выступами для клиновидного крепления. Верхнюю часть штампа крепят на бабе 8 молота клином 7. Шпонка 9 предотвращает смещение верхней части штампа. Аналогично закрепляют нижнюю часть штампа к подштамповой плите 3 клином 4 и шпонкой 10. Подштамповую плиту крепят в шаботе 1 молота с одной стороны клином 2, с другой – угловым соединением, которое аналогично соединению шпонкой и предотвращает смещение штампа вдоль клина. Для повышения производительности, кроме штамповки по одной поковке, применяют штамповку по две, три и более поковок. На молотах возможна штамповка от прутка с отделением поковок ножами в том же штампе. По расположению заготовок приемлемы штамповки в торец (продольная) и поперек оси заготовок (поперечная). Наиболее рациональны для молотов одноручьева и двухручьева продольные штамповки заготовок простой формы или поперечная штамповка с предварительным фасонированием заготовок специализированными методами: вальцовкой, прокаткой и т. п. Однако в промышленности широко применяют и многоручьевую штамповку на молотах, особенно при невысокой серийности производства поковок.

Энергия, расходуемая молотами на деформацию, представляет собой кинетическую энергию падающих масс: бабы, штока с поршнем и верхней части штампа. По этой причине, а также вследствие того, что материал штампов подвержен ударному воздействию, штампы должны быть массивными. Окончание процесса штамповки на молотах фиксируется момен-

том соприкосновения верхней и нижней частей штампа. При работе на молотах штамповка обычно происходит в каждом ручье за небольшое число ударов (1...4). Большое число ударов молота (10...20) необходимо в окончательном ручье при штамповке только очень крупных поковок. На молотах штампуют поковки массой 0,1...1000 кг, но чаще 0,25...400 кг [22].

При штамповке в открытом штампе усилие на деформацию возрастает в связи с наличием облоя. Металл, вытекающий в канавку толстым слоем, испытывает препятствия от боковых стенок штампа, а также задерживается в канавке силами трения.

Влияние облоя на увеличение усилия штамповки тем относительно больше, чем меньше габаритные размеры поковки в плане. Усилие штамповки возрастает от наличия облоя интенсивнее, так как сопротивление деформированию быстро остывающего тонкого облоя больше, чем у медленно остывающей поковки. Таким образом, можно ожидать, что при штамповке относительно небольших поковок затрачиваемая энергия на штамповку будет меньше при применении закрытого штампа. Это подтверждается экспериментами даже для поковок диаметром более 100 мм.

На рис. 10.4 дано сечение открытого и закрытого штампов для поковки типа шестерни диаметром 140 мм с двусторонней ступицей.

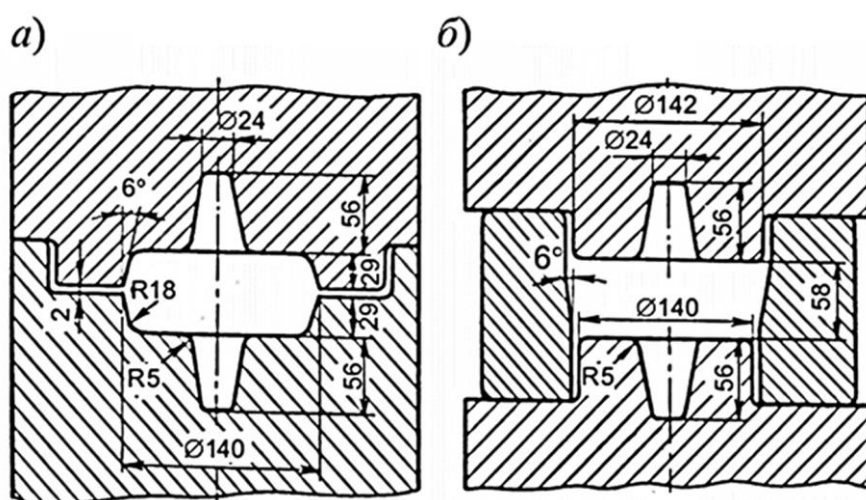


Рис. 10.4. Форма полости штампа для одной и той же поковки: а – открытый; б – закрытый штамп

Поковку штамповали из заготовки массой 8,5 кг, высотой 95 мм и диаметром 120 мм на штамповочном молоте простого действия с массой падающих частей 2000 кг. Заготовки были изготовлены из низкоуглеродистой (0,09 % С) и хромоникелевой (0,32 % С, 0,68 % Сг, 3,47 % Ni) сталей. Данные экспериментов приведены в табл. 10.2.

Табл.10.2. Сравнение штамповки в открытом и закрытом штампах [22]

Тип штампа	Сталь	Температура штамповки, °С	Число ударов	Работа деформации, кДж	Заполнение углублений в штампе, мм	
					верхнем	нижнем
Открытый	Низкоуглеродистая	1150	4	184	34,1	28,5
	Хромоникелевая	1140	4	184	31,0	26,0
Закрытый	Низкоуглеродистая	1140	3	141	54,5	44,0
	Хромоникелевая	1130	3	141	41,0	33,0

Указанные данные свидетельствуют о лучшем заполнении закрытого штампа при меньшей работе, затрачиваемой на штамповку. Штамповка в открытом штампе с образованием тонкого облоя значительно повышает усилия штамповки и, соответственно, расход энергии.

Поковки, штампуемые в закрытых штампах, более высокого качества, чем в открытых, за счет лучшего расположения волокон, отсутствия местного интенсивного течения металла в облой и перерезанных волокон в месте его удаления. К преимуществам штамповки в закрытых штампах можно также отнести большую точность размеров поковок в плоскости их разреза.

В технологическом отношении молоты менее пригодны для штамповки в закрытых штампах, чем прессы. Главные затруднения связаны с отсутствием возможности останавливать движение верхнего штампа в нужный момент. Для заготовок непостоянного объема требуется различная величина хода для окончания штамповки. Металл поковки может затекать в зазоры по месту разреза частей штампа и распирает его, иногда доводя до разрушения. Особенно опасными являются заготовки наибольшего объема в данной партии.

Для штамповки в закрытом штампе требуются заготовки более точных объемов, чем для открытого штампа, так как объем поковки в первом случае определяется объемом заготовки за вычетом угара металла и небольшого облоя (менее 1 %). Однако это обстоятельство нельзя рассматривать как недостаток. Напротив, более точная дозировка заготовок по объему экономит металл и повышает технический уровень кузнечно-штамповочного производства.

Типы канавок, применяемых в открытых штампах, показаны на рис. 10.5 [11].

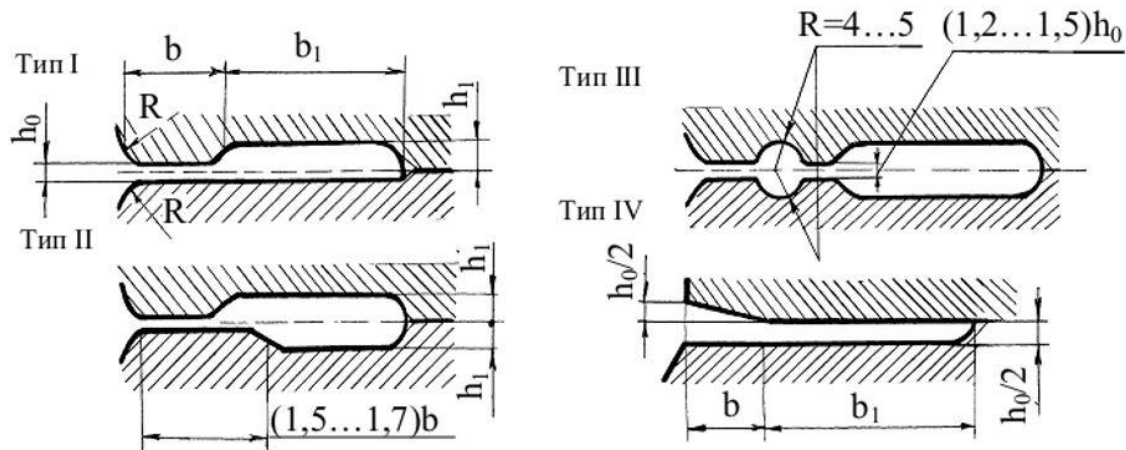


Рис. 10.5. Типы облойных канавок

Канавка типа I обеспечивает большую стойкость выступа (мостика), т. к. верхняя половина штампа прогревается меньше, чем нижняя. Магазин высотой h_1 можно выполнить в нижней половине штампа.

Канавку типа II рекомендуется использовать в тех случаях, когда поковку нельзя отштамповать с нормальным облоем, например, когда по условиям производства нельзя осуществить точную обрезку заготовки. Канавку этого типа применяют для увеличения объема магазина при штамповке сложных заготовок.

Канавку типа III применяют в том случае, если необходимо резко повысить сопротивление течению металла на некоторых участках окончательного ручья с тем, чтобы обеспечить заполнение глубоких и сложных полостей штампа.

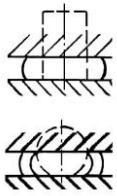
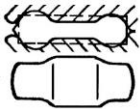
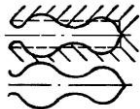
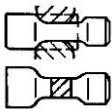
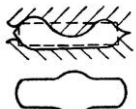
В канавке типа IV отсутствует магазин для облоя, а остается только тормозящий мостик с наклоном. Канавку этого типа используют для круглых в плане поковок, которые обычно штампуют с применением только окончательного ручья (малоотходная штамповка).

Рекомендуемые размеры и площади поперечного сечения облойных канавок и их расчет представлены в [11].

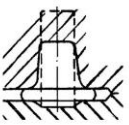
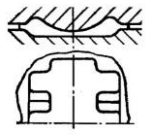
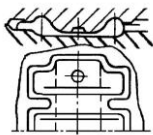
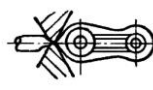
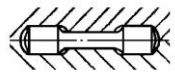
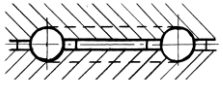
10.4. Классификация операций и ручьев при штамповке на молотах

Классификация ручьев при штамповке на молотах, а также указания о назначении ручьев и способах обработки в них заготовок приведены в табл. 10.3.

Табл. 10.3. Классификация ручьев при штамповке на молотах [11, 30]

Эскиз	Ручей или его элементы	Назначение ручья или его элементов	Способ обработки заготовок
1	2	3	4
<i>Заготовительные ручьи</i>			
	Площадка для осадки и расплющивания	Обеспечить заготовке такие размеры, при которых перекрывались бы определенные выступы или углубления фигуры штамповочного ручья	По заготовке наносится необходимое количество ударов молота до получения нужного диаметра или высоты
	Пережимной	Для незначительного осевого перемещения металла, сопровождающегося уменьшением площади поперечного сечения исходной заготовки в одних местах и увеличением в других	По заготовке наносится один удар без кантовки, и она укладывается в штамповочный ручей
	Подкатной	Для увеличения площади сечения заготовки (набора металла) в одних местах и уменьшения в других	По заготовке наносится 3...5 и более ударов молота с кантовкой заготовки на 90°
	Протяжной	Для местного уменьшения площади сечения исходной заготовки при одновременном увеличении ее длины	По заготовке наносится несколько ударов, после каждого удара заготовка кантуется и перемещается в осевом направлении
<i>Штамповочные ручьи</i>			
	Формовочный	Для формовки заготовки в соответствии с конфигурацией плана поковки и для незначительного осевого перемещения металла	По заготовке наносится один удар, после чего она кантуется на 90° и укладывается в штамповочный ручей
	Гибочный	Для изгиба заготовки и придания ей формы, соответствующей форме поковки в плане, а также для местной формовки	По заготовке наносится 1...2 удара молота, после чего она укладывается в штамповочный ручей

Окончание табл. 10.3

1	2	3	4
	Высадочный	Для значительного местного увеличения сечения исходной заготовки (набора металла) при одновременном уменьшении длины заготовки	По заготовке, установленной вертикально, наносится 2...3 удара молота
	Черновой	Для получения формы, близкой к окончательной, с целью облегчения заполнения полости окончательного ручья и повышения его стойкости. В некоторых случаях предварительный ручей выполняет роль заготовительного	По заготовке наносится несколько ударов молота, после чего она укладывается в окончательный ручей
	Чистовой	Для получения окончательной отчетливо оформленной поковки в соответствии с чертежом	Наносится необходимое количество ударов до смыкания штампов и полного заполнения ручья
<i>Отрубные ручки</i>			
	Отрубной	При штамповке от прутка для отрубки от него отштампованной поковки	Поковка отделяется от прутка одним ударом ножа между перешейком и поковкой
<i>Отделочные ручки</i>			
	Правочный	Для устранения коробления и кривизны поковки	По поковке наносится обычно один удар молота
	Калибровочный	Для доштамповки – повышения точности по форме, размерам и весу. Образующийся в некоторых случаях калибровки заусенец в дальнейшем обрезается в штампах на прессе или зачищается наждачным кругом	По поковке наносится обычно один удар молота

10.5. Рекомендации по разработке чертежа поковки

Исходной информацией для разработки чертежа поковки является чертеж детали с указанными на нем размерами, предельными отклонениями размеров, шероховатостью поверхностей, маркой материала и установочными базами. Перед конструированием поковки необходимо определить ее технологичность, установить условия эксплуатации детали, технологию обработки после штамповки.

Разработка чертежа поковки состоит в последовательном решении следующих вопросов:

- выбор положения плоскости разреза;
- определение ориентировочной массы поковки, назначение припусков на обработку резанием, допусков на изготовление поковки и внешних радиусов поковки;
- назначение напусков на поверхности отверстия и проточки, внутренних радиусов закруглений и штамповочных уклонов;
- проектирование наметок отверстий и углублений;
- построение линии разреза;
- оформление чертежа поковки.

Определение припусков и допусков, а также ориентировочной массы поковки производится по ГОСТ 7505-89 в зависимости от массы поковки, класса точности, группы стали, степени сложности поковки, размера детали и шероховатости поверхности. Напуски на поверхности отверстия и проточки, радиусы закруглений и штамповочные уклоны выбирают по ГОСТ 7505-89.

Правила оформления чертежа поковки. Чертеж поковки рекомендуется выполнять в масштабе 1:1. Исключения допустимы при вычерчивании поволок простой формы или поволок, размеры которых более 750 мм. Для крупных поволок, вычерчиваемых с уменьшением, сложные сечения необходимо вычерчивать в натуральную величину. Поковки сложной формы с размерами менее 50 мм рекомендуется изображать в масштабе 2:1, при этом наиболее сложные проекции желательно изобразить в масштабе 1:1.

Контуры детали на чертеже поковки следует вычерчивать штрихпунктирной или сплошной тонкой линией, наглядно показывающей наличие припусков и напусков. Размеры детали можно проставить в скобках под размерами поковки. На чертеже поковки поверхность разреза штампа изображают тонкой штрихпунктирной линией, которая обозначается на концах знаком: $\times$ — — — — — $\times$, а место отбора образцов для испытаний (проб) указывают тонкой сплошной линией.

Рекомендуется избегать простановки размеров от линии разреза, если она не совпадает с осевой. На чертеже поковки необходимо указать

черновые базы для обработки резанием и от них проставить размеры с допусками. Размерные линии для нанесения размеров поверхностей с уклонами проводят от вершин уклонов. Размеры поковки проставляют с учетом удобной проверки шаблонами размеров и формы поковки; простоты разметки поковки при контроле; удобной проверки припуска на чертеже. В рамке чертежа после названия детали под чертой в скобках указывается вид заготовки, т. е. (поковка).

Пример графического выполнения поковки втулки из стали 65 приведен на рис. 10.6.

В технических условиях, над основной надписью, указывают следующее: твердость поковки; смещение по линии разреза штампа; класс точности (Т), группу стали (М), степень сложности (С), исходный индекс в соответствии с ГОСТ 7505-89; виды внешних дефектов; отклонения по форме либо по расположению поверхностей; место и способ клеймения.

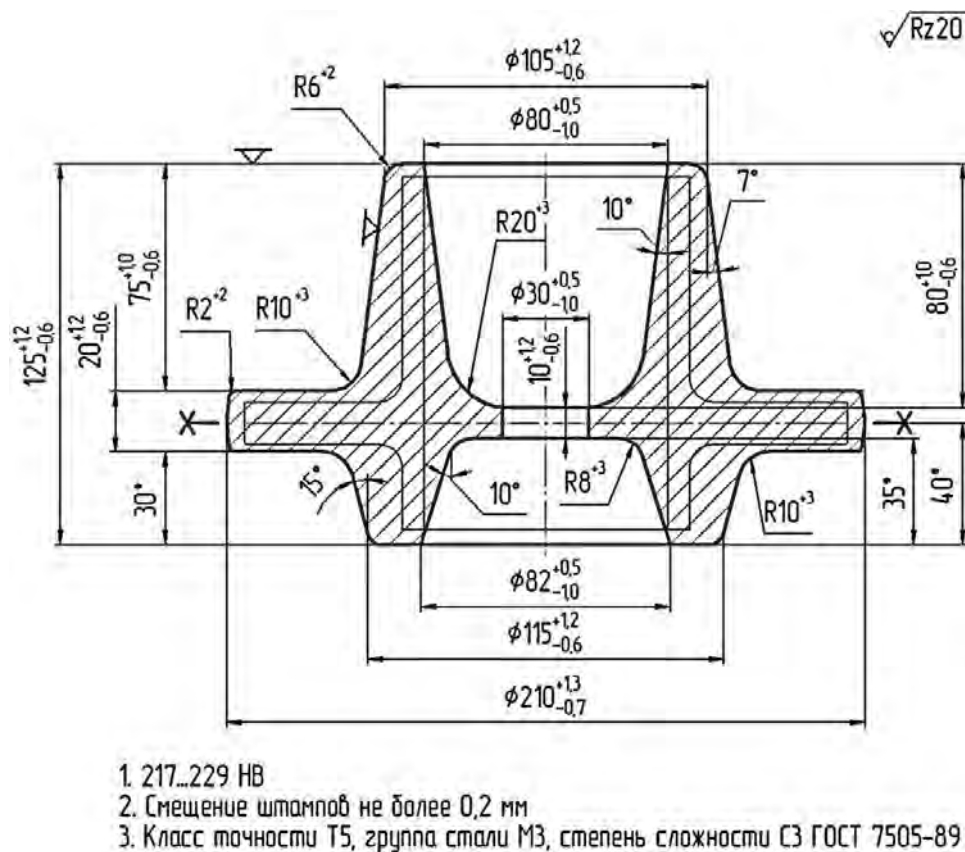


Рис. 10.6. Втулка (поковка)

Контрольные вопросы

1. Какие типы молотов применяют для штамповки?
2. Какие штампы используют для штамповки?
3. Какие ручки используют для штамповки на молотах?
4. Как производят выбор ручьев для штамповки на молотах?

11. ШТАМПОВКА НА КРИВОШИПНЫХ ГОРЯЧЕШТАМПОВОЧНЫХ ПРЕССАХ (КГШП) И ГОРИЗОНТАЛЬНО-КОВОЧНЫХ МАШИНАХ (ГКМ)

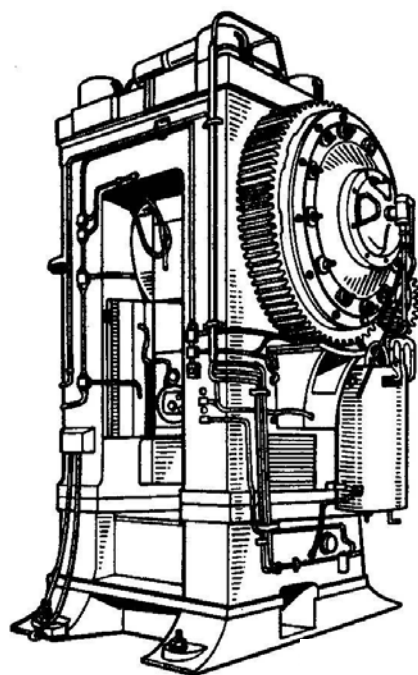
11.1. Устройство и особенности штамповки на КГШП

Кривошипные горячештамповочные прессы (КГШП) предназначены для горячей объемной штамповки поковок в открытых и закрытых штампах в массовом и крупносерийном производстве. КГШП изготавливают усилием 5...100 МН и относят к группе механических прессов, у которых рабочий орган (ползун) приводится в движение с помощью кривошипно-шатунного механизма. Для конструкции КГШП (рис. 11.1) характерно то, что все усилия, возникающие при штамповке, воспринимаются массивной станиной, на которой установлен электродвигатель 1, от которого через клиноременную передачу 2 вращается маховик 3, закрепленный на промежуточном валу 4. Вращение с вала 4 передается на зубчатую передачу 5. В паузах между рабочими ходами большая шестерня передачи 5 свободно вращается относительно кривошипного вала 7, удерживаемого тормозом 13. Во время паузы частота вращения маховика 3 возрастает до номинального значения. Для выполнения рабочего хода включают пневматическую муфту 6 и одновременно тормоз 13. Вращение с большой шестерни зубчатой передачи 5 передается на кривошипный вал 7, при этом шатун 8 перемещает вниз ползун 9 с верхней частью 10 штампа. Нижняя часть 11 штампа прикреплена к столу 12 с клиновой регулировкой высоты штамповочного пространства.

Для уравнивания ползуна на верху прессы установлены пневматические цилиндры, под поршни которых, связанные штоками с ползуном, непрерывно из цеховой магистрали подается сжатый воздух под давлением 0,6 МПа. Сжатый воздух поступает вначале в ресивер, а из него в расходный резервуар прессы и далее к пусковой педали, в уравнивающие цилиндры и воздухораспределитель, управляющий синхронно работой тормоза 13 и фрикционной муфты 6. При включении тормоза муфта отключается, и наоборот.

Скорость движения ползуна в момент соприкосновения верхней части штампа с заготовкой составляет 0,3...0,8 м/с, т. е. в несколько раз меньше скорости бабы паровоздушного штамповочного молота в момент удара.

а)



б)

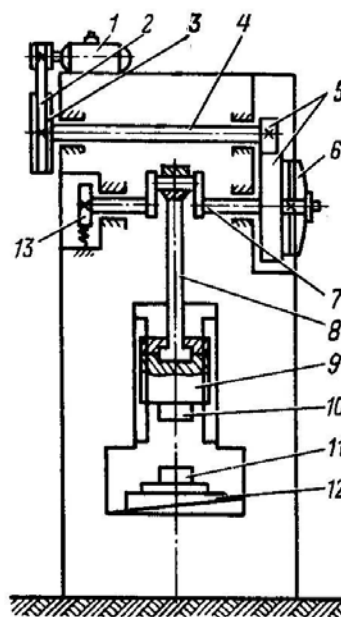


Рис. 11.1. Кривошипный горячештамповочный пресс

В каждом ручье штампа штамповка осуществляется за один ход, в то время как на молоте – за несколько ударов. Поэтому штамповка на прессе на 30...40 % производительнее, чем на штамповочных молотах. КГШП имеют примерно в два раза более высокий КПД, чем молоты, и не требуют громоздких шаботов и фундаментов; в сочетании с индукционным нагревом улучшают санитарно-гигиенические условия труда в цехе, уменьшают шум и сотрясение зданий.

Преимущества КГШП по сравнению с молотами:

- повышенная точность размеров получаемых на КГШП поковок из-за постоянства хода пресса и определенности нижнего положения ползуна, что позволяет уменьшить отклонения размеров поковок по высоте; поковки не контролируют на сдвиг, так как в конструкции пресса и штампа предусмотрено надежное направление ползуна в направляющих станины, а для точного совпадения верхней и нижней частей штампа – направляющие колонки и втулки;

- увеличенный коэффициент использования металла вследствие более совершенной конструкции штампов, снабженных верхним и нижним выталкивателями, что позволяет уменьшить штамповочные уклоны, припуски, напуски и допуски и тем самым приводит к экономии металла и сокращению объема последующей обработки поковок резанием;

- улучшенные условия труда вследствие меньших шумовых эффектов, вибраций и сотрясения почвы, чем при работе на молотах, и относи-

тельно спокойный безударный характер работы, что позволяет устанавливать КГШП в зданиях облегченной конструкции;

- возможность применения автоматических переключателей заготовок;
- более высокая производительность, например, в 1,4...2 раза при штамповке поковок шестерен, т. к. деформация на прессе в каждом ручье выполняется за один ход;
- более высокий КПД, достигающий 6...8 %; экономический (приведенный к энергии топлива) КПД пресса в 2...4 раза выше, чем у молота;
- снижение себестоимости продукции за счет снижения расхода металла и эксплуатационной стоимости.

К недостаткам КГШП и штамповки на этих прессах (по сравнению с молотами) относят:

- более высокую (в 3...4 раза) стоимость КГШП при сопоставимых мощностях КГШП и молота;
- возможность заклинивания и поломки прессов при крайнем нижнем положении ползуна, на вывод из которого затрачивается много времени;
- меньшая универсальность – из-за жесткого хода ползуна не применяют протяжку и подкатку заготовок;
- необходимость очистки заготовок перед штамповкой от окалины, т. к. деформация проходит за один ход пресса при плавном безударном нагружении и окалина может быть заштампована в поверхность поковки;
- необходимость применения большего числа ручьев при получении поковок сложной формы из-за худшего заполнения глубоких полостей;
- более сложные конструкции штампов и их регулирование.

11.2. Выбор КГШП

Для того чтобы выбрать пресс, рассчитывают необходимое усилие КГШП при штамповке. Расчет следует выполнять с максимально возможной точностью, т. к. при использовании пресса с недостаточным усилием может произойти авария, а при выборе пресса по завышенному усилию пресс будет использоваться нерационально. Алгоритм расчета приводится в [11].

Необходимое усилие пресса можно подобрать на основе данных табл. 11.1.

Табл. 11.1. Определение усилия штамповки на КГШП

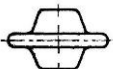
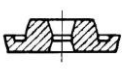
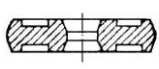
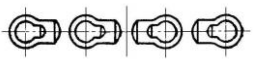
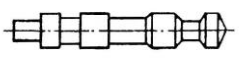
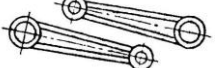
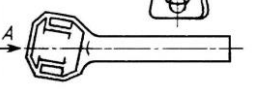
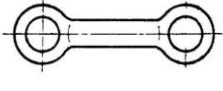
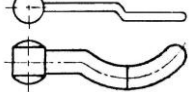
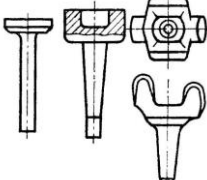
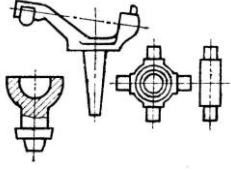
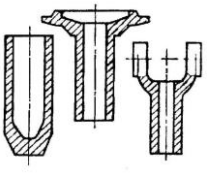
Масса поковки, кг	Усилие прессы, кН	Масса поковки, кг	Усилие прессы, кН
До 0,3	1000	2...10	5000...10000
0,4...1,5	1000...2000	5...25	10001...30000
1...3	2001...5000	10...90	30001...60000

11.3. Классификация поковок, штампуемых на КГШП

Поковки, штампуемые на КГШП, подразделяют:

- в зависимости от характера формоизменения и течения металла – на два класса: класс поковок, получаемых с преобладанием процесса осадки, и класс поковок, получаемых с преобладанием процесса выдавливания;
- в зависимости от конфигурации и сложности изготовления – на пять основных групп (табл. 11.2). Способы изготовления учитывают при выделении подгрупп поковок.

Табл. 11.2. Классификация поковок, штампуемых на КГШП [11]

Группа	Подгруппа		
	1	2	3
I			
II			
III			
IV			
V			

Группа I – осесимметричные поковки, изготавливаемые осадкой в торец или осадкой с одновременным выдавливанием, т. е. поковки круглые в плане или близкие к этой форме, в том числе квадратные и близкие к круглым и квадратным в плане, а также поковки с отростками. Поковки подгруппы 1 штампуют за один переход, подгрупп 2, 3 – соответственно за два и три перехода с применением осадочной площадки или заготовитель-

но-подготовительного ручья. Штамповку осуществляют в открытых и закрытых штампах.

Группа II – поковки удлиненной формы с небольшой разницей в площадях поперечных сечений. Штамповка осуществляется, как правило, без предварительной подготовки заготовок. Поковки подгруппы 1 штампуют за один переход, подгруппы 2 – за два. В поковках подгруппы 3 незначительную разницу поперечных сечений получают при спаривании поковок; подготовка заготовок, как правило, не требуется или же достаточно пережимного ручья; штамповку осуществляют за три перехода.

Группа III – поковки удлиненной формы со значительной разницей в площадях поперечных сечений. Для изготовления этих поковок необходимы заготовки, предварительно обработанные высадкой на ГKM или выдавливанием (подгруппа 1), вальцовкой на ковочных вальцах или вальцах поперечно-клиновой прокатки или на другом аналогичном оборудовании (подгруппа 2) и комбинированными процессами (подгруппа 3). Металл для отростков поковки может быть набран при местном выдавливании в предварительно-заготовительном ручье. При штамповке поковок с развилинами в предварительном ручье применяют рассекатели.

Группа IV – поковки с изогнутой осью. При изготовлении поковок подгруппы 1 применяют штампы с замком; подгруппы 2 – гибочные ручьи; подгруппы 3 – штампы с замком и гибочными ручьями. При штамповке особо сложных поковок с изогнутой осью заготовки часто получают на отдельном оборудовании, а в штампах, помимо гибочных, используют все виды ручьев, в том числе (при необходимости) и рассекатели.

Группа V – поковки, изготавливаемые выдавливанием. У поковок типа стержня с утолщением (подгруппа 1) стержневые элементы образуются выдавливанием металла в направлении оси поковки (прямым выдавливанием), а отдельные выступы – обратным выдавливанием (закрытой прошивкой). У поковок с утолщениями или отростками (подгруппа 2) выдавливание металла происходит в направлениях, перпендикулярных к оси поковки, причем выдавливание может быть и комбинированным, т. е. наряду с поперечным выдавливанием выполняют прямое. У поковок с глухой или сквозной полостью (подгруппа 3) полые элементы образуются выдавливанием металла в замкнутую кольцевую полость (заготовки могут быть сплошными, с отверстиями и из труб); при изготовлении поковок с полостями или выступами с двух сторон применяют разъемные матрицы и двустороннее движение пуансонов.

Некоторые поковки в зависимости от варианта штамповки можно отнести к различным группам, например, поковки сателлита, штампуемые по одной штуке, – к группе I, подгруппе 1 (рис. 11.2, а), а поковки, штампуемые из длинной заготовки (на несколько (3...6) штук), – к группе II,

подгруппе 1 (рис. 11.2, б); поковку типа фланцевой втулки (рис. 11.3) можно получить осадкой заготовки диаметром d (группа I поковок) или же выдавливанием стержня из заготовки диаметром D (группа V) и т. д.

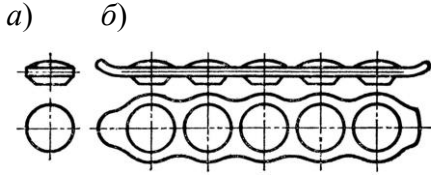


Рис. 11.2. Варианты схем штамповки поковки сателлита: а – по одной поковке; б – поковки соединены в цепочку

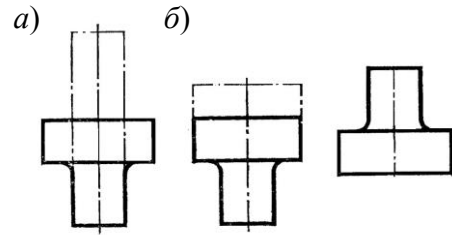


Рис. 11.3. Варианты штамповки фланцевой втулки: а – высадка; б – выдавливание

При штамповке на КГШП применяют: сортовой прокат – для поковок всех групп; профилированные заготовки – для поковок группы III (иногда группы IV); калиброванные заготовки – в отдельных случаях для штамповки в закрытых штампах; трубы – для поковок группы V подгруппы 3 [11].

11.4. Технология штамповки на КГШП

При штамповке на КГШП выбор плоскости разреза, определение размеров расчетной и исходной заготовок, разработка чертежа поковки, определение напусков, проектирование ручьев, выбор радиусов закруглений, соотношения размеров предварительного и окончательного ручьев, конструирование замков, литниковых канавок и выемок под клещевину (при необходимости) производятся так же, как и при штамповке на молотах (раздел 10). Припуски на механическую обработку и допуски на размер, штамповочные уклоны и профиль облойной канавки, основные размеры ручьев отличаются от принятых при штамповке на молотах.

Особенности штамповки в открытых штампах. Объем заготовки подсчитывается по формуле

$$V_{\text{зг}} = V_{\text{п}} + V_{\text{о}} + V_{\text{уг}}, \quad (11.1)$$

где $V_{\text{п}}$ – объем поковки; $V_{\text{уг}}$ – потери на угар; при нагреве в пламенных печах с окислительным нагревом составляют 2 % от массы (объема) поковки; для безокислительного нагрева при образовании окалины на пути от нагревателя к прессу потери на угар могут быть приняты равными

0,7...0,8 %; V_o – объем облоя (определяют по формулам [11]).

На рис. 11.4 приведены три типа облойных канавок.

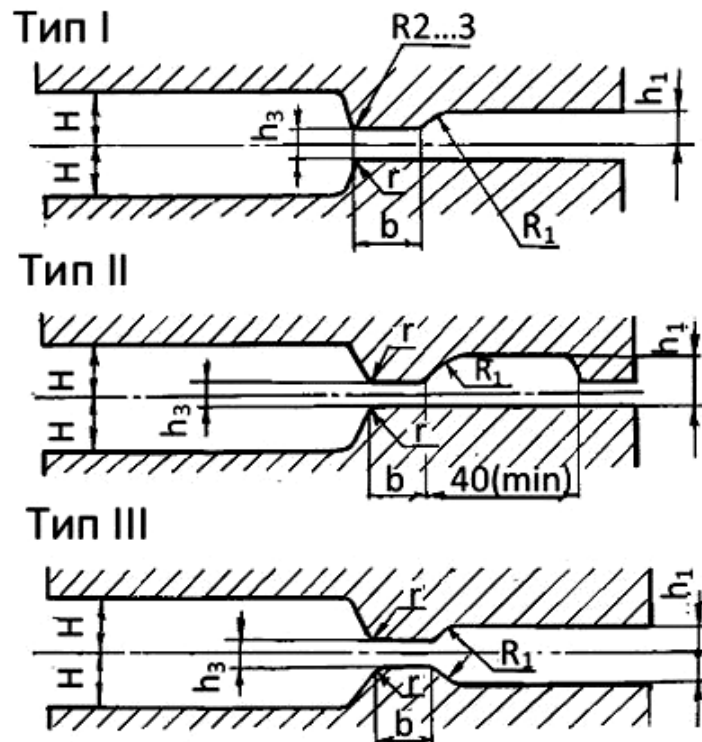


Рис. 11.4. Типы облойных канавок

Тип I – основной (наиболее распространен). Магазин канавки полностью открыт с одной стороны. Так как нижняя половина штампа прогревается быстрее верхней, то для увеличения стойкости штампа мостик (порог канавки) располагают в верхней части штампа.

Учитывая, что вытекание металла в облой начинается значительно раньше подхода ползуна прессы к нижнему положению, толщина металла, вытекшего в магазин, будет переменной (соответственно переменному зазору между частями штампа в зоне мостика при ходе ползуна прессы). При штамповке поковок избыточный металл, вытекая в магазин, изгибается в сторону мостика. Поэтому целесообразнее располагать мостик в окончательном ручье с той стороны поковки, на которую будет воздействовать пуансон обрезающего штампа.

Тип II – магазин канавки полузакрыт. Такие канавки применяют для уменьшения механической обработки, если кромка ручья отделена от края вставки.

Тип III – с двусторонним открытым магазином. Используют на участках ручья с избыточным выдавливанием металла в облой.

В штампах КГШП применяют ручки (и, соответственно, переходы):

осадочные, пережимные, гибочные, штамповочные заготовительно-предварительные, предварительные и окончательные, калибровочные, правочные; в отдельных случаях – обрезаемые и прошивные, иногда – подкатные.

При выборе ручьев и определении расположения поковки в ручье необходимо учитывать, что:

- заполнение верхнего и нижнего ручьев практически не зависит от их расположения и не меняется при перемене мест ручьев; однако, учитывая потери тепла при контакте заготовки с поверхностью ручья нижней части штампа, в ряде случаев целесообразнее при проектировании предусмотреть получение выступающих элементов поковки в верхней вставке, что облегчает также и удаление отштампованной поковки с пресса (поковка поднимается с ползуном пресса и выталкивается на лоток);

- в процессе деформирования металл, заполняя полости ручьев штампа, интенсивно течет в направлении разъема открытого штампа, где течению нет сопротивления, хотя зазор в разъеме и уменьшается постепенно; при этом наблюдается изменение направлений течения одних элементарных частиц и объемов заготовки относительно других, что может приводить к образованию складок, зажимов, прострелов; для предотвращения образования складок необходимо в зоне перехода от стенки ручья к перемычке увеличить радиус перехода, а также следить за тем, чтобы поверхность металла была чистой, без окалины; температура нагрева заготовки должна быть высокой, а нагрев равномерным;

- основное перемещение металла при деформировании происходит по вертикали, поэтому для хорошего заполнения высоких выступов поковки рекомендуется в предварительном ручье осуществлять набор металла одновременно с противоположной стороны требуемых выступов, для чего в предварительном ручье предусматривают ложные выступы, из которых в окончательном ручье металл перемещается в требуемые выступы для их хорошего заполнения;

- при наличии в поковке плавных переходов металл настолько хорошо заполняет все полости ручья, что фигуру поковки можно получить при первой штамповке; окончательный ручей в этом случае применяют только для отработки формы; необходимо учитывать, что проектирование поковки с плавными переходами, т. е. при значительных напусках, приводит к снижению коэффициента использования металла и увеличению обработки резанием; наиболее целесообразны плавные переходы в подготовительных ручьях;

- перемещение металла во внутренних полостях проходит без особых затруднений при наличии свободной полости для размещения избыточного металла (магазина); если магазин не предусмотрен, то избыточный

металл будет вытесняться в облой при окончательной штамповке, его течение будет крайне затрудненным и может послужить причиной образования зажимов или прострелов, поэтому для свободного выхода металла во внутренних полостях ручья штампа обязательны магазины (рис. 11.5).

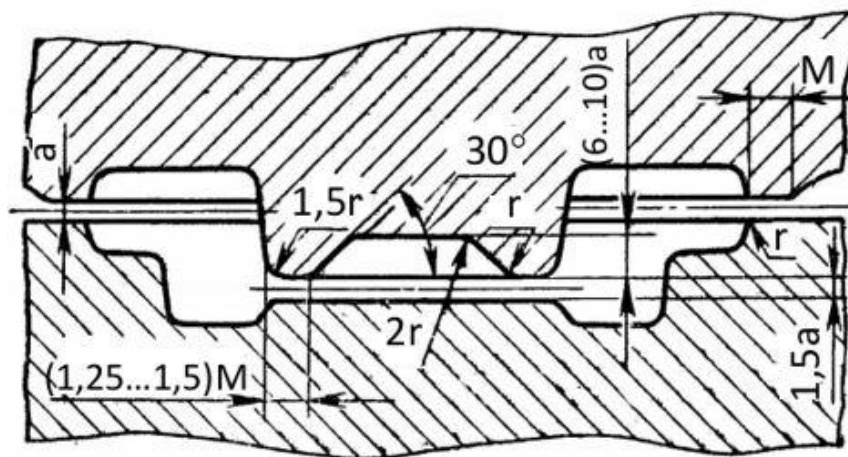


Рис. 11.5. Наметка с магазином

Особенности штамповки в закрытых штампах. Конструкция закрытого штампа не предусматривает в нем облойной щели и может содержать компенсационное устройство, исключаящее или уменьшающее вредное влияние изменения объема заготовок на состояние и качество готовых поковок и работу штамповочного оборудования и самого штампа. Закрытый штамп может применяться для окончательной штамповки поковок или предварительной штамповки заготовок, подвергаемых затем окончательной штамповке в открытом штампе. Пример поковки несложной формы, штампуемой в закрытых штампах, представлен на рис. 11.6.

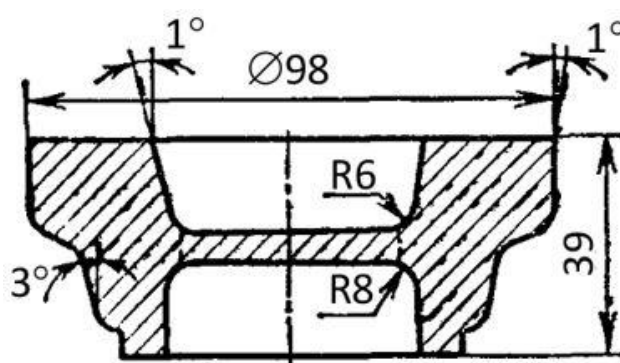


Рис. 11.6. Пример поковки, штампуемой в закрытых штампах

Основные схемы закрытого штампа с цельной и разъемной матрицами показаны на рис. 11.7.

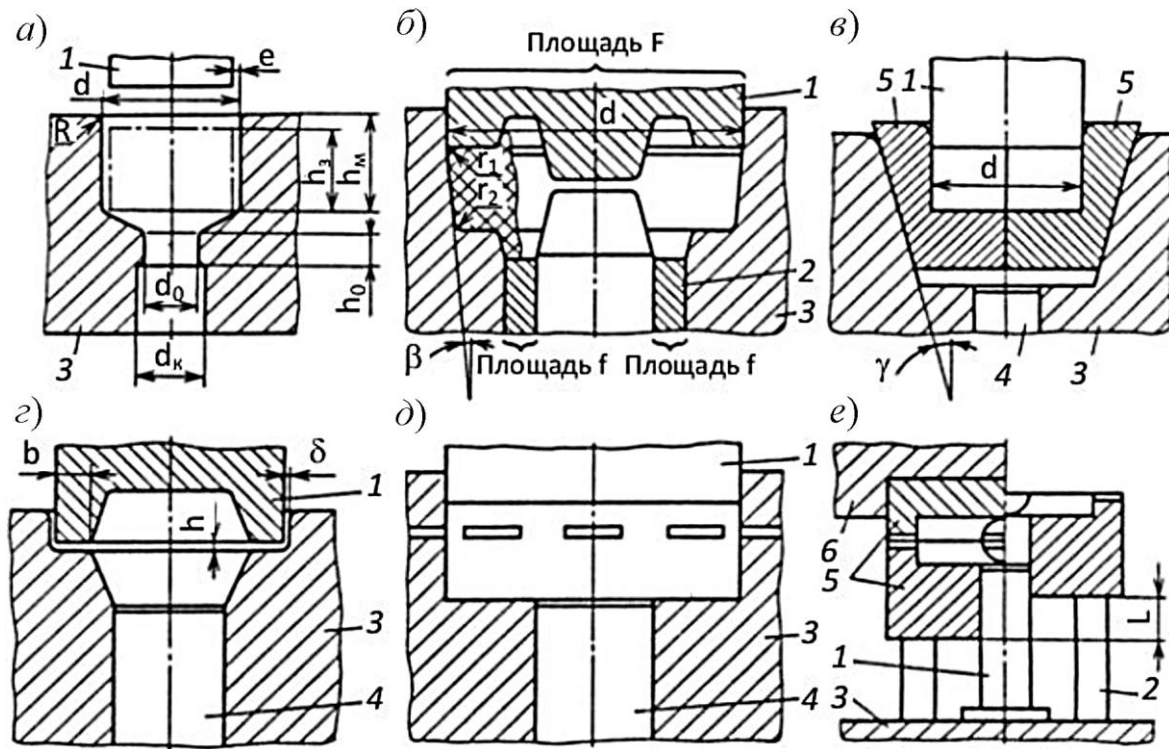


Рис. 11.7. Схемы закрытых штампов: *a* – для выдавливания (с компенсацией избытка металла за счет изменения длины выдавливаемого стержня на поковке); *б* – для безоблойной штамповки круглых поковок в закрытом штампе с противодавлением; *в* – для безоблойной штамповки в закрытом штампе с разъемной матрицей; *г* – для штамповки с ограниченным облоем; *д* – для безоблойной штамповки в штампе с размещением избытка металла в щелевых пазах матрицы (избыток металла в пазах отделяется от поковки в процессе ее выталкивания); *е* – для безоблойной штамповки в закрытом штампе с разъемной матрицей при размещении избытка металла в пазах, примыкающих к торцам поковки (крестовины); 1 – пуансон; 2 – противодавящий элемент; 3 – матрица; 4 – выталкиватель; 5 – секция разъемной матрицы; 6 – верхняя плита; 7 – нижняя плита; *F* – площадь давления; *f* – площадь противодавления

Преимущества штамповки в закрытых штампах, проявляющиеся при замене ею облойной штамповки, следующие: повышение коэффициента использования материала на 0,1...0,25 вследствие уменьшения расхода металла на одну поковку, в том числе за счет снижения массы поковки; увеличение производительности благодаря интенсификации формоизменения заготовки в штамповой полости закрытого штампа, целенаправленно используемой для уменьшения числа штамповочных операций и исключения обрезной операции; повышение точности диаметральных (поперечных) размеров поковки из-за отсутствия на ней следов от заусенца и уменьшения смещения одной части закрытого штампа (пуансона) относительно другой (матрицы); возможное снижение потребного усилия штамповки в результате уменьшения площади давления и (или) изменения положения в штампе заготовки (с продольного на торцовое).

Диаметр заготовки, помещаемой в штамповочный ручей, принимают на 0,5...2 мм меньше диаметра матрицы.

Объем заготовки подсчитывают по формуле

$$V_{зг} = V_{п} + V_{пм} + V_{з} + V_{уг}, \quad (11.2)$$

где $V_{пм}$ – объем перемычки; $V_{з}$ – объем заусенца.

Основные потери металла при штамповке в закрытых штампах: на угар, перемычку и заусенец.

При штамповке в закрытых штампах различают два типа компенсационных устройств для размещения избытка металла: открытые и закрытые. Открытое компенсационное устройство, являясь элементом штампового инструмента (матрицы или (и) пуансона), представляет собой полость, примыкающую к штамповой полости. Таким образом, открытую компенсационную полость предпочтительно располагать в местах, заполняющихся при штамповке в последнюю очередь. В ней избыток металла может размещаться в виде развернутого облоя с заусенцем (рис. 11.7, з), перемычки, образующейся в отверстии поковки, а также в виде увеличенного припуска на отдельном участке поверхности (как правило, на торце стержневого элемента) или в виде отростков на боковой поверхности поковки (рис. 11.7, д).

Закрытые компенсационные устройства имеют противодействующий элемент (рис. 11.7, б), который закрывает полость, примыкающую к штамповой полости в закрытом штампе; он может быть отжат под действием избытка металла, выдавливаемого за пределы штамповой полости при штамповке. В процессе отжатия противодействие может изменяться в зависимости от конструктивного исполнения противодействующего устройства. Это устройство создает в закрытом штампе определенный силовой режим и удаление из штамповой полости избытка металла в компенсационную полость без противодействия.

11.5. Разработка чертежа поковки, штампуемой на КГШП

Чертеж поковки, штампуемой на КГШП, составляют по тем же правилам, что и поковки, штампуемой на молоте. Припуски и допуски на поковки назначают в соответствии с ГОСТ 7505-89 (разделы 9, 10). При штамповке выдавливанием припуски обычно устанавливают только для шлифования.

Для поволоков с высокими ребрами, толстыми фланцами, при наличии в штампах выталкивателей целесообразно задавать малые штамповочные уклоны: $3...5^\circ$ – на внешних поверхностях поковки и 7° – на внутренних.

В результате этого значительно снижается масса поковки. Для низких поковок с тонкими фланцами, невысокими ребрами и ступцами изменение штамповочного уклона на $2...5^\circ$ существенно не влияет на экономию металла и штамповочные уклоны принимаются $5...7^\circ$.

Радиусы закруглений для поковок, штампуемых на КГШП, а также наметки отверстий и перемычек под прошивку устанавливают по той же методике, что и для поковок, штампуемых на молотах (ГОСТ 7505-89).

При штамповке на КГШП получают более точные по размерам поковки, чем при штамповке на молотах (рис. 11.8).

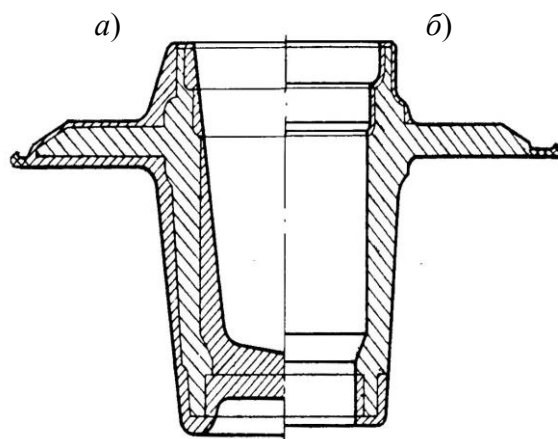


Рис. 11.8. Эскизы поковок одной и той же заготовки, отштампованных на молоте (а) и на КГШП (б)

Чертеж поковки, штампуемой на КГШП, оформляют в соответствии с правилами оформления чертежа молотовой поковки (раздел 10).

11.6. Устройство ГKM

Горизонтально-ковочные машины (ГKM) широко применяют в крупносерийном и массовом производстве для горячей штамповки из проката поковок, требующих технологических переходов высадки, прошивки, просечки, пережима заготовки, выдавливания, гибки и отрезки поковки от прутка. Поковки штампуют непосредственно из прутка или отдельных штучных заготовок с незначительными по величине облоем и штамповочными уклонами, а также без них с малыми припусками и допусками, что гарантирует существенную экономию металла. Штамп для ГKM имеет две взаимно перпендикулярные плоскости разъема матриц и пуансона, чем обеспечивается получение поковок более сложной формы, чем на молотах, штампы которых имеют одну плоскость разъема. ГKM изготавливают с усилием от 1 до 31,5 МН с числом ходов главного ползуна в минуту от 95 до 21 соответственно.

Общий вид ГKM показан на рис. 11.9. От электродвигателя 1 движение передается клиноременной передачей 2 на маховик 3, установленный на коленчатом валу машины. На этом же валу расположены фрикционная пневматическая муфта включения главного привода и ленточный тормоз 4. Кривошипно-шатунный механизм 5 сообщает возвратно-поступательное движение высадочному ползуну 6, который с помощью закрепленного на нем блока пуансонов 14 совершает работу деформации поковки. Кривошипно-рычажный механизм 7 от коленчатого вала приводит в действие механизм зажима машины. Затем движение передается на боковой ползун 8 и зажимной ползун 9, на который установлена подвижная матрица 13. Неподвижная матрица 12 находится на станине машины.

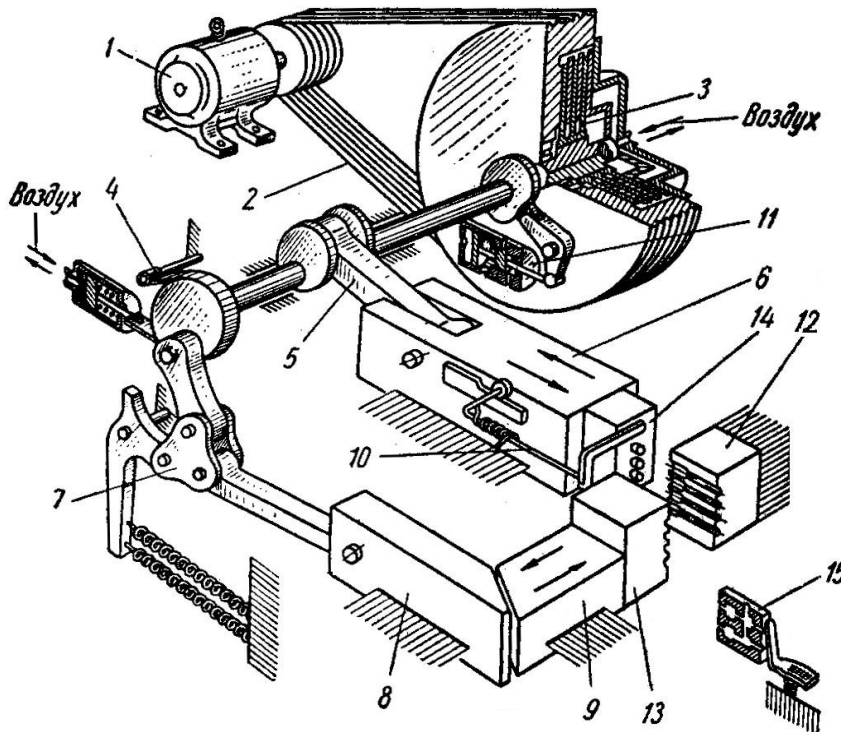


Рис. 11.9. Общий вид горизонтально-ковочной машины

Передний упор 10 заготовки приводится в движение от копира, установленного на высадочном ползуне, а воздухораспределитель 11 – от кулака, установленного на коленчатом валу. Управление машиной осуществляется при помощи пневматической педали 15.

Преимущества штамповки на ГKM:

– возможность получения специфичных для ГKM поковок, например, типа стержня с утолщениями различной формы (с большой длиной стержневой части), поковок с полостями и штампуемых из труб, которые на другом оборудовании трудно изготовить рационально;

- экономия металла и трудозатрат на механическую обработку ввиду широкого использования штамповки в закрытых штампах, а также незначительных (в ряде случаев полного отсутствия) штамповочных уклонов;
- возможность штамповки непосредственно от прутка, что позволяет регулировать объем деформируемого металла, снижает или исключает необходимость предварительной разделки заготовок;
- благоприятное волокнистое строение поковок, штампуемых в закрытых штампах;
- рациональное использование штамповой стали на основе широкого применения ручьевых вставок;
- безударные и относительно безопасные условия работы ГKM;
- относительно высокая производительность;
- возможность механизации и автоматизации.

Выбор ГKM производят исходя из определения необходимого усилия для штамповки [11]. Определив усилие, подбирают ГKM по каталогу. Если высота штампового пространства не позволяет разместить в штампе требуемое число ручьев, то выбирают по каталогу ближайшую большую машину, а иногда и следующую, т. е. через одну ступень.

11.7. Классификация поковок, штампуемых на ГKM

Поковки, изготавливаемые на ГKM, в зависимости от их формы и технологических особенностей штамповки можно подразделить на шесть групп (табл. 11.3).

Группа I. Поковки типа стержня с утолщением. Размеры поперечного сечения исходной заготовки сохраняются в стержневой части поковки неизменными. Формоизменение осуществляют высадкой. Кроме окончательного формовочного ручья, используют наборные, предварительные формовочные, обрезные и отрезные ручьи, а также зажимные, пережимные и подъемные элементы ручьев.

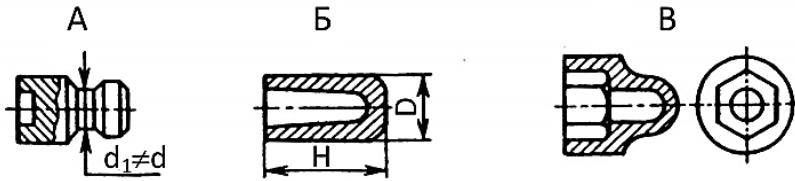
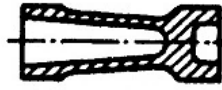
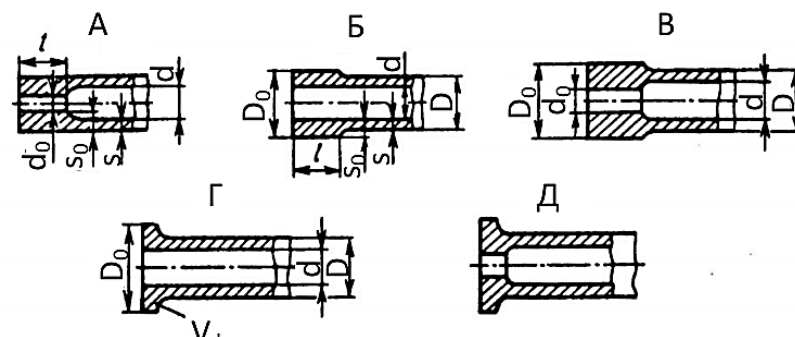
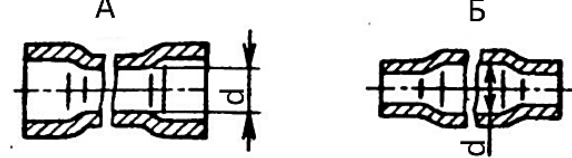
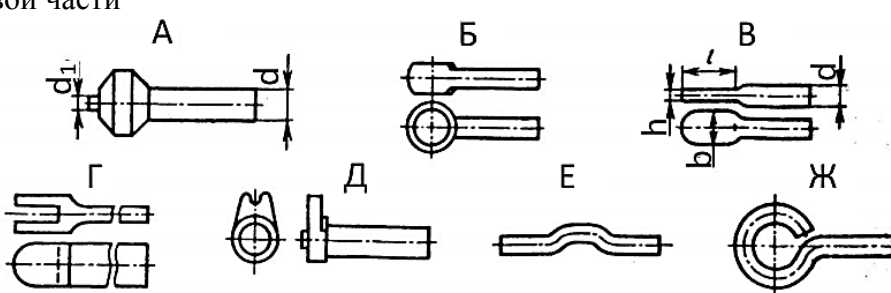
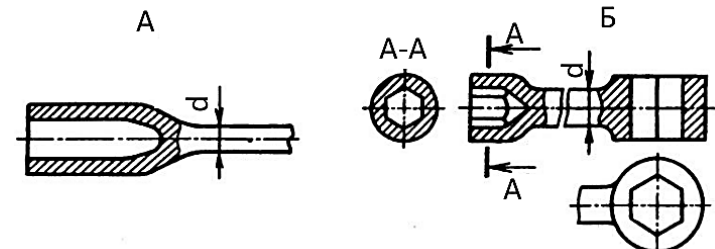
Группа II. Поковки типа колец и втулок. Размеры поперечного сечения, по сравнению с исходной заготовкой, изменяются на всех участках поковок. Формоизменение поковки осуществляется высадкой и прошивкой, а заканчивается операцией пробивки. Чаще всего поковки штампуют из прутковых заготовок с использованием переднего упора и отделением поковки от прутка при пробивке.

Помимо окончательного формовочного и пробивного ручьев, могут быть использованы наборные, предварительные формовочно-прошивные ручьи с зажимными, пережимными и подъемными элементами, а также обрезные ручьи.

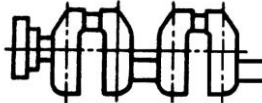
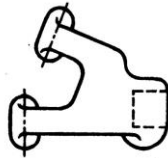
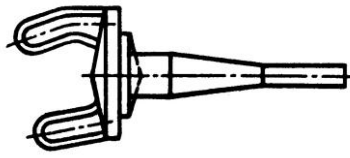
Табл. 11.3. Классификация поковок, штампуемых на ГКМ [19]

Группа	Подгруппа и тип поковок
1	2
I. Поковки типа стержня с утолщением	Подгруппа 1. Поковки с одним круглым или сложной формы утолщением на конце стержня
	Подгруппа 2. Поковки с двумя утолщениями, расположенными на концах стержня
	Подгруппа 3. Поковки с одним или несколькими утолщениями
II. Поковки типа колец и втулок	Подгруппа 1. Поковки типа колец ($H/D \leq 0,7$)
	Подгруппа 2. Поковки типа втулок ($H/D > 0,7$)
	Подгруппа 3. Поковки с отверстием, прошиваемым с двух сторон

Продолжение табл. 11.3

1	2
III. Поковки с полостями	Подгруппа 1. Поковки с односторонними полостями 
	Подгруппа 2. Поковки с двусторонним расположением полостей 
IV. Поковки, штампуемые из труб	Подгруппа 1. Поковки с утолщенной стенкой 
	Подгруппа 2. Поковки с примерно постоянной толщиной стенки 
V. Поковки смешанной формы	Подгруппа 1. Поковки с особой формой утолщения или стержневой части 
	Подгруппа 2. Поковки с полыми утолщениями на концах стержня 

Окончание табл. 11.3

VI. Поковки, которые необходимо дополнительно штамповать на ГКМ	Подгруппа 1. Поковки с концевыми утолщениями, высаженными на ГКМ
	
	Подгруппа 2. Поковки с полостями, прошитыми на ГКМ
	
	Подгруппа 3. Поковки с посаженными на ГКМ штамповочными уклонами или выполненными на ГКМ другими операциями формоизменения
	

Группа III. Поковки с полостями. По конфигурации наружных и внутренних поверхностей поковки этой группы аналогичны поковкам группы II. В технологическом отношении они отличаются от предыдущей группы отсутствием операции пробивки.

Формоизменение осуществляют высадкой и прошивкой. Помимо окончательного формовочного ручья, могут быть использованы наборные, предварительные формовочно-прошивочные, отрезные и обрезные ручьи с зажимными, пережимными и отрезными элементами.

Группа IV. Полые поковки, штампуемые из труб. К этой группе относят поковки, размеры поперечных сечений которых изменяются преимущественно на концевых участках трубы. Утолщения в средней части трубы получают так же, как у поковок группы I подгруппы 3.

Процесс обжатия трубы по наружному диаметру, особенно на неконцевых участках, целесообразнее проводить на радиально-обжимных и ротационно-обжимных машинах. Формоизменение поковки осуществляют высадкой и раздачей (или высадкой с раздачей), а также обжимом. Трубу фиксируют, как правило, по заднему упору. Рекомендуется проводить штамповку в два перехода. При большем числе ручьев необходим дополнительный нагрев трубы. Во всех технологических формоизменяющих переходах длина оправки должна быть больше длины деформируемого на этом переходе участка трубы.

Группа V. Поковки смешанной формы. Разнообразные по конфигурации поковки, в том числе с отрезками и развилками, с прямой и криволинейной осями, с глухими или сквозными отверстиями, ось которых может не совпадать с осью стержневой части поковки.

При изготовлении этих поволоков необходимы сочетания отдельных технологических операций, указанных для поволоков первых трех групп, а также дополнительных операций, ограниченно применяемых при штамповке на ГKM, – выдавливания, расплющивания, гибки, протяжки, волочения.

Группа VI. Поковки, которые необходимо дополнительно штамповать на ГKM. Поковки разнообразной формы, в которых перед обработкой на ГKM нужно получить базовые поверхности для позиционирования в штампах ГKM.

11.8. Штамповка заготовок на ГKM

На горизонтально-ковочных машинах штампуют в открытых и закрытых штампах. Типичным процессом на ГKM является многоручьевая высадка в закрытых двухразъемных штампах.

Основной признак штампов ГKM – наличие двух взаимно перпендикулярных разъемов (рис. 11.10). Главный разъем проходит между пуансоном, который закреплен в блоке 1 пуансонов, и разъемной матрицей, расположенной в блоках матриц – неподвижном 3 и подвижном 4. В начале процесса пуансон и обе половины матрицы разомкнуты (положение I). Пруток металла диаметром D_0 направляют в неподвижную часть матрицы до упора 2, положение которого отрегулировано для размещения в полости матрицы заданного участка прутка длиной L_0 . Затем включают машину на рабочий ход, при этом подвижные части штампов приходят в движение в следующем порядке. Прежде всего в рабочее положение устанавливается подвижная часть матрицы, находящаяся в блоке 4 (положение II). Это обеспечивает плотный зажим прутка на длине $L_{\text{зж}}$, после чего упор 2 отходит, а пуансон приходит в соприкосновение с прутком металла. При дальнейшем движении пуансона высаживается свободная длина L_0 прутка; при этом заготовка заполняет полость ручья (положение III).

При обратном ходе машины из полости матрицы удаляется пуансон с блоком 1, затем отходит блок 4 с частью матрицы, после чего устанавливается в исходное положение упор 2 и штамповщик может вынуть из ручья прутки с высаженным концом. Такой порядок движения частей инструмента обеспечивается кривошипной системой главного хода и кулачковой системой бокового хода машины (см. рис. 11.10).

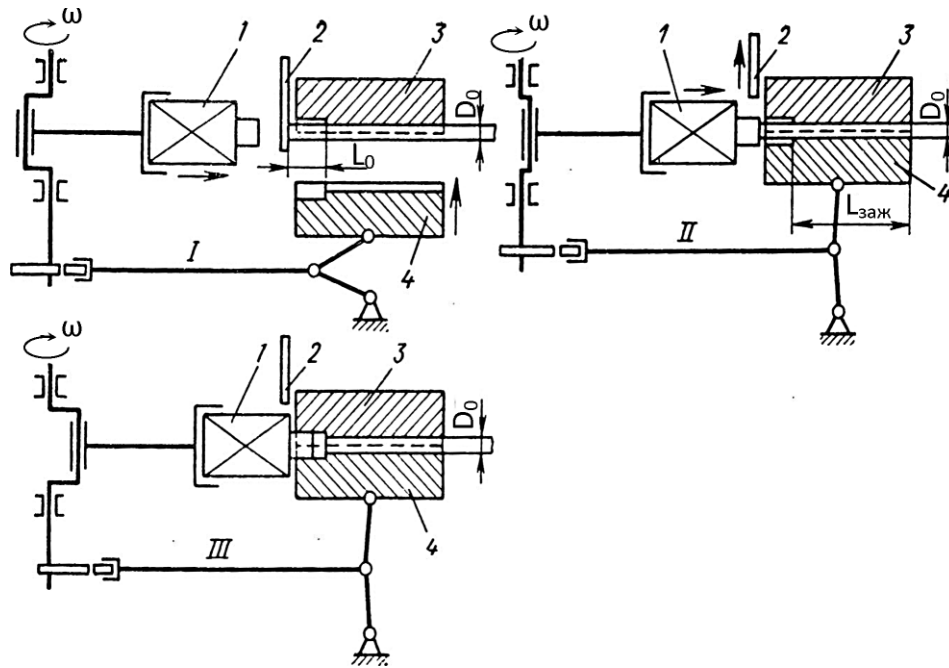


Рис. 11.10. Схема штамповки на ГKM (вид в плане)

На ГKM заготовки штампуют обычно в нескольких ручьях штампа, расположенных вертикально по высоте блоков. Высадочный штамп имеет два-три ручья и в исключительных случаях четыре-пять в зависимости от длины деформируемой части прутка и сложности конфигурации поковки.

Штамповка от прутка является наиболее целесообразным типовым процессом высадки без предварительной разделки прутков на заготовки. На горизонтально-ковочных машинах штампуют мерные заготовки с упором заднего конца (задним упором). Наличие разъема в матрице позволяет не применять штамповочные уклоны на стенках ее полости в тех случаях, когда глухая полость ручья попадает в разъем. Высаженные поковки со сквозными отверстиями можно получить без отходов на перемычку. Точность высаженных поковок более высокая, чем, например, точность поковок при штамповке на молотах, за счет лучшего направления движущихся частей штампов и постоянства величины хода горизонтально-ковочных машин. Штампы с пространственным разъемом позволяют получать поковки таких форм, которые невозможны в рассмотренных ранее штампах.

11.9. Ручьи штампов ГKM

Ручьи штампов горизонтально-ковочных машин подразделяют на *подготовительные* и *окончательные*. Форма окончательных ручьев обуславливается формой поковки, заданной чертежом.

При продольной штамповке на ГKM предварительные операции заключаются в осадке и формовке заготовки главным образом для придания

ей устойчивости при обработке в последующих ручьях. Штамповка на горизонтально-ковочных машинах характеризуется большей устойчивостью заготовок из-за более плотного их зажима, чем у свободно осаживаемых заготовок на молотах и прессах.

Формовочные ручьи. В зависимости от объема поковки и выбранного диаметра исходного прутка формировать можно непосредственно от прутка (при $L_0 \leq n'D_0$) или после предварительного набора металла (при $L_0 > n'D_0$). Здесь n' – коэффициент однопереходной высадки, т. е. отношение длины высадки за один ход машины L_0 к диаметру прутка D_0 . Предельное значение $n' = L_0 / D_0 \leq 2,5$. Чем сложнее конфигурация поковки, тем больше операций нужно для ее формовки. Формуют в матрице (рис. 11.11, а), в пуансоне (рис. 11.11, б) или частично в матрице и пуансоне (см. рис. 11.11, в).

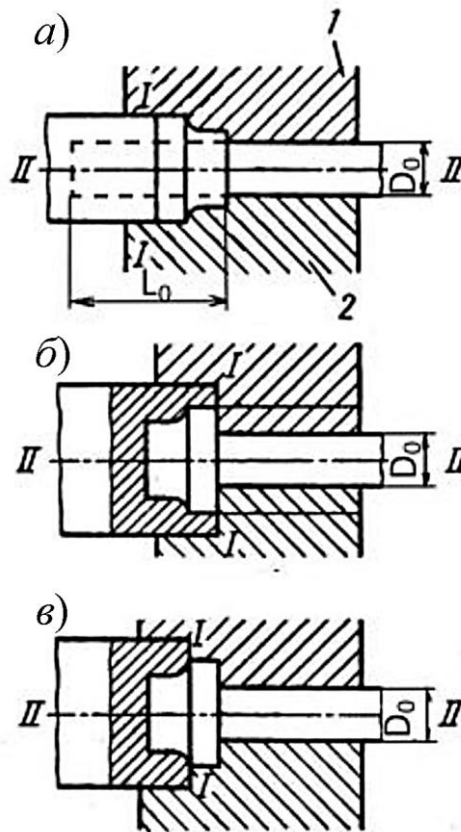


Рис. 11.11. Схемы расположения поковки в штампах (горизонтальный разрез штампов (вид сверху)): 1 – неподвижная часть матрицы; 2 – подвижная часть матрицы

Положение главной плоскости разъема на рис. 11.11 обозначено линией $I-I$, а дополнительной плоскости разъема, проходящей через матрицу, – линией $II-II$. Формовка в разъемной матрице (см. рис. 11.11, а) позволяет штамповать без уклонов. Однако получаемая при этом точность меньше, чем при штамповке в пуансоне (см. рис. 11.11, б), т. к. смещение

частей матрицы относительно друг друга приводит к искажению формы поковки.

Формовка в пуансоне обеспечивает полное соответствие формы поковки и полости, но при этом необходимы штамповочные уклоны ($1 \dots 2^\circ$), приводящие к напускам металла.

В зависимости от необходимой точности отдельных размеров и формы поковок применяют то или иное расположение полости. На рис. 11.11, *а* показана штамповка в закрытом штампе, а на рис. 11.11, *б, в* – в штампе открытого типа.

В отдельных случаях формовка сопровождается только высадкой металла (рис. 11.12, *а*), высадкой и прошивкой с образованием глухой полости (рис. 11.12, *б*) и высадкой с выдавливанием (рис. 11.12, *в*) с образованием в полости пуансона выступа, диаметр которого меньше диаметра исходного прутка ($d_b < D_0$).

Если форма поковки требует того, чтобы высадка (набор или формовка) осуществлялась на некотором расстоянии l от конца прутка, то для недеформируемой части прутка предусматривают в пуансоне соответствующую полость А (рис. 11.12, *з*).

Если необходимо высаживать прутки на большом расстоянии от его конца, то деформируемая часть прутка не может быть размещена в пуансоне. В этих случаях применяют скользящие матрицы (рис. 11.13). Задние части блоков матриц 3 и 4 зажимают прутки силой N_1 на длине $L_{\text{зж}}$. В передних частях этих блоков размещают скользящие ползушки 1 и 5 с полостями матриц и дополнительным зажимным ручьем на участке $L'_{\text{зж}}$. Таким образом, прутки оказываются зажатыми по обе стороны участка L_1 , подлежащего высадке. При нажатии пуансона *б* на прутки или на скользящие части матриц они перемещаются на величину l ; при этом происходит деформация на участке прутка L_1 . При обратном ходе пуансона после разжатия матриц скользящие их части возвращаются в исходное положение с помощью пружин 2. Одновременно с высадкой в скользящих матрицах можно высаживать на конце прутка (на длине L_2).

Прошивные ручки. Назначение прошивки состоит в образовании полостей у поковок с глухими или сквозными отверстиями. Прошивка называется глубокой, если глубина прошиваемой полости значительно больше диаметра заготовки. Для глубокой прошивки применяют пуансоны различной формы в зависимости от требуемой формы дна полости поковки, вида последующей операции и соотношения размеров заготовки ($L_0 : D_0$).

Прошивку выполняют при $d_n : D_0 \leq 0,75$. На практике принимают $d_n : D_0 \leq 0,5 \dots 0,6$. При $d_n = 20$ мм не обеспечивается достаточная стойкость пуансона из-за быстрого его разогрева.

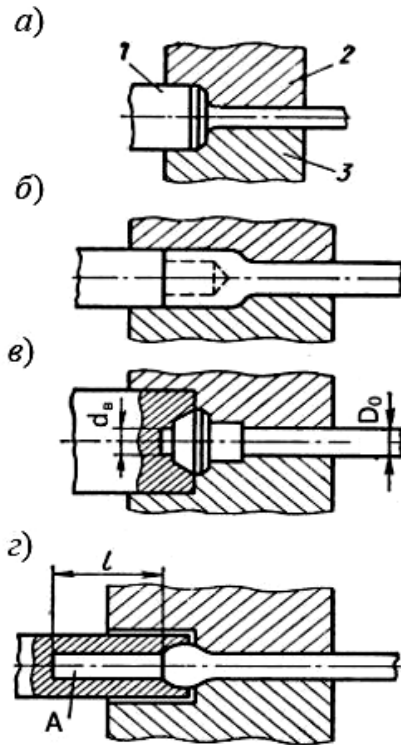


Рис. 11.12. Схемы высадки:
1 – пуансон; 2 – неподвижная и 3 – подвижная
части матрицы

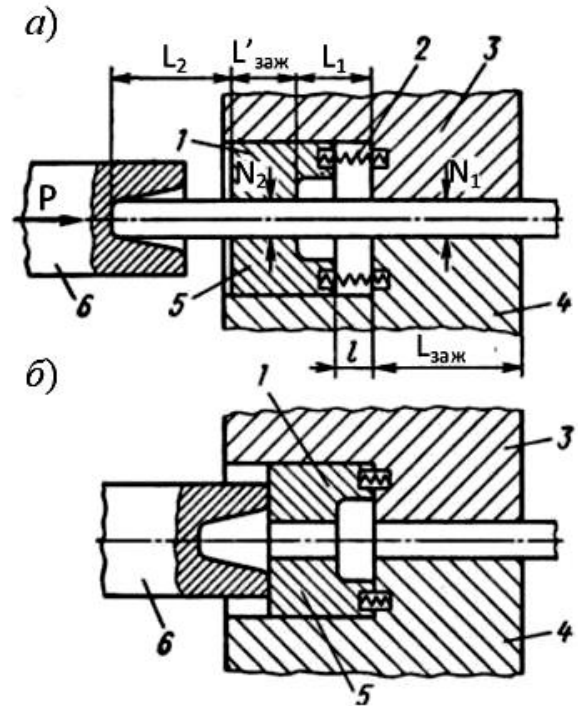


Рис. 11.13. Схемы высадки в
скользящих матрицах: а – начальная;
б – конечная стадия (разрез (вид сверху))

Осадка при прошивке более вероятна в начале процесса. Чем больше $d_n : D_0$ и $L_0 : D_0$, тем более вероятна осадка при прошивке. При $L_0 : D_0 > 3$ происходит продольный изгиб заготовки.

Если поковка должна быть с очень тонкими стенками, а отношение $L_0 : D_0$ значительно меньше 3, то заготовку, прошитую в обычных условиях, протягивают сквозь кольцо (рис. 11.14, а) или применяют прямое выдавливание (рис. 11.14, б) в одном из ручьев горизонтально-ковочной машины.

Пробивной ручей. Для поковок со сквозными отверстиями после формовки или глубокой прошивки полости необходима пробивка донной части в пробивном ручье (рис. 11.15, а), в котором прутки свободно размещены в матрице, упираясь высаженной частью в нож с режущей кромкой 1. Поковка установлена в соответствующей полости штампа матрицы, которая направляет пуансон с плоским торцом и режущей кромкой 2. В начале просечки под действием силы P пуансон сминает все увеличивающийся по мере своего продвижения кольцевой слой металла. В некоторый момент сопротивление срезу по кольцу высотой h_b и диаметром d_0 становится меньше сопротивления смятию металла и происходит пробивка поковки.

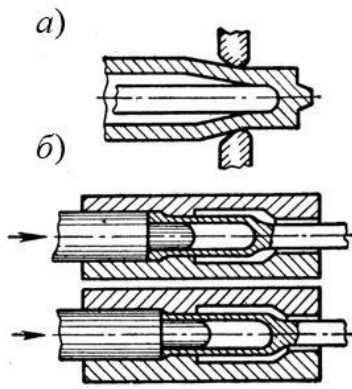


Рис. 11.14. Способы утонения стенок прошитых заготовок

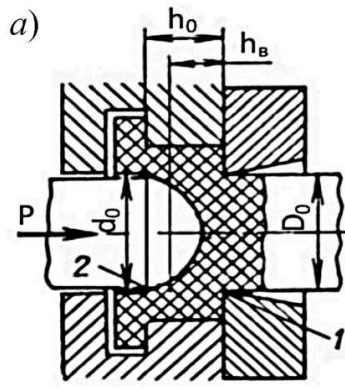
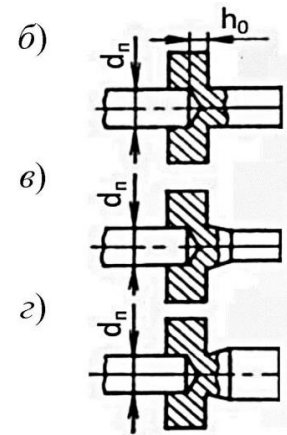


Рис. 11.15. Удаление дна поковок и варианты этой операции (вид сверху)



Для нормальной пробивки поковок (рис. 11.15, б) необходимо, чтобы диаметр прутка D'_0 был меньше диаметра полости d_n на величину нормального зазора при резке металла ножами ($\sim 5\%$ от h_0). На практике не всегда удается выдержать это соотношение, в связи с чем прибегают к следующим приемам. Если формировать удобно из прутка меньшего диаметра, чем диаметр полости ($D''_0 < d_n$), то применяют формовку с утолщением прутка (рис. 11.15, в). Если необходимо штамповать поковку из прутка большего диаметра, чем диаметр полости ($D''_0 > d_n$), то применяют пережим прутка (рис. 11.15, г). Для заполнения радиусов полости штампа размер h_0 стараются получить по возможности небольшим, что также уменьшает усилие пробивки.

Обрезной ручей. Если штампуют на горизонтально-ковочных машинах в открытом штампе, то для заполнения ручья допускается образование облоя. Облой обрезают в одном из ручьев штампа. Объем облоя, получающегося при штамповке от прутка, меньше, чем при штамповке мерных заготовок, за счет более значительного выдавливания металла в зажимной ручей. В штампах горизонтально-ковочных машин специальных канавок из-за малого объема облоя не применяют. Образующийся плоский облой удаляют в обрезном ручье, конструкция которого такая же, что и у обычного обрезного инструмента. *Ручьи для трубных заготовок.* Горизонтально-ковочные машины удобны для обработки труб, особенно большой длины, когда высадка является единственно возможным способом получения фланцев и утолщений на конце труб. На практике широко применяют высадку труб для большого числа разнообразных трубных поковок (рис. 11.16). Внутренний и наружный диаметры трубы (рис. 11.16, а) можно увеличить за счет утонения трубы и без него. При необходимости можно получить фланец (рис. 11.16, б), утолщение внутрь (рис. 11.16, в),

а также утолщение, выступающее наружу и внутрь трубы (рис. 11.16, з). Инженер А. Н. Дунаев экспериментально установил допустимые соотношения размеров трубных заготовок, которые могут быть использованы при расчете переходов высадки труб [22].

Уменьшать внутренний и увеличивать наружный диаметры трубы можно одновременно. Однако последовательная высадка (сначала внутрь, а затем снаружи (см. рис. 11.16, з)) протекает в более благоприятных условиях. При необходимости конец трубы можно высаживать и в коническом пуансоне (рис. 11.16, д).

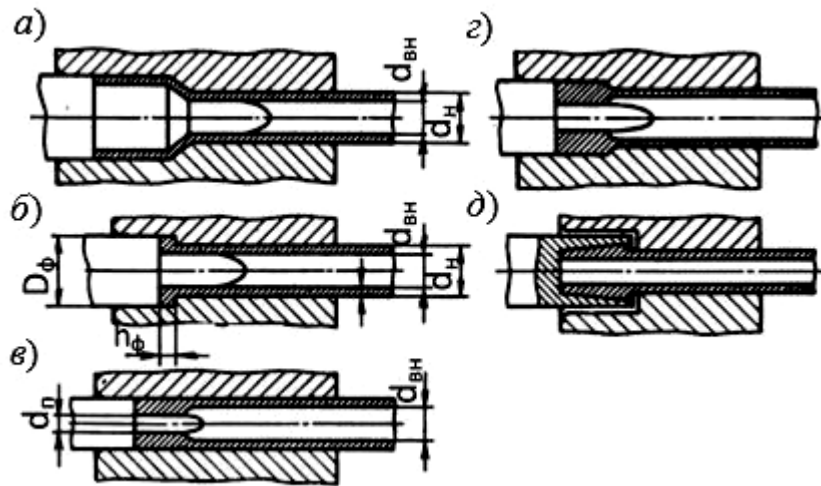


Рис. 11.16. Высадка трубных заготовок

11.10. Ручьи для операций, совершаемых подвижной матрицей

В вышеописанных ручьях деформации происходили силой основного кривошипного механизма машины. У горизонтально-ковочных машин деформации осуществляются также силой, развиваемой при боковом ходе подвижной матрицы. Рассмотрим соответствующие ручьи.

Пережимной ручей. Для уменьшения в каком-либо месте поперечного сечения заготовки (например, для обеспечения нормальных условий просечки поковок (см. рис. 11.15, з)) служит пережимной ручей. Прутки пережимают боковым перемещением пережимных матриц. Механизм бокового хода горизонтально-ковочных машин может быть использован только для сравнительно небольших деформаций, которые достаточны для пережима прутков. Во избежание вытеснения металла между вставками пережимных матриц и последующего образования зажимов на поковках допускается пережим с круга на круг за один ход машины не более чем на

5 % по диаметру. Большой пережим осуществляют в двух или трех ручьях с кантовкой прутка на 90° .

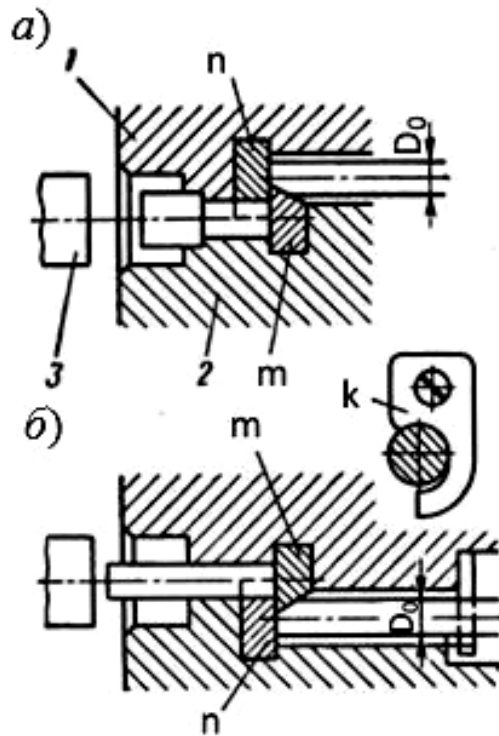


Рис. 11.17. Отрезной ручей: 1 – левая и 2 – правая части матрицы; 3 – пуансон

Отрезной ручей. Поковки без отверстий могут быть отделены от прутка ножами, действующими от бокового хода. Существуют две разновидности конструкции отрезных ручьев (рис. 11.17). В одном случае (рис. 11.17, а) ножи *n* и *m* расположены так, что поковка (или часть прутка для высадки) остается неподвижной, а пруток сдвигается под действием ножа *m*, установленного на левом подвижном блоке матриц. В другом случае (рис. 11.17, б) поковка (или часть прутка для высадки) сдвигается относительно неподвижного прутка с помощью ножа *n*, укрепленного на подвижной матрице. Во избежание смещения конца прутка при его разрезке устанавливают скобу *k*, которая поддерживает пруток в нужном положении.

Ручей для плющения. При необходимости боковой ход машины можно использовать для расплющивания высаженных головок, а также получать углубления, ось которых перпендикулярна оси прутка. При деформации поковки с боковым ходом следует иметь в виду сравнительно небольшую длину полезного хода и небольшое усилие. Этот ход горизонтальноковочных машин даже большой мощности составляет не более 10...15 мм при усилии, не превышающем 30 % от номинального, развиваемого машиной на пуансоне в конце рабочего хода.

Гибочный ручей. На горизонтально-ковочных машинах можно выполнять гибочные операции. Однако гибка не является типичной операцией для горизонтально-ковочных машин и бывает необходима при получении несимметричных головок для предварительного перераспределения металла или изгиба заготовки в соответствии с требуемой формой поковки. Изгибают с помощью поперечного или главного ползуна машины.

Зажимные ручки. Зажимные ручки, в отличие от всех других, предназначены не для деформации прутка, а для его удержания при высадке.

На практике применяют гладкие зажимные ручки или рифленые.

11.11. Рекомендации по разработке чертежа поковки, штампуемой на ГKM

Чертеж штампованной поковки составляется по чертежу детали с учетом особенностей штамповки на ГKM. При этом во внимание принимают рекомендации, приведенные в разделах 9, 10.

Припуски и допуски определяют в соответствии с ГОСТ 7505-89, т. е. с учетом в основном тех же факторов, что и при штамповке на молотах и прессах. После расчета припусков, допусков и назначения напусков уточняют массу и степень сложности поковки. Если полученные величины оказываются вне интервалов величин, принятых при расчете припусков, допусков и радиусов, то проводится дополнительный расчет для новых интервалов, которым соответствуют найденные масса и степень сложности.

В соответствии с ГОСТ 7505-89 в массу поковки должна входить часть стержня, зажимаемого штампами. Это указание относится к поковкам со стержневой частью групп I и V, которые штампуют от переднего упора с отделением от прутка при ходе подвижной матрицы ГKM. Длина стержневой части поковки, зажимаемой матрицами, в данном случае равна длине стержня, который не подвергался деформации в процессе высадки, и отделяется от прутка согласно конфигурации поковки. В отдельных случаях фактически длина прутка, необходимая для удержания поковки в зажимных матрицах, может отличаться от отделяемой от прутка длины стержня поковки.

При изготовлении поковок групп I и V (в том числе с двусторонней высадкой) или поковок, у которых стержень не подвергается деформации, припуски устанавливают с учетом допусков по длине стержней, выходящих за пределы штампов и не подвергающихся деформации.

Максимальные значения *штамповочных уклонов* оговорены ГОСТ 7505-89. Штамповочные уклоны поверхностей поковок, параллельных и перпендикулярных перемещению ползуна, можно определить согласно [11]. Там же находят и *радиусы закруглений* внешних и внутренних

углов на наружном и внутреннем контурах поковки.

Допускаемые отклонения формы поковки (торцевой части стержня, смещение по поверхности разъема, ступенчатость, кривизна, неперпендикулярность, разнотолщинность, овальность, разностенность, поверхностные дефекты) определяют согласно [11] и ГОСТ 7505-89.

Контрольные вопросы

1. Преимущества и недостатки штамповки на КГШП.
2. Как производят штамповку в открытых и закрытых штампах на КГШП?
3. Классификация поковок, штампуемых на КГШП.
4. Какие преимущества и недостатки имеет штамповка на ГКМ?
5. Какие штампы и штамповочные ручки применяют при штамповке на ГКМ?
6. Классификация поковок, штампуемых на ГКМ.

12. ШТАМПОВКА НА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И ВИНТОВЫХ ПРЕССАХ

12.1. Устройство и особенности гидравлических штамповочных прессов

На гидравлических штамповочных прессах штампуют поковки из легких сплавов и стали в условиях массового производства. Такие прессы рассчитаны на усилие до 750 МН, обычно их оборудуют выталкивателями поковок и выдвижными столами с гидравлическим приводом для удобства смены штампов мостовым краном. Особенности гидравлических прессов являются:

1) создание самых больших, по сравнению с другими видами прессов, деформирующих сил, что позволяет штамповать крупные поковки, которые невозможно получить на другом оборудовании из-за его недостаточной мощности;

2) большой рабочий ход ползуна при обеспечении номинального усилия пресса на протяжении всего рабочего хода, что положительно сказывается, например, при глубокой прошивке поковок;

3) рабочий ход ползуна прессов осуществляется при очень небольшой (0,15...0,2 м/с), но постоянной скорости, что позволяет штамповать заготовки из малопластичных металлов, не допускающих больших скоростей деформации (титановые сплавы, некоторые жаропрочные стали и сплавы).

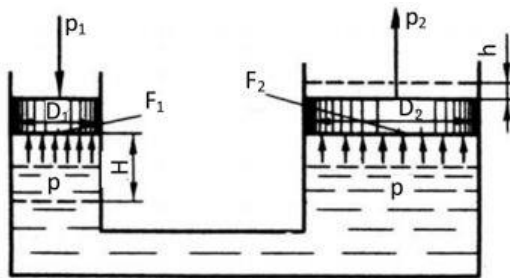


Рис. 12.1. Принцип действия гидравлического пресса: H и h – ходы плунжеров насоса и рабочего цилиндра соответственно

Действие гидравлических прессов основано на использовании закона Паскаля (давление, производимое на жидкость внешними силами, передается ею по всем направлениям одинаково). На рис. 12.1 изображены два сообщающихся сосуда, заполненных жидкостью. Если на плунзун площадью F_1 подействовать небольшим усилием p_1 , то можно создать большое усилие p_2 , с которым плунзун площадью F_2 будет воздействовать на штамп, деформирующий обрабатываемую заготовку. Согласно закону Паскаля, давление в жидкости в обоих цилиндрах одинаковое:

$$p = p_1 / F_1 = p_2 / F_2, \quad (12.1)$$

где F_1 , F_2 – площадь ползуна один и два соответственно; p_1 , p_2 – усилие на

ползуне один и два.

В зависимости от технологического назначения штамповочные гидравлические прессы могут иметь один или несколько рабочих цилиндров, колонную, как у ковочных прессов, или рамную конструкцию, особенностью которой является то, что рабочие цилиндры расположены внизу прессы ниже уровня пола цеха для уменьшения его строительной высоты.

Мощные штамповочные гидравлические прессы строят, как правило, с насосно-аккумуляторным, а большинство остальных – с индивидуальным насосным безаккумуляторным приводами.

Одним из новых направлений в прессостроении явилось создание многоплунжерных гидравлических прессов для многополостной объемной штамповки из стали и цветных металлов сложных поковок (тройников, крестовин, фасонных корпусов) в разъемных матрицах.

Выбор гидравлического прессы для штамповки заготовок производят исходя из определения необходимого усилия штамповки [11].

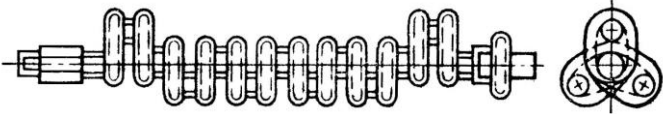
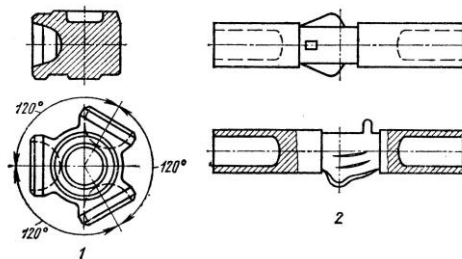
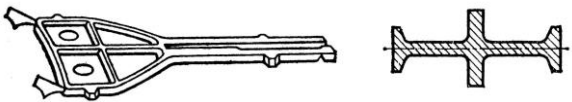
12.2. Классификация поковок, штампуемых на гидравлических прессах

Все поковки, штампуемые на гидравлических прессах, в зависимости от применяемых для их изготовления операций подразделяют на группы (табл. 12.1).

Табл. 12.1. Классификация поковок, штампуемых на гидравлических прессах [11]

Группа поковок	Поковка
1	2
I. Поковки типа стаканов с гладкими стенками или сложной формы с глухими или сквозными отверстиями (корпусы снарядов, гильзы, втулки, муфты, цилиндры и т. п.)	
II. Поковки типа дисков (невысокие чашки и втулки с фланцами, роторы турбин, диафрагмы и т. п.)	

Окончание табл. 12.1

1	2
III. Поковки с вытянутой осью (коленчатые валы и т. п.)	
IV. Поковки типа крестовин (втулка авиационного винта и т. п.)	
V. Поковки типа панелей	

Поковки группы I получают обратным выдавливанием с последующей вытяжкой с утонением стенки; группы II – осадкой и выдавливанием в открытых и закрытых секционных штампах; группы III – гибкой с высадкой в сложных секционных и раздвижных штампах. Комбинированной штамповкой в разъемных штампах получают поковки IV группы, а поковки группы V штампуют в блочных и секционных штампах.

12.3. Штампы гидравлических прессов и операции штамповки

Штампы гидравлических прессов подразделяют: по методу штамповки – на открытые и закрытые; по числу поверхностей разъема – с одной, двумя или несколькими поверхностями разъема; по монтажному признаку – на блочные и сборные; по назначению и конструкции – для выдавливания, вытяжки, двухручьевые, комбинированные и т. п. [11].

На гидравлических прессах выполняют следующие операции: выдавливание обратное (прошивка в закрытой матрице), прямое (прессование) и боковое; вытяжку с утонением стенки (протяжку); осадку в закрытой матрице и высадку; гибку; штамповку в открытых и закрытых штампах. Все эти операции могут производиться в любых сочетаниях друг с другом (комбинированная штамповка).

Рассмотрим некоторые из операций, осуществляемых на гидравлических прессах.

Штамповка поковки корпуса типа стакана (группа I) (см. табл. 12.1) осуществляется за два перехода: обратное выдавливание и вытяжка с утонением стенки. Заготовку 1 устанавливают вертикально в матрицу 2 с конической полостью и поддерживают в ней с помощью центрирующего кольца 3 (рис. 12.2, а). При движении пуансона 4 вниз происходит формообразование полости, затем заготовка выталкивается из матрицы с помощью выталкивателя 5.

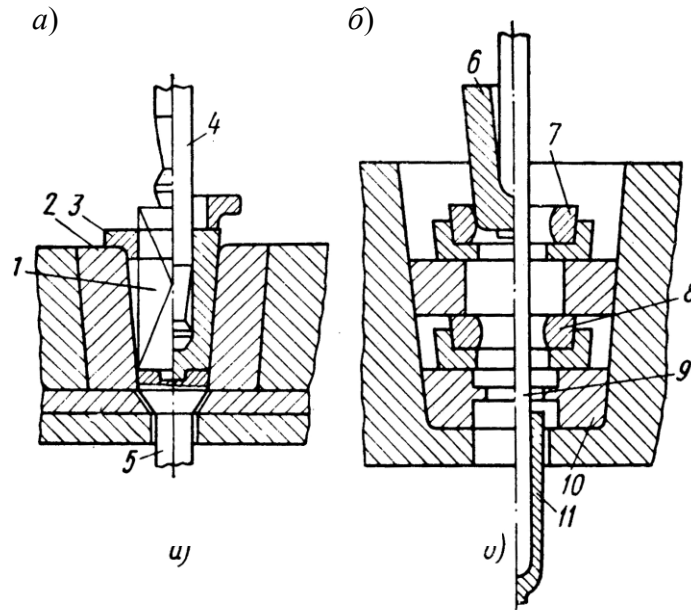


Рис. 12.2. Схема штампа для изготовления стакана обратным выдавливанием и вытяжкой с утонением

Когда начинается обратное выдавливание, наружный диаметр заготовки больше диаметра кольца 3 и это кольцо оказывается приподнятым относительно своего исходного положения (правая часть рис. 12.2, а). На второй позиции штампа (рис. 12.2, б) выполняется вытяжка с утонением стенки через две матрицы. Заготовку 6 вставляют в протяжное кольцо 7, ниже которого расположено другое кольцо 8 с отверстием, диаметр которого равен диаметру стакана. Пуансон 9, надавливая на дно проштампованной заготовки, протягивает ее, утоняя стенку при продвижении через оба кольца. На обратном пути пуансона съемник 10 снимает с него протянутый стакан 11, т. к. диаметр стакана под действием упругой деформации немного увеличивается и не может пройти в обратном направлении через отверстие съемника 10.

Поковки со сплошными и полыми отроостками штампуют в закрытых штампах на универсальных или специализированных гидравлических прессах. Поковку втулки трехлопастного авиационного винта (группа IV)

изготавливают в штампе, схема которого приведена на рис. 12.3. В корпусе 1 штампа установлена нижняя часть матрицы 2, в выемки которой заложены три боковых пуансона 3, закрепленные верхней частью матрицы 4, прижимным кольцом 5 и двумя клиньями 6. В направляющей втулке верхней части матрицы перемещается деформирующий пуансон 9. Он закреплен в державке 8, вставленной в плиту 7. Штамповку осуществляют из конусообразной, предварительно подготовленной ковкой заготовки. Заготовку укладывают в штамп через полость направляющей пуансон втулки и штампуют. Затем выбивают клинья 6 и при обратном ходе ползуна поднимают вверх всю верхнюю часть штампа вместе с поковкой и боковыми пуансонами 3. После этого извлекают поковку из верхней части штампа, а также боковые пуансоны из поковки и снова собирают штамп для штамповки следующей поковки.

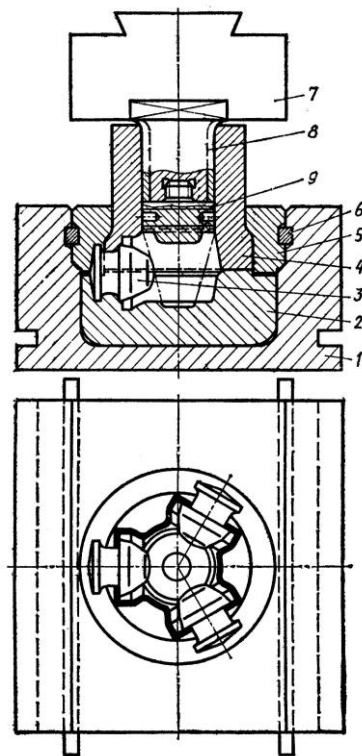


Рис. 12.3. Схема штампа с разъемной матрицей

При штамповке поковок рассматриваемого типа на специальных гидравлических штамповочных прессах, имеющих вертикальные и горизонтальные цилиндры, производительность значительно выше. При штамповке в соответствии со схемой, показанной на рис. 12.4, при опускании ползуна пресса осуществляется закрытие штампа. В этот момент включаются в работу горизонтально расположенные цилиндры.

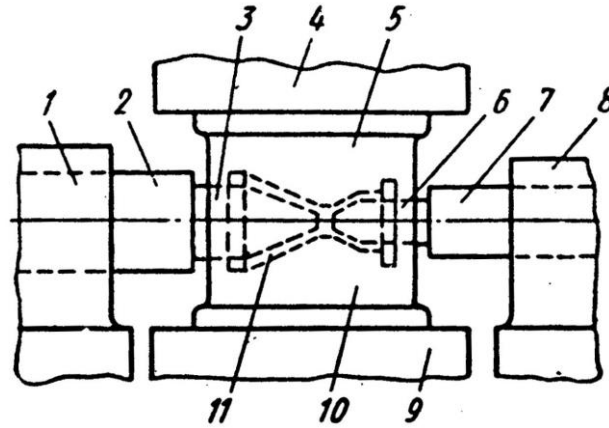


Рис. 12.4. Схема штампа с разъемной матрицей для специализированного прессы: 1, 8 – горизонтальные гидроцилиндры; 2, 7 – плунжеры; 3, 6 – пуансоны; 4 – ползун; 5, 10 – верхняя и нижняя полуматрицы; 9 – стол прессы; 11 – поковка

Пуансоны, установленные на плунжерах горизонтальных цилиндров, с обеих сторон одновременно внедряются в тело заготовки, в результате чего металл заполняет полость ручья штампа [19].

12.4. Устройство и особенности винтовых прессов

Общепринято именовать кузнечно-штамповочные машины с винтовой парой в составе главного исполнительного механизма винтовыми прессами. Условность этого наименования связана с присущими большинству винтовых кузнечно-штамповочных машин некоторым признакам молотов. Усилие, передающееся на обрабатываемый металл после остановки, у винтовых машин, так же как и у молотов, соразмерно с силой тяжести от массы подвижных частей.

Современные винтовые машины обладают небольшой линейной скоростью ползуна в начале удара и этот факт явился причиной (в историческом плане) отнесения винтовых машин к машинам статического действия, т. е. к прессам. Другой отличительный признак, сближающий винтовые машины с кривошипными и гидравлическими прессами, – замкнутая силовая конструкция станины и главного исполнительного механизма. У винтовых прессов нет и шабота – характерной детали молотов.

Аккумулятором кинетической энергии, преобразующейся в период рабочего хода (удара) в работу пластической деформации обрабатываемого металла, независимо от конструктивного устройства винтового прессы и типа привода выступает маховик. Причем маховик может быть активным элементом кинематической цепи прессы, будучи включенным в нее в качестве звена соответствующей кинематической пары, или пассивным эле-

ментом, не являясь звеном какой-либо пары этой цепи.

Привод главного исполнительного механизма винтовых прессов может быть механическим, гидравлическим или электрическим.

В механическом приводе крутящий момент подается на маховик при помощи дисковой конической – тип П1 (рис. 12.5, а), дисковой цилиндрической – тип П2 (рис. 12.5, б) или роликовой – тип П3 (рис. 12.5, в) фрикционных передач. Прессы с таким приводом называют *винтовыми фрикционными*.

В гидравлическом приводе движущей является сила от гидроцилиндра, воздействующая на маховик с зубчатым ободом через рейку, соединенную со штоком, – тип П4 (рис. 12.5, г), на винт через шток – тип П5 (рис. 12.5, д) или на ползун через штоки – тип П6 (рис. 12.5, е). Прессы с таким приводом называют *гидровинтовыми*.

В электрическом приводе движущий электродинамический момент статора, размещенного в корпусе станины, воздействует на маховик (ротор) – тип П7 (рис. 12.5, ж). Прессы с таким приводом называют *электровинтовыми*.

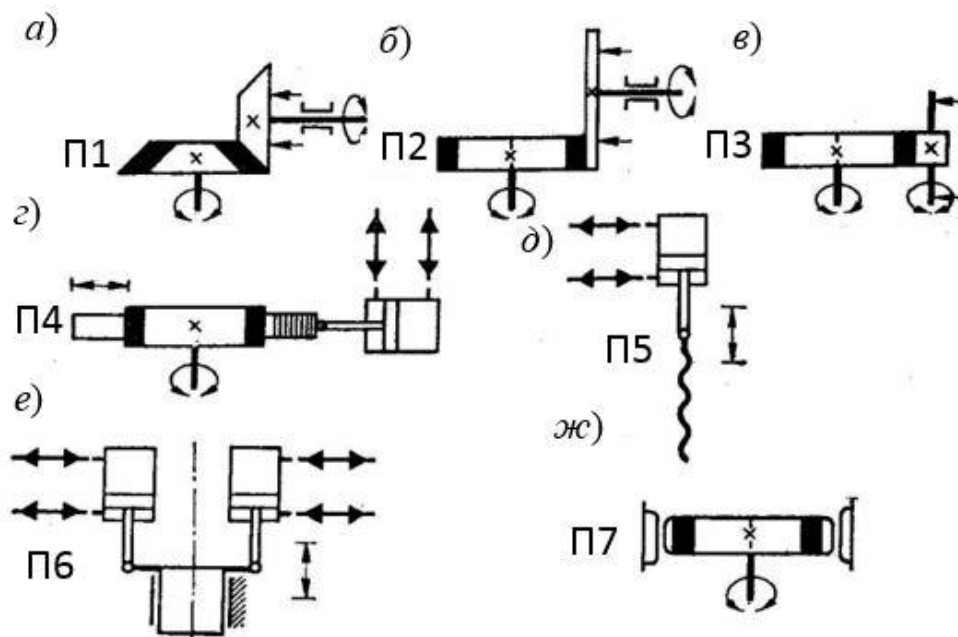


Рис. 12.5. Виды привода главного исполнительного механизма винтовых прессов

Винтовые прессы конструктивно подразделяют по следующим признакам: расположению оси движения ползуна – вертикальные и горизонтальные прессы; расположению привода – прессы с верхним и нижним приводами; числу точек подвески – одно- и двухвинтовые прессы.

Винтовые прессы по технологическому назначению являются универсальными машинами и применяются для выполнения различных опера-

ций холодной и горячей объемных штамповок, в производстве крупных метизов, а также для брикетирования металлической стружки и прессования металлопорошков [17].

Винтовые фрикционные прессы. Винтовые фрикционные прессы применяются для горячей и холодной штамповок, гибки, чеканки и правки. Схема действия прессы представлена на рис. 12.6.

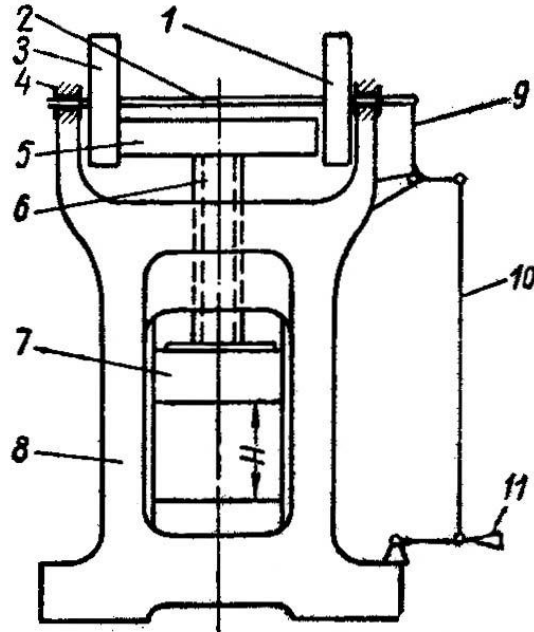


Рис. 12.6. Упрощенная схема винтового фрикционного прессы

На чугунной стойке 8 в подшипниках 4 смонтирован вал 2, который может вращаться и передвигаться горизонтально, так что сидящие на нем шкивы 1 и 3 поочередно соприкасаются с маховиком 5, вращающимся в горизонтальной плоскости. Вал 2 приводится во вращение электродвигателем. Маховик 5 жестко соединен с винтом 6, на конце которого свободно подвешен ползун 7,двигающийся в проеме станины 8. Верхняя часть станины 8 служит гайкой для винта 6. При вращении вала 2 шкивы 1 и 3, прижимаясь поочередно к маховику 5, заставляют винт 6 за счет трения то ввертываться, то вывертываться из станины, перемещая ползун 7. Ползун совершает рабочий ход на величину H .

Переключение прессы осуществляется рукояткой 11, которая через тягу 10 и двуплечий рычаг 9 передвигает вал 2 и связанные с ним шкивы 1 и 3. Пресс может совершать следующие движения: ход ползуна вниз, ход ползуна вверх, удерживание ползуна на весу.

Основные параметры винтовых фрикционных прессов с номинальными усилиями от 400 кН до 100 МН регламентированы соответствующим стандартом. В качестве второго основного параметра принимают эффек-

тивную энергию L_3 подвижных частей в конце хода: для прессов с нормальным числом ходов $n = 36 \dots 5$ в минуту $L_3 = 1,25 \dots 5000$ кДж; для прессов с увеличенным числом ходов $n = 42 \dots 8$ в минуту L_3 в 1,5...1,6 раза меньше [17].

Электровинтовые прессы. В настоящее время винтовые фрикционные прессы заменяют электровинтовыми прессами с дугостаторным приводом, которые более компактны и долговечны в работе, имеют большую скорость, надежное направление ползуна, максимально упрощенную конструкцию привода (рис. 12.7). В этих прессах действие привода ползуна основано на использовании вращающегося электромагнитного поля, создаваемого не круговыми, как в обычных электродвигателях, а дуговыми статорами 2, которые приводят во вращение короткозамкнутый ротор-маховик 1 и связанный с ним винт 4. Последний перемещает вверх или вниз гайку 5 с ползуном 6 по направляющим, установленным в станине с амортизаторами 3. Пресс снабжен выталкивателем 7 для удаления поковки из нижней половины штампа и тормозом 8 [7]. Скорость движения ползуна пресса – 0,5...0,9 м/с, поэтому производительность штамповки на них низкая. Однако это позволяет штамповать поковки из сплавов, чувствительных к высоким скоростям деформации.

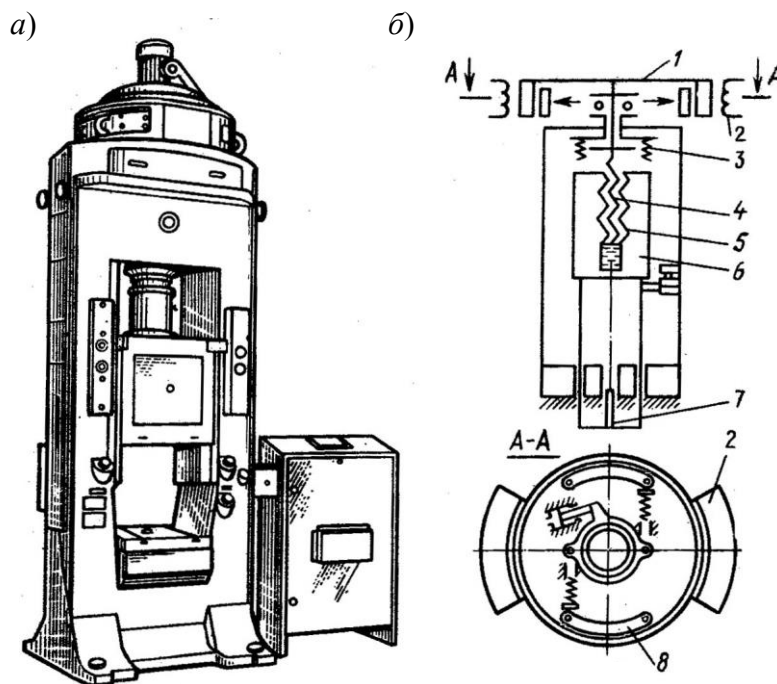


Рис. 12.7. Схема винтового пресса с дугостаторным приводом: а – общий вид; б – кинематическая схема

Гидровинтовые прессы. Стремление повысить энергоемкость винтовых прессов и КПД привело ученых и конструкторов к идее использова-

ния электрогидравлического привода, который имеет следующие преимущества по сравнению с электрическим или электромеханическим:

- повышение скорости подвижных частей в момент удара до 1,5 м/с;
- повышение энергоемкости на единицу массы подвижных частей;
- упрощение схемы и конструкции устройств для регулирования скорости подвижных частей в момент удара в диапазоне 0,8...1,5 м/с и, соответственно, эффективной энергии;
- обеспечение электрогидроприводом более высокого КПД по сравнению с другими прессами;

– создание мощных горячештамповочных прессов для изготовления поковок из жаропрочных и труднодеформируемых сплавов, обеспечивающих более высокую стойкость штамповой оснастки [17].

Гидровинтовые presses изготовляют усилием 1...100 МН. Эти прессы менее быстроходны, чем винтовые фрикционные (скорость в момент начала деформации составляет 1,5 м/с вместо 3...4 м/с), но они компактны и более мощны. Прессы снабжены выталкивателями и приспособлены для штамповки в разъемной матрице.

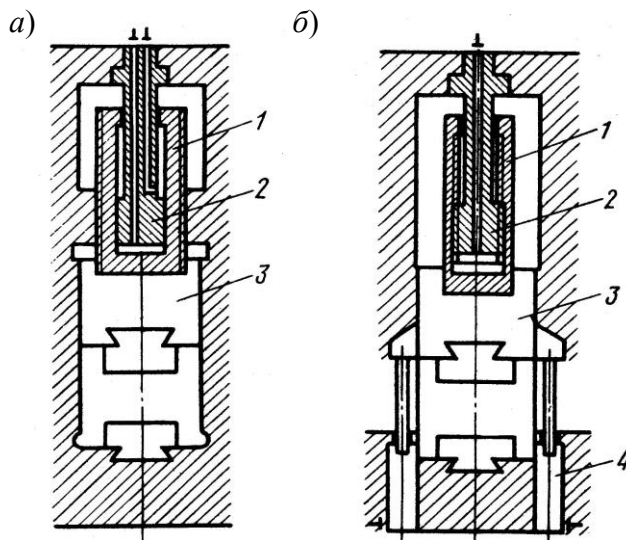


Рис. 12.8. Схемы гидровинтовых прессов с цилиндром, имеющим наружную (а) и внутреннюю (б) резьбы

При рабочем ходе инструмента заготовка деформируется за счет одновременного действия силы давления жидкости и кинетической энергии винтового движения, накопленной винтовым цилиндром к моменту деформирования. Подъем ползуна 3 с цилиндром 1 осуществляется возвратными цилиндрами 4 [7].

Выбор винтового пресса для штамповки заготовок производят исходя из определения необходимого усилия штамповки [11].

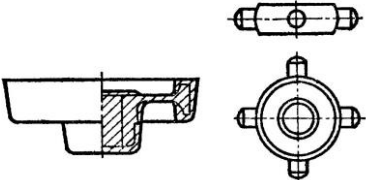
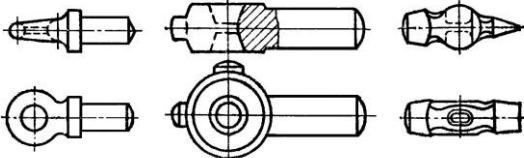
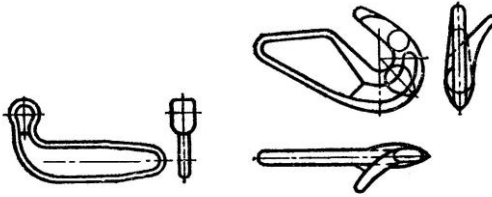
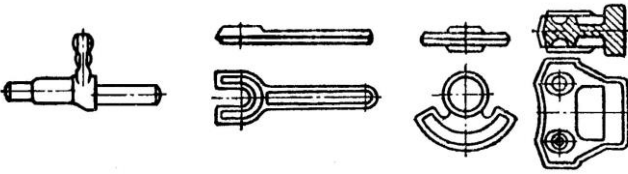
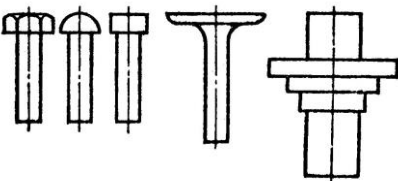
У гидровинтовых прессов главной частью является гидровинтовой цилиндр, который служит маховиком, гидравлическим цилиндром и винтом. Стенки цилиндра могут иметь наружную (рис. 12.8, а) или внутреннюю (рис. 12.8, б) несамотормозящуюся резьбу. Жидкость высокого давления, попадая в полость цилиндра с плунжером 2, создает направленную вертикально вниз силу, разгоняющую винтовой цилиндр, который совершает винтовое движение и перемещает по направляющим ползун 3.

12.5. Операции штамповки и классификация поковок, штампуемых на винтовых прессах

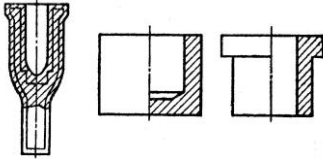
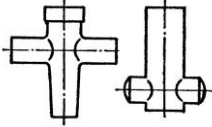
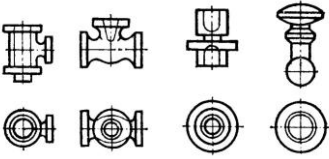
При штамповке на винтовых прессах применяют следующие операции: осадку и высадку; выдавливание (прямое, обратное, боковое и радиальное); гибку; правку и калибровку.

В табл. 12.2 приведена классификация поковок, штампуемых на винтовых прессах, в основу которой положены комбинации штамповочных операций, позволяющие штамповать поковки в открытых и закрытых штампах.

Табл. 12.2. Классификация поковок, штампуемых на винтовых прессах [11]

Поковка	Эскиз
1	2
<i>1. Поковки, изготавливаемые в открытых штампах</i>	
Круглые в плане	
С прямой осью, удлиненные в плане	
С изогнутой осью, удлиненные в плане	
С отростками и развилками или произвольной формы	
<i>2. Поковки, изготавливаемые высадкой и выдавливанием в закрытых штампах с разъемной и неразъемной матрицами</i>	
Стержневые с фланцами или буртами	

Окончание табл. 12.2

1	2
С глухими или сквозными полостями	
С боковыми отростками	
Сложной формы	

12.6. Рекомендации по разработке чертежей поковок

1. *Поковки, штампуемые на гидравлических прессах.* Чертеж поковки составляется по чертежу детали. При этом во внимание принимают рекомендации, приведенные в разделах 9, 10.

Припуски и допуски назначают, учитывая конструктивные особенности штампуемых поковок. Для прессов с направлением подвижной поперечины по колоннам припуски на размеры поковок должны быть увеличены на 50 % по сравнению с припусками, назначаемыми по ГОСТ 7505-89 на размеры поковок. Для прессов с направляющими для ползуна пресса, обеспечивающими высокую точность изготовления поковок, припуски и допуски назначают в соответствии с ГОСТ 7505-89. Допуски на разностенность выбирают по ГОСТ 7505-89 с возможным увеличением их на 25...50 % в зависимости от глубины полости для $d/l > 1,5$.

Штамповочные уклоны назначают в зависимости от оснащённости пресса выталкивателями, глубины полостей и толщины стенок поковки. Уклоны внутренних стенок равны $2...4^\circ$, уклоны наружных стенок – $1...2^\circ$. Для поковок, штампуемых выдавливанием, назначают небольшие наружные уклоны (до $30'$) для облегчения удаления их из штампа с помощью выталкивателя или съемника. *Радиусы закруглений* выбирают по таблицам согласно [11] и ГОСТ 7505-89.

2. *Поковки, штампуемые на винтовых прессах.* Разработка чертежа начинается с выбора плоскости разреза штампов. При штамповке в открытых штампах руководствуются рекомендациями разделов 9 и 10. При

штамповке в закрытых штампах с горизонтальным разъемом матрицы, например, для винтовых прессов двойного действия, поверхность разъема выбирается по верхнему торцу элемента с максимальным поперечным сечением, если образующая данного элемента линейная, или должна включать в себя максимальное сечение данного элемента, если образующая криволинейна.

Назначение припусков и допусков на поковку производят по ГОСТ 7505-89, а для поковок из цветных металлов – по отраслевым стандартам.

Радиусы закругления при штамповке на винтовых прессах в открытых и закрытых штампах назначаются согласно [11] и ГОСТ 7505-89.

Контрольные вопросы

1. Особенности и принцип действия гидравлических прессов.
2. Какие штампы используют для штамповки на гидравлических прессах?
3. Классификация поковок, штампуемые на гидравлических прессах.
4. Какие виды винтовых прессов используют для штамповки?
5. Как классифицируют поковки, штампуемые на винтовых прессах?

13. СПЕЦИАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ ШТАМПОВКИ

При достаточно больших сериях производства целесообразно изготавливать поковки специальными способами. Для этого вместо универсальных машин используют машины специального назначения. К ним относятся гибочные, раскатные, радиально- и ротационно-обжимные машины, ковочные валцы, прокатные станы. При этом технико-экономические показатели производства повышаются, качество поковок улучшается, число переходов штамповки сокращается.

Рассмотрим наиболее распространенные способы изготовления заготовок: гибку, ковку, раскатку, вальцовку, прокатку.

13.1. Гибка

Гибку производят на универсальных листоштамповочных прессах, а также на специальном гибочном оборудовании. К специальному оборудованию относят горизонтальные гибочно-штамповочные прессы, вертикальные гибочно-штамповочные прессы (рис. 13.1) и гибочные машины (листогибочные машины, листогибочные валковые и сортогибочные роликовые машины).

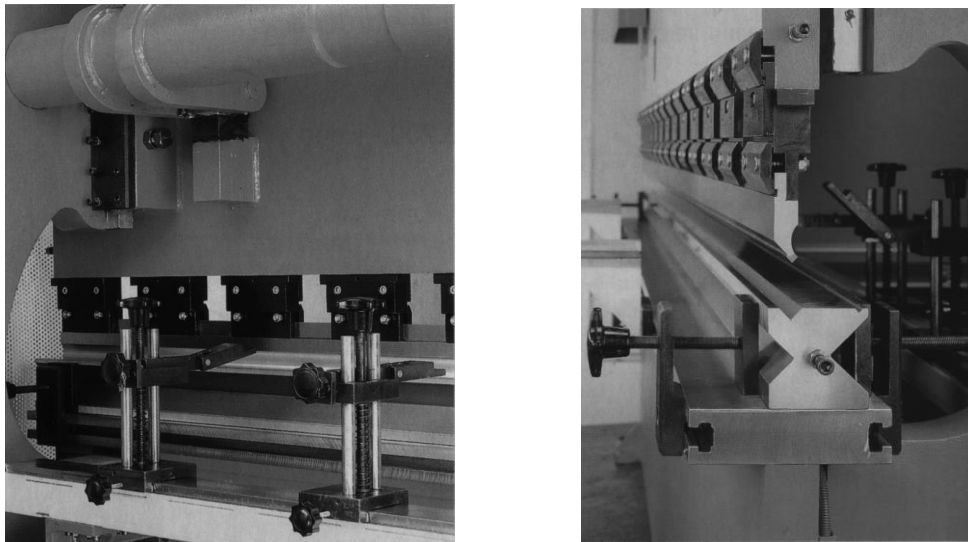


Рис. 13.1. Гидравлический листогибочный пресс фирмы KNUTH

На горизонтальных гибочно-штамповочных прессах изготавливают крупногабаритные заготовки из полосового и профильного проката преимущественно поперечным изгибом. Часто выполняют и горячую гибку. Усилие тихоходных горизонтальных гибочно-штамповочных прессов составляет от 0,15 до 5 МН, число ходов – от 6 до 20 в минуту, величина хода

ползуна – от 350 до 750 мм; а усилие быстроходных прессов – от 0,16 до 0,20 МН, число ходов – от 60 до 45 в минуту, величина хода ползуна – от 125 до 200 мм [7]. Типовыми заготовками, изготавливаемыми на этих прессах, являются протяженные заготовки в виде балок с изогнутой осью и заготовки типа кронштейнов, подвесок, скоб.

Вертикальные гибочно-штамповочные прессы используют для изготовления протяженных сложных профилей из полосовых или листовых заготовок (см. рис. 13.1).

При гибке на этих двух видах прессов в большинстве случаев применяют V-, П- и U-образную гибку. Гибку V-образных заготовок производят в штампе с помощью пуансона, при этом рабочие поверхности штампа и пуансона выполнены под углом.

Гибку П-образных заготовок производят различными способами.

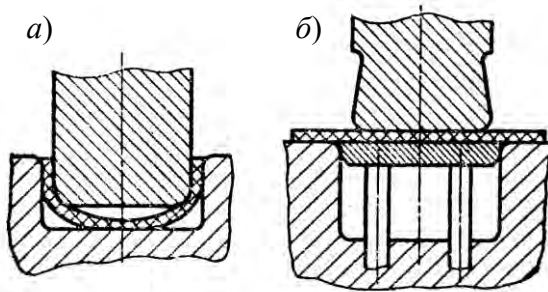


Рис. 13.2. Схемы П-образной гибки в штампе

Наиболее простым из них является гибка в штампе с прямоугольными рабочими поверхностями пуансона и матрицы (рис. 13.2, а). В ходе гибки участок заготовки под пуансоном изгибается, а затем происходит его калибровка в конце рабочего хода пуансона прессы. Этот способ рекомендуется применять при гибке тонкостенных неотвествен-

ных заготовок. Для того чтобы не прибегать к калибровке (она требует в несколько раз большего усилия по сравнению с усилием гибки), используют штамп с нижним прижимом (рис. 13.2, б), работающим под действием пружин или пневматического цилиндра.

Гибка U-образных заготовок характеризуется наличием сгибов большого радиуса и прямыми параллельными полками, при этом среднего прямого участка может не быть.

На прессах осуществляют также гибку дугообразных и круглых заготовок. При этом дугообразные заготовки с центральным углом, меньшим $120...150^\circ$, сгибают за один переход. Матрицу и пуансон выполняют по радиусу, равному радиусу заготовки. Два перехода необходимы для гибки заготовок с центральным углом $150...270^\circ$. Вначале сгибают крайние участки, а затем – средний (рис. 13.3, а). За два перехода сгибают заготовки типа хомутов (рис. 13.3, б).

В процессе гибки могут производиться дополнительные операции: пробивка отверстий, плющение профиля и местная штамповка углублений. Из-за того, что обычно гнутые заготовки не подвергают механической обработке, пробивку отверстий целесообразно выполнять на той же машине,

что и гибку. В этом случае в гибочном штампе предусматривают установку пуансонов и штампов для пробивки отверстий. Местную штамповку углублений производят на полосовых заготовках в конце хода ползуна при гибочной операции; плющение профиля – в местах, предусмотренных для отверстий.

Гибочные машины с поворотной траверсой применяют для изготовления из листовых и полосовых заготовок в холодном состоянии профилей с различным контуром поперечного сечения. Профили могут быть открытые, полузакрытые и закрытые. Машины применяют в единичном и мелкосерийном производстве. По производительности они уступают прессам и станкам, но выигрывают в простоте технологической оснастки и в универсальности.

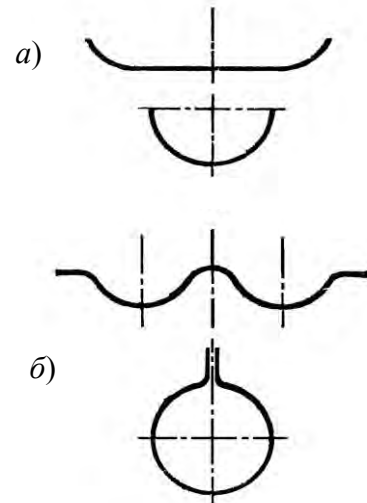


Рис. 13.3. Схемы гибки круглых заготовок: а – полузакрытая; б – закрытая

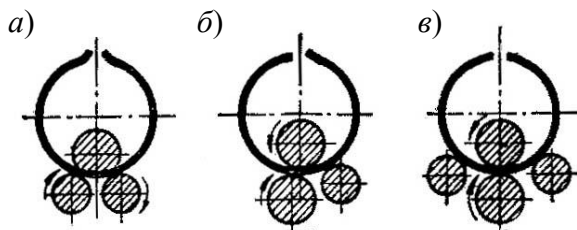


Рис. 13.4. Схемы гибки заготовок на трех- и четырехвалковых листогибочных машинах

Гибку листовых заготовок производят на *трех- и четырехвалковых листогибочных машинах*. На них изгибают в основном цилиндрические и конические обечайки и сектора. Процесс гибки осуществляют в холодном и горячем состояниях. При гибке заготовок тремя вращающимися вальцами

различают два вида машин: с симметричным и асимметричным расположением валков (рис. 13.4, а, б; 13.5). Первые используют для гибки толстых листов, вторые – для гибки тонких и средних. При гибке в четырехвалковой машине (рис. 13.4, в) заготовку зажимают между средними вальцами и изгибают боковыми.

По принципу действия листогибочным машинам созданы *сорто- и профилегибочные машины* (рис. 13.6).

В роликах заготовки сгибают по окружности с фасонным поперечным сечением из сортового проката (полосового, круглого) и профильного (углового, таврового, швеллерного, двутаврового и др.), а также заготовки из толстостенных труб. При этом заготовки принимают форму замкнутых колец и дугообразных элементов, а также могут сгибаться по спирали и с переменной кривизной. Гибку производят в холодном состоянии, а в исключительных случаях применяют предварительный нагрев.



Рис. 13.5. Ротационная трехвалковая гидравлическая гибочная машина для изготовления тонкостенных труб

а)



б)

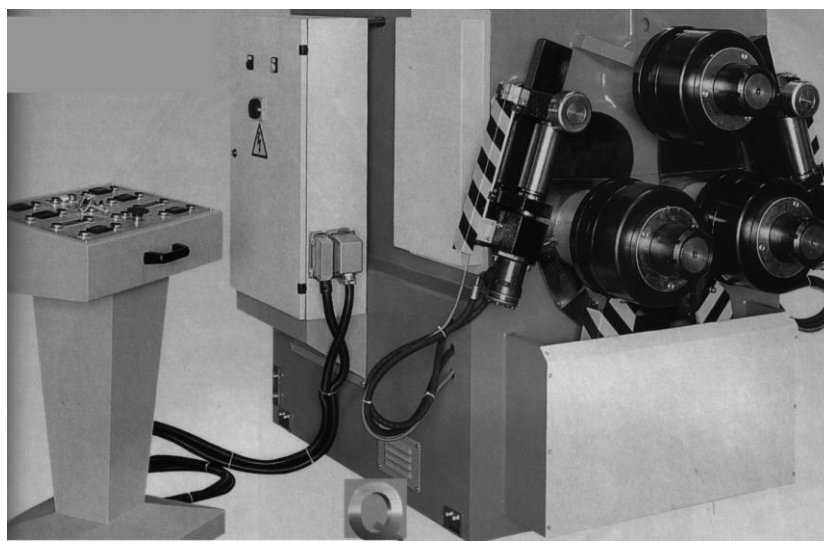


Рис. 13.6. Общие виды листогибочных машин: а – сортогибочная машина; б – гидравлическая круглогибочная машина

13.2. Ротационная и радиальная ковка

Сущность процессов ковки (ротационной и радиальной) заключается в деформировании (обжати) в горячем состоянии прутковой заготовки на относительно небольшом участке ее длины штампами, обеспечивающими по всему периметру периодическое пульсирующее приложение усилий.

В результате происходит уменьшение поперечного сечения заготовки, изменение его формы, а длина обрабатываемого изделия при этом увеличивается.

Ковка на ротационно-обжимных и радиально-обжимных машинах (рис. 13.7) позволяет повысить механические характеристики изделий, обеспечить высокую точность их размеров (7 и 8 качества) и улучшить качество поверхности изделий [19]. На ротационно-обжимных машинах обрабатывают заготовки диаметром от 2,5 до 40 мм (из прутка), от 6,3 до 100 мм (из трубы); на радиально-обжимных – заготовки диаметром от 30 до 400 мм (из прутка), от 35 до 500 мм (из трубы) [11]. Исходными заготовками для обработки служат слитки, поковки, сортовой прокат и трубы. Из них получают полые и сплошные, цилиндрические и ступенчатые валы и оси круглого и граненого сечений.

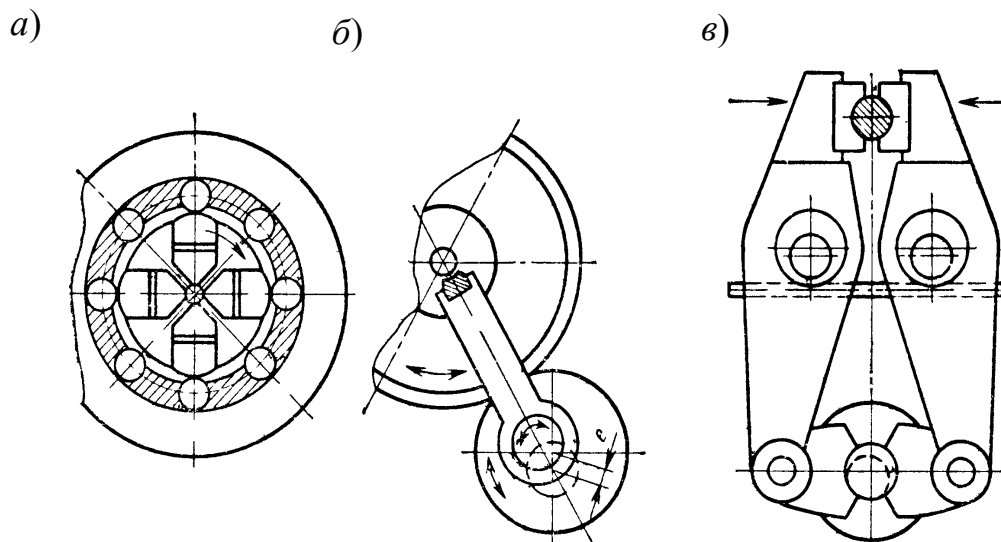


Рис. 13.7. Схемы действия ротационно- и радиально-обжимных машин: а – ротационно-обжимная машина; б – радиально-обжимная машина (шатунная) (е – регулируемый эксцентриситет); в – радиально-обжимная машина (рычажная)

Фасонирование заготовки происходит за счет радиального обжатия на относительно небольшом участке ее длины периодически сходящимися пульсирующими бойками. При этом в зависимости от целевого назначения процесса обработка может быть локальной или распространяться на всю длину заготовки.

Деформируемый металл (рис. 13.8, а), ограниченный на длине l , течет в обе стороны от нейтрального сечения НН, определяемого диаметром очага деформации d_0 . При установившемся процессе, характеризующемся распространением очага деформации на длину l , после каждого обжатия заготовка подается в бойки на определенную длину S_{Π} – шаг подачи

(рис.13.8, б). Течение металла в зазор между бойками, вызываемое уширением заготовки, ограничивает S_{Π} , относительный размер которого определяет качество, интенсивность и производительность процесса. Уширение возрастает с увеличением угла заходного конуса α и уменьшением угла охвата θ заготовки бойками, что может привести к образованию трещин и разрывов по сечению обрабатываемой заготовки.

Обработку производят двумя способами: раздельным и профильным обжатием (табл. 13.1). При раздельном обжатии форма и точность поковки обеспечиваются формой и размерами ручьев, а также наладкой бойков; при профильном – изменением закрытой высоты между бойками и длины обжимаемых участков в процессе обработки.

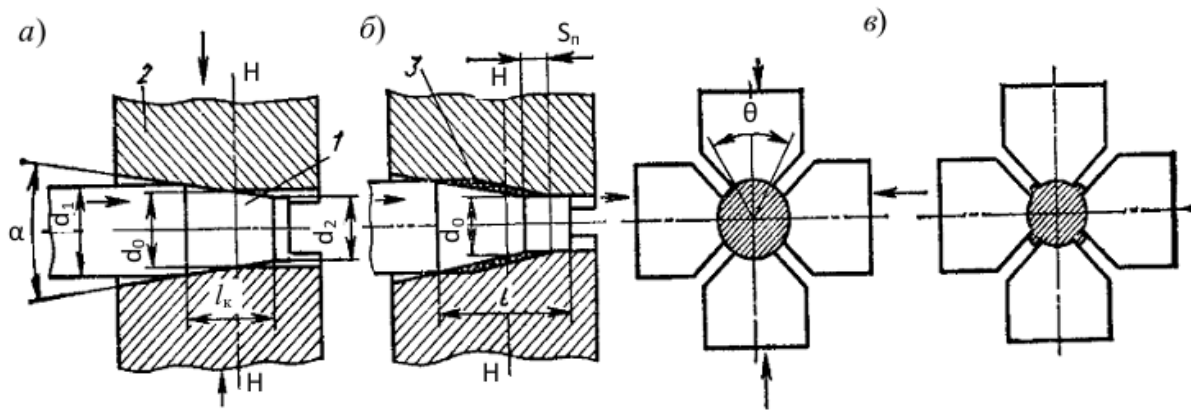
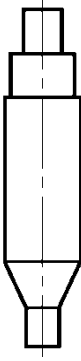
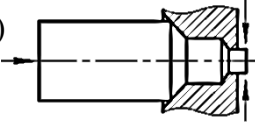
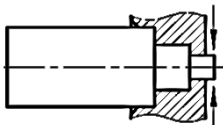
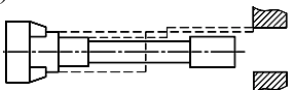
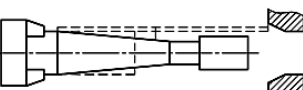
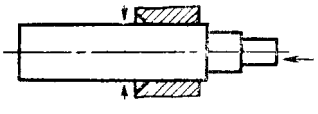
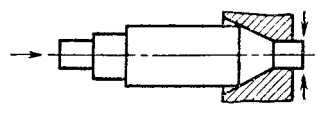


Рис. 13.8. Схема процесса радиального обжатия: а – сечение в направлении продольной оси заготовки перед обжатием; б – то же в конце обжатия; в – поперечное сечение (цикл одного обжатия); 1 – заготовка; 2 – бойки; 3 – смещаемый объем металла

Табл. 13.1. Способы обработки заготовок [11]

Обжимаемая часть заготовки	Эскиз поковки	Раздельное обжатие	Исходная заготовка	Профильное обжатие
1	2	3	4	5
Малый конус			Пруток на несколько поковок	
Цилиндр (с поворотом)				
Хвостовик (с поворотом)				

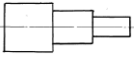
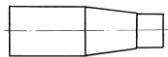
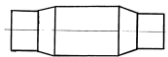
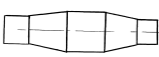
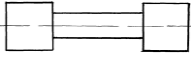
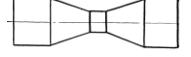
Окончание табл. 13.1

1	2	3	4	5
Предварительное (а) и окончательное (б) обжатие		а)  б) 	Пруток на одну поковку	а)  б) 
Цилиндр (с поворотом)				
Хвостовик (с поворотом)				

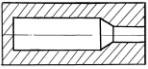
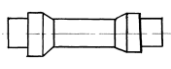
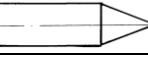
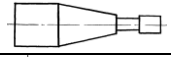
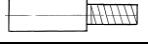
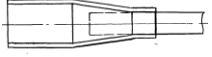
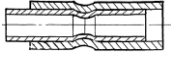
Типовые изделия, получаемые ротационным обжатием, приведены в табл. 13.2. К классу I отнесены изделия, изготавливаемые только раздельным способом, к классу II – профильным и раздельными способами.

Производительность обжимных машин характеризуется показателями, отображенными в табл. 13.3.

Табл. 13.2. Классификация типовых заготовок, получаемых ротационным обжатием [11]

Группа заготовок		Эскиз типовой заготовки	
		Класс I	Класс II
1	2	3	4
1	а		
	б		
2	а		
	б		
3	а	_____	
	б	_____	

Окончание табл. 13.2

1	2	3	4
4	а		
	б		
5	а		
	б		

Для сплошных поковок припуски на диаметр и длину принимают уменьшенными в 2 раза по сравнению с припусками для кованных поковок. Припуск по торцам из-за образования утяжин для степеней деформации $\varepsilon = 0,5 \dots 0,75$ должен быть увеличен на 25...50 %. С повышением прочности обрабатываемого материала и возрастанием усилия обжатия глубина утяжин уменьшается. Припуск зависит от кривизны и разностенности (для полых заготовок) исходной заготовки, последующей обработки, требований к состоянию поверхностного слоя изделия. Допуски на размеры принимают 1...1,5 % по диаметру и 0,3...0,5 % по длине соответствующего участка.

После определения диаметров ступеней на всех участках поковки рассчитывают значения степеней деформации по переходам и суммарную степень деформации ε с учетом $\varepsilon_{\text{пред}}$ за первый переход. Если требуемая степень деформации превышает $\varepsilon_{\text{пред}}$, то обработку осуществляют последовательно по ступеням с возвращением заготовки в исходное положение после каждого прохода.

Табл. 13.3. Производительность ротационно- и радиально-обжимных машин при горячем обжатии заготовок [11]

Показатель	Диаметр заготовки (прутка), мм												
	2,5	6,3	16	25	10	25	40	63	100	160	200	250	320
	Ротационно-обжимные				Радиально-обжимные								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Скорость обжатия, м/мин, при степени деформации ε , * %:													
до 20	0,7–1,6	1,2–3,0	1,6–4,0	1,8–4,4	0,3–1,2	0,6–1,5	0,9–2,0	1,2–2,2	1,4–2,4	1,6–2,6	1,8–2,8	1,6–2,6	–
до 60	0,3–1,4	0,6–2,4	0,9–3,0	1,1–3,2	0,2–0,6	0,3–0,9	0,5–1,2	0,7–1,4	1,0–1,8	1,2–2,0	1,4–2,2	1,2–2,0	–

Окончание табл. 13.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Скорость обжатия штучных заготовок, шт./ч, при $\varepsilon \leq 60\%$ на длину, равную $20d$, с тремя переходами по сечению при подачах:													
с ручным приводом	120	50	25	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—
с механизированным**	400	260	125	60	120	60	40	36	30	25	18	16	12
Скорость заковки концов прутков (труб) для последнего волочения, шт./ч, при подачах:													
с ручным приводом	250	120	50	25	—	—	—	—	—	—	—	—	—
с механизированным	500	250	90	40	160	50	30	16	—	—	—	—	—

Примечание. * Для случаев обжатия в бойках с $\alpha = 4 \dots 16$. Для трубной заготовки соответствующего диаметра производительность в 2 раза меньше. ** При раздельном обжатии производительность уменьшается в 1,2...1,6 раза, при обработке на оправке полых заготовок – на 30...60 %.

Температуру нагрева заготовок из труднодеформируемых сталей и сплавов под обжатие назначают, по сравнению с принятой ковочной, ниже на 100...150 °С. При нагреве полых заготовок следует исключать возможность образования окалины на внутренней поверхности, т. к. это приводит к ухудшению качества поверхности оправки.

Радиальное обжатие обеспечивает обработку практически всех металлов и сплавов, в том числе полученных спеканием. Для горячего обжатия применяют, как правило, горячекатаный прокат и слитки. Полые изделия изготавливают из трубчатых, штампованных или штамповарных заготовок на оправках и без них.

Разностенность полых исходных заготовок, кроме горячекатаных труб, не должна превышать 3...5 % толщины стенки.

При назначении углов перепада ступеней α исходят из требуемой степени деформации и прочности материала заготовки. Меньшие значения принимают для обработки менее пластичных материалов. Для низкоугле-

родистых конструкционных сталей значения $\alpha = 16^\circ$ и $\varepsilon \leq 20...30\%$ обеспечивают достаточно равномерную деформацию материала. Для менее пластичных материалов и больших степеней деформации назначают $\alpha = 7...12^\circ$.

Радиальное обжатие характеризуется следующими технико-экономическими показателями. По сравнению с ковкой себестоимость деталей, получаемых с применением радиального обжатия, для конструкционных сталей ниже на 5 %, инструментальных – на 15 %, быстрорежущих – на 20 %. В среднем стоимость 1 т поковок, изготовленных радиальным обжатием, составляет 70...80 % стоимости поковок, полученных другими известными способами [11].

13.3. Штамповка на вертикально-ковочных машинах

Вертикально-ковочные машины применяют для профилирования нагретых заготовок перед последующей штамповкой,ковки-штамповки относительно малых деталей с резкими перепадами сечений (железнодорожные костыли, бородки, зубила, насадная часть отверток, зубья борон, шинные гвозди и т. п.), обжима концов труб перед волочением на конус, штамповки изделий с отростками из прутковых заготовок.

Изделия простых форм обрабатывают, как правило, одной парой фасонных бойков. Для сложных форм применяют несколько пар заготовительных и по паре черновых и чистовых бойков, штамповка в которых может производиться как с образованием заусенца, так и без него.

Последовательность технологического процесса такая же, как для штамповки на молотах,ковки. Точность размеров изделий, получаемых на вертикально-ковочных машинах, более высокая, чем при ковке на молотах (рис. 13.9).

Машины подбирают по числу ползунов в соответствии с требуемым числом переходовковки-штамповки. Размеры машины определяют по наибольшему диаметру исходной заготовки среди указанных в паспорте машины. Рабочий ход составляет 12...16 мм.

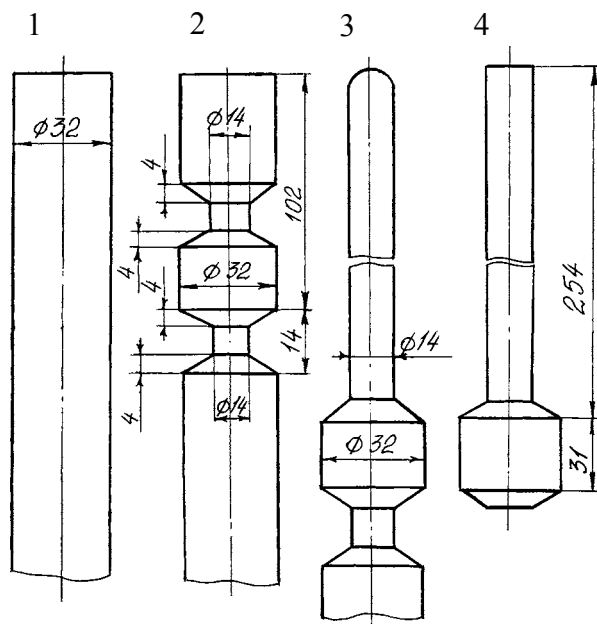


Рис. 13.9. Пример переходов штамповки заготовки на вертикально-ковочной машине

Ширина бойков определяется размерами ползунов, а длина – в зависимости от длины обрабатываемых участков поковки. При обработке прутковых заготовок применяют бойки с ножами.

В комплект технологической оснастки, кроме бойков, входят упоры, устанавливаемые на специальном столе против нижних бойков.

В настоящее время применяют ковочные машины, в которых наряду с парой вертикальных ползунов имеется пара горизонтальных. Пары ползунов с установленными на них штампами работают последовательно, осуществляя предварительное профилирование и окончательную штамповку или предварительную и окончательную штамповку. На таких машинах из прутковых заготовок штампуют шатуны, рычаги и другие изделия. Для штамповки используют прутки диаметром до 60 мм; время штамповки одной поковки составляет 4...8 с. Штамповочное пространство по высоте регулируется изменением положения нижних колодок машины с помощью винтов у машин малых размеров или клинового приспособления у больших машин.

13.4. Раскатка кольцевых заготовок

Раскатка осуществляется в процессе деформирования валками на специализированных кольцераскатных машинах и применяется при изготовлении кольцевых деталей диаметром от 50...70 до 7000 мм, шириной соответственно от 5...7 до 1200 мм и массой до 12,5 т.

В зависимости от поставленных задач, габаритов изготавливаемых изделий, марки материала и других условий раскатку выполняют в горячем, полугорячем или холодном состоянии.

В процессе раскатки происходит одновременное увеличение наружного и внутреннего диаметров кольцевой заготовки за счет уменьшения толщины ее стенки.

По схемам формоизменения раскатку кольцевых заготовок условно разделяют на открытую, полуоткрытую, закрытую и полузакрытую. *Открытая раскатка*

является наиболее распространенной (рис. 13.10, а).

Исходная заготовка 1 устанавливается между двумя валками 2 и 3, один из которых (обычно наруж-

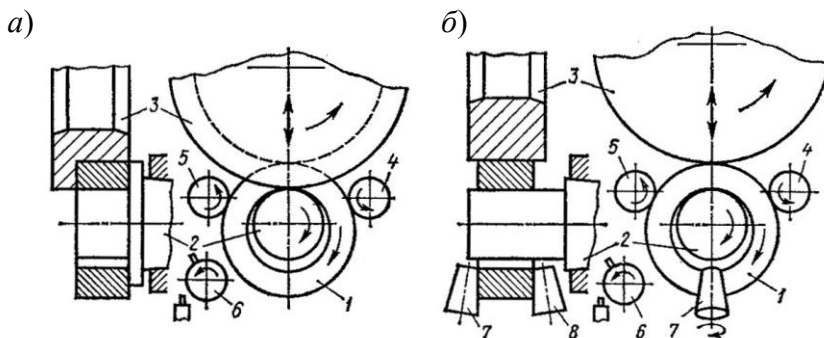


Рис. 13.10. Схемы раскатки: а – открытая; б – полуоткрытая

ный) является приводным, а второй вращается за счет сил трения от контакта с заготовкой. Один из валков (нажимной) имеет возвратно-поступательное перемещение, при своем рабочем ходе воздействуя на заготовку с усилием, необходимым для ее деформирования. Увеличиваясь в диаметре, заготовка в течение всего процесса деформирования соприкасается с двумя свободно вращающимися направляющими валками 4 и 5, которые прижимаются к ней с определенным усилием, предотвращая смещение центра заготовки от оси центров раскатных валков 2 и 3, устраняя вибрации и обеспечивая правильную геометрическую форму кольца. При раскатке с небольшими степенями суммарной деформации два подвижных опорных валка 4 и 5 могут быть заменены одним неподвижным (правым), выполняющим те же функции. В процессе раскатки с заготовкой контактирует контрольный ролик 6, который при достижении заданного наружного диаметра подает сигнал на отвод нажимного валка 3 в исходное положение, после чего заготовка может быть удалена с валка 2.

Полуоткрытая раскатка (рис. 13.10, б) отличается от открытой тем, что с помощью пары приводных или холостых торцовых конических валков 7 и 8 производится обжатие заготовки в осевом направлении и проработка ее торцов. В процессе раскатки при постепенном сближении торцовых валков достигается заданная деформация по ширине заготовки. В некоторых случаях расстояние между осями пары конических валков в процессе раскатки не изменяется, и они лишь препятствуют естественному уширению, обеспечивая проработку торцов заготовки и устраняя утяжины, обусловленные неравномерностью уширения в продольном сечении заготовки. Применение принудительно сближающихся в процессе раскатки торцовых валков позволяет более интенсивно перераспределить металл и получать более сложные формы поперечных сечений у кольцевых заготовок.

Закрытая раскатка (рис. 13.11), в отличие от предыдущих способов, осуществляет формоизменение заготовки прокаткой между внутренним валком 2 и наружным полым валком 3. Радиальное обжатие заготовки достигается принудительным сближением осей внутреннего и полого валков.

Процесс формоизменения продолжается до тех пор, пока наружный диаметр заготовки 1 не примет размера диаметра отверстия полого валка, а толщина ее стенки не достигнет заданной. После этого исходное положение

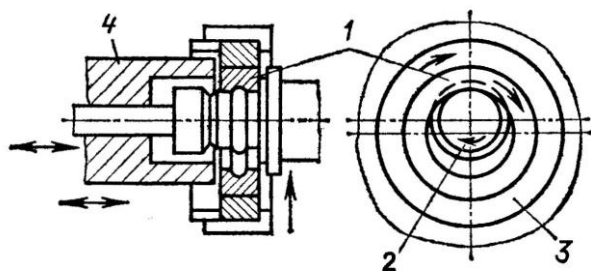


Рис. 13.11. Схема закрытого способа раскатки

После этого исходное положение

ние осей валков восстанавливается, а заготовка удаляется из полого валка выталкивателем 4.

Полузакрытая раскатка (рис. 13.12) представляет собой комбинацию схем открытой и закрытой раскатки. При сближении осей внутреннего валка 1, полого валка 2, ширина которого меньше ширины раскатываемой заготовки, и двух холостых боковых валков 4, оформляющих участки заготовки, примыкающие к ее торцам, производится радиальное обжатие стенки заготовки, продолжающееся до тех пор, пока ее наружный диаметр не окажется равным диаметру отверстия полого валка, а толщина стенки не достигнет заданной. При восстановлении исходного положения осей валков раскатанная заготовка удаляется из полого валка выталкивателем и снимается с внутреннего валка [11].

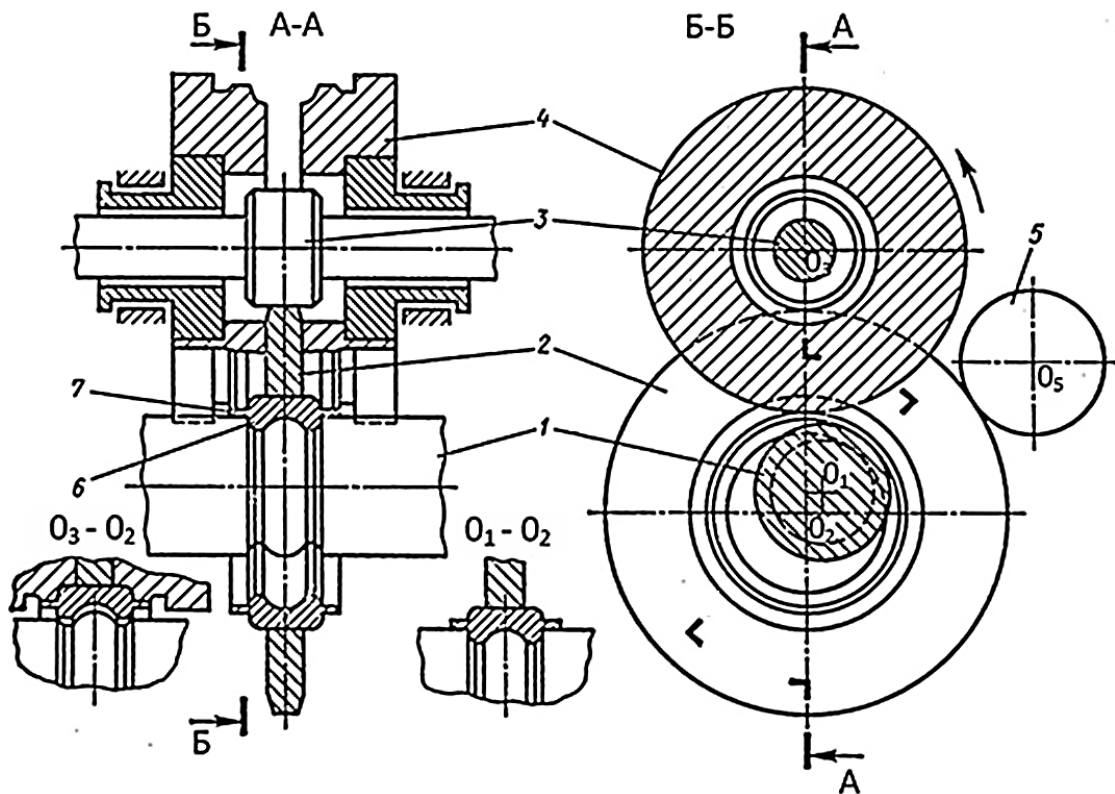


Рис. 13.12. Схема полузакрытого способа раскатки: 1 – внутренний валок; 2 – наружный полый валок; 3 – нажимной валок; 4 – боковые валки; 5 – опорный валок; 6 – раскатываемая заготовка; 7 – торцовые заусенцы у раскатанной заготовки

Заготовки, используемые для последующей раскатки, называют кольцевым полуфабрикатом, который изготавливают предварительно высадкой, штамповкой на ГKM и прессах, ковкой, литьем, гибкой с последующей сваркой и некоторыми другими способами. Способ получения кольцевых полуфабрикатов влияет на стоимость изготовленных из заготовок деталей, в связи с чем при его выборе руководствуются габаритными раз-

мерами и материалом заготовки, ее назначением, а также серийностью производства.

Выбор способа раскатки зависит от множества причин: габаритов изготавливаемых деталей, марки материала, типа производства, точности поверхностей, которую необходимо достичь, экономичности процесса и т. д. Например, с точки зрения максимального приближения размеров и формы сечения раскатанных заготовок колец к деталям предпочтительными являются схемы закрытой и полузакрытой раскатки. Однако их использование ограничено габаритами и массой деталей в пределах до 150 мм по наружному диаметру при массе до 1,0 кг. Обусловлено это конструктивной сложностью кольцераскатных машин и технологической оснастки, высокими требованиями к исходным кольцевым полуфабрикатам и повышенными энергетическими и силовыми затратами на процесс формоизменения. Открытая и полуоткрытая схемы, обладая большей универсальностью и конструктивной простотой, имеют более широкое распространение и их применение продолжает расширяться во многих отраслях машиностроения и металлообработки.

В условиях крупносерийного производства при небольших габаритах колец, получаемых штамповкой и имеющих объемные отклонения в пределах 1,5...3,0 %, экономически оправданно применение закрытой и полузакрытой раскатки на узкоспециализированных машинах, включаемых в состав автоматических линий. Во всех остальных случаях наиболее целесообразным является использование кольцераскатных машин открытого и полуоткрытого типов [11].

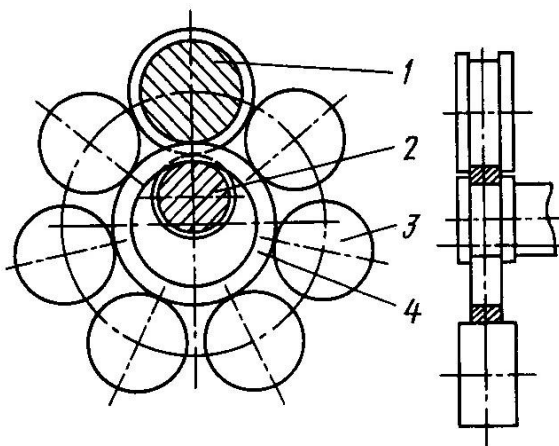


Рис. 13.13. Схема двухвалкового стана с роликовой обоймой

Во ВНИИметмаше (СССР) проведены исследования по совершенствованию технологических процессов раскатки кольцевых заготовок. Разработаны и изготовлены современные кольцепрокатные станы. Например, двухвалковые станы с роликовой обоймой (рис. 13.13) предназначены для массового и серийного производства высокоточных кольцевых заготовок с профилем на наружной и внутренней поверхностях. Раскатка осуществляется за счет де-

формации стенки кольца 4 в радиальном направлении между сближающимися наружным 1 и внутренним 2 валками с одновременным ограничением увеличения наружного диаметра кольца роликами 3, размещенными с

наружным валком *1* в одной роликовой обойме (обойма на рисунке не показана).

В начале прокатки стенка кольца *4* деформируется в калибре наружного *1* и внутреннего *2* валков, а диаметральные размеры кольца свободно увеличиваются. Перед окончанием прокатки наружная поверхность кольца касается роликов обоймы, его диаметральные размеры калибруются роликами *3* и наружным валком *1*, а стенка – наружным *1* и внутренним *2* валками.

Такая схема раскатки позволяет контролировать рабочим инструментом одновременно наружный диаметр прокатываемого кольца и его поперечное сечение (стенку), что создает условия для получения колец с припусками под шлифование или с минимальными припусками под лезвийную обработку [8].

13.5. Вальцовка

Вальцовка – это процесс деформирования прутковой заготовки между вращающимися вальцовочными штампами. Применяют для подготовки заготовки к последующей обработке или в качестве окончательной операции. Подготовка заготовок вальцовкой распространена в серийном производстве. Вальцовка заготовок под последующую штамповку обеспечивает экономию металла на 5...20 %, повышает производительность труда на 50...150 % и более, снижает себестоимость поковок на 10...25 % [11].

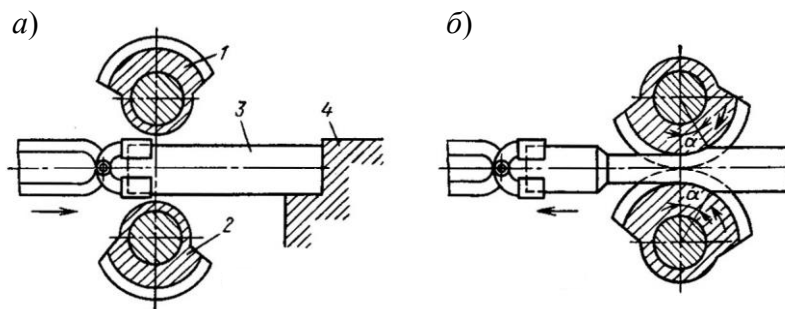


Рис. 13.14. Схема процесса вальцовки

Процесс вальцовки представляет собой частный случай прокатки и осуществляется на ковочных вальцах. Схема процесса вальцовки представлена на рис. 13.14. На валках закрепляют штампы (секторы) *1*

и *2* с ручьями. Ручьи штампов имеют соответствующие форму и размеры получаемой заготовки. В нерабочем состоянии вставки находятся на максимальном друг от друга расстоянии (рис. 13.14, *а*). Между валками образуется проход для заготовки *3*, которую подают с помощью клещей до упора *4*. При включении вальцов на рабочий ход (рис. 13.14, *б*) валки начинают вращаться в противоположные стороны, при этом они захватывают заготовку и деформируют ее.

Для вальцовки применяют ковочные вальцы различной конструкции: двухклетьевые, многоклетьевые, а также консольные (рис. 13.15, *а*) и двухопорные (рис. 13.15, *б*).

Рабочие валки 1 консольных вальцов приводятся во вращение от электродвигателя 3 через клиноременную передачу 4, маховик 5, фрикционную муфту 6 и зубчатую передачу, расположенную в станине 2. Вальцы работают как в автоматическом режиме, так и одиночными ходами. Межосевое расстояние D_0 является регулируемым.

Двухопорные вальцы (рис. 13.15, *б*) имеют большую жесткость, что позволяет размещать на секторах-штампах до 4...6 ручьев. Секторы-штампы крепят на рабочих валках 2 между опорами станины 3. Для крепления инструмента могут быть использованы консоли 1.

В серийном и массовом производстве применяют многоклетьевые ковочные вальцы: двух-, трех- и девятиклетьевые. Валки вальцов попарно расположены под углом 90° друг к другу и 45° к горизонту.

Деформирование заготовки производится последовательно в каждой паре валков.

Различают следующие виды вальцовки: формовочную, применяемую для получения фасонных заготовок под последующую штамповку на прес-се или молоте; штамповочную, применяемую для окончательного получения заготовок; отделочную, применяемую для холодной вальцовки деталей вместо обработки резанием [6].

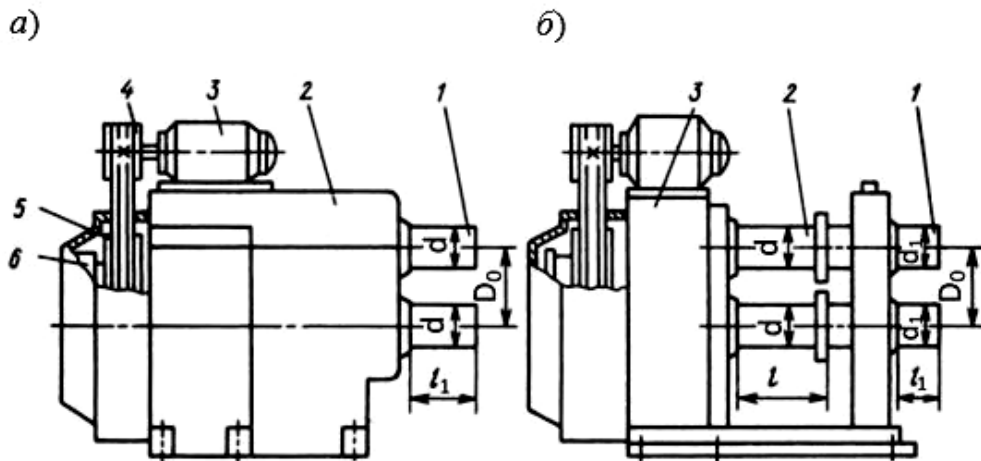


Рис. 13.15. Консольные (*а*) и двухопорные (*б*) ковочные вальцы

Наибольшее распространение получила формовочная вальцовка, которой производят профилирование заготовок под штамповку. Это связано с тем, что в ходе такого процесса металл перераспределяется по длине заготовки с учетом формы и сечений поковки, и дальнейшее применение такой заготовки для штамповки резко увеличивает коэффициент использова-

ния металла. Перед профилированием производят нагрев заготовки.

Штамповочная вальцовка. Штамповочную вальцовку применяют в массовом и крупносерийном производстве мелких и средних по массе поковок переменного сечения простой и сложной форм, например, боковых звеньев скрепкового конвейера, молотков, кулачков. При этом используют обычный метод штамповки (как бы в открытых штампах), но ручки расположены на поверхностях вращающихся валков. За один оборот валков можно получить цепочку из нескольких отштампованных изделий.

Штамповочная вальцовка широко не распространена, т. к. точность получаемых изделий невелика. Однако, несмотря на это, штамповочная вальцовка имеет большую производительность, чем штамповка на молотах и прессах.

13.6. Изготовление заготовок прокаткой

Горячей прокаткой получают заготовки диаметром 10...1000 мм и длиной 70...4000 мм, в том числе заготовки типа ступенчатых и торсионных валов, полуосей автомобилей и тракторов, вагонных осей, шпинделей текстильных веретен, осей автомобильных и тракторных прицепов; точные заготовки зубчатых колес, звездочек для сельскохозяйственных машин, шаров, роликов, колец подшипников; детали типа тракторных катков и крановых колес; роторные валы, червяки червячных редукторов, бурильные штанги, трубы с поперечным оребрением, зубчатые колеса и звездочки, гильзы для гидроцилиндров, шлицевые валы и др.

Наиболее полное представление об основных процессах изготовления изделий прокаткой может дать предложенная академиком А. И. Целиковым их примерная классификация:

- поперечно-винтовая прокатка в винтовых калибрах;
- поперечно-винтовая прокатка с меняющимся положением осей валков (прокатка периодических профилей);
- поперечная прокатка с движущимся поясом деформации вдоль прокатываемого изделия (клиновья прокатка);
- поперечная прокатка зубчатых колес и звездочек;
- продольная прокатка валов, шестерен и шлицев.

13.6.1. Поперечно-винтовая прокатка в винтовых и кольцевых калибрах

Прокатка ребристых и профильных труб. Типовые теплообменные ребристые и профильные трубы, изготавливаемые в винтовых калибрах,

показаны на рис. 13.16. Для производства таких изделий используют специализированные трехвалковые станы (рис. 13.17). Прокатку труб осуществляют тремя приводными валками, оси которых наклонены к оси трубы на угол подачи. Валки сообщают заготовке вращение и осевое перемещение. Для предотвращения налипания металла на валки и уменьшения сил трения и тепловыделения применяют при прокатке смазочно-охлаждающие жидкости. В качестве исходных заготовок для прокатки ребристых и профильных труб служат гладкие трубы из пластичных металлов.

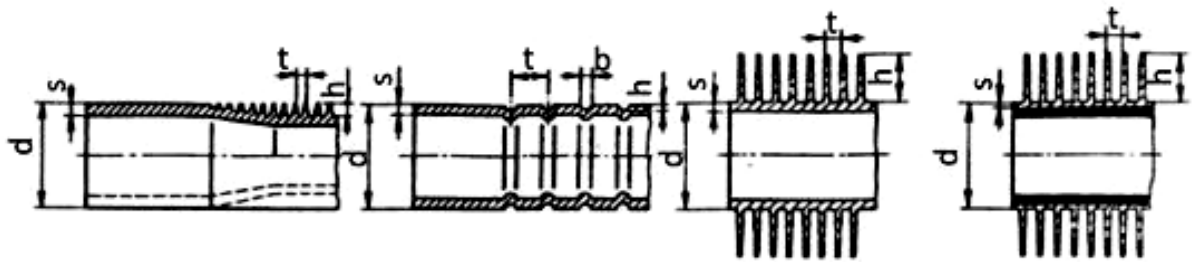


Рис. 13.16. Теплообменные ребристые и профильные трубы, изготовленные поперечно-винтовой прокаткой

Инструментом для винтовой прокатки ребристых и профильных труб выступают валки с кольцевыми или винтовыми калибрами. Формообразование ребер из стенки трубы происходит в результате радиального и осевого обжатия металла в калибрах.

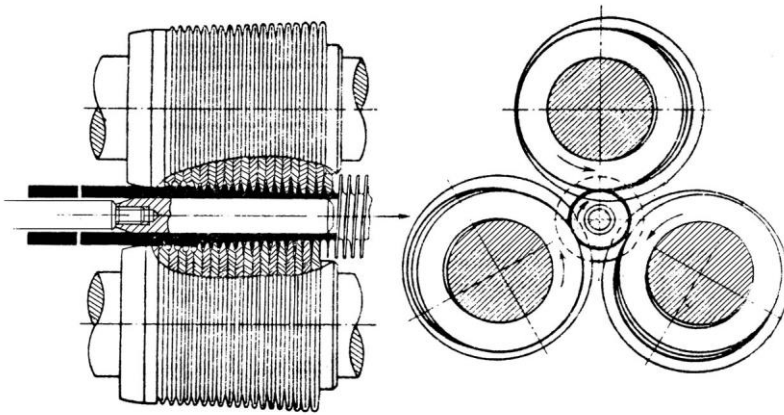


Рис. 13.17. Схема прокатки ребристых труб

Прокатка винтов и червяков цилиндрическими роликами с винтовыми и кольцевыми калибрами получила широкое распространение в

промышленности. Длинномерные винтовые профили изготавливают поперечно-винтовой прокаткой, в процессе которой оси валков установлены к оси прокатки под углом α , называемым углом подачи. Оптимальный угол подачи $\alpha = \pm 6^\circ$. Расстояние между валками в процессе прокатки сохраняется постоянным.

Валки для поперечно-винтовой прокатки имеют формообразующий и калибрующий участки. Формообразующим (заборным) участком осу-

шествуют захват заготовки и предварительное формование профиля. Калибрующий участок окончательно оформляет размеры профиля изделия.

Винтовые изделия, изготовленные прокаткой, обладают рядом преимуществ. Для них характерна более высокая прочность рабочей поверхности, обеспечивающая возрастание несущей способности и износостойкости. Наружные слои металла имеют уплотненную по впадине структуру с волокнами, ориентированными вдоль профиля. Твердость наружных слоев в 1,4...1,5 раза больше твердости исходной заготовки. Срез резьбы у прокатанных винтов происходит при разрушающей силе, превышающей на 20...25 % силу, необходимую для разрушения нарезанной резьбы; прочность при усталостном симметричном изгибе выше в 2,2 раза, а при усталостном переменном растяжении – в 2,6 раза [19].

В настоящее время создан целый ряд станов для прокатки червяков, техническая характеристика которых приведена в табл. 13.4.

Табл. 13.4. Техническая характеристика станов для горячей прокатки червячных валов

Параметр станов	Стан		
	ЗГПЧ-20	ЗГПЧ-25	ЗГПЧ-35
Модуль прокатываемых червячных валов, мм	2...4	3...5	5...8
Диаметр валков, мм	100...160	150...220	170...256
Наибольшая ширина валков, мм	90	120	160
Наибольшая длина прокатываемой части изделия, мм	80	120	160
Наибольшая деформирующая сила на валках, МН	0,2	0,25	0,35
Мощность привода вращения валков, кВт	50	67	85
Масса стана, т	16	19	23
Габаритные размеры стана, м	7×6×2,2	7×6,3×2,4	7,5×6,5×2,5

Прокатка винтовых роторов. Высокая трудоемкость изготовления винтовых роторов связана с получением винтового профиля резанием. Такая же проблема возникает и при производстве роторов забойных двигателей, необходимых для бурения винтовых и газовых скважин. Поэтому стали применять станы для горячей прокатки заготовок роторных валов и стан для прокатки роторов забойных двигателей. При этом используется трехвалковая схема прокатки в винтовых калибрах. Валки развернуты относительно оси прокатываемого ротора на угол подачи (2...6°). Формооб-

разование винтового профиля роторного вала происходит путем одновременного радиального и осевого обжатия металла заготовки в калибрах валков. Валки осуществляют формовку заготовки ротора по методу обкатки.

Применение процесса прокатки заготовок роторных валов целесообразно при производстве даже сравнительно небольших серий винтовых компрессоров. Так, при выпуске 5 тыс. компрессоров прокатный стан высвобождает восемь фрезерных станков, экономится 30...50 % металла. Затраты на стан окупаются в течение одного года [19].

13.6.2. Поперечно-винтовая прокатка с меняющимся положением осей валков (прокатка периодических профилей)

Поперечно-винтовая прокатка с меняющимся положением осей валков используется для производства валов и осей переменного диаметра и большой длины (когда отношение длины к диаметру превышает 10...20). К таким изделиям относят: ступенчатые и конические вагонные оси, торсионные валы, полуоси автомобилей, шпиндели текстильных веретен и др. Поперечно-винтовую прокатку применяют для получения заготовок круглого периодического профиля сплошного или полого сечения под последующую штамповку на КГШП, а также для изготовления некоторых заготовок прокаткой вместо штамповки, например ступенчатых валов.

На рис. 13.18 показана схема стана для изготовления периодического проката круглого сечения. Стан имеет три конических валка 4, закрепленных в головках 3. Валки получают вращение от главного электродвигателя через шестеренную клетку и карданные сочленения. Нагретую заготовку подают между валками к упору зажима 5, который автоматически захватывает передний конец заготовки 2. Одновременно с этим на копирную линейку 8 опускается ролик копирного пальца 9, управляющий следящим клапаном гидравлического привода 10 гидроцилиндров 1. Гидравлический цилиндр через поршень и шток 7 перемещает свободно вращающийся зажим 5 с подвижной тележкой 6 и обрабатываемой заготовкой в направлении рабочего хода (от валков). В соответствии с профилем копирной линейки 8 валки 4 с помощью гидроцилиндров 1 либо сближаются, либо расходятся. По окончании прокатки зажим автоматически освобождает заготовку, и стан вновь готов к прокатке следующей заготовки. Для прокатки другого профиля необходимо сменить линейку 8 [19].

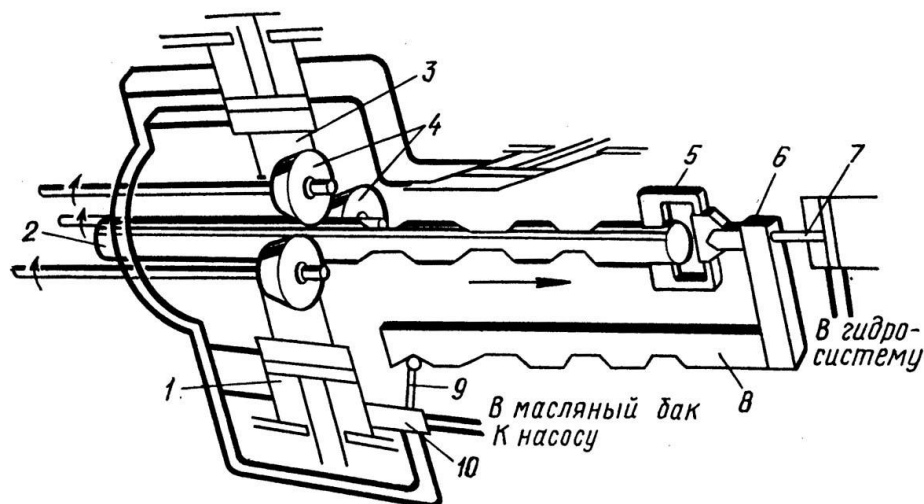


Рис. 13.18. Схема трехвалкового стана поперечно-винтовой прокатки периодических профилей

Технические характеристики станов для поперечно-винтовой прокатки заготовок периодических профилей приведены в табл. 13.5.

Табл. 13.5. Технические характеристики станов винтовой прокатки

Модель стана	Размер исходной заготовки, мм		Размеры проката, мм		Производительность, шт./ч	Мощность главного привода, кВт	Масса стана, т	Габариты стана, м
	$L_{\max}$	D	$L_{\max}$	D				
Стан 10	400	7...12	700	5...10	360	7	3	6,5×1,2×1,5
Стан 20	900	12...20	1200	10...20	240	14	3,6	8×1,7×2
Стан 50	800	25...50	1600	15...50	200	100	30	11×3,8×1,2
Стан 80	2000	40...80	2600	30...80	100	105	25	10,4×3,4×2,3
Стан 100	1500	80...100	2000	40...90	60	118	56	21,3×9,35×3,5
Стан 120	2400	80...120	4000	50...110	40	400	120	18,5×5,65×3,32
Стан 250	2000	230...270	2600	140...250	60	1350	250	28×8×2,5
Стан 450Г	2500	120...450	4000	120...400	20	800	334	24×17,6×3

13.6.3. Поперечная прокатка с движущимся поясом деформации вдоль прокатываемого изделия (клиновья прокатка)

Данный способ эффективен для формообразования различных ступенчатых валов и осей с резкими и значительными переходами диаметров заготовки. При этом в несколько раз увеличивается производительность

труда по сравнению с ковкой и точением таких же заготовок на металлорежущих станках, уменьшается норма расхода металла, снижается себестоимость заготовок.

Точность изделий, изготавливаемых поперечно-клиновой прокаткой (ПКП), составляет $\pm 1\%$ от диаметра заготовки [19]. В условиях мелкосерийного производства ПКП невыгодна из-за высокой стоимости инструмента.

Технические характеристики станов для поперечно-клиновой прокатки заготовок периодических профилей приведены в табл. 13.6.

Табл. 13.6. Технические характеристики станов поперечно-клиновой прокатки

Параметр	Стан для прокатки заготовок Ø 15...50 мм		Стан 100×500 для прокатки заготовок Ø 50...100 мм
	15...40×250	50×520	
Наибольший диаметр проката, мм	40	50	100
Наибольшая длина заготовки, мм: исходной прокатанной	2000 250	6000 520	3000 500
Наибольшая производительность, шт./ч	1200...2000	360	420
Коэффициент использования ме- талла	0,95	0,95	0,95
Масса стана, т	14	30	50
Габаритные размеры линии (в плане), мм	10000×2250	17600×3350	11200×6500

При ПКП исходная цилиндрическая заготовка подвергается воздействию рабочего инструмента с клиновой формой сечения. Наибольшее распространение получили три схемы ПКП (рис. 13.19).

На станах, работающих по валковой схеме (рис. 13.19, а), можно изготавливать заготовки с практически неограниченными перепадами между отдельными ступенями, прокатывать не только штучную, но и прутковую заготовку, что позволяет экономить материал за счет уменьшения конечных отходов. Достоинством этой схемы прокатки является и то, что при использовании прутковой заготовки процесс прокатки можно осуществлять прерывисто, с остановкой валков через каждый их оборот либо без остановки, когда металл подают в валки с помощью винтовых реборд, монтируемых на рабочей поверхности валка. Недостаток прокатки по вал-

ковой схеме заключается в повышенной, по сравнению с плоским инструментом, сложности изготовления рабочих валков и инструмента.

Станы с плоскоклиновым инструментом (рис. 13.19, б) нашли широ-

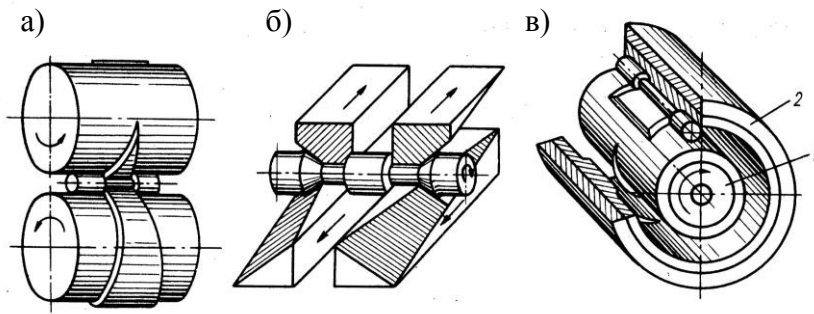


Рис. 13.19. Схемы ПКП с использованием валкового (а), плоского (б) и валково-сегментного (в) инструмента

кое применение благодаря простоте изготовления инструмента и его высокой стойкости. Можно изготавливать сборный инструмент практически с любой твердостью рабочей поверхности.

Недостатком является лишь то, что нельзя вести прокатку от прутка (применяют исходные штучные заготовки).

Весь цикл изготовления ступенчатых валов методом ППК на станах с плоскоклиновым инструментом включает получение штучных заготовок рубкой на прессах, нагрев заготовок до ковочных температур, процесс формообразования прокатанной детали и транспортирование заготовок в ходе обработки. Данная последовательность проведения операций изготовления предопределила структуру комплексов поперечно-клиновой прокатки, содержащую прокатный стан, устройства и механизмы, несущие определенное функциональное назначение.

Конструкция станов с валково-сегментным инструментом (рис. 13.19, в) относительно проста и компактна, так как привод имеет лишь один валок 1 при неподвижном сегменте 2. На станах можно автоматизировать загрузку и выгрузку заготовок и тем самым повысить производительность. Но эти станы имеют и существенные недостатки: сложность изготовления и восстановления сегментного инструмента; прокатку можно вести только с применением штучных заготовок; детали, полученные на данных станах, имеют большую кривизну.

13.6.4. Поперечная прокатка зубчатых колес и звездочек

Поперечная прокатка применяется для формообразования зубьев крупномодульных зубчатых колес и звездочек без снятия стружки. Оборудованием для прокатки зубчатых колес и звездочек служат зубопрокатные станы. Станы полностью автоматизированы, обеспечивают высокую производительность процесса и хорошее качество зубчатых колес.

На рис. 13.20 показана схема прокатки с осевой подачей заготовки. Нанизанная на стержень нагретая заготовка проталкивается между двумя вращающимися зубчатыми колесами – инструментами, установленными на определенное межцентровое расстояние. В процессе прокатки на валки подается смазочный материал.

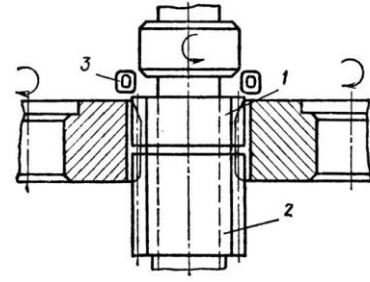


Рис. 13.20. Схема прокатки шестерни с осевой подачей заготовки: 1 – заготовка; 2 – эталонная шестерня; 3 – индуктор

При способе прокатки с радиальной подачей валков (рис. 13.21) нагретую цилиндрическую заготовку 1 помещают между двумя вращающимися зубчатыми валками. Заготовке сообщается принудительное вращение со скоростью, соответствующей передаточному отношению между валками и прокатываемым зубчатым колесом. Затем осуществляют рабочую подачу валков в направлении к оси заготовки. Инструмент для горячей прокатки зубчатых колес содержит две пары валков, одна из которых гладкая (рис. 13.21, а), а вторая – зубчатая (рис. 13.21, б). Обработку заготовки вначале производят гладкими валками, чтобы при-

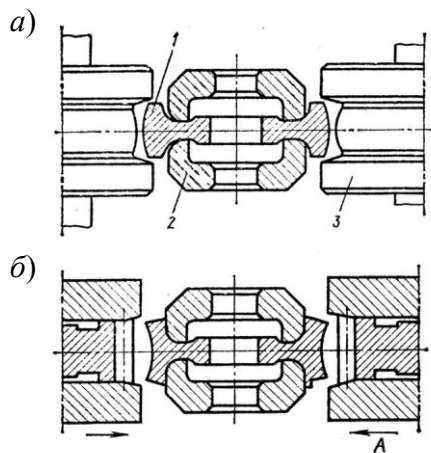


Рис. 13.21. Схемы прокатки зубчатых колес с радиальной подачей валков: 1 – заготовка; 2 – центрирующие конусы; 3 – гладкие валки

дать ободу заготовки точные размеры по диаметру и ширине. Одновременно с этим на наружной стороне обода накатывается желобок со стрелой прогиба в зависимости от нужного модуля и ширины колеса. После прокатки обода гладкие валки разводятся, и заготовка устанавливается против зубчатых валков, которые производят прокатку зубьев, как было описано ранее.

Прокатка зубчатых колес с припуском под зубофрезерование снижает на 15...25 % расход металла, увеличивает в 5...10 раз производительность операции чернового зубофрезерования и повышает на 20...30 % прочность деталей. Зубчатые колеса с модулем до 4...5 мм целесооб-

разно прокатывать с припуском 0,2 мм по профилю зуба под шлифовку. Прокатка с припуском под шлифовку повышает в 3...5 раз производительность операции зубофрезерования, снижает на 10...15 % расход металла и увеличивает на 20...30 % долговечность изделий [9].

Для прокатки звездочек для втулочно-роликовых цепей с шагом 25,4 мм используют заготовку двух типов: штампованные со ступицей и плоские, вырезанные из листа. Базой при прокатке служит центральное

отверстие. Нагретая заготовка передается в зубчатые валки и накатывается в них. После прекращения подачи выполняют калибровку заготовки в валках (за 3...5 оборотов). При изготовлении заготовок из листа его толщину выбирают на 4...5 мм меньше, чем для заготовок, предназначенных к нарезанию. Торцы заготовок перед прокаткой не обрабатывают. Внутреннее отверстие предварительно растачивают с припуском для дальнейшей механической обработки, осуществляемой после прокатки [11, 19].

13.6.5. Область применения заготовок из проката

В машиностроении применяют товарные заготовки, сортовые и фасонные профили общего, отраслевого и специального назначения, трубный прокат, гнутые, горячепрессованные и периодические профили (табл. 13.7).

Табл. 13.7. Области применения заготовок из проката [13]

Прокат	ГОСТ	Область применения
1	2	3
Сортовые профили общего назначения (круглые, квадратные, шестигранные, полосовые)	2590 2591 2879 103	Изготовление гладких и ступенчатых валов с небольшим перепадом диаметров; стаканов диаметром до 50 мм, втулок диаметром до 25 мм, рычагов, клиньев, фланцев
Фасонные профили проката общего назначения из стали угловой: равнополочная неравнополочная балки двутавровые швеллеры	8509 8510 8239 8240	Изготовление металлоконструкций (рам, плит, подставок, кронштейнов)
Трубный прокат стальной бесшовный горячекатаный, холоднотянутый, холоднокатаный	8732 8734	Изготовление цилиндров, втулок, гильз, шпинделей, стаканов, барабанов, роликов, пустотелых валов
Гнутые профили: U-образные неравнобокие С-образные корытообразные	8278 8281 8283	Изготовление опор, кронштейнов, консолей, ребер жесткости
Горячепрессованные профили сложной формы (пустотелые, полузамкнутые)	—	Изготовление скоб, направляющих, прижимов
Профили продольной прокатки	8319 8319.13	Изготовление балок передних осей автомобилей, лопаток, осей
Профили поперечно-винтовой прокатки	8320.0 832.13	Изготовление валов электродвигателей, шпинделей машин, осей рычагов

Окончание табл. 13.7

1	2	3
Профили поперечно-клиновой прокатки	—	Изготовление валов коробки передач автомобиля, валиков и др. деталей типа тел вращения в крупносерийном и массовом производстве
Профили поперечной прокатки	7524	Изготовление шариков подшипников качения, профилированных трубчатых деталей (втулки)

Контрольные вопросы

1. Какое оборудование используется для гибки и как осуществляется этот процесс?
2. Какие виды вальцовки в зависимости от применяемого оборудования существуют?
3. Дайте характеристику существующим схемам раскатки кольцевых заготовок.
4. Как осуществляется обработка на ротационно-обжимных и радиально-обжимных машинах?
5. Какие заготовки и какими способами прокатки можно изготовить?
6. Как осуществляется процесс поперечно-клиновой прокатки?

14. ХОЛОДНАЯ ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА

14.1. Общие сведения о холодной объемной штамповке и основные схемы

Холодной объемной штамповкой (ХОШ) называют технологические операции обработки давлением, в процессе которых происходит оформление штампованной поковки (детали) в результате заполнения полости штампа деформируемым металлом при условии его полного упрочнения, что возможно при полном отсутствии явлений возврата или рекристаллизации [19].

Холодная объемная штамповка, по сравнению с горячей, обеспечивает: более высокую точность размеров (8...12 квалитеты в поперечном направлении и качество поверхности с параметром шероховатости $Ra = 0,8...2,5$ мкм); улучшенные характеристики и повышенное качество изготовленных деталей; уменьшение отходов металла и трудозатрат на последующих операциях обработки резанием; более высокую производительность труда; возможность автоматизации и механизации процесса штамповки и др. [19].

При сравнительной оценке эффективности различных способов ХОШ основными характеристиками обычно служат:

- коэффициент использования материала (КИМ), который при холодной объемной штамповке в среднем составляет 0,9...0,98;
- производительность, которая выше по сравнению с производительностью обработки резанием в 10...15 раз, горячей прокатки (поперечно-винтовой, поперечно-клиновой, поперечной) – в 8...12 раз, полугорячей штамповки – в 5...10 раз, горячей штамповки – в 3...5 раз [12].

В табл. 14.1 приведены основные показатели качества заготовок, полученных способами холодной объемной штамповки.

Табл. 14.1. Основные показатели качества заготовок, полученных способами холодной объемной штамповки [13]

Способ холодной объемной штамповки	Размер или поверхность	Допуски, мм, или квалитет, IT	Шероховатость Ra , мкм
Выдавливание	Диаметр Длина	IT8...IT10 IT11...IT15	–
Выдавливание цветных сплавов	Внутренняя поверхность	IT8...IT10	До 0,04
	Наружная поверхность	IT12...IT15	До 0,16
Выдавливание черных сплавов	Внутренняя поверхность	IT8...IT10	До 0,16
	Наружная поверхность	IT12...IT15	До 10
Высадка	Поперечный Длина	IT8...IT9 IT11...IT12	0,63...2,5

На рис. 14.1 представлены схемы ХОШ, с помощью которых можно изготавливать разнообразные детали. Схемы характеризуют процесс перемещения металла во время деформации. Возможная деформируемость применяемых сталей (относительная степень деформации ε , %) в зависимости от схемы деформации приведена в [21].

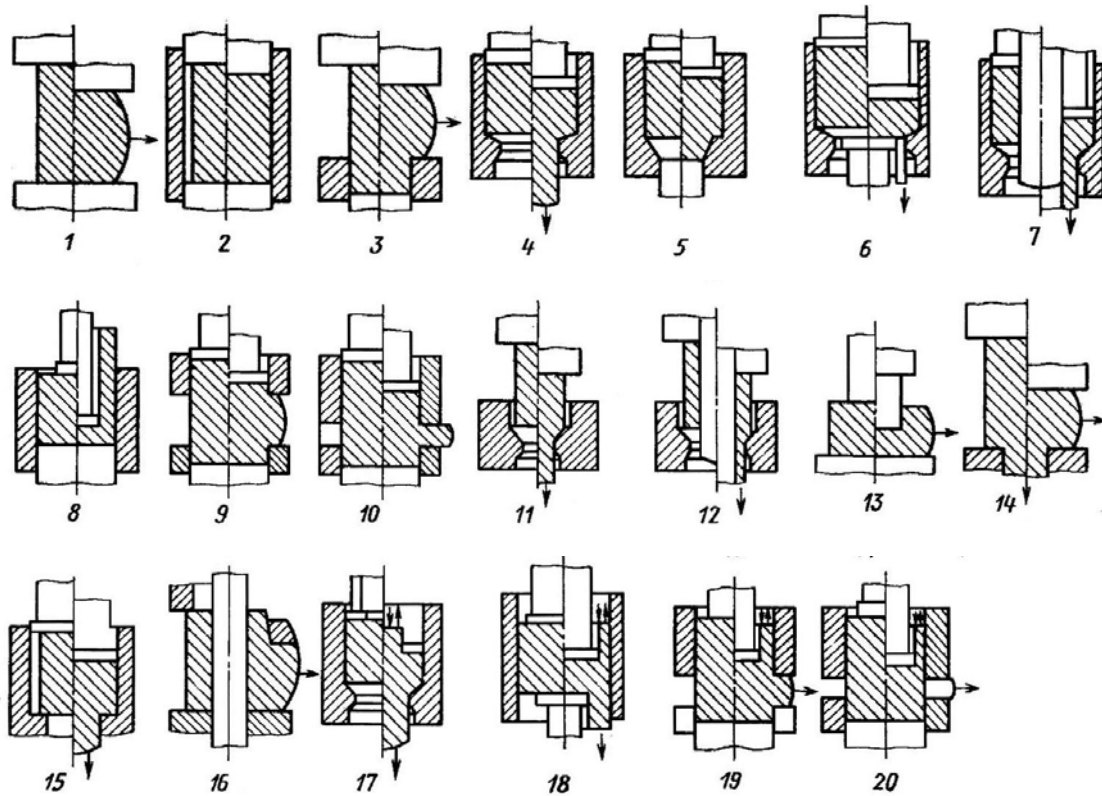


Рис. 14.1. Схемы холодной объемной штамповки: 1, 2 – открытая и закрытая осадка сплошного стержня; 3 – открытая высадка сплошного стержня; 4, 5 – прямое выдавливание сплошного стержня постоянного и переменного сечений; 6, 7 – прямое выдавливание полого стержня из сплошной и полой заготовок; 8 – обратное выдавливание полого стержня постоянного сечения из сплошной заготовки; 9, 10 – боковое и радиальное выдавливание; 11, 12 – редуцирование сплошного и полого стержней на оправке; 13 – открытая прошивка; 14, 15 – открытая осадка, выдавливание и закрытая осадка, выдавливание сплошного стержня; 16 – открытая осадка и выдавливание полого стержня на оправке; 17, 18 – двустороннее выдавливание сплошного и полого стержней; 19, 20 – обратное выдавливание полости, боковое и радиальное выдавливание

Осадка – технологический процесс (операция), при котором происходит уменьшение высоты заготовки и увеличение площади ее поперечного сечения. Различают открытую и закрытую осадку.

Высадка – технологический процесс (операция), при котором происходит осадка части заготовки. Применяют для образования местного утолщения или фланца, а также для набора металла, необходимого при последующей штамповке.

Прямое выдавливание (прессование) – технологический процесс (операция), при котором происходит истечение металла из замкнутой по-

лости в направлении движения рабочего инструмента через отверстие матрицы. Используют для получения стержневых поковок с утолщением (головкой) на одном конце.

Обратное выдавливание (закрытая прошивка) – технологический процесс (операция), при котором происходит истечение металла из замкнутой полости в направлении, обратном движению рабочего инструмента (пуансона), в зазор между пуансоном и матрицей. Применяют для штамповки поковок типа стаканов, поршневых пальцев, толкателей клапана и др.

Боковое выдавливание – технологический процесс (операция), при котором происходит истечение металла, находящегося в полости штампа, в его боковую полость или боковое отверстие. Применяют для изготовления поковок с боковыми отрезками (крестовины карданного вала, корпуса газосварочной аппаратуры, тройники и др.).

Радиальное выдавливание – технологический процесс (операция), при котором происходит истечение металла из замкнутой полости штампа через щель, расположенную по ее периметру на боковой поверхности, для образования фланца (бурта). Применяют в качестве самостоятельной операции при штамповке поковок с фланцами (звездочек, зубчатых колес, крышек, фланцев на трубах и др.).

Редуцирование – технологический процесс (операция), частный случай прямого выдавливания.

Открытая прошивка – технологический процесс (операция), при котором происходит образование несквозной полости в заготовке в результате свободного вытеснения металла.

Рассмотренные операции ХОШ используют как самостоятельные технологические операции, так и в сочетании друг с другом (комбинированные операции (рис. 14.1)).

Холодной объемной штамповкой на прессах или автоматах выполняют также такие операции, как чеканка (для образования на поверхности штампованной детали рельефных изображений вследствие перераспределения металла) и калибровка (повышает точность размеров штампованной детали и уменьшает шероховатость ее поверхности), а также правка давлением, гибка, обжим, раздача, кернение и др. [19].

Для процессов холодной объемной штамповки используют различное кузнечно-штамповочное оборудование: холодновысадочные автоматы, механические и гидравлические прессы.

Наиболее распространенным способом объемной штамповки в холодном состоянии является штамповка по схемам выдавливания и высадки.

14.2. Заготовки для холодной объемной штамповки

Заготовки для ХОШ получают из проката. На качество заготовки значительно влияет способ разрезки проката. Существующие способы разрезки обеспечивают требуемое качество заготовок, однако в каждом конкретном случае способ разрезки прутка на заготовки следует выбирать с учетом экономических показателей и возможностей завода. Для холодного выдавливания чаще применяют разрезку на токарных полуавтоматах и в штампах на прессах. Разрезка пилами распространена для получения сравнительно крупных заготовок, в большинстве случаев для горячего выдавливания [6].

Объем штампованной заготовки определяется из чертежа с учетом припусков и напусков на обработку. При сложной форме штампованную заготовку делят на отдельные простейшие элементы, суммированием которых получают общий объем. Объем технологических отходов определяют также из чертежей заготовок по переходам на основании маршрутной технологии. Для получения расчетного объема исходной заготовки сумму объемов штампованной заготовки по чертежу и технологических отходов увеличивают на 3...7 % в зависимости от сложности формы детали. На основании определенного расчетным путем объема выбирают форму и размеры сечения прутка или проволоки для штамповки.

14.3. Изготовление деталей высадкой на автоматах

Высадкой изготавливают множество металлических деталей, в том числе таких массовых, как винты, болты, заклепки, гвозди и т. п. Применение высадки повышает производительность, улучшает качество деталей и увеличивает коэффициент использования металла.

Холодную высадку деталей осуществляют на автоматах. По числу позиций автоматы делят на однопозиционные и многопозиционные. Однопозиционные автоматы разделяют по числу ударов на одно-, двух- и трехударные. Многопозиционные автоматы могут быть одно- и двухударными.

По конструкции высадочных матриц различают автоматы с цельными и разъемными матрицами. Однопозиционные автоматы изготавливают как с цельными, так и с разъемными матрицами, а многопозиционные – в основном с цельными. Использование разъемных матриц позволяет изготавливать длинные детали, а также снижает усилие выталкивания высаженной заготовки, поскольку матрица раскрывается при выталкивании. Однако точность размеров и качество поверхности деталей, изготавливаемых в разъемных матрицах, ниже, чем деталей, полученных высадкой в цельных матрицах.

Технологические особенности высадки на однопозиционных автоматах заключаются в том, что высадку деталей производят в одной матрице последовательно одним, двумя или тремя пуансонами (рис. 14.2, а, б и в). Калиброванная проволока или прутки 1 подается до упора 4 сквозь отрезную матрицу 2.

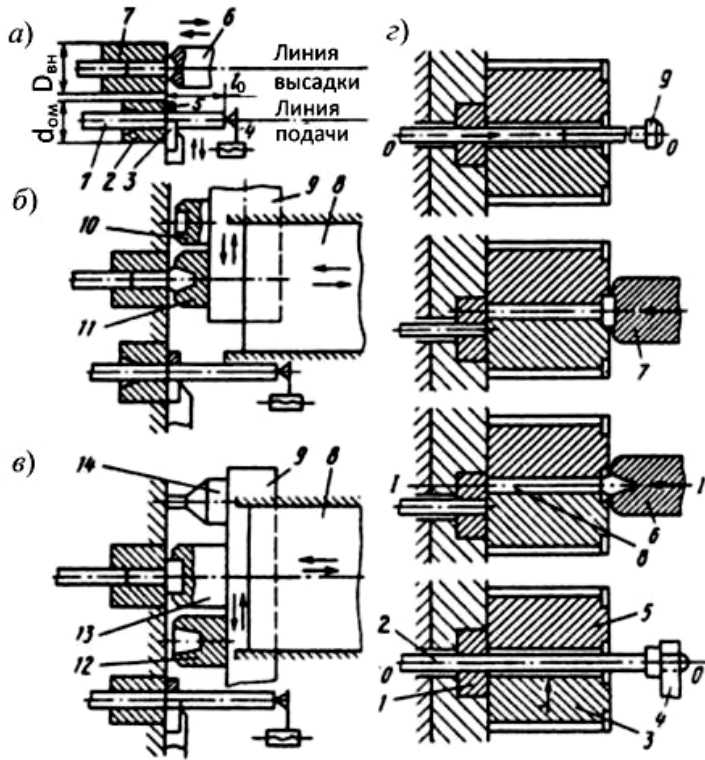


Рис. 14.2. Технологические переходы холодной высадки на однопозиционных автоматах с цельной (а–в) и разъемной (г) матрицами

Нож 3 во время рабочего хода отрезает мерную заготовку длиной l_0 и с помощью мерной планки 5 переносит ее на линию высадки к матрице 7. Заготовка должна быть установлена соосно с матрицей. Высадка осуществляется пуансоном 6. На двухударном автомате (см. рис. 14.2, б) высадку производят пуансоны 10 и 11, а на трехударном (см. рис. 14.2, в) – пуансоны 12, 13 и 14. Пуансоны встроены в пуансонодержатель 9, закрепленный на перемещающейся пуансонной головке 8.

Схема процесса двухударной высадки на автомате с разъемной матрицей изображена на рис. 14.2, г. Исходный материал 2 подают до упора 4 через отрезную матрицу 1 и раскрытые полуматрицы 3 и 5. После окончания подачи материала полуматрицы закрываются и, перемещаясь к линии высадки, отрезают заготовку 8. Затем осуществляется первый переход высадки коническим пуансоном 6, а потом окончательная высадка пуансоном 7. По окончании высадки полуматрицы возвращаются на линию подачи и одновременно раскрываются. Деталь 9 выталкивается из полуматриц при подаче исходного материала.

Особенность многопозиционной высадки заключается в том, что формообразование последующей заготовки начинают, как правило, во время окончания обработки предыдущей. Таким образом, весь процесс обработки производится последовательно-параллельно.

На многопозиционных автоматах могут быть применены осадка, высадка, редуцирование, прямое и обратное выдавливание, обрезка по заданному контуру, пробивка, гибка, вытяжка детали из плоской заготовки и др.

Наибольший диаметр (поперечный размер) деталей составляет 50...55 мм, наибольшая длина штампуемых деталей на автоматах – 200...300 мм, на специализированных автоматах – до 400...500 мм. При полуавтоматической высадке предварительно нарезанных заготовок длина деталей может достигать 1500...2000 мм. На автоматах наиболее распространена холодная объемная штамповка деталей диаметром 3...22 мм.

Исходной заготовкой для штамповки на автоматах служат проволока, полученная волочением, и катанка, калиброванная волочением. Могут быть использованы также горячекатаные калиброванные прутки [12].

14.4. Холодное выдавливание

Выдавливание является одной из наиболее высокоэффективных технологических операций холодной объемной штамповки. Различают прямое и обратное, а также боковое и радиальное выдавливание (рис. 14.1). Преимущества холодного выдавливания:

- возможность получения за одну операцию значительных степеней деформации заготовки (до 80 %);
- получение благоприятного направления волокон вдоль конфигурации детали и упрочненного слоя на поверхности, за счет чего повышаются надежность и долговечность детали в эксплуатации;
- коэффициент использования металла повышается на 10...30 % по сравнению с литьем и горячей штамповкой, а по сравнению с резанием увеличивается в 2...3 раза;
- уменьшение отходов металла;
- снижение себестоимости и трудоемкости изготовления за счет сокращения числа операций и занятого оборудования;
- возможность механизации и автоматизации процесса.

Эффективность применения холодного выдавливания повышается при изготовлении сложных по форме деталей, а также осесимметричных с большими перепадами сечений или наличием полостей. Обработка резанием подобных деталей связана с немалым расходом инструмента, трудоемкостью и большим отходом металла в стружку; кроме того, перерезаются волокна и снимается самый упрочненный слой с поверхности заготовки.

При изготовлении деталей холодным выдавливанием вместо дорогостоящей холоднокатаной стали можно применять более дешевую малоуглеродистую и горячекатаную сталь, а при изготовлении пустотелых деталей вместо дорогостоящего и дефицитного трубного проката – сплошной прокат.

Размеры выдавливаемых деталей ограничиваются только прилагаемым усилием и возможностями применяемого оборудования. Холодное

выдавливание производят как на автоматах, так и на прессах. На прессах удается выдавливать детали высотой 5...1200 мм с наружным диаметром 5...150 мм. В основном же методом холодного выдавливания получают детали диаметром до 120 мм и длиной 300 мм.

Для выдавливания используют кривошипные, кривошипно-коленные и гидравлические прессы. Применение кривошипных и кривошипно-коленных прессов позволяет осуществлять выдавливание с высокой производительностью по сравнению с гидравлическими прессами. Гидравлические прессы имеют значительно больший ход, что особенно важно для изготовления высоких деталей и обеспечивает более спокойные условия работы инструмента [6].

Преимуществом гидравлического пресса является независимость допустимой силы от положения ползуна. Это позволяет применять как вертикальные, так и горизонтальные гидравлические прессы для выдавливания удлиненных деталей, в том числе ступенчатых валов длиной до 1 м и более, массой до 10 кг и более [12].

14.5. Специализированные процессы формообразования заготовок и деталей в холодном состоянии

К специализированным процессам формообразования заготовок и деталей в холодном состоянии относят редуцирование, выдавливание, накатку, раскатку и др.

Редуцирование делят на одно- и многопереходное, одностороннее и двустороннее с направлением заготовки по образующей или без него. Редуцирование на универсальных гидравлических прессах осуществляет в специальных штампах.

При формообразовании шлицев редуцированием деформация изменяется не только вдоль оси заготовки, но и в поперечном ее сечении на коническом шлицевом участке матрицы в соответствии с числом и формой шлицев (рис. 14.3). Процесс деформации складывается из предварительного обжатия ци-

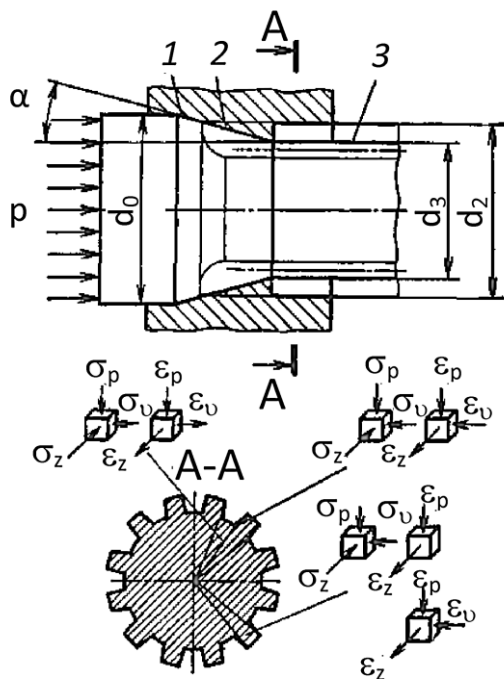


Рис. 14.3. Очаг деформации и изменение деформации в поперечном сечении заготовки при редуцировании шлицев

линдрической заготовки на участке 1, формообразования шлицев на участке 2, калибровки шлицев на участке 3. При редуцировании в матрице без приемной части на заготовке у входа в очаг деформации наблюдается некоторое увеличение диаметра.

Общие требования к заготовкам, подготовке их поверхности при редуцировании на валах шлицев остаются теми же, что и при формообразовании цилиндрических деталей. В зависимости от формы детали, на которой необходимо образовать шлицы, исходные заготовки могут быть ступенчатыми или с прямолинейной образующей.

При изготовлении шлицев на шейке вала, которой предшествует шейка меньшего диаметра, примерно равного внутреннему диаметру шлицев, переход от меньшего к большему диаметру шейки следует выполнять по конусу, образующая которого наклонена к оси под углом не более 45° , либо по радиусу $R \geq (d_H - d_B)/2$. При несоблюдении данного условия в месте перехода могут возникнуть трещины. В случае, если шейка со шлицами является крайней, желательно наличие фаски на торце заготовки, расположенной под углом к оси не более 45° и равной по высоте шлицам, что улучшает условия формообразования последних в начальный период.

Профиль калибрующей части матрицы соответствует числу и профилю образуемых шлицев: прямобочных, эвольвентных, трапецеидальных, треугольных. Угол конусной части матрицы 2α выбирают не только для осуществления процесса при минимальной силе, но и для обеспечения удовлетворительного качества шлицев. Оптимальный угол 2α в зависимости от коэффициента трения ($\mu = 0,05 \dots 0,20$), деформации ($\varepsilon_{отн} = 0,05 \dots 0,22$), числа шлицев ($n_{ш} = 6 \dots 20$) находится в пределах $10 \dots 32^\circ$. Меньшие значения углов 2α соответствуют меньшим коэффициенту трения, деформации и числу шлицев.

Шлицы, образованные редуцированием в жестких конических матрицах, имеют точность 6...8 квалитетов.

При редуцировании прямобочных шлицев по наружному диаметру у их края образуется незаполнение углов до 0,3 мм, что устраняют шлифованием после термической обработки валов.

Длина редуцируемого шлицевого участка ограничивается обычно $\ell_{ш} = 3d_2$ вследствие увеличения искривления оси вала при больших длинах.

Выдавливание позволяет получать полости штампов и пресс-форм с допускаемыми отклонениями размеров по 8 и 9 квалитетам и с параметром шероховатости поверхности $Ra = 0,05 \dots 0,8$ мкм.

Основным параметром, характеризующим формоизменение в процессе холодного выдавливания полостей рабочих деталей технологической

оснастки, является относительная глубина выдавливания, т. е. отношение глубины h выдавливания полости за один рабочий ход пресса к диаметру d полости, или отношение $h/\sqrt{ab}$, где a и b – длина и ширина прямоугольной полости.

Технологический процесс холодного выдавливания штампового инструмента осуществляется несколькими способами, выбор которых зависит от конфигурации и размеров полостей, подлежащих выдавливанию, типа и основных параметров гидропрессового оборудования, конструкции матрицы (штампа), требуемой точности размеров и шероховатости поверхности, числа матриц, подлежащих изготовлению, и т. п.

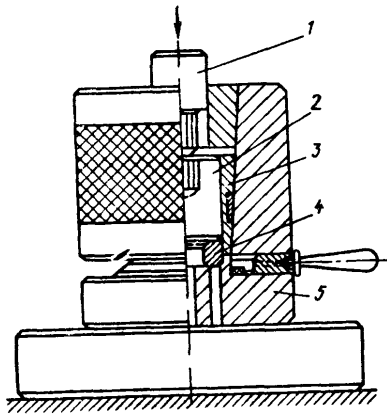


Рис. 14.4. Пакет-штамп для цилиндрических заготовок

В пакете-штампе (рис. 14.4) мастер-пуансон 1 вдавливается в цилиндрическую заготовку 2; в процессе выдавливания полости исключается течение металла заготовки в радиальном направлении, обеспечивается шероховатость поверхности $Ra = 0,8 \dots 1,6$ мкм.

Для облегчения выпрессовки заготовки 2 после выдавливания полости служит коническое кольцо 3, состоящее из трех секций.

С целью снижения силы выдавливания в нижней плите 5 пакета-штампа установлено цилиндрическое кольцо-приемник 4, в которое перемещается часть металла заготовки. С помощью этого кольца можно получить сложные формообразующие полости матриц пресс-форм значительной глубины; сила выдавливания при этом уменьшается на 10...15 %. В нижней плите пакета-штампа для удобства последующей обработки резанием поверхности выдавленной заготовки предусмотрено место для установки приемного кольца с запрессованным центром.

Накатка – образование на заготовках специальных профилей (резбовых, шлицевых и др.). Циклическая прочность таких соединений повышается в 1,6 раза в сравнении с точением, нарезанием.

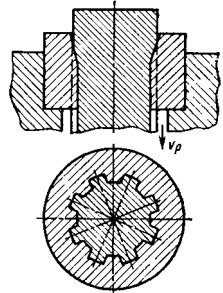
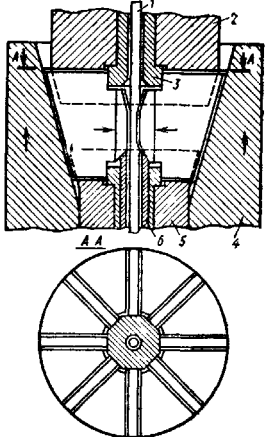
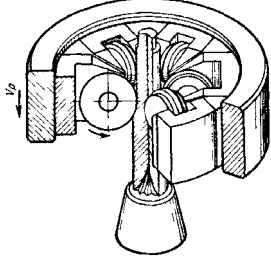
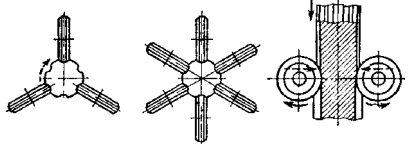
Процесс накатки широко применяется при производстве валов и осей со шлицами прямобоочного, эвольвентного и остроугольного профилей.

По кинематике способы пластического формообразования разделяются на две основные группы: копирования и огибания (табл. 14.2).

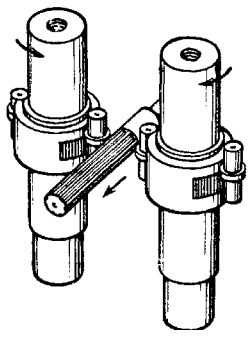
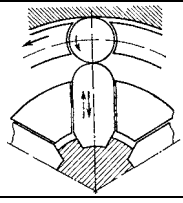
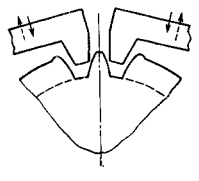
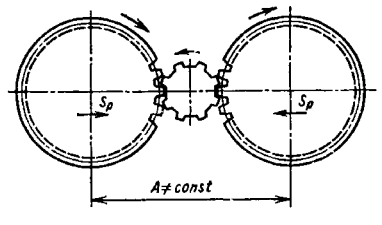
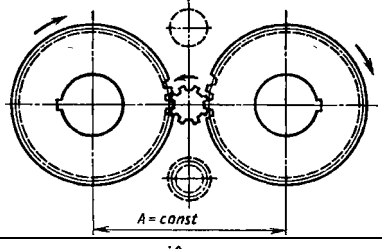
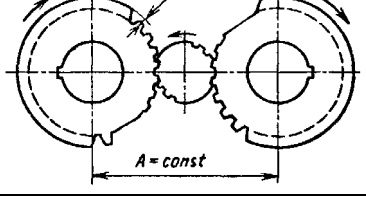
К способам копирования, обычно применяемым для получения деталей со шлицами прямобоочного профиля и шлицами относительно большой глубины при небольшом числе зубьев, относятся редуцирование через зубчатую матрицу, радиальное выдавливание путем накатки много роликовыми головками, ударное радиальное формообразование.

К способам огибания, применяемым для получения многозубых шлицевых валов с эвольвентным профилем и углом 30 или 45° и треугольного профиля с углом при вершине $60...90^\circ$, относятся накатка рейками, червяками, поперечная и поперечно-винтовая накатка и т. п.

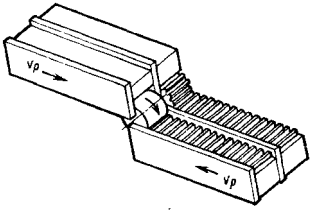
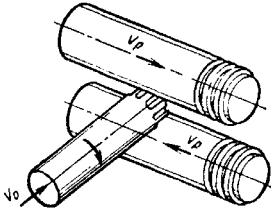
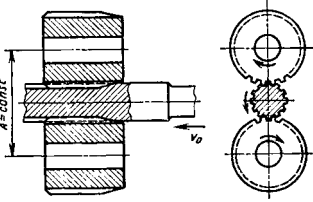
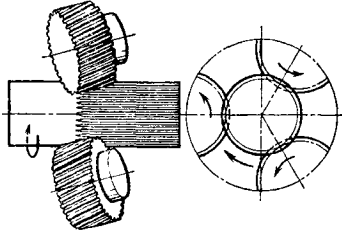
Табл. 14.2. Схема накатки и других способов формообразования шлицев [12]

Способ формообразования	Схема обработки	Область применения
1	2	3
Редуцирование или волочение через зубчатую матрицу		Сквозные и закрытые шлицы любого профиля
Радиальная штамповка		Сквозные и закрытые шлицы любого профиля. Возможна обработка напроход
Продольная накатка многороликовой головки: с периодическим поворотом обрабатываемой заготовки		Сквозные и закрытые шлицы любого профиля Шлицы большой длины на нежестких валах
одновременное получение шлицев с радиальной подачей роликов		Сквозные шлицы на жестких валах

Продолжение табл. 14.2

1	2	3
Ударная накатка вращающимися роликами: с непрерывным вращением обрабатываемой заготовки с периодическим поворотом обрабатываемой заготовки		Сквозные и закрытые шлицы любого профиля
Радиальное обжатие пуансонами		Сквозные и закрытые шлицы любого профиля. Возможна обработка напроход
Пуансонами с делением заготовки		Сквозные шлицы и зубчатые колеса с эвольвентным профилем зуба. Накатываются мелко модульные зубья небольшой длины. Калибруются после предварительной обработки зубья среднего модуля
Зубчатыми роликами с радиальной подачей инструмента (поперечная накатка)		Сквозные и закрытые шлицы и зубчатые колеса эвольвентного и треугольного профилей (при мелко модульных зубьях)
Зубчатыми роликами с постоянным профилем		Сквозные и закрытые шлицы и зубчатые колеса эвольвентного и треугольного профилей
Затылованными зубчатыми роликами		Сквозные и закрытые шлицы и зубчатые колеса эвольвентного и треугольного профилей

Окончание табл. 14.2

1	2	3
Плоскими зубчатыми рейками		Сквозные и закрытые шлицы эвольвентного и треугольного профилей
Цилиндрическими зубчатыми рейками		Сквозные и закрытые шлицы эвольвентного и треугольного профилей на сплошных и пустотелых валах
Зубчатыми роликами с прямыми формообразующими зубьями (накатка прутков)		Сквозные и закрытые шлицы эвольвентного и треугольного профилей
Зубчатыми роликами с винтовыми формообразующими зубьями (поперечно-винтовая накатка)		Сквозные шлицы эвольвентного и треугольного профилей. Накатка ведется напроход

Радиальная штамповка осуществляется при одновременном перемещении пуансонов к оси заготовки, число пуансонов соответствует числу впадин шлицевого вала, а форма рабочей части пуансона – профилю впадины. Радиальную штамповку зубчатых профилей проводят в специальных штампах.

Продольная накатка многороликовой головкой осуществляется при относительном перемещении ее вдоль оси заготовки и накатной головки. В накатной головке звездообразно установлены накатные ролики, свободно поворачивающиеся на осях. Заготовка может продавливаться или протягиваться через накатные ролики. Рабочий профиль ролика зависит от формы накатываемых шлицев. При продольной накатке многороликовыми головками шлицы можно получать тремя способами. Первый – накатка с делением, т. е. с периодическим поворотом заготовки после накатки двух или трех противоположных впадин. Второй – одновременная накатка всех шлицевых впадин на полную глубину. Третий – многократная накатка с периодическим перемещением накатных роликов к центру заготовки.

Способами огибания получают эвольвентные или треугольные шлицы

цы. В зависимости от способа подачи инструмента или заготовки различают накатку с радиальной и тангенциальной подачей инструмента и накатку с подачей вдоль оси заготовки.

Накатку зубчатыми роликами с радиальной подачей инструмента (поперечную накатку) осуществляют посредством перемещения инструмента к оси заготовки. После формирования профиля, которое происходит при уменьшающемся расстоянии между роликами, проводится калибровка при постоянном межцентровом расстоянии. Накатку можно осуществлять одним, двумя или тремя накатниками. Заготовку устанавливают в центрах или в патроне. В качестве приводных можно использовать один или несколько роликов или заготовку.

Накатку с тангенциальной подачей зубчатыми роликами с постоянным профилем зуба можно проводить на двухшпиндельных резбонакатных станках или на специальных шлиценакатных станках, работающих методом тангенциальной подачи. Формообразование зубьев можно осуществлять с приводом только на накатные ролики или с приводом на ролики и заготовку.

Накатку проводят при одинаковой скорости вращения роликов разных диаметров или при разных скоростях вращения роликов одинакового диаметра. Вращаются накатные ролики в одну или разные стороны.

Ролики с постоянной высотой зубьев имеют профиль, сопрягаемый с профилем детали по всему периметру.

Накатные ролики устанавливают на требуемом межцентровом расстоянии, которое не меняется в процессе накатки. Заготовка перемещается между накатниками принудительно или в результате самозатягивания и может быть жестко связана с эталонным колесом, которое перемещается вместе с ней между колесами ведущего (делительного) механизма. Если такой связи нет, но заготовка все же принудительно подается в рабочую зону, то накатывание с тангенциальной подачей ведется по так называемой дифференциальной схеме. При бесцентровой накатке заготовка перемещается в тангенциальном направлении вследствие самозатягивания и не связана с эталонным колесом, синхронизирующим вращение накатников. Накатка плоскими рейками является одним из перспективных и высокопроизводительных методов накатки с тангенциальной подачей. Заготовку устанавливают в центрах, но можно применять и бесцентровую накатку. Профиль на заготовке накатывается на полную глубину двумя рейками, которые движутся возвратно-поступательно по касательной к заготовке, вращающейся под действием деформирующих сил. Для синхронизации движения накатных реек на рабочих ползунах установлены эталонные рейки, которые находятся в постоянном зацеплении с промежуточным зубчатым колесом, свободно вращающимся на оси.

При накатке плоскими рейками инструмент (зубчатая рейка) имеет заборную и калибрующую части, а также участок разгрузки. Высота зубьев заборной части постепенно увеличивается, на калибрующей части зубья имеют высоту, соответствующую глубине впадины деталей. Длину калибрующей части выбирают такой, чтобы обеспечить не менее двух оборотов детали. Длина зубьев калибрующего участка (ширина реек) равна длине шлицев на детали.

Большие распорные силы при накатке плоскими рейками не позволяют накатывать тонкостенные детали и шлицы большой длины. В этих случаях используют цилиндрические зубчатые рейки. Обрабатываемая деталь вращается вокруг своей оси и дополнительно перемещается вдоль оси.

Накатку цилиндрическими рейками можно осуществлять, вращая инструмент вокруг своей оси. Продольная подача заготовки происходит самозатягиванием вследствие сил трения. Улучшаются условия течения материала, и становится возможным накатывание шлицев большей глубины, чем при принудительной подаче заготовки в осевом направлении.

Накатку зубчатыми роликами с прямыми формообразующими зубьями (прутковое накатывание) с осевой подачей заготовки можно проводить на модернизированных резбонакатных или специальных шлиценкатных станках. Накатку осуществляют двумя или тремя параллельно расположенными накатниками, каждый из которых имеет заборную и коническую части, а также цилиндрический калибрующий участок. Вращение заготовки синхронизировано с вращением накатных роликов. Осевое перемещение заготовки или накатных роликов осуществляется принудительно. Накатку с осевой подачей применяют для получения эвольвентных и остроугольных шлицев.

Поперечно-винтовая накатка профилей осуществляется двумя или тремя роликами, оси которых составляют с осью заготовки некоторый угол (угол подачи). Накатники имеют заборную часть, которая обеспечивает формирование профиля, и цилиндрический калибрующий участок. Накатываемая заготовка под действием накатных роликов вращается и перемещается вдоль оси, как бы ввинчиваясь в формообразующие калибры инструмента. Методами поперечно-винтовой накатки можно получать винтовые поверхности, зубчатые профили с прямым и винтовым зубьями, различного рода рифления.

Процессы пластического формообразования резьб и профилей имеют значительные преимущества перед другими способами и особенно перед обработкой резанием.

Высокая скорость образования профилированной длины (0,1...20 м/мин) обеспечивает снижение длительности цикла обработки,

повышая производительность.

Важным преимуществом процессов пластического формообразования перед процессами резания металлов является высокая размерная стойкость инструмента. При накатке шлицев первоначальная точность сохраняется в течение длительного времени несмотря на значительный объем выпущенной продукции. Ухудшения формы профиля за весь цикл эксплуатации инструмента не наблюдается. При накатке тепловые воздействия и нагрузки распределяются по большей поверхности контакта (при резании они концентрируются на относительно слабой режущей кромке), что снижает возможность случайных поломок инструмента.

Раскатка. Сущность процесса заключается в деформировании участка поверхности заготовки для придания ему требуемой формы. Это способствует улучшению физико-механических свойств обрабатываемого металла, обеспечивает оптимальное расположение его волокон, что повышает эксплуатационные свойства деталей.

Низкая стоимость оснастки, незначительное время подготовки производства, использование оборудования относительно небольшой мощности при изготовлении крупногабаритных деталей позволяют применять процесс торцевой раскатки и в мелкосерийном производстве. Данный процесс легко автоматизировать, что дает возможность создать на его основе участки гибкого автоматизированного производства. Освоены технологические процессы торцевой раскатки заготовок из сталей ШХ15, ШХ15СГ, 40Х, 20, 45, 12Х18Н10Т, 30ХГСА, 12Х2Н4А, сплавов ЭИ435, Д16 и др.

Схема торцевой раскатки приведена на рис. 14.5. На торец вращающейся кольцевой заготовки с силой P воздействует цилиндрический свободновращающийся валок. В результате за каждый оборот заготовки 1 будет происходить осадка ее выступающей части из матрицы на некоторую величину единичного обжатия Δh_1 . Если течение деформируемого материала в радиальном направлении не ограничивается, то через несколько оборотов формируется деталь Т-образного сечения. Обжатие за один оборот заготовки определяется необходимой деформацией, а также механическими характеристиками материала детали и может изменяться от 0,2 до 1 мм. Окончательное оформление детали в большинстве случаев происходит за 10...30 оборотов. Размер наружного бурта при этом получается больше внутреннего, так как сопротивление образованию внутреннего бурта больше, чем наружного.

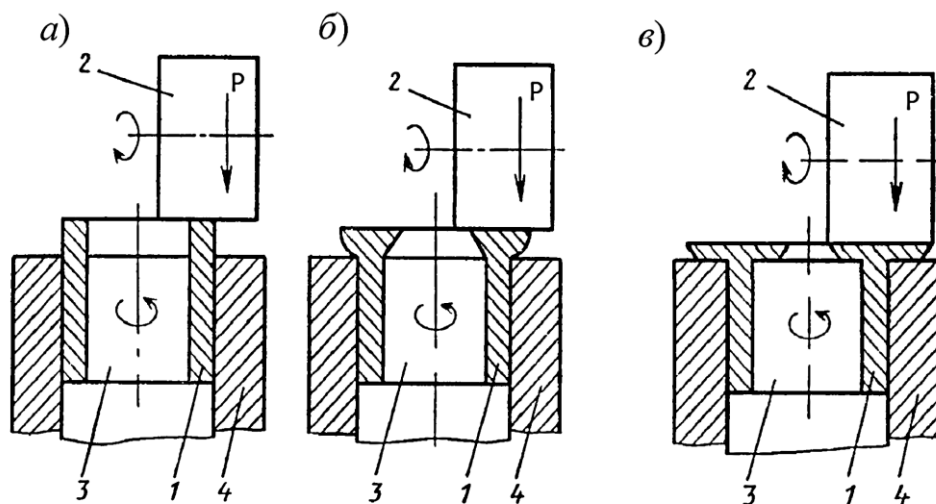


Рис. 14.5. Схема холодной торцевой раскатки кольцевой заготовки с Т-образным буртом: *а* – начало процесса раскатки; *б* – промежуточная стадия раскатки; *в* – конечная стадия раскатки; 1 – заготовка; 2 – деформирующий валок; 3 – оправка; 4 – матрица

Примеры деталей, изготовленных торцевой раскаткой, приведены на рис. 14.6.

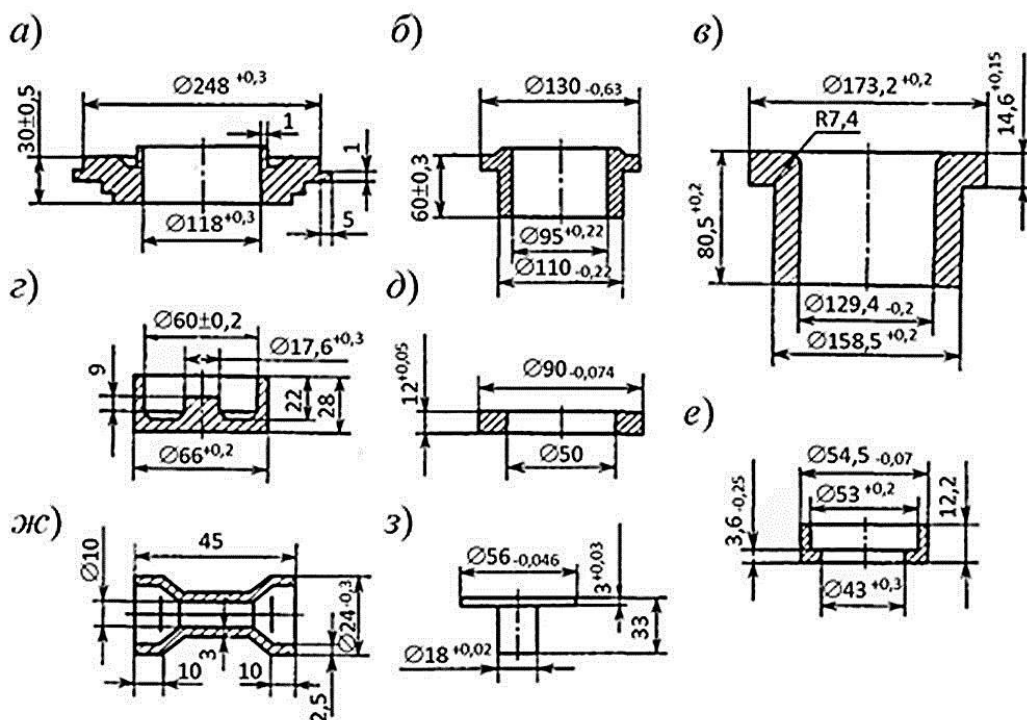


Рис.14.6. Примеры деталей, изготовленных торцевой раскаткой: *а, г* – детали вакуумных приборов; *б* – кольцо специального подшипника; *в* – деталь типа втулки с буртом; *д* – балансирующее кольцо; *е* – деталь потенциометра; *ж* – втулка велосипеда; *з* – упор

Технологические возможности оборудования для торцевой раскатки представлены в табл. 14.3.

Табл. 14.3. Технологические характеристики полуавтоматов для торцевой раскатки [12]

Параметр	Модель полуавтомата		
	K09013	CA0424	CA0428
Сила деформации P_0 , кН	125	250	630
Производительность, шт./ч	240	150	100
Размеры исходной заготовки D_0/H	100/60...60/140	250/60...60/140	280/85...70/195
Наибольшие размеры бурта готовой детали, мм:			
ширина $b_{\max}$	12	20	40
высота h	10	15	25

Примечание. Предельные размеры D_0 и H зависят от различного размещения заготовки внутри или вне шпинделя полуавтомата.

Торцевой раскаткой изготавливают детали двух типов: с высоким буртом, когда $h \geq 0,5b_0$, и с низким буртом. При получении высоких буртов отношение ширины b бурта к толщине b_0 стенки исходной заготовки не должно превышать 2,2. При образовании низких буртов возможность достижения необходимых размеров детали, как правило, не лимитируется снижением устойчивости. Однако в этом случае возникает ограничение, связанное с исчерпанием ресурса пластичности деформируемого материала. Таким образом, максимальная высота бурта ограничивается устойчивостью деформируемой части исходной заготовки, а его максимальная ширина определяется пластичностью материала.

При выборе оборудования (см. табл. 14.3) приближенную силу деформирования определяют исходя из того, что при одинаковых технологических режимах формообразования основными параметрами являются материал детали и ширина бурта. Размеры раскатываемого бурта ограничиваются не только технологическими возможностями оборудования, но и пластичностью материала.

Контрольные вопросы

1. Когда используют ХОШ и какая точность заготовок при этом получается?
2. Какое оборудование используют для ХОШ и какие заготовки на нем штампуют?
3. Как осуществляют процесс высадки на автоматах?
4. Какие виды операций выдавливания можно производить в ходе ХОШ?

15. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ В КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Штампованные поковки перед отправкой на склад или в механический цех на дальнейшую обработку проходят операции: правку; калибровку; термическую обработку; очистку. Если необходимо, то производят обрезку облоя и пробивку перемычек у поковок. Кованные поковки обычно не подвергают другим финишным операциям, кроме механической и термической обработок.

Заключительные операции позволяют улучшить качество поверхности и структуры поковок, а также повысить точность их размеров.

15.1. Обрезка облоя и пробивка перемычек

Облой и перемычки, оставшиеся после штамповки, удаляются соответственно обрезкой и пробивкой. Эти операции производят в горячем и холодном состояниях поковок.

В холодном состоянии обрезку облоя производят у мелких и средних поковок из углеродистой стали с содержанием углерода до 0,4 % и поковок из низколегированной стали, штампуемых на молотах с массой падающих частей до 1...2 т и на кривошипных горячештамповочных прессах с усилием до 10...20 МН, причем только в тех случаях, когда после обрезки поковки не требуют дальнейших операций в горячем состоянии [11].

При холодной обрезке обрезные прессы устанавливают на отдельном участке цеха, так как ритм штамповки не связан с ритмом их обрезки. При таком расположении оборудования производительность процесса обрезки повышается.

Горячую обрезку производят у средних и крупных по массе поковок из высоколегированных и высокоуглеродистых сталей, имеющих недостаточную пластичность в холодном состоянии и относительно большую толщину облоя, штампуемых на молотах с массой падающих частей более 1...2 т и КГШП с усилием свыше 10...20 МН, а также в тех случаях, когда после обрезки требуются правка, гибка или калибровка в горячем состоянии [11].

При горячей обрезке прессы включают в состав штамповочного агрегата, их устанавливают рядом со штамповочными молотами или КГШП.

Процессы обрезки облоя, удаление перемычек, снятие уклонов могут производиться в простых, последовательных и комбинированных штампах. Простыми называются штампы, предназначенные для выполнения одной из отделочных операций. Рассмотрим сборные конструкции штампов,

предназначенных для обрезки и пробивки (рис. 15.1). На нижнюю плиту штампа или башмака 6 и 11 крепится матрица 5 и 10, в верхней плите закреплён пуансон 4 и 8. Матрица и пуансон являются рабочими деталями штампа. Для снятия с пуансона облоя и поковок применяют съемники 2 и 9, установленные на распорные втулки 1 и закрепленные винтами 3.

При обрезке облоя (рис. 15.1, а) матрица имеет режущую кромку,

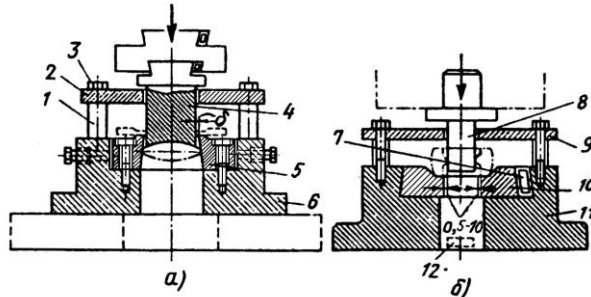


Рис. 15.1. Схема простого обрезного (а) и пробивного (б) штампов

а пуансон чаще всего выполняет роль толкателя. При обрезке тонких поковок пуансон входит в матрицу и тоже является режущим инструментом. Бывают случаи, когда пуансон вначале процесса обрезки выполняет роль толкателя, а в конце – режущего инструмента. Таким образом, при обрезке облоя поковку

устанавливают мостиком облоя на лицевую поверхность матрицы (на рис. 15.1, а поковка и обрезанный облой показаны штриховыми и штрихпунктирными линиями), а пуансон пресса при перемещении вниз оказывает силовое воздействие на поковку. Благодаря реактивному усилию среза облой отделяется от поковки рабочей кромкой матрицы. В матрице 5 и башмаке 6 имеется отверстие, в которое после обрезки облоя проваливается поковка. Матрица может крепиться на нижней плите (или башмаке) клином 7 (рис. 15.1, б) либо винтами (см. рис. 15.1, а). Нижние плиты бывают высокие и низкие. Если плита высокая, то она имеет глухую установочную часть, и изделие извлекается через окно. Низкая плита имеет провальную полость, поковка после обрезки облоя проходит через нее и попадает на конвейер в прямке пресса.

При пробивке перемычки (см. рис. 15.1, б) поковка устанавливается в гнездо матрицы 10, а подвижный пуансон 8 осуществляет пробивку. При

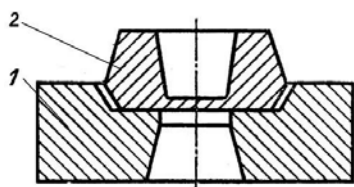


Рис. 15.2. Конструкция пробивной матрицы: 1 – матрица; 2 – поковка

этом пуансон является режущим инструментом, а матрица выполняет роль опоры. Однако матрица может быть режущим инструментом вместе с пуансоном (рис. 15.2). Матрицы для пробивки тоже имеют полость, куда попадает удаляемая перемычка 12 (см. рис. 15.1, б).

Обрезные и пробивные штампы по мере необходимости оснащают съемниками, служащими для снятия с пуансона облоя и поковок.

15.2. Правка поковок

Процесс правки служит для устранения искривлений поковок, которые могут быть получены в следующих случаях:

- 1) при обрезке облоя и пробивке перемычек в поковках, если пуансон опорной поверхностью неплотно прилегал к поковке;
- 2) при принудительном удалении поковок из чистового ручья штампа, если произошло застревание поковки;
- 3) при неправильном режиме охлаждения после штамповки или термической обработки и т. д.

Искривление поковок происходит главным образом при обрезке облоя и пробивке перемычек в результате неплотного прилегания опорной поверхности пуансона к поверхности поковки (рис. 15.3, а). У поковок круглых в плане (рис. 15.3, б) искривление (стрела прогиба S_0) увеличивается с ростом отношения наружного диаметра поковки к ее средней высоте (D/h_{cp}), а также с ростом отношения диаметра отверстия к толщине перемычки (d_0/h_n). У поковок с вытянутой осью стрела прогиба увеличивается с ростом отношения длины поковки к ее средней высоте (L/h_{cp}).

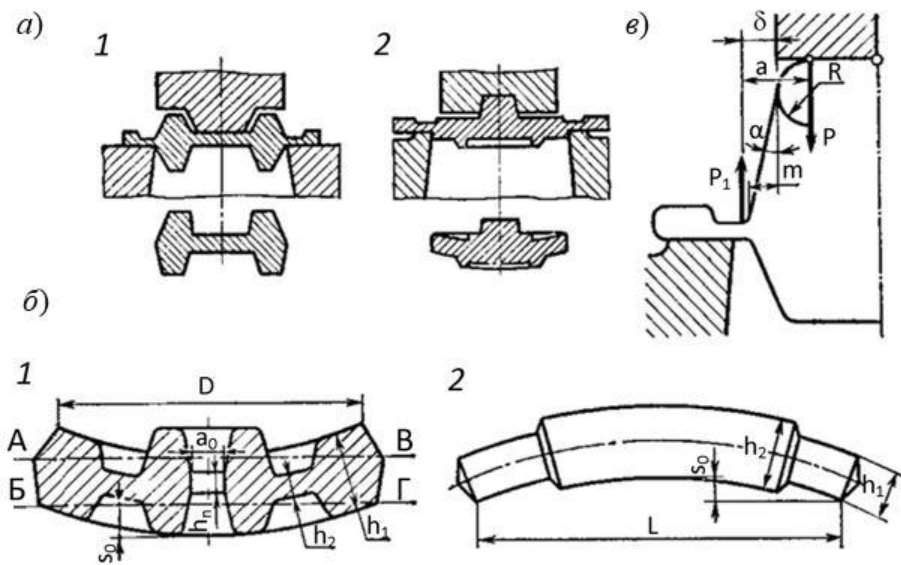


Рис. 15.3. Искривление поковок при обрезке и пробивке

Большое влияние на величину искривления (стрелу прогиба) оказывает состояние режущих кромок обрезных матриц и пуансонов, а также зазор δ между матрицей и пуансоном (рис. 15.3, в). С увеличением зазора увеличивается плечо a между деформирующим P и срезающим P_1 усилиями, что вызывает возрастание изгибающего момента и искривление поковки. Величину зазора определяет в значительной степени штамповочный

уклон α . Плечо зависит от радиуса скругления R поковки, поэтому с уменьшением штамповочных уклонов и радиусов скруглений искривление поковок снижается.

Правку необходимо проводить, если величина искривления превышает допуск на размеры поковки (допустимая величина кривизны поковок установлена ГОСТ 7505-89). Различают холодную и горячую правку поковок.

Горячую правку можно осуществлять на обрезных прессах в комбинированных или последовательных штампах, а также на оборудовании, служащем только для правки (молоте, прессе) и установленном в одну линию со штамповочным оборудованием. В мелкосерийном производстве правку могут производить на том же оборудовании, что и штамповку. При этом заготовку правят в окончательном ручье штампа.

Горячей правке подвергают крупные поковки относительно простой формы, которые не подвержены значительному короблению при термической обработке, а также поковки из высокоуглеродистых и высоколегированных сталей, недостаточно пластичных в холодном состоянии [19].

Холодную правку применяют в основном после очистки поковок от окалины и термической обработки. Правку производят на винтовых прессах и фрикционных молотах, установленных в термическом отделении цеха. Иногда используют специальные правильные прессы с гидравлическим приводом. На них правят крупные поковки удлиненной формы. Холодная правка применяется для мелких и средних по массе поковок разнообразной формы.

Ручей правочного штампа изготавливают по чертежу горячей или холодной поковки (в зависимости от требуемого вида правки). В случае горячей правки размеры правочного ручья берут с учетом усадки. Ручей правочного штампа, в сравнении со штамповочным, делают упрощенным и без облойных канавок. При изготовлении ручья правочного штампа (правочного ручья) необходимо выполнение следующих требований (рис. 15.4, а):

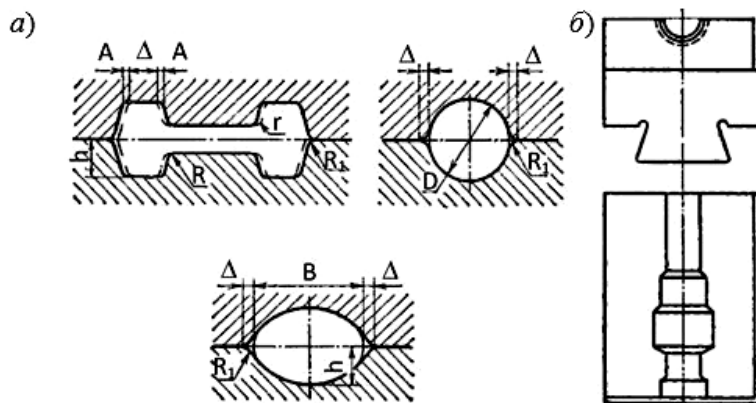


Рис. 15.4. Сечения правочных ручьев (а) и молотовый штамп для правки валика (б)

необходимо выполнение следующих требований (рис. 15.4, а):

– горизонтальные размеры должны быть больше вертикальных на величину Δ , равную половине верхнего отклонения на размеры A , D , B ;

– наружные радиусы закруглений R следует выполнять на 2 мм больше, чем соответствующие радиусы закруглений r на поковке, т. е. $R = r + 2$;

– радиусы перехода стенки к плоскости разъема должны быть $R_1 \approx 0,05h + 2$, для круглых сечений $R_1 \approx 0,5D$;

– у правочного штампа, устанавливаемого на молоте или фрикционном прессе, необходимо предусмотреть возможность соударения его верхней и нижней частей, для чего глубину его ручьев следует принимать по номинальным размерам поковки. У штампа, устанавливаемого на кривошипном прессе, между верхней и нижней частями штампа должен быть зазор (не менее 0,5...1,0 мм), исключающий возможность их соударения. Суммарная глубина ручьев при этом получается меньше соответствующих вертикальных размеров поковки на величину этого зазора.

В целях упрощения правочного ручья и облегчения правки рекомендуется:

– упрощать контур ручья при сложных в плоскости разъема контурах поковки;

– небольшие выступы на поковке не обжимать, предусмотрев вокруг них зазор 0,3...0,5 мм;

– для удобства укладки и удаления поковок правочный ручей делают открытым с торцов поковки (рис. 15.4, б). Правочные штампы, как правило, изготавливают одно-ручьевыми.

При конструировании штампов для правки на молотах или прессах следует руководствоваться правилами конструирования штампов для штамповки на соответствующем оборудовании.

Правку заготовок ступенчатых валов рекомендуется осуществлять на автоматизированных гидравлических прессах с программным управлением (рис. 15.5). Пресс оснащен подающе-удаля-

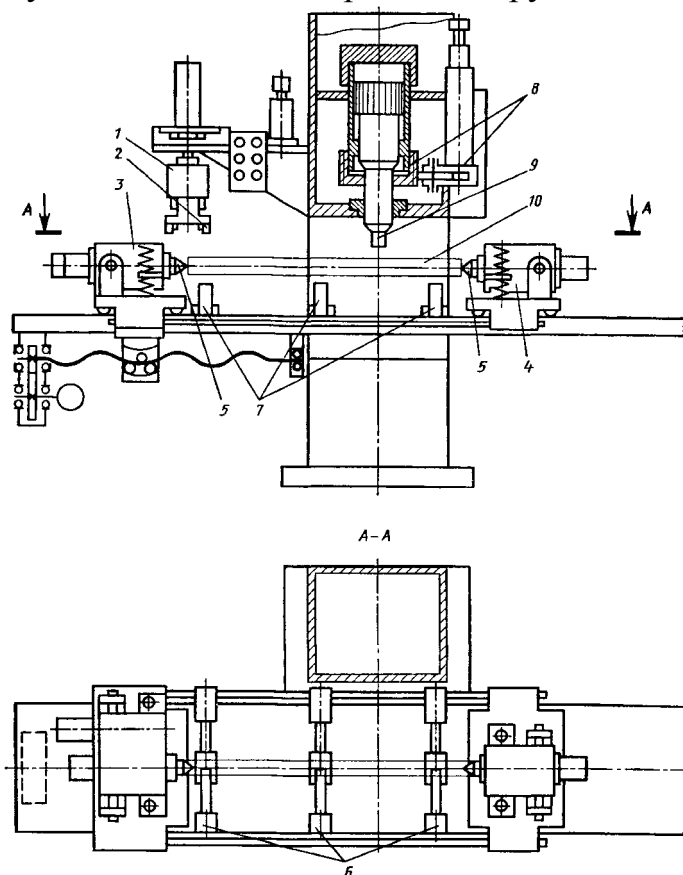


Рис. 15.5. Схема правильного пресса с программным управлением (ЭНИКМАШ, СССР)

ющим устройством 1, снабженным клещами 2; двумя перемещаемыми вдоль стола каретками 3 и 4, несущими выдвижные центры 5; датчиками 6, измеряющими прогиб заготовки; выдвижными опорами 7; механизмом 8 регулирования хода плунжера – правильного инструмента 9; устройством числового программного управления. Заготовка 10 перемещается подающим конвейером на исходную позицию, захватывается клещами 2, переносится на ось центров 5 и зажимается ими. Датчики 6 в нескольких сечениях измеряют прогиб детали. Предусмотрен одновременный контроль полученной заготовки или детали в четырех сечениях. Деталь во время измерения совершает поворот вокруг оси на 360° . Показания датчиков считываются через каждые $1,5^\circ$. Наибольшие и наименьшие показания датчиков и угловые координаты, соответствующие этим показаниям в каждом измеряемом сечении, запоминаются в числовом программном управлении и пересчитываются в нем в значения отклонений измеряемых радиусов детали в этих сечениях, характеризующих ее биение. Правка начинается с сечения, в котором зарегистрировано наибольшее биение. Деталь ориентируется выпуклой частью вверх, а привод перемещения кареток совмещает это сечение с осью действия правильного инструмента. Затем под деталь подводятся опоры и осуществляется несколько ходов гибки-правки, сопровождаемых контролем остаточного прогиба датчиком и корректировкой хода плунжера механизмом 8 после каждой правки до тех пор, пока не будет достигнута на этом участке заданная прямолинейность детали. С помощью ЧПУ заново определяются биение детали и новое сечение, подлежащее правке, после чего цикл правки повторяется. Правка продолжается до тех пор, пока прогибы детали во всех сечениях не будут превышать допустимых, заданных программой, введенной в ЧПУ. Выпрямленная деталь или заготовка отправляются подающе-управляющим устройством 1 на удаляющий конвейер, а вместо них подаются для правки следующие. Пресс предназначен для правки валов длиной 300...865 мм, диаметром до 50 мм. Минимальное биение детали после правки составляет 0,025 мм.

15.3. Калибровка поковок

Данная операция используется для повышения точности формы и размеров поковок и снижения шероховатости. Поверхности, прошедшие калибровку, зачастую не требуют дальнейшей механической обработки. Калибровка применяется в массовом и крупносерийном производстве.

Существуют два вида калибровки: плоскостная и объемная. *Плоскостная калибровка* (рис. 15.6, а) позволяет получать точные вертикальные размеры на одном или нескольких участках поковки. В горизонтальном направлении течение металла при плоскостной калибровке не ограни-

чено. Поэтому размеры поковки в горизонтальном направлении увеличиваются и образуются выпуклости на боковых поверхностях. Такую калибровку проводят в холодном состоянии на кривошипно-коленных и винтовых прессах.

Обычно калибруют поковки, прошедшие термообработку.

Калибровка, осуществляемая при температуре $700...850\text{ }^{\circ}\text{C}$, называется *горячей*. Температура нагрева не должна быть выше температуры структурных превращений. Например, для низкоуглеродистой стали $t = 700...780\text{ }^{\circ}\text{C}$, для высокоуглеродистой – до $700...750\text{ }^{\circ}\text{C}$, для жаропрочной или коррозионно-стойкой – $850\text{ }^{\circ}\text{C}$. Горячая калибровка не обеспечивает такой низкой шероховатости, какая достигается при холодной. Горячую калибровку применяют до термической обработки поковок.

Холодную плоскостную калибровку поковок выполняют на чеканочных кривошипно-коленных и винтовых прессах.

При *объемной калибровке* (рис. 15.6, б) деформируется весь металл поковки. Ручей штампа ограничивает течение металла как в вертикальном, так и горизонтальном направлении. Избыток металла, полученный в результате недоштамповки, вытесняется в облой. Точность поковки после объемной калибровки ниже, чем после плоскостной. Объемную калибровку производят обычно в горячем состоянии на штамповочных молотах, винтовых фрикционных и кривошипных горячештамповочных прессах. Существует и холодная объемная калибровка, которую выполняют на кривошипно-коленных прессах.

Комбинированная калибровка сочетает в себе операции как плоскостной, так и объемной калибровки. Вначале поковку подвергают объемной калибровке для придания поковке точной формы. Затем производят плоскостную калибровку для получения точных размеров поковки между отдельными плоскостями.

По точности получаемых размеров поковок различают калибровку обычной точности, при которой допуски могут составлять от $\pm 0,1$ до $\pm 0,25\text{ мм}$, и калибровку повышенной точности с допусками от $\pm 0,05$ до $\pm 0,15\text{ мм}$. При многократной калибровке можно получить особо точные размеры с допуском $\pm 0,025\text{ мм}$. На точность размеров поковки после калибровки влияют следующие параметры: точность поковок перед калибровкой, т. е. величина припуска под калибровку и фактический допуск на

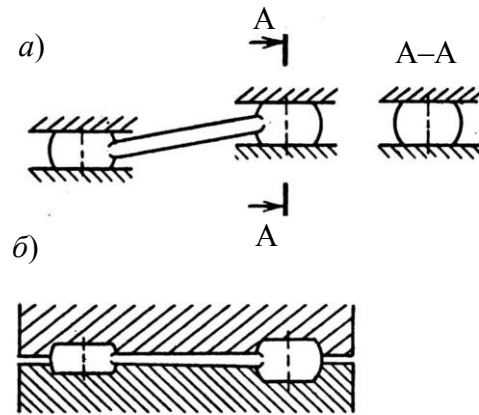


Рис. 15.6. Схемы калибровки:
а – плоскостная; б – объемная

размеры поковки; форма и размеры поковки; сопротивление деформированию металла поковки; контактное трение между обрабатываемым металлом и штампом; жесткость конструкции штампа; степень деформации; усилие пресса и его конструкция [11].

Шероховатость калиброванной поверхности в наибольшей степени зависит от контактных условий на границе между обрабатываемым металлом и инструментом (шероховатости калибровочных плиток и смазки) и степени деформации. Увеличение степени обжатия приводит к уменьшению шероховатости калибруемой поверхности, однако при этом снижается точность размеров поковки. Степень деформации при плоскостной калибровке должна составлять 1...5 % и не быть более 10 %. Шероховатость обработанной поверхности после калибровки $Ra = 1,25...0,63$ мкм, т. е. в большинстве случаев соответствует состоянию поверхности после шлифования [19].

Штампы для плоскостной калибровки (рис. 15.7), как правило, состоят из верхней и нижней плит 1, промежуточных плит 2 и рабочих плиток 3. Крепление плиток 3 к плитам 2 так же, как и плит 2 к плитам 1, осуществляется винтами. Крепление верхней плиты к ползуну пресса и нижней плиты на столе пресса выполнено с помощью прихватов и болтов, иногда плиту кренят клином.

Для холодной объемной калибровки используют конструкцию штампа, приведенную на рис. 15.8. Она отличается от штампа для плоской калибровки лишь тем, что во вставках 3 расположен ручей, выполненный по чертежу калиброванной поковки. Между вставками предусмотрен зазор для вытеснения излишка металла.

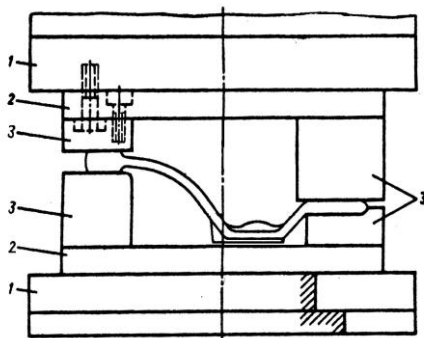


Рис. 15.7. Штамп для плоскостной калибровки

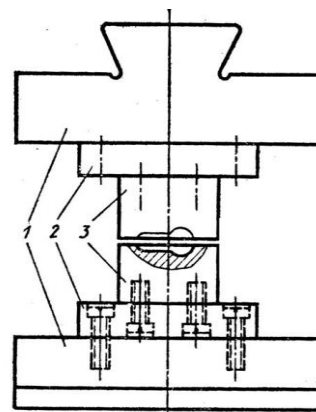


Рис. 15.8. Штамп для холодной объемной калибровки

Для горячей объемной калибровки используют штампы, устроенные так же, как и штампы штамповочных молотов, винтовых фрикционных и кривошипных горячештамповочных прессов.

Припуски на калибровку и допуски назначают по ГОСТ 7505-89.

При разработке чертежа поковки, подлежащей объемной калибровке, необходимо предусмотреть удобство ее укладки в ручей калибровочного штампа. Для этого размеры поковки в плоскости разъема назначают на 0,5...0,8 мм меньше соответствующих размеров калиброванной поковки, а размеры в перпендикулярном направлении увеличивают, но так, чтобы объем поковки не изменился. На чертеже поковки на участках, подвергаемых калибровке, проставляют две размерные линии (рис. 15.9).

Необходимое для плоскостной калибровки усилие прессы определяют из предположения, что калибровка представляет собой осадку с небольшой степенью деформации.

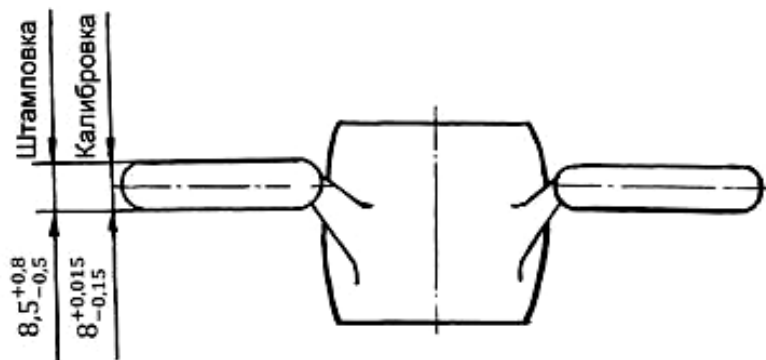


Рис. 15.9. Пример обозначения поковки, подвергаемой калибровке

15.4. Термическая обработка поковок

Термическую обработку применяют для устранения дефектов, возникших при нагреве и обработке давлением, для получения хорошей обрабатываемости резанием и требуемых свойств заготовок. Термическая обработка поковок может включать следующие виды: отжиг; нормализацию; закалку; отпуск.

Отжиг – термическая обработка с нагревом до определенных температур, с выдержкой и последующим медленным охлаждением (в печи) для получения устойчивого структурного состояния. Отжиг используют для снятия остаточных напряжений. Различают отжиг первого рода (гомогенизационный и рекристаллизационный) и второго рода (полный, неполный, изотермический, нормализационный). Отжигу подвергают в основном поковки зубчатых колес, муфт и валов.

Нормализационный отжиг (нормализация) – термическая обработка, заключающаяся в нагреве до определенной температуры, выдержке и последующем охлаждении на воздухе. Нормализация поковок состоит из

нагрева в печах непрерывного действия до температуры 850...900 °С, выдержки около 3 часов и охлаждения на воздухе. Материал поковок – стали 20, 30, 35, 40, 45, 20Х, 40Х и др. Нормализация позволяет уменьшить остаточные напряжения в поковках, измельчить структуру зерна и повысить механические свойства. Нормализации подвергают поковки фланцев, втулок, крестовин, осей, кулаков и крюков. Если материал поковки – легированная сталь (12ХН3А, 20ХНТР, 25ХГНМ, 38Х2МЮА, 40ХГТР), то ввиду твердой поверхностной структуры, ухудшающей обработку резанием, после нормализации поковки подвергают высокому отпуску при температуре 600...700 °С.

Закалка – термическая обработка, в результате которой в сплаве образуется неравновесная структура, получаемая нагревом (до температуры на 30...50 °С выше точки A_{c3}), выдержкой и последующим быстрым охлаждением, которое проводится в специальной среде со скоростью, превышающей скорость охлаждения на спокойном воздухе. Закалку применяют с целью повышения прочности и твердости. Механические свойства материала после закалки зависят от охлаждающей среды (воды, масла, воздуха). В зависимости от распространения измененной структуры по телу заготовки различают сплошную, местную, сквозную и поверхностную закалку. После закалки для улучшения структурного состояния и получения необходимых свойств, а также снятия остаточных напряжений осуществляют отпуск. Закалку с высоким отпуском называют *улучшением*.

Отпуск – термическая обработка, при которой нагревают заготовку до температуры не выше точки A_{c1} (727 °С), выдерживают и охлаждают на воздухе, в воде или масле. В зависимости от температуры различают низкий, средний и высокий отпуск. Отпуск позволяет повысить пластичность и вязкость стали. Чем выше температура отпуска, тем в большей мере снижаются предел прочности и твердость по сравнению с полученными показателями после закалки.

15.5. Очистка поковок

Поковки послековки и штамповки очищают от поверхностных дефектов, окалины, ржавчины и других загрязнений (мазута, масла, песка). Очистка позволяет получить поковки с высоким качеством поверхности, требующие минимальной обработки резанием, а также выявить поверхностные дефекты. Для очистки применяют различные способы и оборудование.

Механическая очистка. Для удаления дефектов с поверхности крупных поковок, изготавливаемых ковкой на прессах и молотах в условиях мелкосерийного производства, применяют механическую очистку. Этим спо-

собом можно обрабатывать поковки практически из любых материалов и самых разнообразных конфигураций.

Для абразивной очистки поковок применяют абразивные круги, которые выбирают в зависимости от материала обрабатываемой поковки и скорости обработки. Вырубку дефектов пневматическими рубильными молотками на мелких и средних поковках производят после их очистки от окалины, на крупных, как правило, очистка не обязательна. В результате вырубки остается след – канавка. Инструментом для вырубки служат зубила.

Для механической очистки окалины с поверхности нагретых заготовок применяют различной конструкции скребки, щетки, ролики.

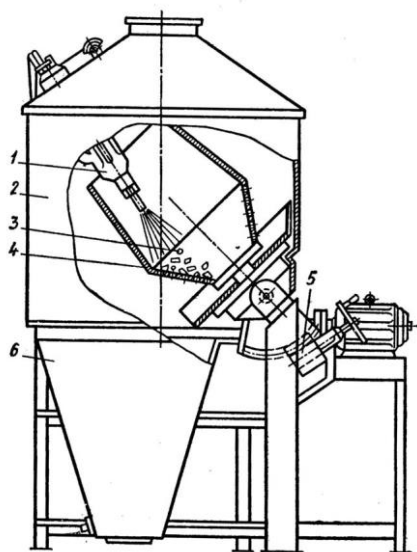


Рис. 15.10. Гидроабразивный барабан периодического действия

Струйно-абразивная очистка. Она применяется для очистки кованных и штампованных поковок от окалины и ржавчины. Различают пневмо- и гидроабразивную струйную очистку. Энергоносителем в обоих случаях является сжатый воздух, который направляет сухой абразив или абразивную жидкость струей на обрабатываемую поковку со скоростью от 30 до 60 м/с. Для гидроабразивной очистки используют смесь абразива с водой. В качестве абразивных материалов применяют кварцевый песок, корунд и карбид бора. На рис. 15.10 представлена конструкция гидроабразивного барабана периодического действия. В колокол 4 через приемное окно камеры 2 загружаются поковки 3, где производится их очистка струйным аппаратом 1. Выгрузку очищенных поковок в бункер 6 выполняют путем наклона барабана с помощью привода 5.

Виброабразивная очистка. Очистка поковок осуществляется частицами абразивной рабочей среды при колебании этих частиц в контейнере, подключенном к виброприводу. В качестве рабочей среды выступают бой абразивных кругов, фарфоровая крошка, звездочки из отбеленного чугуна и электрокорунда. В некоторых случаях применяют виброгидроабразивную очистку, когда, помимо абразивного наполнителя, в контейнер вводятся активные щелочные растворы с ингибиторами (пассивирующие добавки).

Галтовка в барабанах. Различают сухую и мокрую галтовку. Сухой галтовкой удаляют с поверхности поковок окалину, ржавчину, мазут, заусенцы после обрезки облоя. Поковки загружают в барабан, а для погло-

щения масла, измельченной ржавчины и окалины вместе с поковками засыпают сухие древесные опилки и звездочки. Шероховатость поверхности поковок достигает $Rz = 32 \dots 40$ мкм.

Мокрые галтовку применяют не только для очистки поверхности поковок, но также и для удаления микронеровностей на поверхности основного металла поковки. При мокрой галтовке вместе с поковками в барабан загружают различные абразивные материалы (кварцевый песок, гранит, фарфор, чугунные звездочки, стальные шарики) с добавлением мыльной или содовой воды. Шероховатость поверхности получают от $Rz 20$ до $Ra 0,63$.

Очистка дробью. Различают дробеструйный и дробеметный способы очистки поковок. Дробеструйные аппараты позволяют производить очистку сложных поковок с глубокими полостями типа стаканов и втулок с фланцами. Для очистки дробь разгоняется сжатым воздухом до скорости $20 \dots 30$ м/с. Затем струя такой дроби воздействует на поверхности очищаемой поковки.

В зависимости от способа перемещения поковок дробеструйные установки делят на дробеструйные барабаны с горизонтальной и наклонной осями вращения, вращающиеся и проходные столы и камеры периодического и непрерывного действия. Барабаны применяют преимущественно для очистки тонкостенных поковок, вращающиеся столы – для крупных поковок массой до 100 кг, проходные столы – для длинных поковок, камеры периодического действия – для крупногабаритных поковок в мелкосерийном производстве, а камеры непрерывного действия – в массовом производстве. Характеристика дробеструйных аппаратов приведена в [11].

При дробеметной очистке поток дроби с помощью быстровращающихся лопаток крыльчатки дробеметной головки направляется со скоростью $70 \dots 80$ м/с на очищаемую поверхность поковки. По способу перемещения поковок внутри дробеметных установок последние делятся на ленточные барабаны, вращающиеся столы и камеры непрерывного и периодического действия. Этим способом, как и дробеструйным, очищают поковки массой до 50 кг в барабанах, до 100 кг – на столах, поковки любой массы – в камерах. Шероховатость поверхности после дробеструйной и дробеметной очистки $Rz = 320 \dots 40$ мкм.

Травление. Этот способ применяют для очистки от окалины поковок, которые при других видах очистки могут подвергнуться короблению. Травлением можно очищать поковки массой до 1000 кг любой конфигурации. При этом выявляются все поверхностные дефекты (трещины, волосины, зажимы и т. д.). В процессе травления поковки окунают в раствор кислот и выдерживают там $10 \dots 60$ мин. Затем поковки поступают на промывку в баки с водой и со щелочным раствором. Хорошо протравленные

поковки имеют поверхность одинакового серовато-стального цвета, без пятен и остатков окалины. Травление – самый дорогой и качественный способ очистки.

Контрольные вопросы

1. Как удаляют облой и перемычки у поковок?
2. Чем операции калибровки отличаются от правки поковок?
3. Какие виды термической обработки поковок существуют?
4. Какие способы очистки поковок от поверхностных дефектов, окалины, ржавчины и других загрязнений применяют в кузнечно-штамповочном производстве?

16. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЗАГОТОВОК МЕТОДАМИ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

16.1. Технологические особенности и область применения

Порошковая металлургия – отрасль машиностроения, занимающаяся производством металлических порошков и деталей из них. Сущность порошковой металлургии заключается в том, что из металлического порошка или смеси порошков прессуют заготовки, которые затем подвергают термической обработке – спеканию.

Высокая эффективность порошковой металлургии реализуется при изготовлении материалов и изделий, которые невозможно или невыгодно получать другими способами заготовительного производства.

Способы порошковой металлургии позволяют также изготавливать материалы и изделия, которые могут быть получены и другими способами, но с иными технико-экономическими показателями.

Решающими факторами при переводе изготовления изделий на способы порошковой металлургии являются их себестоимость, трудоемкость и технологичность, масштабы производства. Себестоимость порошковых изделий средней сложности в 2...2,5 раза ниже себестоимости изделий из проката [4].

Одно из преимуществ способов порошковой металлургии заключается в получении двух- и многослойных изделий (некоторые виды подшипников скольжения, биметаллические пластины, цельнопрессованные магнитные схемы, коллекторные пластины, электроконтакты и т. д.).

При переводе изготовления изделий, работающих в условиях высоких нагрузок и агрессивных сред, на способы порошковой металлургии значительно увеличивается их эксплуатационная стойкость: резцов горнодобывающих машин – в 1,5...2 раза, выталкивателей штампов – в 2 раза, матриц для ударного выдавливания – в 3...5 раз, распылителей мазутных форсунок – в 7 раз, фрикционных дисков – в 2...10 раз [26].

16.2. Порошковые материалы

Порошковой металлургией получают различные конструкционные материалы для изготовления заготовок и деталей. Большое применение находят материалы со специальными свойствами.

Антифрикционные металлокерамические материалы (Ж, ЖГр1, БрО10Гр4 и др.) служат для изготовления подшипников скольжения, рас-

порных втулок, шайб, колец и т. д. В антифрикционных материалах с пористостью 10...35 % металлическая основа является твердой составляющей, а поры, заполняемые маслом, графитом или пластмассой, выполняют роль мягкой составляющей. Пропитанные маслом пористые подшипники способны работать без дополнительной смазки в течение нескольких месяцев, а подшипники со специальными «карманами» для масла – в течение 2...3 лет. Во время работы подшипника масло нагревается, вытесняется из пор, образуя смазочную пленку поверхностей трения.

В случаях, когда изделия работают в присутствии смазки и их коррозионная стойкость не имеет решающего значения, применяют материалы на основе железа: чистое железо и железографит. Если коррозия изделий недопустима, то они изготавливаются из материалов на основе меди, пористой бронзы, бронзографита. Процентный состав этих композиций зависит от эксплуатационных требований, предъявляемых к конструкциям деталей.

Фрикционные материалы (МК5, ФОБ, М88В и др.), характеризующиеся высокими значениями коэффициента трения и износостойкости, применяются для изготовления изделий, работающих в тормозных и передаточных узлах автомобилей, станков, дорожных и строительных машин и т. п. Коэффициент трения по чугуна без смазки для фрикционных материалов на железной основе составляет 0,4...0,6. Такие материалы способны выдерживать температуру в зоне трения до 500...600 °С. Они заменяют сталь, чугун, асбофрикционные материалы, могут работать с принудительной смазкой (в гидротрансмиссиях, фрикционах, электромагнитных муфтах и т. п.) или без нее (тормоза, муфты сцепления и т. п.), повышают долговечность, надежность и эффективность фрикционных узлов машин и механизмов. Использование таких изделий позволяет улучшить технические характеристики машин, получить значительный экономический эффект. Коэффициент трения можно повысить добавкой асбеста, карбидов тугоплавких металлов и различных окислов. Для уменьшения износа в композиции вводят графит или свинец. Фрикционные материалы обычно применяют в виде биметаллических элементов, состоящих из фрикционного слоя, спеченного под давлением с основой (лентой или диском). Промышленностью выпускаются материалы на медной и железной основах.

Конструкционные порошковые материалы (Ж10-63, Ж50ДЗ-63, А-24, Л-78 и др.) наиболее широко распространены в машиностроении и приборостроении. Ненагруженные или малонагруженные детали можно получить из порошков чистого железа или с небольшими добавками графита, средне- и тяжелонагруженные – из углеродистых и легированных сталей. Для производства конструкционных деталей также применяются порошки цветных металлов и сплавов. Конструкционные материалы изготавливаются из смеси соответствующих исходных порошков и из готового

порошка необходимого химического состава, полученного распылением расплава или твердой фазы (вращающегося электрода).

Жаропрочные и жаростойкие материалы позволяют изготавливать детали, работающие при высоких температурах. Эти материалы должны иметь жаропрочность, стойкость против ползучести и окисления. Металлические сплавы на основе никеля, титана, тантала, вольфрама и других элементов отвечают этим требованиям при работе до температур 850...900 °С.

При более высоких температурах (до 3000 °С) можно использовать тугоплавкие и твердые соединения типа окислов, карбидов, боридов и др. Однако эти материалы очень хрупкие и поэтому в чистом виде не могут выступать в качестве конструкционных материалов для изготовления различных деталей.

Применение порошковой металлургии позволяет повысить пластичность хрупких тугоплавких соединений. В качестве металлической связки выбирают металлы и сплавы, жаропрочность которых близка жаропрочности тугоплавких соединений. Они должны не образовывать химических соединений, быть мало растворимыми в тугоплавких соединениях, а также иметь близкие значения коэффициентов линейного расширения, теплопроводности и модуля упругости.

Инструментальные порошковые материалы. Наиболее широко используются порошковые твердые сплавы на основе карбидов вольфрама, титана и тантала с кобальтовой связкой (ГОСТ 3882-74) в металлорежущей и горнодобывающих отраслях промышленности, а также при обработке металлов давлением.

Несмотря на высокие свойства и широкое применение в промышленности вольфрамосодержащих твердых сплавов, в целях экономии вольфрамового сырья разработаны и внедрены в промышленность безвольфрамовые твердые сплавы.

Порошковой металлургией изготавливают алмазно-металлические материалы, характеризующиеся высокими режущими свойствами. В качестве связующего для алмазных порошков применяют металлические порошки (медные, никелевые и др.) или сплавы. Наибольшей твердостью характеризуются материалы из карбидов бора (эльбор).

Магнитно-мягкие металлические материалы (железосилиций, железифосфор и др.) находят применение в радио- и электротехнике, электронике, автоматике и телемеханике и других областях техники. Используются они в основном для производства различных магнитопроводов в магнитных цепях постоянного тока, реже – в переменных магнитных полях промышленной частоты.

Большое влияние на магнитные свойства порошковых материалов

оказывает пористость, которая не должна быть выше 2...3 %. Основными магнитно-мягкими материалами, изготавливаемыми методом порошковой металлургии, являются чистое железо, железо с добавками кремния, никеля, алюминия, кобальта.

Магнитно-твердые материалы (альни, кунико, магнито и др.), обладающие высокими значениями коэрцитивной силы и остаточной индукцией, используются для производства постоянных магнитов. Область применения их чрезвычайно широка: электроизмерительные приборы, счетчики, осциллографы, телефонные аппараты, магнето, электрические генераторы, громкоговорители, магнитные муфты, ЭВМ, медицинские инструменты, компасы и т. д.

Изделия из магнитно-твердых материалов изготавливают в виде сердечников, пластин, втулок, колец массой от долей грамма до нескольких сот граммов.

Порошковые магнитно-твердые материалы с высокой плотностью характеризуются более низкой склонностью к хрупкому разрушению и меньшей чувствительностью к различного рода концентраторам напряжений.

Ферриты (15СП, 1БИ и др.) представляют собой широко используемые в технике магнитные материалы, изготавливаемые методом порошковой металлургии и состоящие из окислов железа и других материалов (например, окислов никеля, цинка, марганца, магния, бария).

В настоящее время применяют в основном двойные и тройные ферриты, состоящие из двух и трех окислов соответственно. Все ферриты являются полупроводниками, сочетающими высокие значения удельного электросопротивления (до 10^9 Ом/м) и магнитных свойств.

Магнитодиэлектрики (магнитопластические материалы) представляют собой смесь ферромагнитных магнитно-мягких и магнитно-твердых порошковых материалов с диэлектриком, в качестве которого используют жидкое стекло, бакелит, шеллак, полистирол, а также эпоксидные, полиэфирные и другие смолы. Структура таких материалов состоит из ферромагнитных частиц, покрытых диэлектриком.

Магнитодиэлектрики характеризуются постоянством магнитной проницаемости, большим удельным электросопротивлением, низкими потерями на вихревые токи и на гистерезис. Применяются они в радиотехнике и электронике для производства сердечников катушек индуктивности и высокочастотных трансформаторов, деталей радиоаппаратуры и т. д. Изделия, как правило, изготавливаются прессованием в виде, не требующем дополнительной механической или термической обработки, кроме отжига. Могут быть также получены полуфабрикаты – полосы, прутки для конкретных изделий.

Пористые проницаемые материалы применяются для изготовления изделий с пористостью 20...60 % и выше, используемых в качестве фильтров для очистки воздуха, агрессивных газов и жидкостей, масел и жидкого топлива, расплавов металлов; капиллярно-пористых элементов (испарители, конденсаторы, фитили тепловых труб, формы для стекла и т. д.). Кроме этого, они употребляются для производства изделий со специальными свойствами, например, катализаторов, анодов электролитических конденсаторов, пластин аккумуляторных батарей, взрывных выключателей, антифрикционных изделий и т. д. Фильтрующие материалы из металлических порошков с успехом заменяют тканевые, сетчатые, керамические, пластмассовые, фетровые фильтры, а также перфорированные металлические изделия.

Материалы электрических контактов (КМК-Б21, КМК-А10М и др.). Различают два основных вида электрических контактов – разрывные и скользящие. Разрывные контакты предназначены для периодического размыкания и замыкания электрической цепи. В скользящих контактах подвижные части скользят друг по другу не размыкаясь.

16.3. Свойства порошковых материалов

Поведение металлических порошков при прессовании и спекании зависит от свойств порошков, которые, в свою очередь, определяются способами их получения. Металлические порошки характеризуются химическим составом, а также физическими и технологическими свойствами.

Химический состав порошков определяется содержанием основного металла или компонента, легирующих веществ, примесей и газов и устанавливается стандартами, техническими условиями или подбирается в соответствии с требованиями, предъявляемыми к изделиям и материалам.

Физические свойства порошков определяются следующими характеристиками: размером и формой частиц, микротвердостью, плотностью, состоянием кристаллической решетки и др.

Плотность спрессованной заготовки определяется по формуле

$$\rho_{\Pi} = m/V, \quad (16.1)$$

где m – масса, г; V – объем, см^3 .

Относительную плотность ϑ , %, спрессованной заготовки получают по формуле

$$\vartheta = \rho_{\Pi} / \rho_{\text{К}} \cdot 100, \quad (16.2)$$

где ρ_K – плотность компактного материала, г/см³.

Если спрессованная заготовка не имеет правильной геометрической формы, плотность определяют гидростатическим взвешиванием по ГОСТ 18808-73: спрессованную заготовку покрывают тонким слоем парафина для предотвращения попадания воды в поры и затем взвешивают на воздухе и в воде. Плотность заготовки рассчитывают по формуле

$$\rho = \frac{m_1 \cdot \rho_B}{m_2 - m_3}, \quad (16.3)$$

где m_1 , m_2 , m_3 – масса заготовки на воздухе, с парафином на воздухе, с парафином в воде соответственно, г; ρ_B – плотность воды, зависящая от ее температуры, г/см³.

Микротвердость порошков определяет такую важную технологическую характеристику, как прессуемость, и устанавливается по стандартной методике при небольших нагрузках (0,5...200 г).

Технологические свойства характеризуются насыпной плотностью, текучестью, прессуемостью и спекаемостью порошка.

Насыпная плотность – масса единицы объема свободно насыпанного порошка. Стабильность насыпной массы обеспечивает постоянную усадку при спекании. Она зависит главным образом от формы и размеров частиц. Знание величины насыпной плотности необходимо при конструировании пресс-форм, а также в практике прессования – в случае дозировки шихты объемным способом. Регулировать величину насыпной плотности можно изменением режимов изготовления порошка, т. е. изменяя температуру, длительность восстановления и размола, параметры электролиза и т. д.

Текучесть – способность порошка заполнять форму. Она ухудшается с уменьшением размеров частиц порошка и повышением влажности. Оценкой текучести является количество порошка, вытекаемого через отверстие диаметром 1,5...4 мм за 1 с. Текучесть порошка имеет большое значение, особенно при автоматическом прессовании, при котором производительность пресса зависит от скорости заполнения формы. Низкая текучесть способствует также получению неоднородных по плотности заготовок.

Прессуемость порошков определяется, с одной стороны, способностью к обжатию в процессе прессования, т. е. уплотняемостью, и с другой – способностью к сохранению формы после прессования, т. е. формуемостью (ГОСТ 25280-82). Прессуемость порошка зависит от пластичности материала частиц, их размеров и формы и повышается с введением в его состав поверхностно-активных веществ.

Под *спекаемостью* понимают прочность сцепления частиц в резуль-

тате термической обработки прессованных заготовок.

После выпрессовки заготовок из пресс-формы их размеры изменяются. Явление увеличения объема спрессованных заготовок под действием внутренних напряжений называется **упругим последействием**. Основная доля упругого расширения реализуется непосредственно после выпрессовки заготовки из матрицы, однако некоторое увеличение размеров может происходить в течение нескольких часов и даже дней по завершении процесса.

Знание закономерностей упругого последействия спрессованных заготовок необходимо при проектировании пресс-форм. Кроме того, упругое последействие иногда является причиной возникновения в спрессованных заготовках трещин.

Количественная величина упругого последействия δ_h , %, спрессованных заготовок рассчитывается по следующим формулам [26]:

$$\delta_h = \frac{h_1 - h_0}{h_0} 100; \quad (16.4)$$

$$\delta_D = \frac{D_1 - D_0}{D_0} 100, \quad (16.5)$$

где D_0 и h_0 – высота и диаметр заготовки, находящейся в пресс-форме под действием давления прессования, мм; D_1 и h_1 – высота и диаметр заготовки после выпрессовки из матрицы, мм.

16.4. Способы формования порошковых заготовок и их окончательная обработка

При прессовании порошок помещается в пресс-форму и подвергается сжатию. В результате он уплотняется и принимает форму, соответствующую полости, в которой происходит процесс. Самым существенным моментом, сопровождающим его, является изменение объема сыпучего материала, что коренным образом отличает формование порошков от сходных процессов обработки давлением литых материалов. Поэтому при конструировании прессового инструмента, прогнозировании свойств изготавливаемых изделий необходимо учитывать изменение объема порошкового материала в процессе формования. Основные положения теории пластичности, используемой в обработке давлением компактных материалов, неприменимы в порошковой металлургии из-за изменения объема порошкового материала.

Уменьшение объема порошкового тела, т. е. повышение его плотно-

сти, происходит в результате смещения отдельных частиц и заполнения пустот между ними, а также за счет пластической деформации частиц. Считается, что на начальной стадии прессования имеет место в основном смещение частиц, а упругая и пластическая деформации их наблюдаются при достаточно плотной упаковке (рис. 16.1) [26].

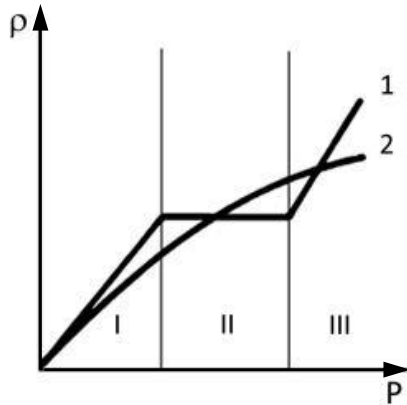


Рис. 16.1. Диаграммы прессования порошков: 1 – идеальная; 2 – реальная; I – смещение; II – упругая деформация; III – пластическая деформация частиц

Величина пластической деформации частиц и начало ее проявления зависят от свойств материала частиц, давления и температуры прессования. При прессовании твердых, хрупких частиц наблюдается разрушение и дробление выступов на их поверхности. Энергия прессования расходуется на деформиро-

вание частиц, преодоление трения между ними, а также частиц о стенки матрицы. В зависимости от целого ряда признаков (материала и формы частиц, гранулометрического состава порошка и т. д.) и условий прессования брикет начинает сохранять приданную ему форму после извлечения из матрицы в результате приложения определенного давления прессования, т. е. при определенной плотности.

Способы формования порошковых заготовок.

На рис. 16.2 представлены основные способы формования порошковых заготовок.



Рис. 16.2. Классификация основных способов формования заготовок из порошковых материалов

Холодное прессование в пресс-форме может быть односторонним и двусторонним. При *одностороннем прессовании* давление прикладывается только к одному, как правило верхнему, пуансону (рис. 16.3). Прессование

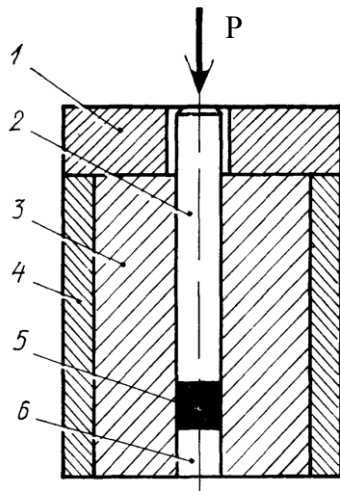


Рис. 16.3. Схема пресс-формы для одностороннего прессования: 1 – ограничительное кольцо; 2 – пуансон верхний; 3 – матрица; 4 – обойма; 5 – прессовка; 6 – пуансон нижний

до упора в ограничительное кольцо в ручных пресс-формах используется в том случае, когда необходимо получить точность размеров спрессованных изделий по высоте, а также незначительное изменение размеров по высоте в пределах данной партии изделий.

Выпрессовка изделий осуществляется с помощью специальной подкладки или кольца, устанавливаемых под нижним или над верхним пуансонами или без них (при автоматическом прессовании), путем перемещения нижнего пуансона или матрицы.

Односторонним прессованием получают заготовки простой формы с отношением высоты к диаметру, меньшим единицы, и заготовки втулок с отношением наружного диаметра к толщине стенки, меньшим трех.

В некоторых случаях тонкостенные изделия и детали с резьбами, боковыми поясками также можно получать односторонним прессованием в закрытых пресс-формах, прикладывая давление с нескольких сторон или радиально расположенным пуансоном. Распределение плотности по объему прессовки при однородном прессовании неоднородно. В горизонтальном направлении в верхнем слое под прессующим пуансоном плотность нарастает от центра к периферии, а в нижнем слое – от периферии к центру. Средняя плотность изделий снижается от верхней части к нижней. Наибольшее уплотнение проявляется на краях заготовки под верхним пуансоном; минимальное – по краю нижней поверхности изделий.

Применение *двустороннего прессования* предназначено для устранения вышеописанного недостатка. Для заполнения матрицы порошком нижний пуансон отводится в крайнее нижнее положение, освобождая для порошка требуемый объем с высотой засыпки H_3 (рис. 16.4, а).

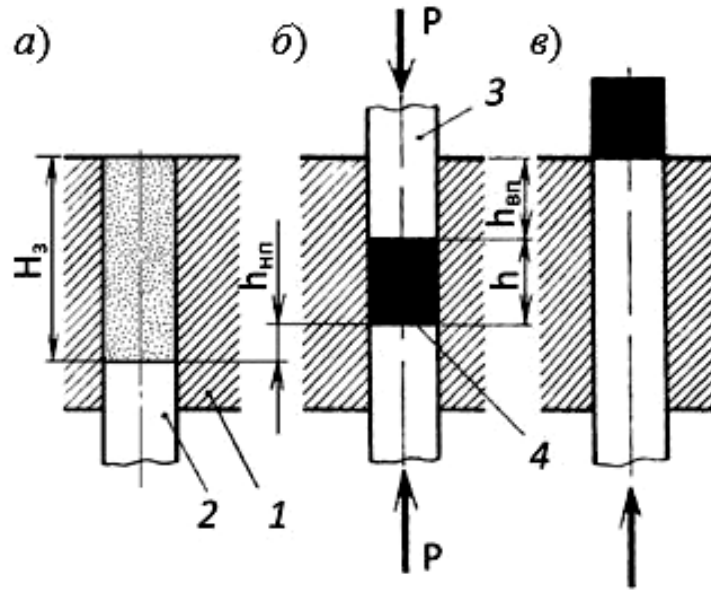


Рис. 16.4. Схема пресс-формы с неподвижной матрицей для двустороннего прессования: а – заполнение матрицы порошком; б – прессование; в – выталкивание заготовки; 1 – матрица; 2 – пуансоны; 3 – заготовка

С помощью верхнего пуансона к порошку прикладывается давление прессования p , верхний пуансон перемещается в матрице на величину $h_{вп}$. Затем давление p прикладывается к нижнему пуансону, который перемещается на величину $h_{нп}$, причем обычно $h_{нп} < h_{вп}$, т. к. в результате прессования верхним пуансоном заготовка приобретает определенную плотность (рис. 16.4, б). Выталкивание спрессованной заготовки осуществляется нижним пуансоном (рис. 16.4, в).

При автоматическом прессовании более широко применяются для получения равномерной плотности в прессовках пресс-формы с подвижной и плавающей матрицами.

При *прессовании в подвижной матрице* после засыпки порошка (рис. 16.5, а) давление прикладывается к верхнему пуансону 3 (рис. 16.5, б). Одновременно происходит перемещение матрицы в направлении приложения давления на величину h_m . Это приводит к выравниванию плотности по высоте заготовки, так как снижаются потери на трение порошка о стенки матрицы формы. Выпрессовка заготовки выполняется нижним пуансоном (рис. 16.5, в).

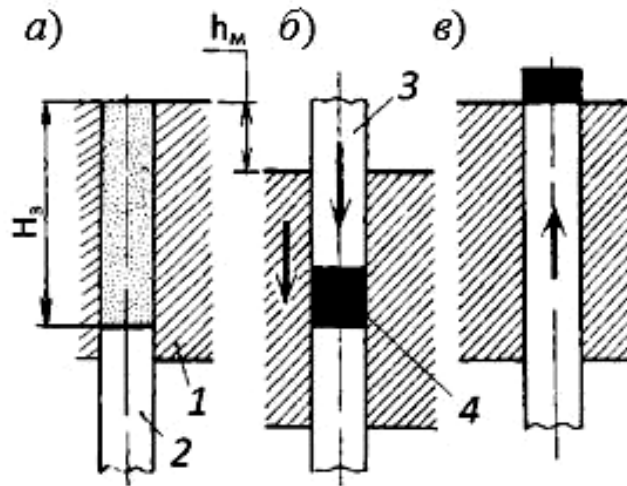


Рис. 16.5. Схема пресс-формы с подвижной матрицей для двустороннего прессования: а – заполнение матрицы порошком; б – прессование; в – выталкивание заготовки; 1 – матрица; 2, 3 – пуансоны; 4 – заготовка

Основным недостатком **холодного прессования** в закрытых пресс-формах является необходимость приложения больших давлений, а также износ и задиры стенок матрицы, пуансонов и стержней.

Способ **вибрационного прессования** позволяет снизить прилагаемое давление на порядок и более. Для этой цели используют механические вибраторы (частота колебаний составляет 230...250 Гц, амплитуда колебаний – 0,03...0,05 мм). Вибратор или булаву, соединенную с приводом через

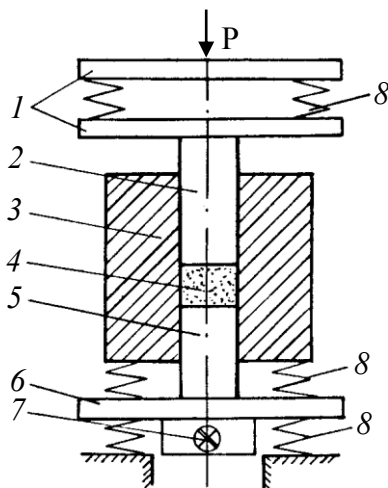


Рис. 16.6. Схема вибрационного прессования: 1 – плиты; 2 – верхний пуансон; 3 – матрица; 4 – прессовка; 5 – нижний пуансон; 6 – опорная плита; 7 – вибратор; 8 – пружины

гибкий вал, устанавливают под пресс-формой на пружинах (рис. 16.6). Время вибрационного прессования для смесей порошков составляет: из твердых сплавов – 4...5 с; из жаропрочных соединений – 5...15 с; из меди – 10...60 с. Плотность получаемых заготовок может достигать 90 % от теоретического значения.

Основной недостаток этого способа заключается в расслоении порошков компонентов шихты при вибрации в пресс-форме. В верхней части прессовок из поликомпонентной шихты концентрация компонента, материал которого имеет низкую плотность, значительно больше, чем его среднее содержание. Кроме этого, при прессовании с уплотнением усложняется конструкция прессующего блока.

Способ **пакетного прессования** (рис. 16.7) применяют с целью предотвращения разрушения прессовок малой высоты и большого сечения при их выпрессовывании из матрицы. После загрузки порошка в пресс-форму устанавливают стальную (промежуточную) прокладку, отпускают нижний пуансон, загружают еще одну порцию порошка, устанавливают другую прокладку и т. д. После этого производят прессование (одно- или двустороннее) и нижним пуансоном выпрессовывают полученный пакет. Прокладки используют повторно.

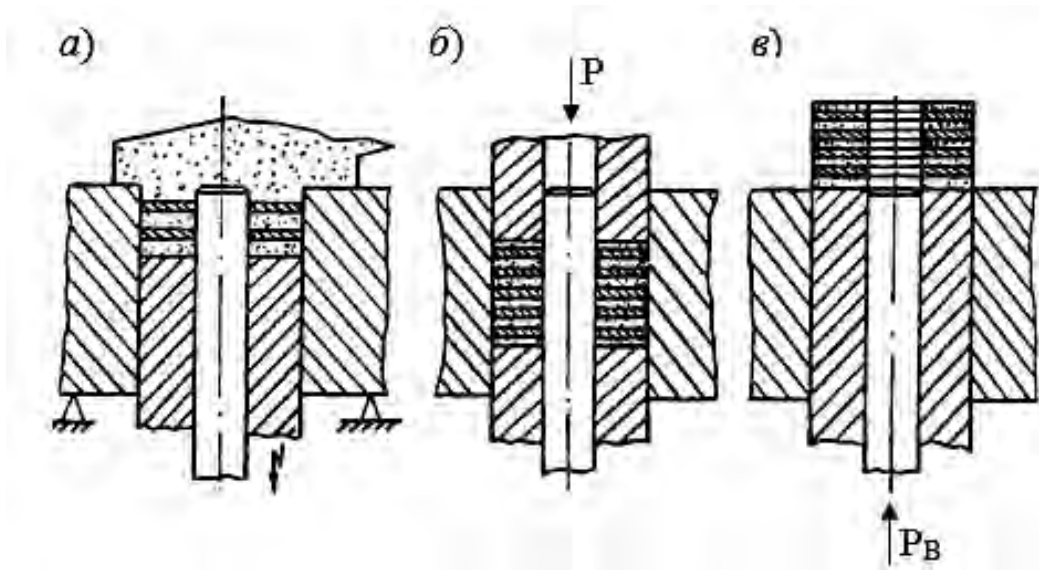


Рис. 16.7. Схема пакетного прессования шайб: а – загрузка порошка и установка прокладок; б – одно- или двустороннее прессование; в – выпрессовка пакета

Способ применяют при производстве фрикционных дисков толщиной 0,4...1,5 мм; разница в плотности отдельных участков изделия, как правило, не превышает 1...3 %. Способ пакетного прессования целесообразен для получения тонких порошковых изделий различной сложности: типа шайб, дисков, пластин и др.

Необходимость получения крупногабаритных изделий из труднопрессуемых композиций обусловила развитие других способов формования порошков, например способа **изостатического формования**. Сущность его заключается в том, что порошок помещают в эластичную оболочку и подвергают всестороннему сжатию. В результате получают крупногабаритные прессовки, изделия с большим отношением длины к диаметру (ширине), с тонкими стенками и равномерной во всех направлениях плотностью.

Разработано нескольких разновидностей **изостатического формования**, одним из которых является *гидростатическое прессование*. Сущность *гидростатического прессования* состоит в том, что порошок засы-

пают в эластичную оболочку (как правило, резиновую толщиной 0,1...0,15 мм) и помещают в рабочую полость гидростата. Камеру закрывают крышкой (затвором) специальной конструкции для обеспечения герметичности. В камере создают требуемое давление, подавая жидкость насосом. Способ характеризуется практически полным отсутствием трения при уплотнении порошка, равномерной плотностью получаемых изделий.

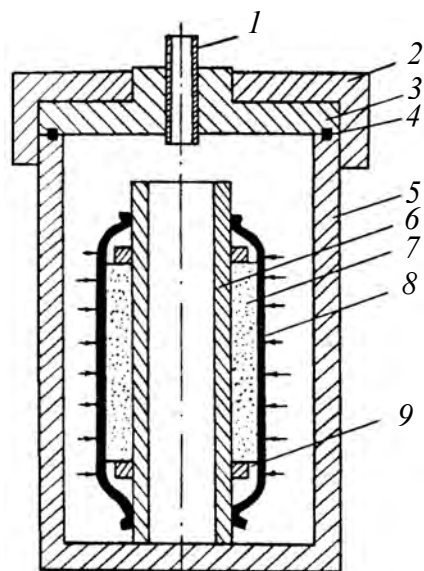


Рис. 16.8. Схема гидростатического прессования втулок: 1 – труба высокого давления; 2 – крышка камеры; 3 – затвор; 4 – уплотнительная прокладка; 5 – корпус камеры прессования; 6 – сердечник; 7 – порошок; 8 – эластичная оболочка; 9 – фиксатор сердечника

При прессовании трубчатых изделий (рис. 16.8) внутрь порошка помещают сплошной или полый сердечник, центрируемый сверху и снизу. После прессования гильзу извлекают из камеры, снимают центрирующие колпаки и вынимают спрессованное полое изделие.

При гидростатическом прессовании воздух и газы не имеют выхода из герметично закрытой оболочки, поэтому необходимо применять различные устройства для дегазации уплотняемого порошка. Этим способом получают порошковые заготовки цилиндрической и шаровидной форм

до нескольких сотен килограммов. Особенно эффективны гидростаты при производстве заготовок из плохоформуемых и прессуемых порошков.

Другим вариантом формования является *газостатическое прессование*. Давление газа в рабочей камере создается компрессором и доводится до заданного значения с помощью подогрева газа нагревателем. Имеются установки, позволяющие прессовать труднопрессуемые порошки молибдена, твердого сплава, быстрорежущей стали, окиси алюминия и др., а также повторно прессовать уже сформированные заготовки при температуре до 1723 К и давлении до 200 МПа.

Значительный эффект достигнут при использовании данного способа для изготовления быстрорежущей стали. Полученная быстрорежущая порошковая сталь имеет равномерную мелкозернистую структуру и высокие режущие свойства.

Горячее прессование порошков в закрытых пресс-формах и газостатах проводят при одновременном приложении давления и нагреве

порошка в формах или оболочках. По сравнению с холодным прессованием давление горячего прессования снижается почти на порядок. В большинстве случаев оно ограничивается лишь прочностью материала пресс-формы. При таком прессовании технологически совмещаются процессы формообразования и спекания заготовки с целью получения готовой детали.

Схемы горячего прессования порошков принципиально не отличаются от вышеприведенных, но конструкция пресс-блоков зависит от способа нагрева и приложения давления. Используют следующие способы электронагрева порошков:

- прямой нагрев пресс-формы пропусканием тока непосредственно через пресс-форму или порошок;
- косвенный нагрев пресс-формы, помещенной внутри электрического нагревателя;
- прямой индукционный нагрев токопроводящей пресс-формы;
- индукционный нагрев токопроводящей трубы, внутри которой помещена пресс-форма из нетокопроводящего материала;
- прямой нагрев порошка внутри нетокопроводящей матрицы.

В большинстве случаев *горячее статическое прессование* проводят при температуре 1200...1450 °С в графитовых пресс-формах, имеющих хорошую электропроводность, низкую плотность, высокие термостойкость и прочность при сжатии в пределах 35...70 МПа. Реже, чем графит, для изготовления пресс-форм используют жаропрочные сплавы (на основе молибдена и др.), позволяющие прилагать достаточно высокие давления при температурах 1100...1300 °С.

Горячее изостатическое прессование порошков в основном проводят в газостатах. Поскольку в качестве среды, передающей давление, используют газ, порошок или пористая заготовка должны быть помещены в герметически закрытый контейнер. Кроме того, материал для контейнеров не должен реагировать с материалом порошков, газами и футеровкой печи, но необходимо, чтобы он легко отделялся от сформированного изделия. Этот способ прессования главным образом применяют для получения крупных заготовок из плохопрессуемых порошков и порошков активных металлов, сплавов и соединений.

Высокоскоростное (динамическое) прессование имеет некоторые преимущества перед статическим. При увеличении скорости деформирования коэффициент внешнего трения уменьшается во много раз, соответственно, достигается более однородное распределение плотности в прессовках. Создание чрезвычайно высоких давлений в межчастичных контактах при высокоскоростном формовании также позволяет получать материалы с хорошей плотностью и обеспечивает минимальную усадку после

спекания. Кроме этого, в межчастичных контактах локализуется достаточное для снятия наклепа количество теплоты, что повышает формуемость порошков и прочность заготовок. Различают несколько способов высокоскоростного прессования в зависимости от источника энергии, обеспечивающего высокую скорость приложения давления.

Ударное прессование может быть одно- или двусторонним, и схемы процесса принципиально не отличаются от схем холодного статического прессования.

Прессование взрывом осуществляется при различных вариантах создания нагрузки на порошок, т. е. при нагружении пуансона летящим снарядом, при непосредственном воздействии ударной волны на пуансон, передаче давления через жидкую среду и др. Во всех случаях энергия удара (давление на пуансон) зависит от массы взрывчатого вещества или порохового заряда и конструкции установки. В установках с пороховым зарядом ударный механизм накачивает капсюль, который воспламеняет заряд, что создает в рабочей полости давление 0,5...2 ГПа и ускоряет боек (снаряд) до скорости 10...100 м/с.

Электромагнитное формование. Для получения магнитных импульсов применяют плоские, спиральные, соленоидные и др. индукторы. При прохождении большего тока через индуктор между ним и прессуемой заготовкой возникает магнитное поле высокой интенсивности. Взаимодействие магнитного поля и наведенных токов создает силы, прижимающие порошковое тело к матрице.

Эффективность магнитоимпульсного формования зависит от удельного электросопротивления пористого тела. Хорошие результаты получают при формовании заготовок из порошков золота, серебра, меди, алюминия и железа. Большое значение при этом имеет расстояние между индуктором и порошком (наиболее эффективно расстояние 1 мм).

Пневмомеханическое формование осуществляется в результате использования энергии, выделяющейся при адиабатическом расширении сильно сжатого газа. Порошок помещают между двумя пуансонами, по которым удаляют бойки, получающие ускорение благодаря расширению газа, подаваемого из ресивера в пневмокамеру.

Непрерывные способы прессования.

Мундштучное формование (выдавливание) применяется для получения деталей типа прутков и труб высокой плотности. Осуществляется путем продавливания через отверстие в матрице смеси порошка с пластификатором или предварительно спрессованной и нагретой заготовки. В порошок добавляют пластификатор до 10...12 % от массы порошка, улучшающий процесс соединения частиц и уменьшающий трение порошка о стенки пресс-формы. Профиль изготавливаемой детали зависит от формы

калиброванного отверстия пресс-формы. Полые профили выполняют с применением рассекателя. Металлокерамические профили изготавливают выдавливанием на гидравлических и механических прессах. Способ позволяет получать длинномерные изделия с равномерной плотностью из труднопрессуемых порошков – тугоплавких металлов и соединений, твердых сплавов и т. д.

Прокатка – один из наиболее производительных и перспективных способов переработки порошковых материалов. Ее характерной особенностью является высокая степень автоматизации и непрерывность. Сущность

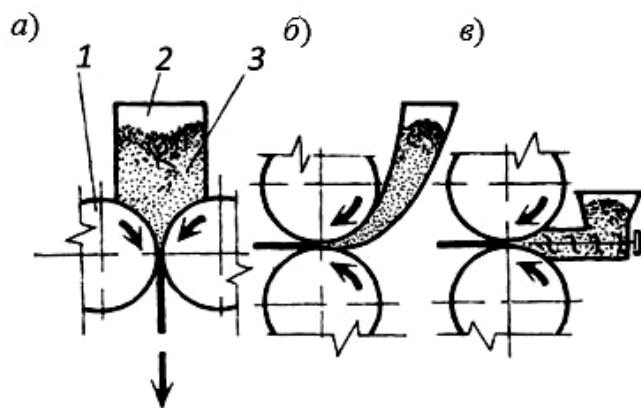


Рис. 16.9. Схемы прокатки порошка:
а – вертикальная; б – горизонтальная; в – горизонтальная с принудительной подачей порошка; 1 – валки; 2 – бункер; 3 – порошок

прокатки порошков заключается в подаче порошка из бункера в зазор между вращающимися навстречу друг другу с одинаковыми скоростями валками (рис. 16.9). За счет сил трения частицы порошка формируются в полосу, которую затем подают в печь для спекания. По своей физической природе прокатку порошка можно рассматривать как непрерывное прессование, которое начинается в очаге деформации и за-

канчивается на выходе ленты из зазора между валками.

Прокатку порошков применяют для получения пористых изделий (фильтров, электродов и др.), заготовок и полуфабрикатов типа лент, полос, листов, проволоки и т. п. Плотность таких изделий составляет 50...90 %. Прокаткой из металлических порошков изготавливают ленты толщиной 0,02...3,0 мм и шириной до 300 мм. Применение валков определенной формы позволяет получить прутки различного профиля, в том числе и проволоку диаметром от 0,25 мм до нескольких миллиметров.

В зависимости от расположения валков и подачи порошка прокатка осуществляется в горизонтальном и вертикальном направлениях. Порошок может поступать в зазор между валками под действием гравитационных сил (собственной массы) и принудительно. Качество прокатки зависит от текучести порошка, скорости прокатки, стабильности свойств порошка.

Недостатками этого способа уплотнения порошковых материалов обычно считают наличие разрывов и неоднородностей по толщине и плотности на краях и концах полос, которые устраняются, как правило, механической обработкой.

Спекание и окончательная обработка порошковых заготовок.

Спекание проводят для повышения физико-механических свойств заготовок, полученных прессованием или прокаткой. В спрессованных заготовках доля металлического контакта очень мала и спекание сопровождается ростом контактов между отдельными частицами порошка. Это является следствием того, что в спекаемом теле при нагреве происходит следующее: восстановление оксидов, диффузии, рекристаллизации и др. Характер протекания данных процессов зависит от температуры и времени спекания, среды, в которой осуществляется спекание, и других факторов. В результате спекания изменяются размеры; чаще всего наблюдается усадка.

Температура спекания составляет 0,6...0,9 температуры плавления порошка однокомпонентной системы или она может быть ниже температуры плавления основного материала для порошков, в состав которых входит несколько компонентов.

Для повышения физико-механических свойств спеченных заготовок применяют повторное прессование и спекание, пропитку смазочными материалами антифрикционных деталей, термическую и химико-термическую обработки.

Основными видами термической обработки являются отжиг и закалка. Отжиг используют для улучшения технологических свойств при производстве деталей из тугоплавких металлов. Он снижает прочность и в несколько раз повышает пластичность материала, что облегчает дальнейшую обработку давлением (ковку, протяжку, прокатку). Наличие пор в материалах делает их чувствительными к окислению при нагреве и коррозии при попадании закалочной жидкости в поры при закалке. В качестве охлаждающих сред необходимо выбирать жидкости, не представляющие опасности с точки зрения коррозии. В некоторых случаях детали из железного порошка подвергают науглероживанию способами химико-термической обработки. Насыщение углеродом происходит значительно быстрее вследствие проникновения газов внутрь тела. Для повышения износостойкости деталей в определенных случаях применяют сульфидирование.

Повторное прессование и спекание позволяют получать изделия с более высокой плотностью. Промежуточные отжиги, снимая наклеп в зернах заготовки, дают возможность осуществлять дальнейшее уплотнение при относительно небольшом давлении. Повторное прессование осуществляют в тех же пресс-формах или в пресс-формах с повышенной точностью изготовления формообразующих деталей. В производственных условиях, как правило, ограничиваются двукратным прессованием (в «черновых» и «чистовых» пресс-формах) и спеканием.

Пропитку заготовок обычно выполняют погружением их в масляную ванну с температурой 70...140 °С. Длительность пропитки составляет 15 мин...2 ч, степень заполнения пор – 90...95 %. Большая плотность заполнения пор маслом достигается применением вакуумной пропитки.

Для придания спеченным заготовкам необходимых размеров и формы применяют калибрование, протягивание, штамповку и обработку резанием. Калибрование позволяет получать изделия высокой точности. Данную операцию проводят в специальных пресс-формах или приспособлениях. Перед калиброванием заготовки должны иметь размеры, на 0,5...1,0 % превышающие окончательные. Большая степень деформирования при калибровании может значительно повлиять на механические свойства: повысить прочность и снизить пластичность детали. Поэтому в некоторых случаях после калибрования применяют дополнительное спекание или отжиг.

Обработка давлением позволяет снизить пористость материалов и повысить их пластичность. Например, у спеченных брусков из вольфрама с исходной пористостью 38...40 % послековки пористость снижается до 2...5 % и заготовка приобретает пластичность, необходимую для протяжки через фильтры или прокатки. Перед протяжкой для снятия напряжений заготовки из вольфрама подвергают промежуточному отжигу при температуре выше 1200 °С [34].

Обработку резанием применяют в тех случаях, когда прессованием нельзя получить изделия заданных размеров и формы. Обработка заготовок из спеченных материалов пористостью менее 5 % ничем существенно не отличается от обработки обычных беспористых материалов. С повышением пористости материала характер стружкообразования изменяется. Стружка дробится на отдельные элементы, появляются ударные нагрузки, снижается стойкость режущего инструмента.

При обработке заготовок из пористых антикоррозионных материалов следует обращать внимание на состояние поверхностного слоя. Для предотвращения возможности закрытия пор необходимо использовать хорошо заточенный и доведенный режущий инструмент. Не допускается шлифование во избежание попадания абразивных частиц в поры.

16.5. Технологические требования, предъявляемые к конструкциям изделий из порошковых материалов

Технологический процесс изготовления изделий из порошковых материалов характеризуется особенностями, которые необходимо учитывать при проектировании этих изделий. При проектировании деталей, к точности исполнительных размеров которых предъявляются высокие требова-

ния, следует предусматривать припуск на их дальнейшую механическую обработку. Наружные и внутренние резьбы рекомендуется изготавливать обработкой резанием. В конструкциях изделий необходимо избегать выступов, пазов и отверстий, расположенных перпендикулярно оси прессования (рис. 16.10). Их следует заменять соответствующими элементами, размещенными в направлении прессования, или изготавливать обработкой резанием. Узкие и длинные пазы или выступы нужно заменять аналогичными элементами, повышающими жесткость и прочность конструкций. Прессование изделий сопровождается существенной усадкой, поэтому в их конструкциях нельзя допускать значительной разностенности, которая вызывает коробление и образование трещин.

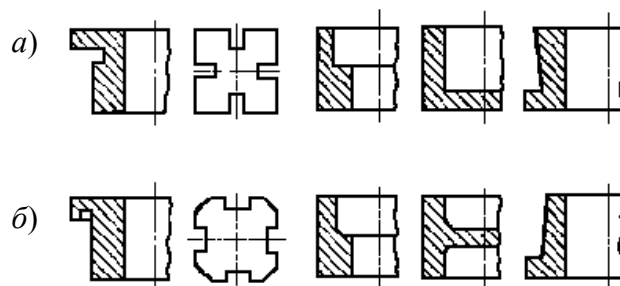


Рис. 16.10. Примеры конструкций изделий: *а* – нетехнологичных; *б* – технологичных

При незначительной разностенности в процессе прессования получают более равномерную плотность по высоте изделия. Длинные тонкостенные конструкции необходимо заменять равнозначными по эксплуатационным показателям с учетом равномерной плотности прессуемого изделия. Толщина стенок должна быть не менее 1 мм. Для свободного удаления заготовки пресс-форма должна иметь незначительную конусность. При проектировании конструкций с коническими поверхностями необходимо учитывать, что они должны быть такими, чтобы их было удобно извлекать, обратная конусность недопустима. Радиусы перехода сопрягающихся поверхностей должны быть не менее 0,2 мм.

Некоторые конструктивные элементы порошковых изделий и требования к ним изложены в [19, 35].

Контрольные вопросы

1. Каковы технологические особенности изделий, получаемых порошковой металлургией?
2. Какие порошковые материалы получили наибольшее промышленное применение и какие наиболее характерные изделия из них изготавливают?
3. Основные свойства порошковых материалов.

4. Основные способы формообразования заготовок из порошковых материалов. В чем сущность этих способов?

5. Зачем назначают спекание и в чем его сущность? Окончательная обработка заготовок из порошковых материалов.

6. Основные технологические требования, предъявляемые к конструкциям заготовок из порошковых материалов.

17. МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗАГОТОВОК

17.1. Принципы конструктивно-технологического проектирования сварных конструкций

Известно, что существует взаимное влияние друг на друга конструкции и технологии ее изготовления. Конструктивные формы в определенной степени ограничивают выбор технологических приемов и методов сварки, а принятая технология изготовления сварной конструкции воздействует на изменение исходных свойств материала, на точность сохранения проектных размеров и формы конструкции и на возникновение в конструкции того или иного напряженного состояния. Это отражается на работоспособности сварной конструкции. Поэтому для создания рациональных конструкций необходимо учитывать все технологические воздействия, которые она испытывает в процессе изготовления. Следовательно, требуется комплексное проектирование сварной конструкции и технологического процесса ее изготовления. Только в этом случае можно выбрать решения, обеспечивающие необходимую работоспособность сварной конструкции при минимальных затратах материалов, трудоемкости и времени на ее изготовление. При одновременном проектировании конструкции и технологического процесса ее изготовления могут быть выбраны формы, облегчающие механизацию и автоматизацию процессов изготовления сварных конструкций, и использованы технологические средства для повышения ее работоспособности.

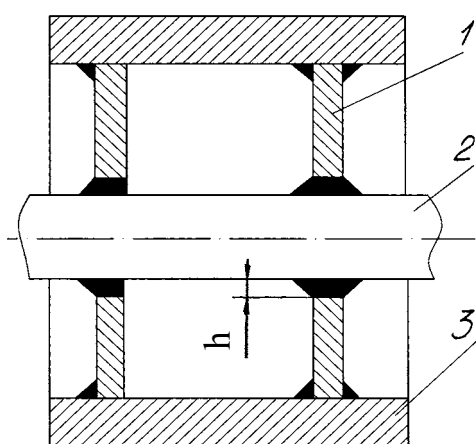


Рис. 17.1. Схема редукторного колеса:
1 – диск; 2 – вал; 3 – обод

Изложенное разберем на примере разработки конструкции и технологии изготовления редукторного колеса (рис. 17.1). Предположим, что при проектировании зубчатого колеса редуктора в качестве материала обода и вала выбрали закаливающуюся высокопрочную сталь, требующую подогрева при сварке, для дисков – малоуглеродистую сталь, не требующую подогрева при сварке.

Если в обоих случаях применить одну и ту же технологию сварки с

предварительным подогревом той части конструкции, которая выполнена из закаливающейся стали, то сопряжение обода с дисками окажется достаточно работоспособным, а в сопряжении дисков с валом возникнут трещины еще в процессе изготовления. Подогретый обод при остывании будет вызывать в швах, соединяющих его с дисками, напряжения сжатия, которые даже облегчат восприятие эксплуатационной нагрузки, обуславливающей в них напряжение растяжения. Подогрев вала перед сваркой приведет к тому, что при его остывании после сварки в швах, соединяющих его с дисками, возникнут напряжения растяжения и произойдет отрыв дисков от вала. Таким образом, при соединении сваркой двух сталей одна и та же технология в одних конструктивных условиях дает положительные, а в других – отрицательные результаты. Следовательно, выбирать технологию сварки материалов без учета особенностей свариваемой конструкции недопустимо, как и конструктивные формы сварных соединений без учета конкретной технологии изготовления конструкции.

В рассматриваемом случае для предотвращения отрыва дисков от вала сварку необходимо производить без применения подогрева, а для предупреждения подкалки околошовной зоны надо изменить конструкцию сопряжения. На вал в местах примыкания дисков следует наплавить буртик из незакаливающегося металла. Высота h буртика должна быть такова, чтобы при сварке с диском температура нагрева основного металла вала была ниже критической температуры A_{C1} , что исключает подкалку основного металла. Высота h определяется расчетом, базирующимся на теории распространения тепла при сварке [20, 27].

Таким образом, доказана очевидная необходимость обоснования тех или иных решений не только расчетами прочности, но и технологически. Комплексное конструктивно-технологическое проектирование является условием, обеспечивающим рациональность проектируемой конструкции. Однако одновременности разработки проекта конструкции и проекта технологического процесса ее изготовления еще недостаточно для максимального использования всех возможностей сварки и для полной гарантии надежной работы сварной конструкции. Существующие методы расчетов прочности, как правило, не учитывают действия, оказываемого на конструкцию процессом ее изготовления. Поэтому в обычно выполняемых расчетах прочности исходят из нормативных свойств материала без принятия во внимание изменений, вызываемых процессом сварки, а также наличия в сварных соединениях неоднородности свойств в различных зонах. Расчеты прочности ведут, ориентируясь на напряженное состояние, которое обуславливается только внешней нагрузкой, и не учитывают того поля напряжений, которое создано процессом изготовления конструкций. При расчетах исходят из проектных размеров и форм отдельных сварных со-

единений и элементов без принятия во внимание искажений, которые вызываются сварочными деформациями. Все это приводит к тому, что расчеты перестают правильно воспроизводить действительные условия работы конструкции и в ряде случаев не могут гарантировать ее надежность. Поэтому необходимо в расчетах прочности и устойчивости учитывать технологические воздействия.

Если в настоящее время и учитывают в отдельных случаях технологию при расчетах, то это делают введением поправочных коэффициентов в допускаемые напряжения, предельные нагрузки. Такой подход приводит к излишним затратам материала, т. к. понижающие коэффициенты приходится применять и там, где они не нужны, и, кроме того, они не дают гарантии надежности. Поэтому необходимы уточненные методы расчетов прочности, в которых бы учитывались технологические факторы. Наряду с расчетами прочности должны производиться и расчеты точности, которые почти не выполняются. Существуют методы расчетов деформаций при сварке [20]. Они позволяют расчетным путем оценивать точность сварного элемента, а следовательно, еще при проектировании конструкции предусматривать те меры повышения точности, которые придется принимать при изготовлении конструкции, если конструктивными средствами достичь требуемой точности невозможно. Таким образом, при конструктивно-технологическом проектировании сварных заготовок, конструкций необходимо применять уточненные методы расчетов прочности, также расчетные методы оценки технологичности и точности сварных конструкций.

Очевидно, что применение новых методов расчетов, основанных на комплексном учете разнообразных конструктивных и технологических факторов, потребует в ряде случаев пересмотра норм и критериев качества сварных конструкций.

Выбор схемы технологического процесса определяется характером или типом производства.

17.2. Технологичность сварных конструкций

При проектировании сварных соединений, заготовок и узлов следует учитывать требования к технологичности их изготовления. Под *технологичностью* сварных конструкций понимают: выбор материалов и конструктивного оформления, которые обеспечивают удобство и простоту изготовления любыми способами сварки и при различных режимах; применение высокопроизводительных способов сварки; автоматизацию и механизацию максимального числа операций технологического процесса; низкую себестоимость процесса сварки за счет экономии сварочных материалов, повышения производительности и высокого уровня механизации; све-

дение к минимуму искажений формы, вызываемых тепловым и механическим воздействиями при сварке.

Технологичность обеспечивается выбором материала, типа соединения и формы свариваемых элементов, способов сварки и мероприятий по уменьшению сварочных деформаций и напряжений.

Для получения сварных соединений, равноценных по работоспособности основному металлу, при конструировании сварных заготовок и узлов следует по возможности выбирать хорошо свариваемые материалы. К таким материалам относятся низкоуглеродистые стали спокойной выплавки и многие низколегированные стали, ряд сплавов цветных металлов, применение которых не ограничивается какими-либо требованиями к способу и режимам сварки.

При использовании материалов с пониженной свариваемостью необходимо конструировать изделия с учетом их свойств. Для сведения к минимуму неблагоприятных изменений свойств металла сварного соединения и исключения в нем дефектов следует применять способы и режимы сварки, оказывающие минимальное термическое и другие воздействия на металл, и проводить технологические мероприятия (подогрев, искусственное охлаждение и др.), снижающие влияние на него сварочных воздействий. Термическая обработка после сварки (нормализация, закалка с отпуском и др.) может в значительной степени устранить неоднородность свойств в сварных заготовках или узлах.

Реализация приведенных мероприятий во многом зависит от габаритных размеров и конструктивного оформления сварных заготовок и узлов. Для сложных узлов с элементами больших толщин и размеров при наличии криволинейных швов в различных пространственных положениях можно применять только хорошо свариваемые материалы. Последние сваривают самыми универсальными способами, например, ручной дуговой сваркой покрытыми электродами или полуавтоматической в защитных газах в широком диапазоне режимов. При их сварке не нужны, например, подогрев, затрудненный вследствие больших толщин и размеров элементов, и высокотемпературная термическая обработка, часто невозможная из-за отсутствия печей и закалочных ванн соответствующего размера. Для простых малогабаритных узлов приемлемо применение материалов и с пониженной свариваемостью, поскольку при их изготовлении используют самые оптимальные с точки зрения свариваемости способы сварки, например электронно-лучевую или диффузионную в вакууме. При этом легко осуществить все необходимые технологические мероприятия и требуемую термическую или механическую обработку после сварки.

Тип сварного соединения определяют взаимным расположением свариваемых элементов и формой подготовки (разделки) их кромок под

сварку. По первому признаку различают четыре основных типа сварных соединений: стыковые; тавровые; нахлесточные; угловые. Кромки разделяют с целью полного провара заготовок по сечению, что является одним из условий равнопрочности сварного соединения с основным металлом. Форму и размеры элементов разделки (угол, притупление и зазоры) назначают исходя из условий полного проплавления свариваемого сечения, обеспечения формирования корня шва (без непроваров и прожогов) и минимального объема наплавленного металла.

Одним из показателей рационального выбора формы и размеров элементов является уменьшение полезной массы, отхода материала, трудоемкости и себестоимости сварных заготовок и узлов. Указанным рекомендациям соответствуют элементы простой геометрической формы: прямолинейные, цилиндрические, конические и полусферические с длинными прямыми и замкнутыми кольцевыми стыковыми и тавровыми соединениями между ними.

При выборе сортамента материалов для изготовления элементов предпочтительнее прокатные, гнутые или штампованные профили и оболочки, тонкий лист и тонкостенные трубы и их сочетания. При этом следует стремиться к минимальному числу типоразмеров и толщин свариваемых элементов.

На рис. 17.2 показаны варианты сварных двутавровых и коробчатых балок из листового проката (рис. 17.2, а, в) и гнутых элементов (рис. 17.2, б, г, д).

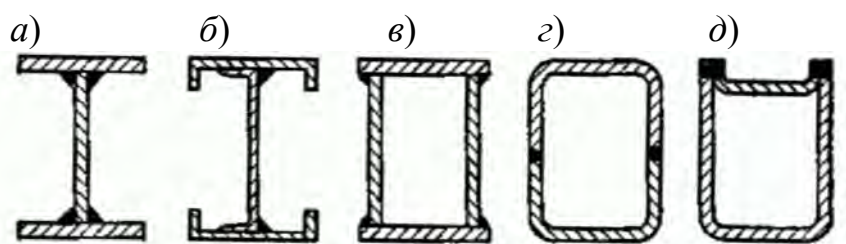


Рис. 17.2. Варианты сварных двутавровых и коробчатых балок

Способ сварки при конструировании сварных заготовок необходимо выбирать исходя из степени теплового воздействия на металл, качества получаемых соединений, технологических возможностей, производительности, степени автоматизации и механизации производства [34].

Основные требования технологичности сварных конструкций:

1) число сварных соединений должно быть минимальным, т. к. прочность соединения может быть меньше, чем прочность основного металла детали;

2) конструктивные формы сварных элементов должны по возможно-

сти исключать резкие изменения сечений и обеспечивать плавность переходов в местах, где изменения сечений необходимы. Следует избегать приварки коротких элементов, создающих резкую концентрацию напряжений, опасную для конструкций, работающих под действием вибрационной нагрузки и в условиях температур ниже переходной температуры для данного материала;

3) следует отдавать предпочтение сплошным конструкциям, в которых легче избегать мест значительной концентрации напряжений. При применении решетчатых конструкций нужно выбирать сплошные сечения и избегать сквозных элементов;

4) в конструкциях, где могут возникать явления усталости и хрупкие разрушения, следует избегать применения соединительных решеток и планок между отдельными ветвями составного стержня. Планки и решетки рекомендуется заменить сплошными листами, которые нужно вводить в расчетное сечение элемента. Постановку ребер жесткости необходимо производить с учетом действующих в основном сечении напряжений, размещая их по возможности в менее напряженных местах, или принимать во внимание создаваемую ими концентрацию напряжений. Следует отдавать предпочтение ребрам жесткости, расположенным по направлению основного силового потока, а не поперек его (рис. 17.3);

5) в сварных конструкциях необходимо избегать постановки многочисленных местных косынок, создающих неравномерность напряженного состояния и концентрацию напряжений. В частности, не следует ставить много косынок в жестких углах рам с криволинейным поясом, а также в листовых конструкциях. В местах сопряжения обечаек друг с другом или с плоскостью нужно заменять их непрерывными кольцами жесткости;

6) конструкция и взаимное расположение свариваемых элементов должны обеспечивать удобство доступа сварочного инструмента в зону сварки;

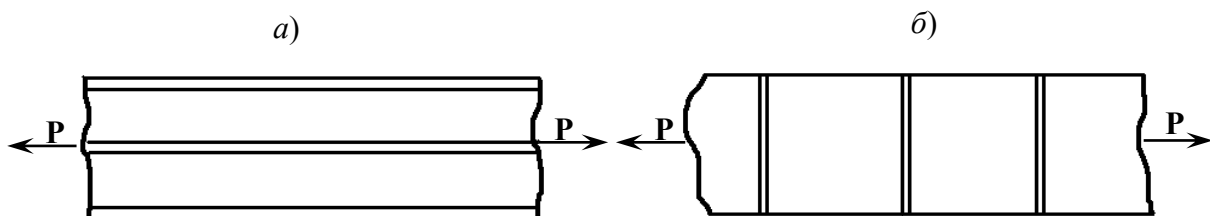


Рис. 17.3. Расположение ребер жесткости: *a* – правильное; *б* – неправильное

7) с целью облегчения сварных конструкций при проектировании следует предусматривать применение других технологических процессов

(штамповок, гнутых профилей, литья и др.) для производства заготовок, а также использование в одной конструкции различных материалов.

17.3. Комбинированные сварные заготовки

Комбинированные заготовки обладают большей технологичностью, чем отливки, поковки. Их внедрение снижает сроки освоения производства, сокращает расходы на литейную и штамповочную оснастки.

Основными видами комбинированных заготовок являются:

1) сварно-литые заготовки – станины прессов, станков, корпусов редукторов и др. При конструировании сварно-литых заготовок прибыли на отливке располагают вдали от кромок, подлежащих сварке. Повышенное содержание серы и углерода в местах размещения прибылей приводит к появлению дефектов в сварных швах и в прилегающих к ним зонах металла отливки. При конструировании сварно-литых заготовок, образующих жесткий контур, следует предусматривать соединение отдельного элемента с остальной частью конструкции не более чем двумя сварными швами. В случае большего числа стыков осуществить сварку намного сложнее. При конструировании крупногабаритных сварно-литых заготовок стремятся к тому, чтобы габаритные размеры мелких отливок обеспечивали возможность машинной формовки, а длина отдельных частей не превышала 4...5 м;

2) штампо-сварные заготовки – рамы, шкивы, ободы и др. Изготавливают обычно из листового материала. Конструкция штампо-сварной заготовки должна одновременно отвечать условиям технологичности, листовой штамповки и сварки;

3) сварно-ковано-литые заготовки – роторы турбин, массивные валы и др. Изготавливают сочетанием литых элементов с поковками или заготовками из проката, соединяемых сваркой.

Проектирование комбинированных сварных конструкций предусматривает решение технической задачи комплексного использования многих современных технологических и конструктивных возможностей для повышения работоспособности конструкции, снижения трудоемкости, облегчения механизации и роста производительности труда. Непосредственно сварка выступает как технологический процесс, позволяющий применить в одной конструкции любые прогрессивные технологические средства для производства отдельных ее частей, отдельных заготовок, из которых составляется целая (в результате превращающаяся в монолитную) конструкция. Более того, использование комбинированных конструкций взамен цельнолитых, цельнокованных и цельносварных позволяет не только совершенствовать производство конструкций в целом, но и само производ-

ство заготовок. Заменяя, например, цельнолитую конструкцию сварной, включающей и литые детали, создают условия для более прогрессивных механизированных методов литья, которые, как правило, неприемлемы при производстве цельнолитой конструкции. При этом качество литых заготовок оказывается значительно выше качества цельнолитых конструкций, для которых заварка брака литья превратилась в нормальную и обязательную операцию. То же имеет место и у поковок. Их качество понижается с увеличением размеров. Возрастают трудности достижения однородности свойств материала в различных частях крупных поковок.

Возрастающие требования к качеству изделий и повышению производительности труда уже невозможно решить применением одного технологического процесса. Поэтому при проектировании и изготовлении машиностроительных конструкций должны комплексно использоваться все современные способы обработки металлов давлением, литья, методы сварочной технологии.

Замена цельнолитых деталей сварными часто ограничивается только расчленением одной крупной отливки на несколько более мелких, которые затем свариваются между собой. Даже такой, самый примитивный прием проектирования комбинированной сварной конструкции позволяет получить значимый технический и экономический эффект за счет повышения производительности труда при изготовлении более мелких отливок, а также улучшения качества отливок, которые могут не требовать заварки брака литья, неизбежного при изготовлении крупных отливок.

При заблаговременном расчленении конструкции на мелкие детали можно удешевить их изготовление, создать соответствующую оснастку и механизировать сварочные работы.

Еще больший эффект может быть получен при использовании в одной конструкции не только отливок, но и поковок, заготовок из листового и профильного проката и заготовок, выполненных другими технологическими процессами.

Стремление к снижению металлоемкости конструкций путем замены тяжелых отливок более легкими сварными деталями нашло свое выражение в комбинированной конструкции нижней части корпуса (рис. 17.4). К опорам подшипников, отлитым из стали 45Л, приварены стенки толщиной 16 мм из листовой стали СтЗсп.

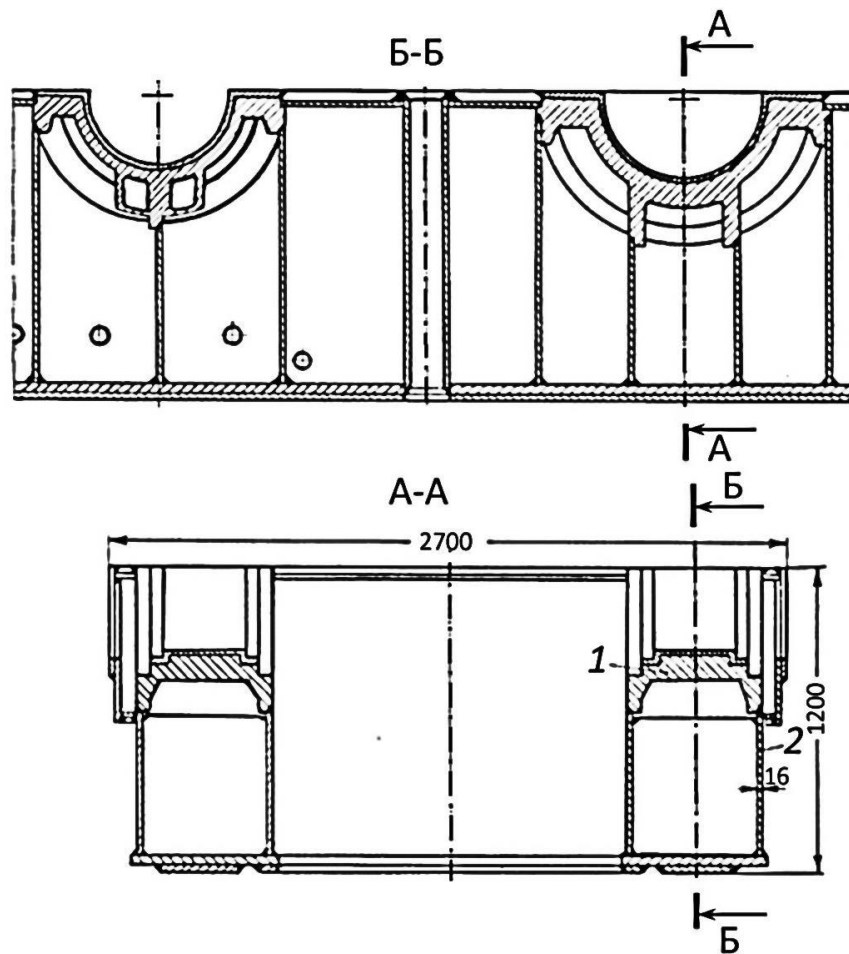


Рис. 17.4. Комбинированная конструкция нижней части корпуса тяжелого редуктора

Аналогичные чугунные корпуса таких же размеров отливают обычно со стенками 30 мм и более, их вес составляет от 20 до 25 т (в отличие от веса данной конструкции 13 т). В цельнолитой конструкции такие различия в сечениях, какие существуют между опорами 1 подшипников и стенками 2 корпуса, неизбежно приводят к браку вследствие образования трещин. Если литые стенки требуется сделать более тонкими, то необходимо обеспечить беспрепятственную усадку толстостенных опор подшипников, затвердевающих последними.

Контрольные вопросы

1. Основные принципы конструкторско-технологического проектирования сварных конструкций.
2. Основные признаки, определяющие технологичность сварных конструкций.
3. Основные виды комбинированных заготовок.

18. ВЫБОР ИСХОДНЫХ ЗАГОТОВОК

Выбор заготовки заключается в последовательном определении ее вида и способа изготовления, на основании которых оформляют заказ и разрабатывают технологический процесс изготовления.

Исходные данные для выбора: чертеж детали с техническими требованиями на изготовление с указанием ее массы и марки материала; годовой объем выпуска, на основании которого делается заключение о предполагаемом типе производства; данные о технологических возможностях и ресурсах производства.

Выбор начинают с анализа данных о технологических возможностях (ресурсах) производства.

Учитываются возможности заготовительных цехов (наличие соответствующего оборудования); оказывают влияние плановые сроки подготовки производства (проектные работы, изготовление штампов, моделей, пресс-форм). Обычно выбор осуществляют в результате анализа конструкторской документации по отдельным (частным) признакам. В табл. 18.1 приведены основные признаки, наиболее часто используемые при выборе вида заготовки.

По каждому признаку из всего множества выбора определяют подмножество приемлемых видов заготовки и при возможности устанавливают их приоритеты. При этом используют эвристические правила (табл. 18.2). Равноприоритетность видов заготовок по какому-либо признаку позволяет исключать этот признак из рассмотрения. Выбранный вид обладает максимальным приоритетом из рассматриваемых и находится на пересечении указанных подмножеств. Если они не пересекаются, принимается необходимый компромисс.

Табл. 18.1. Основные признаки, используемые при выборе вида заготовки

Признак		Приоритетный вид заготовки	Комментарий
1		2	3
<i>Форма детали</i>	простая	П, ПМ	Деталь простой формы ограничена цилиндрическими и плоскими поверхностями, не имеет сложных внутренних полостей, ориентирована на какой-либо оси. Пример: ступенчатый вал средних габаритов
	сложная	О, СК, ОД	Деталь сложной формы ограничена, кроме прочих, фасонными поверхностями, имеет обширные внутренние полости, в том числе глухие. Пример: крышка редуктора, блок-картер

Продолжение табл. 18.1

	1	2	3
<i>Заготовительные свойства материала</i>	<i>Литейные свойства:</i> удовлетворительные	О	Наличие в марке материала указания на улучшенные литейные свойства (например, сталь 45Л) делает отливку приоритетным видом заготовки. Заготовки из чугуна могут быть получены только литьем
	неудовлетворительные	(О)	
	<i>Обрабатываемость давлением:</i> удовлетворительная	ОД, П, ПМ	Шкала оценок может быть более дифференцированной
	неудовлетворительная	(ОД, П)	
	<i>Свариваемость:</i> удовлетворительная	СК	
	неудовлетворительная	(СК)	
	<i>Обрабатываемость резанием:</i> удовлетворительная	П, ПМ	
	неудовлетворительная	О, СК, ОД	
<i>Требования к материалу</i>	<i>Плотность материала:</i> обычная	*	При необходимости множество особых требований к материалу может быть расширено
	высокая	ОД, П, ПМ	
	<i>Ориентированность структуры:</i> необходима	ОД, О	
	нет	*	

Окончание табл. 18.1

1		2	3
<i>Особые требования к материалу</i>	<i>Удельная стоимость материала:</i> высокая	О, ОД, ПМ	Может быть использован численный критерий. Чем сложнее химический состав материала, тем обычно выше его удельная стоимость
	обычная	*	
	<i>Ответственность:</i> обычная	*	Деталь высокой ответственности – деталь, выход из строя которой влечет катастрофические последствия, связанные с угрозой для жизни человека
	высокая	ОД, П	
<i>Тип производства</i>	единичное	П	При росте серийности производства становятся экономически целесообразными виды заготовок, базовые методы изготовления которых требуют значительных затрат
	серийное	П, ОД, СК, О	
	массовое	О, ОД, ПМ, СК	

Примечание. О – отливка; ОД – обработка давлением; П – прокат; СК – сварная или комбинированная; ПМ – порошковая металлургия; () – исключая; * – любой (равноприоритетность видов).

Табл. 18.2. Основные правила выбора вида заготовки

Признак	Правило
1	2
Форма детали	Если форма детали сложная, то выбранный вид заготовки должен обеспечить максимальное приближение последней к форме готовой детали
Масса детали	Стоимость заготовок возрастает с уменьшением их массы
Заготовительные свойства детали	Приоритетное заготовительное свойство делает приоритетным соответствующий вид заготовки. При равноприоритетности свойств предпочтение отдается наиболее экономичному виду
Особые требования к материалу детали	Наличие особых требований к материалу детали делает приоритетным вид заготовки, обеспечивающий выполнение этих требований
Удельная стоимость материала	Чем выше удельная стоимость материала, тем более приоритетен вид заготовки, максимально приближающий ее форму к форме готовой детали
Ответственность детали	Ответственность детали делает приоритетным технический принцип принятия технологических решений: главное – обеспечение заданного эксплуатационного качества детали, экономию производственных затрат осуществляют по возможности

Окончание табл. 18.2

1	2
Тип производства	Чем больше объемы выпуска деталей (заготовок), тем более технически сложнореализуемые виды заготовок становятся экономически оправданными. Для деталей высокой ответственности возможно получение заготовок сложнореализуемых и дорогостоящих видов даже при малых объемах выпуска. При увеличении объема выпуска преимущество отдают видам заготовок, обеспечивающим предварительное формообразование предмета производства

Рассмотрим пример выбора способа получения заготовки для пальца МТМ 941–2919092 (рис. 18.1), предназначенного для работы в составе задней подвески автомобильного полуприцепа МТМ 941–29.

Материал – сталь 45 (ГОСТ 1050-88). Тип производства – крупносерийное.

Результаты анализа по основным признакам, используемым при выборе вида заготовок, представлены в табл. 18.3.

Табл. 18.3. Результаты анализа

Признак	Приоритетный ряд видов заготовок
Форма детали – простая	П, ПМ
Заготовительные свойства материала: жидкотекучесть – неудовлетворительная пластичность – удовлетворительная свариваемость – удовлетворительная	(О) ОД, П, ПМ СК
Плотность материала – обычная	*
Ориентированность структуры – необходима	ОД, О
Удельная стоимость материала – обычная	*
Ответственность детали – высокая	ОД, П
Тип производства – крупносерийное	О, ОД, ПМ, СК
Вывод: вид заготовки – обработка давлением	

Таким образом, заготовку для пальца МТМ 941–2919092 следует получать обработкой давлением.



После выбора вида заготовки *выбирают способ ее изготовления*. При выборе способа изготовления заготовка еще не спроектирована, поэтому используют данные о конструктивно-технологических параметрах детали, при необходимости закругляя их.

Выбирая способ литья, учитывают следующее: марку материала; массу, габариты детали (заготовки); минимальную толщину стенки отливки; площадь или максимальную протяженность стенки, минимальный диаметр и максимальную глубину как сквозных, так и глухих отверстий; заданные значения показателей качества отливки.

При выборе способа обработки давлением исходят из класса детали, массы детали (заготовки), габаритов, наличия отверстий в боковых стенках, наличия внутренних полостей и фланцев, заданных значений показателей качества заготовки.

Даже внутри одного вида число конкурирующих альтернативных способов изготовления заготовки может быть значительным. Окончательное решение о способе изготовления заготовки должно базироваться на результатах технико-экономического анализа.

1. Основные признаки, используемые при выборе вида заготовки.
2. Правила выбора способа производства заготовок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Абрамов, Г. Г.** Справочник молодого литейщика / Г. Г. Абрамов, Б. С. Панченко. – М. : Высш. шк., 1991. – 319 с.
2. **Баландин, Г. Ф.** Литье намораживанием / Г. Ф. Баландин. – М. : Машгиз, 1962. – 263 с.
3. **Васильченко, А. И.** Литье по газифицируемым моделям в вакуумные формы / А. И. Васильченко, В. Н. Самойленко // Литейное производство. – 1991. – № 1. – С. 16–17.
4. **Глухов, В. В.** Влияние массы и сложности формы изделий на величину экономических показателей / В. В. Глухов, Т. Н. Некрасова // Порошковая металлургия. – 1984. – № 8. – С. 97–100.
5. **Горбачевич, А. Ф.** Курсовое проектирование по технологии машиностроения / А. Ф. Горбачевич, В. А. Шкред. – Минск : Выш. шк., 1983. – 256 с.
6. **Девятков, В. В.** Малоотходная технология обработки материалов давлением: учеб. пособие для машиностроительных техникумов / В. В. Девятков. – М. : Машиностроение, 1986. – 288 с.
7. **Зорчев, С. Н.** Общая технология кузнечно-штамповочного производства / С. Н. Зорчев, В. Н. Кузьминцев. – М. : Высш. шк., 1986. – 87 с.
8. **Калмыков, В. Б.** Современные кольцепрокатные станы и линии для производства кольцевых заготовок / В. Б. Калмыков // КШП. ОМД. – 2001. – № 1. – С. 35–39.
9. Ковка и объемная штамповка стали: справочник в 2 т. / Под ред. д-ра техн. наук М. В. Сторожева. – 2-е изд., перераб. – М. : Машиностроение, 1967. – Т. 2. – 448 с.
10. Ковка и штамповка: справочник в 4 т. Т. 1. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка / Под общ. ред. Е. И. Семенова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2010. – 717 с.
11. Ковка и штамповка: справочник в 4 т. Т. 2. Горячая объемная штамповка / Под общ. ред. Е. И. Семенова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2010. – 720 с.
12. Ковка и штамповка: справочник в 4 т. Т. 3. Холодная объемная штамповка. Штамповка металлических порошков / Под ред. А. М. Дмитриева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2010. – 352 с.
13. **Кондаков, А. Н.** Выбор заготовок в машиностроении: справочник / А. Н. Кондаков, А. С. Васильев. – М. : Машиностроение, 2007. – 560 с.
14. **Рихтер, Р.** Конструирование технологичных отливок: пер. с нем. / Р. Рихтер. – М. : Машиностроение, 1968. – 254 с.

15. Краткий справочник металлиста / Под общ. ред. П. Н. Орлова, Е. А. Скороходова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1986. – 960 с.

16. Кузнецу-штамповщику: справ. пособие / Л. Н. Соколов [и др.]. – Донецк : Донбас, 1986. – 144 с.

17. **Живов, Л. И.** Кузнечно-штамповочное оборудование. Молоты. Винтовые прессы. Ротационные и электрофизические машины / Л. И. Живов, А. Г. Овчинников. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев : Вища шк., 1985. – 279 с.

18. Литейное производство: учебник для металлургических специальностей вузов / Под общ. ред. А. М. Михайлова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1987. – 256 с.: ил.

19. Машиностроение. Энциклопедия. Т. III–2. Технология заготовительных производств / И. Л. Акаро [и др.]; под общ. ред. В. Ф. Мануилова. – М. : Машиностроение, 1996. – 736 с.: ил.

20. **Николаев, Г. А.** Сварные конструкции. Расчет и проектирование / Г. А. Николаев, В. А. Винокуров. – М. : Высш. шк., 1990. – 446 с.

21. Обработка металлов давлением в машиностроении / П. И. Полушин [и др.]. – М. : Машиностроение; София: Техника, 1983. – 279 с.

22. **Охрименко, Я. М.** Технология кузнечно-штамповочного производства: учебник для вузов / Я. М. Охрименко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1976. – 560 с.

23. Плавка и литье алюминиевых сплавов: справочник / М. Б. Альтман [и др.]. – М.: Металлургия, 1983. – 352 с.

24. **Плоткин, Я. Д.** Экономическая эффективность новой техники / Я. Д. Плоткин, Д. С. Львов. – Львов : Вища шк., 1986. – 143 с.

25. **Руденко, П. А.** Проектирование и производство заготовок в машиностроении: учеб. пособие / П. А. Руденко, Ю. А. Харламов, В. М. Плескач; под общ. ред. В. М. Плескача. – Киев : Вища шк., 1991. – 247 с.

26. **Роман, О. В.** Порошковая металлургия – безотходная, энергосберегающая технология / О. В. Роман, И. П. Габриелов. – Минск : Беларусь, 1986. – 160 с.

27. **Рыкалин, Н. Н.** Расчеты тепловых процессов при сварке / Н. Н. Рыкалин. – М. : Машиностроение, 1951. – 296 с.

28. **Соколов, А. А.** Литейные сплавы, применяемые в машиностроении / А. А. Соколов, А. Н. Соколов; под ред. А. М. Липницкого. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1980. – 88 с.: ил.

29. Специальные способы литья: справочник / Под общ. ред. В. А. Ефимова. – М. : Машиностроение, 1991. – 436 с.

30. Справочник рабочего кузнечно-штамповочного производства / М. Г. Златкин [и др.]. – М. : Машгиз, 1961. – 776 с.

31. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова – М: Машиностроение, 1986. – Т. 1. – 656 с.

32. **Сторожев, М. В.** Теория обработки металлов давлением : учебник для вузов / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. – М. : Машиностроение, 1977. – 423 с.

33. Технологичность конструкций изделий : справочник / Т. К. Алферова [и др.]; под ред. Ю. Д. Амирова. – М. : Машиностроение, 1985. – 368 с.

34. Технология конструкционных материалов / А. М. Дальский [и др.]; под общ. ред. А. М. Дальского. – М. : Машиностроение, 1990. – 352 с.

35. Технология конструкционных материалов / А. М. Дальский [и др.]; – М.: Машиностроение, 1977. – 664 с.

36. **Титов, Н. Д.** Технология литейного производства / Н. Д. Титов, Ю. А. Степанов. – М. : Машиностроение, 1974. – 472 с.

37. Цветное литье: справочник / Под ред. Н. М. Галдина. – М. : Машиностроение, 1989. – 528 с.

38. **Юдин, С. Б.** Центробежное литье / С. Б. Юдин, М. М. Левин, С. Е. Розенфельд. – М. : Машиностроение, 1972. – 280 с.

39. ГОСТ 3.1125-88. Правила графического выполнения элементов литейных форм и отливок. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 20 с.

40. ГОСТ 3.1126-88. Правила выполнения графических документов на поковки. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 4 с.

41. ГОСТ 3212-80. Комплекты модельные. Уклоны формовочные. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 9 с.

42. ГОСТ 7062-90. Поковки из углеродистой и легированной стали, изготавливаемые ковкой на прессах. – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 44 с.

43. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 52 с.

44. ГОСТ 7829-70. Поковки из углеродистой и легированной стали, изготавливаемые ковкой на молотах. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 40 с.

45. ГОСТ 8479-70. Поковки из конструкционной углеродистой и легированной стали. Общие технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 16 с.

46. ГОСТ 25347-82. Поля допусков и рекомендуемые посадки. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 50 с.

47. ГОСТ 26645-85. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механообработку. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 55 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗАГОТОВКАХ	4
1.1. Виды заготовок.....	4
1.2. Показатели технологичности заготовок.....	4
1.3. Экономическое обоснование выбора способа изготовления заготовок.....	8
Контрольные вопросы.....	12
2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРИАЛОВ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК	13
2.1. Классификация литейных сплавов.....	13
2.2. Литейные свойства сплавов.....	21
Контрольные вопросы.....	25
3. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	26
3.1. Классификация способов литья.....	26
3.2. Технологические возможности способов литья, область применения.....	27
3.3. Сравнительная оценка показателей способов литья.....	36
Контрольные вопросы.....	37
4. ЛИТЬЕ В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫЕ ФОРМЫ	38
4.1. Основные параметры. Этапы проектирования технологии... ..	38
4.2. Способы формовки и оборудование.....	38
4.3. Выбивка, обрубка и очистка отливок.....	46
4.4. Термическая обработка отливок.....	48
4.5. Дефекты отливок и способы их устранения. Контроль качества отливок.....	49
Контрольные вопросы.....	50
5. СПЕЦИАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ ЛИТЬЯ	51
5.1. Литье в кокиль.....	51
5.2. Литье под давлением.....	53
5.3. Центробежное литье.....	55
5.4. Литье в оболочковые формы.....	56
5.5. Литье по выплавляемым моделям.....	57
5.6. Литье по газифицируемым моделям.....	58
5.7. Непрерывное и полунепрерывное литье.....	60
5.8. Штамповка заготовок из расплава.....	61
5.9. Электрошлаковое литье.....	63
Контрольные вопросы.....	63

6. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК...	65
6.1. Характеристика отливок.....	65
6.2. Технологичность конструкций отливок.....	69
6.3. Основные конструктивные типы отливок.....	72
6.4. Разработка конструкции отливки.....	73
6.5. Пример назначения допусков на размеры отливки и припусков на механическую обработку.....	84
Контрольные вопросы.....	93
7. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЗАГОТОВОК ОБРАБОТКОЙ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ.....	94
7.1. Основные способы обработки металлов давлением.....	94
7.2. Влияние ОМД на структуру и свойства металлов.....	96
7.3. Общие теоретические представления о пластической деформации металлов.....	103
7.4. Исходные заготовки для изготовления поковок.....	108
7.5. Способы разделки исходного металла на заготовки.....	110
Контрольные вопросы.....	124
8. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЗАГОТОВОК КОВКОЙ.....	125
8.1. Область применения и технико-экономическая эффективность изготовления заготовок.....	125
8.2. Оборудование дляковки.....	125
8.3. Операцииковки.....	129
8.4. Классификация поковок.....	131
8.5. Разработка чертежа заготовки.....	133
8.6. Дефекты кованых заготовок.....	144
Контрольные вопросы.....	144
9. ГОРЯЧАЯ ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА.....	145
9.1. Общие сведения.....	145
9.2. Оборудование и штампы для штамповки.....	149
9.3. Выбор плоскости разъема штампа.....	154
9.4. Припуски, допуски и кузнечные напуски на поковки при горячей объемной штамповке.....	158
9.5. Определение массы и размеров заготовки.....	166
9.6. Дефекты штампованных поковок.....	169
Контрольные вопросы.....	171
10. ШТАМПОВКА НА МОЛОТАХ.....	172
10.1. Применяемое оборудование.....	172
10.2. Классификация молотовых поковок.....	176
10.3. Молотовые штампы.....	180

10.4. Классификация операций и ручьев при штамповке на молотах.....	184
10.5. Рекомендации по разработке чертежа поковки.....	187
Контрольные вопросы.....	188

11. ШТАМПОВКА НА КРИВОШИПНЫХ ГОРЯЧЕ-ШТАМПОВОЧНЫХ ПРЕССАХ (КГШП) И ГОРИЗОНТАЛЬНО-КОВОЧНЫХ МАШИНАХ (ГКМ)..... 189

11.1. Устройство и особенности штамповки на КГШП.....	189
11.2. Выбор КГШП.....	191
11.3. Классификация поковок, штампуемых на КГШП.....	192
11.4. Технология штамповки на КГШП.....	194
11.5. Разработка чертежа поковки, штампуемой на КГШП.....	199
11.6. Устройство ГКМ.....	200
11.7. Классификация поковок, штампуемых на ГКМ.....	202
11.8. Штамповка заготовок на ГКМ.....	206
11.9 Ручьи штампов ГКМ.....	207
11.10. Ручьи для операций, совершаемых подвижной матрицей....	212
11.11. Рекомендации по разработке чертежа поковки, штампуемой на ГКМ.....	214
Контрольные вопросы.....	215

12. ШТАМПОВКА НА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И ВИНТОВЫХ ПРЕССАХ..... 216

12.1. Устройство и особенности гидравлических штамповочных прессов.....	216
12.2. Классификация поковок, штампуемых на гидравлических прессах.....	217
12.3. Штампы гидравлических прессов и операции штамповки...	218
12.4. Устройство и особенности винтовых прессов.....	221
12.5. Операции штамповки и классификация поковок, штампуемых на винтовых прессах.....	226
12.6. Рекомендации по разработке чертежей поковок.....	227
Контрольные вопросы.....	228

13. СПЕЦИАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ ШТАМПОВКИ..... 229

13.1. Гибка.....	229
13.2. Ротационная и радиальная ковка.....	232
13.3. Штамповка на вертикально-ковочных машинах.....	238
13.4. Раскатка кольцевых заготовок.....	239
13.5. Вальцовка.....	243
13.6. Изготовление заготовок прокаткой.....	245
Контрольные вопросы.....	254

14. ХОЛОДНАЯ ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА.....	255
14.1. Общие сведения о холодной объемной штамповке и основные схемы.....	255
14.2. Заготовки для холодной объемной штамповки.....	258
14.3. Изготовление деталей высадкой на автоматах.....	258
14.4. Холодное выдавливание.....	260
14.5. Специализированные процессы формообразования заготовок и деталей в холодном состоянии.....	261
Контрольные вопросы.....	271
15. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ В КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ.....	272
15.1. Обрезка облоя и пробивка перемычек.....	272
15.2. Правка поковок.....	274
15.3. Калибровка поковок.....	277
15.4. Термическая обработка поковок.....	280
15.5. Очистка поковок.....	281
Контрольные вопросы.....	284
16. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЗАГОТОВОК МЕТОДАМИ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ.....	285
16.1. Технологические особенности и область применения.....	285
16.2. Порошковые материалы.....	285
16.3. Свойства порошковых материалов.....	289
16.4. Способы формования порошковых заготовок и их окончательная обработка.....	291
16.5. Технологические требования, предъявляемые к конструкциям изделий из порошковых материалов.....	302
Контрольные вопросы.....	303
17. МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗАГОТОВОК.....	305
17.1. Принципы конструктивно-технологического проектирования сварных конструкций.....	305
17.2. Технологичность сварных конструкций.....	307
17.3. Комбинированные сварные заготовки.....	311
Контрольные вопросы.....	313
18. ВЫБОР ИСХОДНЫХ ЗАГОТОВОК.....	314
Контрольные вопросы.....	318
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	319



Учебное издание

Минаков Анатолий Петрович
Камчицкая Ирина Дмитриевна
Ильюшина Елена Валерьевна

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ЗАГОТОВОК

Учебное пособие

Редактор И. В. Голубцова

Художественное оформление обложки В. П. Бабичева

Технический редактор А. Т. Червинская

Компьютерный дизайн Е. С. Лустенкова

Подписано в печать 23.03.2017. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 13,83. Уч.-изд. л. 15,0. Тираж 500 экз. Заказ № 203.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 24.01.2014.
Пр. Мира, 43, 212000, Могилев.