

ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВА И ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ

Учебная программа дисциплины

➤ Конспект лекций

Лабораторный практикум

Методические указания по самостоятельной работе

Банк тестовых заданий в системе UniTest



УДК 621.73
ББК 34.5
О-75

Авторы:

**А. И. Булгакова, И. Л. Константинов, Т. Р. Гильманшина, В. А. Падалка,
Т. Н. Степанова**

Электронный учебно-методический комплекс по дисциплине «Основы производства и обработки металлов» подготовлен в рамках инновационной образовательной программы «Материаловедческое образование при подготовке бакалавров, инженеров и магистров по укрупненной группе образовательных направлений и специальностей "Материаловедение, металлургия и машиностроение" в Сибирском федеральном университете», реализованной в ФГОУ ВПО СФУ в 2007 г.

Рецензенты:

Красноярский краевой фонд науки;
Экспертная комиссия СФУ по подготовке учебно-методических комплексов дисциплин

О-75 Основы производства и обработки металлов. Версия 1.0 [Электронный ресурс]: конспект лекций / А. И. Булгакова, И. Л. Константинов, Т. Р. Гильманшина и др. – Электрон. дан. (4 Мб). – Красноярск: ИПК СФУ, 2008. – (Основы производства и обработки металлов: УМКД № 61-2007 / рук. творч. коллектива И. Л. Константинов). – 1 электрон. опт. диск (DVD). – Систем. требования: *Intel Pentium* (или аналогичный процессор других производителей) 1 ГГц; 512 Мб оперативной памяти; 4 Мб свободного дискового пространства; привод *DVD*; операционная система *Microsoft Windows 2000 SP 4 / XP SP 2 / Vista* (32 бит); *Adobe Reader 7.0* (или аналогичный продукт для чтения файлов формата *pdf*).

ISBN 978-5-7638-1056-1 (комплекса)

ISBN 978-5-7638-1422-4 (конспекта лекций)

Номер гос. регистрации в ФГУП НТЦ «Информрегистр» 0320802403 от 27.11.2008 г. (комплекса)

Настоящее издание является частью электронного учебно-методического комплекса по дисциплине «Основы производства и обработки металлов», включающего учебную программу дисциплины, лабораторный практикум, методические указания по самостоятельной работе, контрольно-измерительные материалы «Основы производства и обработки металлов. Банк тестовых заданий», наглядное пособие «Основы производства и обработки металлов. Презентационные материалы».

Освещены вопросы теории, описаны технологические процессы, оборудование и инструмент для литейного производства и обработки металлов давлением.

Предназначен для студентов направления подготовки бакалавров 150100.62 «Металлургия» укрупненной группы 150000 «Материаловедение, металлургия и машиностроение».

© Сибирский федеральный университет, 2008

Рекомендовано к изданию

Инновационно-методическим управлением СФУ

Редактор Л. Г. Семухина

Разработка и оформление электронного образовательного ресурса: Центр технологий электронного обучения информационно-аналитического департамента СФУ; лаборатория по разработке мультимедийных электронных образовательных ресурсов при КрЦНИТ

Содержимое ресурса охраняется законом об авторском праве. Несанкционированное копирование и использование данного продукта запрещается. Встречающиеся названия программного обеспечения, изделий, устройств или систем могут являться зарегистрированными товарными знаками тех или иных фирм.

Подп. к использованию 01.10.2008

Объем 4 Мб

Красноярск: СФУ, 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
----------------------	----------

РАЗДЕЛ I ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО.....	6
--	----------

Л е к ц и я 1 Основные понятия литейного производства.....	6
Л е к ц и я 2 Особенности плавки сплавов черных и цветных металлов	13
Л е к ц и я 3 Формовочные материалы, смеси и краски	22
Л е к ц и я 4 Технология изготовления отливок в разовых песчаных формах	30
Л е к ц и я 5 Механизация и автоматизация процесса изготовления форм и стержней	37
Л е к ц и я 6 Литье в кокиль и литье под давлением	45
Л е к ц и я 7 Центробежное литье, литье в оболочковые формы.....	55
Л е к ц и я 8 Литье по выплавляемым моделям.....	64
Л е к ц и я 9 Получение слитков непрерывным и полунепрерывным способами	70

РАЗДЕЛ II ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ.....	78
--	-----------

Л е к ц и я 1 Предмет курса «Обработка металлов давлением»	78
Л е к ц и я 2 Механизмы пластической деформации	83
Л е к ц и я 3 Пластичность металлов и факторы, влияющие на нее	88
Л е к ц и я 4 Напряженное и деформированное состояние в точке тела.....	97
Л е к ц и я 5 Основные законы пластической деформации. Внешнее трение.....	104
Л е к ц и я 6 Теория прокатки	109
Л е к ц и я 7 Виды продольной прокатки и получаемая продукция. Оборудование для прокатки.....	117
Л е к ц и я 8 Оборудование для прокатки.....	123
Л е к ц и я 9 Технология разных видов прокатки	130
Л е к ц и я 10 Способы прессования	135
Л е к ц и я 11 Теория прессования. Оборудование для прессования	143
Л е к ц и я 12 Волочение	150
Л е к ц и я 13 Сущность процессаковки и основные операции	158

Л е к ц и я 14 Влияниековки на структуру и свойства металлов.	
Оборудование и технологияковки	164
Л е к ц и я 15 Горячая объемная штамповка	171
Л е к ц и я 16 Холодная объемная штамповка. Листовая штамповка.....	180
Л е к ц и я 17 Листовая штамповка	188
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	197
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	198

ВВЕДЕНИЕ

Современную жизнь невозможно представить себе без металлов. Металлы являются основой технического прогресса, фундаментом материальной культуры всего человечества. Но металл становится полезным человеку только тогда, когда из него получили изделия. Существует три основных вида получения изделий из металлов. Это литейное производство, обработка металлов давлением и обработка металлов резанием. Первым двум видам металлообработки и посвящен курс «Основы производства и обработки металлов». Заготовками для обработки давлением обычно служат слитки, структура и свойства которых значительно улучшаются в процессе деформации. Кроме того, существуют способы, которые совмещают литье с обработкой давлением, например, литье под давлением, жидкая штамповка, литье-прокатка и т.д.

В настоящем конспекте лекций достаточно подробно рассматриваются теоретические основы как литейного производства, так и обработки металлов давлением, кроме того, описываются технологические процессы получения различных изделий и применяемые при этом оборудование и инструмент.

Первый раздел конспекта лекций посвящен литейному производству черных и цветных металлов. В нем изложены основы теории, технологические процессы и оборудование, предназначенное для получения отливок различными способами (в разовые песчано-глинистые формы, по выплавляемым моделям, в кокиль, под давлением и др.).

Во втором разделе конспекта даны теоретические основы обработки металлов давлением: напряженное и деформированное состояние, роль внешнего трения, физическая природа пластической деформации. Приводятся методы расчета усилий и деформации для разных процессов обработки металлов давлением. Описана методика разработки технологических процессов прокатки, прессования, волочения,ковки, объемной и листовой штамповки.

Главное внимание при изложении материала уделено рассмотрению физического и физико-химического существа процессов той или иной технологии, особенностям конструирования оснастки, назначению технологических режимов, применяемому оборудованию и средствам автоматизации.

Наряду с изложением конкретного материала для каждого технологического способа получения заготовок особое внимание уделяется основным «узким» местам, проблемам технологических процессов, анализу путей и средств их решения для получения изделий заданного качества и достижения высокой эффективности производства; на основе такого же подхода рассмотрены и перспективы развития каждого процесса.

Первый раздел написан Т.Р. Гильманшиной, А.И. Булгаковой, В.А. Падалка, Т.Н. Степановой; второй раздел – И.Л. Константиновым.

РАЗДЕЛ I

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Лекция 1

Основные понятия литейного производства

П л а н л е к ц и и

1. Понятие литейного производства.
2. Краткий исторический обзор развития литейного производства. Роль российских ученых в развитии научных основ и организации производства отливок и слитков.
3. Классификация литейных сплавов и области их применения.
4. Литейные и физико-химические свойства сплавов.

Понятие литейного производства

Сущность литейного производства сводится к получению жидкого, т.е. нагретого выше температуры плавления, сплава необходимого состава и качества и заливке его в заранее приготовленную форму. После охлаждения металл затвердевает и сохраняет конфигурацию той полости, в которую он был залит. Таким образом, чтобы изготовить отливку, необходимо:

- 1) определить материалы, которые нужно ввести в шихту для плавки, произвести их расчет, подготовить эти материалы (разделить на куски, отвесить нужное количество каждого компонента); загрузить материалы в плавильную печь;
- 2) осуществить плавку – получить жидкий металл необходимой температуры, жидкотекучести, должного химического состава, без неметаллических включений и газов, способный при затвердевании образовать мелкокристаллическую структуру без дефектов с достаточно высокими механическими свойствами;
- 3) до окончания плавки приготовить литейные формы (для заливки в них металла), способные, не разрушаясь, выдерживать высокую температуру металла, его гидростатическое давление и размывающее действие струи, а также способные пропускать через поры или каналы выделяющиеся из металла газы;
- 4) произвести выпуск металла из печи в ковш и доставить его к литейным формам; выполнить заливку литейных форм жидким металлом, не допуская перерывов струи и попадания в форму шлака;
- 5) после затвердевания металла раскрыть формы и извлечь из них отливки;

6) отделить от отливки все литники (металл, застывший в литниковых каналах), а также образовавшиеся (при некачественной заливке или формовке) приливы и заусеницы;

7) очистить отливки от частиц формовочной или стержневой смеси;

8) осуществить контроль качества и размеров отливок.

В настоящее время наибольшее число отливок получают в разовых (песчаных) формах, выполняемых из формовочной смеси, состоящей из кварцевого песка, огнеупорной глины и специальных добавок. После затвердевания металла форму разрушают и извлекают отливку. Кроме разовых, применяют полупостоянные формы, изготовленные из высокоогнеупорных материалов (шамота, графита и др.), они используются для заливки нескольких десятков (50–200) отливок, и постоянные формы – металлические, они служат для получения нескольких сотен, а иногда и тысяч отливок до износа формы. Выбор литейной формы зависит от характера производства, рода заливаемого металла, требований, предъявляемых к отливке.

Краткий исторический обзор развития литейного производства.

Роль российских ученых в развитии научных основ и организации производства отливок и слитков

Литейное производство является одним из самых древних видов искусства обработки металлов, с которым познакомилось человечество. Многочисленные археологические находки, обнаруженные при раскопках курганов в различных пунктах нашей страны свидетельствуют, что и в Древней Руси медное и бронзовое литье производилось в достаточно большом количестве (котелки, наконечники стрел, украшения – серьги, запястья, кольца, головные уборы и др.). При раскопках обнаружены были уцелевшие горны и печи, каменные формочки, служившие для отливки полых топоров, колец, браслетов, металлических бус, крестов и др. Однако большая часть найденных в Древней Руси отливок была получена литьем по восковой модели. Оригинален способ изготовления модели: из проволочных шнуров сплетали узор, представляющий копию будущего изделия; на эту восковую модель наносили глину, пока не получалась достаточно прочная форма, после высушивания форму прокаливали, воск выплавлялся, а шнуры выгорали, в образовавшуюся полость заливали металл, после охлаждения получалась отливка сложных очертаний.

В XI в. на Руси возникли местные производственные центры для отливки предметов церковного (медные кресты, колокола, образки, подсвечники и др.) и домашнего (котелки, рукомыльники и др.) обихода. Помимо Киева, Новгорода Великого, крупными центрами по выпуску медно-литых изделий стали Устюг Великий, Тверь. Татарское нашествие вызвало застой, продолжавшийся до середины XIV в., после чего начался подъем литейного производства. Это объясняется тем, что создалось централизованное крупное государство, в связи с чем начали развиваться города и потребовалось вооруже-

ние, теперь уже огнестрельное. С производства сварных пушек перешли на бронзовые – литые, отливали колокола, создавали медно-литейные мастерские художественного литья. К середине XVI в. московская артиллерия занимала в количественном отношении первое место среди артиллерии европейских государств.

Петровская эпоха представляет скачок в развитии литейного производства. Были созданы большие тульские и калужские заводы Никиты Демидова и Ивана Баташова. Первые стальные отливки были получены во второй половине XIX в. почти одновременно в различных странах Европы. В России их изготовили в 1866 г. из тигельной стали на Обуховском заводе. Однако качество отливок оказалось низким, так как литейные свойства стали значительно уступали свойствам чугуна. Благодаря работам русских ученых-металлургов А.С. Лаврова и Н.В. Калакуцкого, которые объяснили явления ликвации и представили механизм возникновения усадочных и газовых раковин, а также разработали меры борьбы с ними, в полной мере раскрылись достоинства стальных отливок. Поэтому фасонные отливки, полученные А.А. Износковым из мартеновской стали на Сормовском заводе в 1870 г., оказались такого высокого качества, что демонстрировались на выставке в Санкт-Петербурге.

После выхода научных трудов основоположника металлографии Д.К. Чернова, создавшего науку о превращениях в сплавах, об их кристаллизации, структуре и свойствах, начали применять термическую обработку, которая улучшила качество стального литья. Теория металлургических процессов была введена в высшей школе А.А. Байковым в 1908 г. в Петербургском Политехническом институте.

В период с 1927 по 1941 гг. происходит невиданный для прежней России рост промышленности, строятся крупнейшие механизированные заводы. Строятся и пускаются литейные цехи, работающие на поточном режиме, с высокой степенью механизации, с конвейерами, с годовым выпуском до 100 тыс. т литья.

Одновременно проводятся научно-исследовательские работы, создаются теории рабочих процессов и методов расчета литейного оборудования. Формируется научная школа Московского высшего технического училища, основанная и возглавляемая проф. Н.П. Аксеновым.

Широкое распространение литейного производства объясняется большими его преимуществами по сравнению с другими способами производства заготовок (ковкой, штамповкой). Литьем можно получить заготовки практически любой сложности с минимальными припусками на обработку. Кроме того, производство литых заготовок значительно дешевле, чем, например, производство поковок.

Развитие литейного производства до наших дней проходило по двум направлениям:

- 1) разработка новых литейных сплавов и металлургических процессов;

2) совершенствование технологии и механизации производства.

Большие успехи были достигнуты в области изучения и улучшения механических и технологических свойств серых чугунов – наиболее распространенных и дешевых литейных сплавов. Все большее распространение получают и совершенствуются специальные виды литья: кокильное, под давлением, в оболочковые формы, по выплавляемым моделям и др., обеспечивающие получение точных отливок и, следовательно, уменьшение затрат на обработку резанием.

Классификация литейных сплавов и области их применения

В среднем на долю литых деталей приходится около 50 % массы машин и механизмов, а их стоимость достигает 20–25 % от стоимости машин. В зависимости от метода получения литых заготовок сплавы подразделяют на *литейные* и *деформированные*. Литейные сплавы либо готовят из исходных компонентов (шихтовых материалов) непосредственно в литейном цехе, либо получают с металлургических комбинатов в готовом виде и только переплавляют перед заливкой в литейные формы. Как в первом, так и во втором случае отдельные элементы в процессе плавки могут окисляться (угарять), улетучиваться при повышенных температурах (возгоняться), вступать в химическое взаимодействие с другими компонентами или с футеровкой печи и переходить в шлак.

Для восстановления требуемого состава сплава потери отдельных элементов в нем компенсируют, вводя в расплав специальные добавки (лигатуры, ферросплавы),готавливаемые на металлургических предприятиях. Лигатуры содержат помимо легирующего элемента также и основной металл сплава, поэтому они легче и полнее усваиваются расплавом, чем чистый легирующий элемент. При плавке сплавов цветных металлов применяют лигатуры: медь–никель, медь–алюминий, медь–олово, алюминий–магний и др. При литье черных сплавов широко используют ферросплавы (ферросилиций, ферромарганец, феррохром, ферровольфрам и др.) для введения легирующих элементов, а также для раскисления расплава. В процессе раскисления элементы, содержащиеся в ферросплавах, выполняют роль восстановителей: они соединяются с кислородом оксида, растворенного в расплаве, восстанавливают металл, а сами, окислившись, переходят в шлак. Очищение (рафинирование) расплава раскислением способствует значительному улучшению качества металла отливки, повышению его прочности и пластичности. Ряд сплавов, а также неметаллических материалов (солей и др.) используют в качестве модификаторов, которые при введении в литейный сплав в небольших количествах существенно влияют на его структуру и свойства, например, измельчают зерно и способствуют повышению прочности металла. Так, для получения высокопрочного чугуна используют модифицирование магнием.

Основными критериями качества литого металла являются механические свойства, показатели структуры, жаростойкости, износостойкости, коррозионной стойкости и др., заданные в технических требованиях.

Сплавы принято разделять, как и металлы, прежде всего на *черные* и *цветные*, причем в последние входят и легкие сплавы. Сплавы подразделяют на группы в зависимости от того, какой металл является основой сплава. Наиболее важными группами сплавов считаются следующие:

- чугуны и стали – сплавы железа с углеродом и другими элементами;
- сплавы алюминия с различными элементами;
- сплавы магния с различными элементами;
- бронзы и латуни – сплавы меди с различными элементами.

В настоящее время наиболее широкое применение находят сплавы первой группы, т.е. сплавы черных металлов: около 70 % всех отливок по массе изготавливают из чугуна и около 20 % – из стали. На долю остальных групп сплавов приходится сравнительно небольшая часть общей массы отливок.

В химическом составе сплава различают основные элементы (например, железо и углерод в чугуне и стали), постоянные примеси, наличие которых обусловлено процессом производства сплава, и случайные примеси, попавшие в сплав вследствие тех или иных причин. К вредным примесям в стали и чугуне относятся сера, фосфор, закись железа, водород, азот и неметаллические включения. Вредными примесями в медных сплавах являются закись меди, висмут и в некоторых из них – фосфор. Резко ухудшают свойства оловянной бронзы примеси алюминия и железа, а в алюминиевой бронзе, наоборот, – олово. В алюминиевых сплавах должно быть ограничено содержание железа, в магниевых, кроме того, – меди, никеля и кремния. Газы и неметаллические включения во всех сплавах являются вредными примесями.

Требования к каждому литейному сплаву специфичны, однако существует и ряд *общих требований*:

состав сплава должен обеспечивать получение заданных свойств отливки (физических, химических, физико-химических, механических и др.);

сплав должен обладать хорошими литейными свойствами – высокой жидкотекучестью, несклонностью к насыщению газами и к образованию неметаллических включений, малой и стабильной усадкой при затвердевании и охлаждении, несклонностью к ликвации и образованию внутренних напряжений и трещин в отливках;

сплав должен быть по возможности простым по составу, легко готовиться, не содержать токсичных компонентов, не выделять при плавке и заливке сильно загрязняющих окружающую среду продуктов;

сплав должен быть технологичным не только в изготовлении отливок, но и на всех последующих операциях получения готовых деталей (например, при обработке резанием, термообработке и т.д.);

сплав должен быть экономичным: содержать по возможности меньшее количество дорогостоящих компонентов, иметь минимальные потери при переработке его отходов (литников, брака).

Литейные и физико-химические свойства сплавов

К основным литейным свойствам сплавов относят жидкотекучесть, усадку, ликвацию, склонность к образованию трещин и отбелу.

Жидкотекучесть – способность металла в расплавленном состоянии заполнять литейную форму, четко воспроизводя ее контуры и поверхность. При низкой жидкотекучести движение расплава в форме может прекратиться раньше, чем она будет заполнена. На жидкотекучесть оказывают влияние многие факторы, связанные со свойствами, состоянием и строением расплава (его природа, температура при заливке, вязкость, поверхностное натяжение, теплоемкость и теплопроводность, наличие включений и др.). Жидкотекучесть определяют по технологической пробе и оценивают по длине спирального (или прямолинейного) канала, заполненного расплавом в контрольной форме.

Усадка – свойство металлов и сплавов уменьшать объем при охлаждении в расплавленном состоянии, в процессе затвердевания и в затвердевшем состоянии при охлаждении до температуры окружающей среды. Различают объемную и линейную усадки, выражаемые в процентах. Результатом объемной усадки являются усадочные раковины и поры в отливке. Усадку сплава определяют на специальных технологических пробах и оценивают по разности размеров (или объема) сплавов до затвердевания и после охлаждения.

Ликвация – неоднородность химического состава сплава в различных местах сечения отливки, возникающая при ее затвердевании. Ликвацию определяют химическим способом или спектральным анализом. Склонность сплавов к образованию трещин проявляется в процессе затрудненной усадки при охлаждении.

Отбел – склонность чугуна к выделению структурно свободных карбидов сверх необходимого для образования перлитной структуры. Величина отбела зависит в основном от скорости охлаждения отливки и химического состава чугуна. Чем выше скорость охлаждения, тем больше склонность чугуна к образованию отбела. Химическими элементами, уменьшающими отбел, являются углерод, кремний, алюминий, титан и др.; увеличивающими – ванадий, марганец, молибден, хром и др. Толщина проб для определения склонности чугуна к отбелу связана с преобладающей толщиной сечения стенок отливки.

Если к литым деталям не предъявляются высоких требований в отношении механических и других свойств, то обычно такие детали изготавливаются из самого дешевого литейного сплава – чугуна, обладающего относительно невысокой температурой плавления, хорошей жидкотекучестью и малой усадкой. Но если детали должны иметь высокие механические свойства, то их необходимо изготавливать из стали, хотя она дороже чугуна и имеет высокую температуру плавления, худшую жидкотекучесть и большую усадку. Иногда решающее значение имеет среда, в которой должны работать детали.

Например, для работы в морской воде они изготавливаются из более дорогих медных сплавов (бронзы и иногда латуни), так как чугун и обычная сталь в такой среде легко разрушаются из-за недостаточной химической стойкости. При изготовлении отливок для самолетостроения, когда решающее значение имеет масса, применяют алюминиевые или магниевые сплавы, несмотря на их высокую стоимость.

Химические составы литейных сплавов указаны в ГОСТах и технических условиях. В существующих ГОСТах регламентируется качество более 200 литейных сплавов. Отливки из 400 литейных сплавов изготавливаются по техническим условиям, принятым изготовителем и потребителем.

Химический состав и механические свойства стальных отливок регламентируются ГОСТ 977-88, отливок из серого чугуна – ГОСТ 1412-85, высокопрочного модифицированного чугуна – ГОСТ 7293-85, из сплавов на основе алюминия – ГОСТ 1583-93, магниевых сплавов – ГОСТ 2856-79 и т.д.

Контрольные вопросы и задания

1. Какова история развития литейного производства в России?
2. Какова роль русских ученых в развитии научных основ и организации производства отливок из сплавов черных и цветных металлов?
3. Каковы методы получения литых заготовок?
4. Какие литейные формы можно использовать для получения фасонных отливок?
5. Каким образом классифицируют литейные сплавы?
6. Каковы требования к литейным сплавам?
7. Перечислите основные области применения литейных сплавов.
8. В чем заключается сущность литейной технологии?
9. По каким технологическим пробам определяют жидкотекучесть и усадку сплавов?
10. Какие характеристики металлов регламентируются ГОСТами и ТУ?

Л е к ц и я 2

Особенности плавки сплавов черных и цветных металлов

П л а н л е к ц и и

1. Производство отливок из чугуна.
2. Производство отливок из стали.
3. Производство отливок из литейных алюминиевых сплавов.
4. Производство отливок из литейных магниевых сплавов.
5. Производство отливок из медных сплавов.

Производство отливок из чугуна

Чугун является наиболее распространенным материалом для изготовления фасонных отливок. В строительной технике (колонны, котлы, ванны, трубы, радиаторы и др.), в металлургической промышленности (изложницы, поддоны, прокатные валки и др.), в транспортном машиностроении (коленчатые валы из высокопрочного чугуна для автомобилей, тракторов и др.).

Кристаллизация и структурообразование чугуна. Чугун представляет собой сплав железа с углеродом, которого он содержит в пределах от 2,6 до 4,5 %. В чугуне всегда имеются примеси: 0,5–3,5 % Si; 0,3–1,5 % Mn; до 1,0 % P и до 0,15 % S. Для улучшения качества чугуна в него могут вводиться легирующие примеси (Ni, Cr, Cu, Mo и др.) – от десятых долей процента до 15–20 % в специальных чугунах.

Наиболее важный этап кристаллизации чугуна – эвтектическое превращение, при котором происходит распад жидкости на аустенит и высокоуглеродистую фазу. Последняя и определяет структуру чугуна. Он будет белым, если высокоуглеродистой фазой является цементит, или серым, если высокоуглеродистой фазой является графит. В половинчатом чугуне наряду с графитом находится цементит.

Влияние химического состава на литейные и механические свойства чугуна. Углерод и кремний – графитизирующие элементы. Для большинства отливок применяют чугуны с содержанием углерода от 2,7 до 3,6 %. Чем больше содержание углерода, тем больше жидкотекучесть чугуна и ниже температура плавления. С увеличением общего содержания углерода понижается механическая прочность чугуна, так как при этом увеличивается количество графита, снижающего прочность металлической фазы. Содержание кремния обычно составляет не более 2,5 %. Марганец и сера – это элементы, тормозящие графитизацию. Увеличение содержания марганца способствует повышению твердости чугуна и ухудшению обрабатываемости. При повышении содержания серы увеличивается усадка чугуна, снижается его жидкотекучесть, повышается хрупкость. Содержание серы обычно находится в пределах 0,1–0,12 %. Фосфор, подобно сере, уменьшает растворимость углерода в жидком чугуне. Повышение содержания фосфора увеличивает жидкотекучесть чугуна, но при этом возрастает хрупкость металла. Со-

держание фосфора не превышает 0,25 %, но в отливках для художественного литья и в тонкостенных отливках для предметов народного потребления с целью повышения жидкотекучести содержание фосфора увеличивают до 1,0–1,5 %.

Легирующими элементами являются: никель – подобно кремнию графитизатор, способствующий разложению цементита, содержание никеля в серых чугунах составляет 0,3–0,4 %; хром – препятствует графитизации, увеличивает твердость и устойчивость против износа, его обычно вводят в чугун вместе с никелем. При этом достигается измельчение графита и выравнивание твердости в тонких и толстых сечениях.

Влияние скорости охлаждения на свойства чугуна. Чем больше скорость охлаждения, тем больше углерода оказывается в связанном состоянии, в виде цементита, поэтому в тонкостенных отливках возможен отбел. В толстостенных отливках, которые охлаждаются медленнее, наоборот, большая часть углерода выделяется в виде крупных пластинок графита, механические свойства таких отливок низкие.

Классификация и свойства отливок из чугуна. Отливки из серого чугуна с пластинчатым графитом используются главным образом в качестве деталей машин, определяющим для оценки качества чугуна для отливок этой группы являются его механические свойства, регламентируемые ГОСТ 1412-85. Отливки *малой или средней прочности* изготавливают из чугунов марок СЧ 10, 15, 20 (условное обозначение марки включает буквы СЧ – серый чугун и цифровое обозначение величины минимального временного сопротивления при растяжении в МПа·10⁻¹); отливки *повышенной прочности* – из низколегированных и модифицированных чугунов СЧ 25, 30, 35.

Отливки из чугуна с шаровидной формой графита делят в зависимости от технологических методов получения структуры на отливки из ковкого чугуна и отливки из высокопрочного модифицированного чугуна. Отливки *из ковкого чугуна* имеют структуру (хлопьевидный графит), получаемую специальным отжигом отливок, имеющих в литом состоянии структуру белого чугуна. Ковкий чугун в основном используется как конструкционный материал, обладающий ценной комбинацией свойств прочности и пластичности (чугун назван «ковким» из-за способности пластически деформироваться в горячем состоянии, однако, практически такой обработке он не подвергается). Ковкий чугун применяют для изготовления мелких, тонкостенных отливок для сельскохозяйственных машин и автомобилей. Согласно ГОСТ 1215-79 (изменен в 1991 г.), отливки из ковкого чугуна маркируют двумя буквами КЧ, далее следуют две цифры – первая характеризует временное сопротивление при растяжении, а вторая – относительное удлинение, %.

Отливки *из высокопрочного модифицированного чугуна* имеют шаровидную форму графита в результате введения в жидкий чугун модификаторов: Mg, Ca, Li, Na и др. Наибольшее применение получил магний, при содержании которого 0,03–0,05 % графит кристаллизуется в чугуне в виде шаровидных включений (глобулей). Такой чугун называют магниевым. В отли-

чие от КЧ получение шаровидной формы графита в ВЧ (высокопрочный чугун) практически не ограничивается толщиной стенки и массой отливки. Высокопрочный чугун широко применяется для отливки деталей металлургического оборудования, к которым предъявляются специальные требования (например, жаропрочность). Согласно ГОСТ 7293-85 маркируют его буквами ВЧ, далее следует цифра, характеризующая временное сопротивление при растяжении.

В *белом чугуна* нет графита, весь углерод находится в виде цементита, поэтому излом его не серый, что характерно для СЧ и ВЧ, а блестящий белый. Белый чугун применяют как материал, обладающий высокой стойкостью при абразивном износе и сухом трении (детали дробильного оборудования – щеки дробилок, бронь шаровых мельниц, мелющие шары, лопатки шнеков, детали шламовых насосов). Вследствие повышенной хрупкости белого чугуна и трудностей его механической обработки широко используют отливки, в которых отбеленный слой получают только на рабочей поверхности (сердцевина из СЧ), например, прокатные валки, крановые колеса. Для особо жестких условий эксплуатации применяют легированный белый чугун, например, хромоникелевый чугун «нихард», содержащий до 5 % Ni и 2–2,5 % Cr.

Плавку чугуна осуществляют в вагранках (коксовых, коксогазовых, газовых), а также в электрических печах (индукционных и дуговых).

Производство отливок из стали

Сталью называют железоуглеродистые сплавы, содержащие до 2 % С. Наряду с углеродом в сталях присутствуют Mn, Si, S, P, N, H, O и другие элементы, попавшие в нее из шихтовых материалов или введенные в процессе ее производства (Mn и Si в углеродистые стали вводят, например, для раскисления). Другие (легирующие) элементы добавляют для придания стали особых физических, физико-химических свойств или повышения ее прочности. Это чаще всего Cr, Ni, Mo, V, W, а также Mn и Si в количестве, превышающем потребности раскисления. Сталь широко применяют прежде всего для деталей, которые наряду с высокой прочностью должны обладать хорошими пластическими свойствами, быть надежными и долговечными в эксплуатации. Многие стали хорошо свариваются, что дает возможность изготавливать сложные сварно-литые конструкции.

Классификация стальных отливок. Стальные отливки можно классифицировать: по химическому составу; структуре; назначению отливок; способу выплавки стали.

По химическому составу стальные отливки подразделяют на 4 класса: 1) из углеродистой нелегированной стали; 2) из низколегированной стали с содержанием легирующих элементов до 2,5 %; 3) из среднелегированной стали с содержанием от 2,5 до 10 % легирующих элементов; 4) из высоколегированной стали, содержащей более 10 % легирующих элементов.

По структуре отдельно классифицируют углеродистые и легированные стали, так как сходные структурные составляющие в зависимости от рас-

творенного в них легирующего элемента обладают различными свойствами. Отливки из углеродистой стали могут иметь ферритную и перлитную структуру. Следует отметить, что в реальных углеродистых сталях (даже низкоуглеродистых) чисто ферритной структуры не наблюдается. По границам ферритных зерен наблюдаются выделения третичного цементита, который, образуя хрупкую оболочку вокруг зерен феррита, заметно снижает его пластичность и вязкость.

Отливки из высоколегированных сталей по структуре делят на 6 классов: мартенситный, мартенсито-ферритный, ферритный, аустенито-мартенситный, аустенито-ферритный и аустенитный.

Структура отливок из высоколегированных сталей определяется содержанием легирующих элементов, углерода, режимом термообработки.

По назначению или служебным свойствам стальные отливки подразделяются на две группы:

- 1) отливки общего назначения из конструкционной стали;
- 2) отливки из стали со специальными свойствами (физическими, химическими, физико-химическими и др.).

Для первой группы определяющими характеристиками являются механические свойства (отливки этой группы изготавливают преимущественно из углеродистой и низколегированной стали). Ко второй группе относятся отливки из сталей: жаропрочных, жаростойких, коррозионно-стойких, износостойких и другого специального назначения (с особыми магнитными, электрическими и другими свойствами). Определяющими характеристиками таких сталей являются их специальные свойства.

По способу выплавки различают стали, приготовленные в печах с кислой или с основной футеровкой. Многие углеродистые и часть низколегированных сталей выплавляют в кислых печах, а средне- и высоколегированные стали – в основных печах. На практике для выплавки стали применяют:

кислые и основные дуговые печи (для мелких и средних отливок из углеродистых и низколегированных сталей);

кислые и основные индукционные печи (для мелких и средних отливок из легированных сталей);

кислые и основные мартеновские печи (для средних и крупных отливок из углеродистых, низко- и среднелегированных сталей);

установки электрошлакового переплава – ЭШП (для особо ответственных отливок специального назначения);

конвертеры (для малоответственных мелких и средних отливок).

Маркировка литейных углеродистых сталей, химический состав и механические свойства регламентированы ГОСТ 977-88. Для изготовления отливок предусмотрены следующие марки стали: конструкционные нелегированные – 15Л, 20Л, 25Л, 30Л, 35Л, 40Л, 45Л, 50Л; конструкционные легированные – 20ГЛ, 35ГЛ, 20ГСЛ, 20Г1ФЛ и др. Литейные свойства углеродистых сталей значительно хуже литейных свойств чугуна и других сплавов. Суммарная объемная усадка затвердевания и усадка в жидком состоянии составляет 6,0 %. Поэтому стальные отливки, как и отливки всех других

сплавов, кроме чугуна, необходимо получать с прибылями. В ГОСТ 977-88 приведены химический состав и механические свойства легированных сталей после термической обработки – закалки (нормализации) и отпуска. Чаще других применяют стали, легированные кремнием, марганцем, хромом и никелем, медью и др. Марганцевые стали отличаются более высокой прочностью и особенно большей прокаливаемостью, чем углеродистые. Из них изготавливают отливки для железнодорожного транспорта, экскаваторов и других машин. У хромовых сталей (40ХЛ и др.) также повышенные по сравнению с углеродистой сталью механические свойства и прокаливаемость. Некоторые марки легированных сталей модифицируют бором, кальцием, церием и другими редкоземельными металлами (РЗМ). В результате улучшаются механические и литейные свойства стали. Состав и свойства высоколегированных сталей регламентированы ГОСТ 2176-77. Прежде всего, к ним относятся коррозионно-стойкие (нержавеющие) стали марок: 12Х18ТЛ, 15Х25ТЛ и др. Кислотоупорная хромоникелевая сталь, содержащая 18 % Cr и 8 % Ni, широко используется для отливок деталей насосов, фиттингов и т.п.

Производство отливок из алюминиевых литейных сплавов

Алюминий имеет плотность $2,7 \text{ г/см}^3$, температуру плавления $659,8^\circ\text{C}$, температуру кипения $2\,500^\circ\text{C}$. Фасонное литье из чистого алюминия затруднительно из-за его плохих литейных свойств и легкой окисляемости. Алюминиевые литейные сплавы широко используют в машиностроении и моторостроении, в авиационной промышленности при изготовлении всех типов летательных аппаратов. Сплавы на основе алюминия имеют высокую удельную прочность при нормальной температуре, хорошо противостоят коррозии в тяжелых атмосферных условиях, обладают высокими литейными свойствами (линейная усадка 0,8–1,4 %; объемная – 3,0–4,7 %; температура разливки $720\text{--}750^\circ\text{C}$).

Классификация алюминиевых сплавов. Для изготовления отливок используют пять групп алюминиевых сплавов (ГОСТ 1583-93): 1) Al–Si; 2) Al–Cu; 3) Al–Mg; 4) Al–Si–Cu; 5) прочие сплавы. Наибольшее применение в промышленности получили сплавы 1-й и 4-й групп.

Сплавы системы Al–Si (силумины, содержат от 5 до 13 % Si) широко применяются в авиационной, приборостроительной, машиностроительной, судостроительной промышленности. Двойные алюминиио-кремниевые сплавы имеют невысокую прочность, для ее увеличения вводят магний, например сплав АЛ 9 (6–8 % Si; 0,2–0,4 % Mg). Магний образует с кремнием химическое соединение, упрочняющее сплав в процессе ТО (термообработки). Вредной примесью для силуминов является железо, образуя хрупкие тройные алюминий–железо–кремний фазы, кристаллизующиеся в виде пластин, железо существенно снижает пластические свойства сплавов. Для нейтрализации вредного влияния железа в сплав вводят марганец, десятые доли марганца способствуют переводу выделений железистой составляющей в бо-

лее благоприятную (компактную) форму, например сплав АЛ 4 (8,0–10,5 % Si; 0,17–0,30 % Mg; 0,2–0,5 % Mn). При литье силуминов в разовые низкотемпературные формы наблюдается грубое выделение кремния в эвтектике (11,7 % Si), поэтому сплавы системы Al–Si модифицируют натрием (0,01–0,1 % от массы расплава). В присутствии натрия эвтектический кремний выделяется в виде тонкодисперсных пластин, что благоприятно отражается на пластических свойствах.

Сплавы системы Al–Si–Cu используют для изготовления деталей, обладающих твердостью и прочностью, отвечающих требованиям по чистоте поверхности (корпуса различных приборов, автомобильные и тракторные поршни, детали авиадвигателей – сплав АЛ 7-4).

Плавка алюминиевых сплавов. Сплавы на основе алюминия склонны к газопоглощению и окислению. Особенно энергично в них растворяется водород, что способствует получению отливок с газовой пористостью и раковинами. Предохраняют алюминиевые сплавы от окисления и поглощения водорода покровными флюсами (смесь хлоридов натрия и калия, например, 45 % NaCl + 55 % KCl. Расход флюса составляет 2 % от массы шихты. Рафинирование (очистку) алюминиевых сплавов от взвешенных неметаллических включений и водорода осуществляют продувкой инертными газами (Ar, He) или активным хлором, а также обработкой хлоридами марганца, цинка, титана. Так, при пропускании газов (расход 0,2–0,8 % от массы металла) через расплав они оказывают флотирующее действие на взвешенные включения; пузырьки рафинирующего газа выносят включения на поверхность расплава. Так как давление атомарного водорода внутри пузырька рафинирующего газа равно нулю, то растворенный в металле водород диффундирует внутрь пузырька и выносится за пределы расплава. Сплавы, содержащие более 6 % Si, перед заливкой в разовые формы подвергают модифицированию натрием (несколько сотых долей натрия от массы расплава), вследствие чего измельчаются выделения кремния и повышаются механические свойства сплавов. Плавку алюминиевых сплавов чаще всего производят в электрических индукционных печах.

Производство отливок из магниевых литейных сплавов

Магний имеет плотность 1,7 г/см³, температуру плавления 651 °С, температуру кипения 1 120 °С. Химический состав и механические свойства магниевых литейных сплавов регламентирует ГОСТ 2856-79, маркируют сплавы буквами МЛ и числом, обозначающим порядковый номер, в конце маркировки могут ставиться буквы «ОН» – общего назначения и «ПЧ» – повышенной чистоты. Из конструкционных материалов магний является самым легким. В чистом виде магний характеризуется низкой коррозионной стойкостью, недостаточной однородностью свойств и легкой воспламеняемостью. Отливки из магниевых литейных сплавов применяются главным образом в авиастроении и транспортном машиностроении, т.е. там, где они позволяют

снизить собственную массу транспортных средств (усадка линейная 1,2–1,9 %; объемная – 3,0–5,7 %).

Классификация магниевых сплавов. Условно магниевые литейные сплавы могут быть разделены на группы:

- 1) Mg–Mn (МЛ 2 – редко применяются из-за низких механических свойств);
- 2) Mg–Al–Zn (МЛ 3, МЛ 4 и др.);
- 3) Mg–Zn–Zr (МЛ 8, МЛ 15 и др.);
- 4) сплавы, легированные редкоземельными элементами (индием, церием) – МЛ 9, МЛ 10 и др.;
- 5) сплавы, содержащие торий (МЛ 14).

Сплавы второй группы широко применяются, они идут для производства высоконагруженных отливок, работающих в тяжелых атмосферных условиях с высокой влажностью. Сплавы третьей группы имеют высокие механические свойства и хорошо обрабатываются резанием. Отливки из этой группы сплавов могут работать при температуре 200–250 °С. Сплавы четвертой группы используются как жаропрочные, отливки из этих сплавов работают в условиях больших нагрузок при температуре 250–300 °С.

Сплавы пятой группы еще более жаропрочные. Отливки из таких сплавов работают при температуре 350 °С. Сплавы имеют удовлетворительную коррозионную стойкость и высокое сопротивление ползучести.

Плавка магниевых сплавов сопряжена с рядом трудностей. Сплавы интенсивно окисляются. Этот процесс легко переходит в горение. В отличие от алюминиевых сплавов на поверхности магниевого расплава образуется неплотная (рыхлая) пленка окиси, не предохраняющая расплав от окисления. Для предупреждения окисления и возгорания при плавке магниевых сплавов применяют различные покровные флюсы на основе хлористых солей магния, калия и бария (расход 10 % от массы шихты). Магниевые сплавы плавят в тигельных, отражательных и индукционных печах. Рафинирование от неметаллических включений производят флюсом или газами (хлором, гелием, аргонном). Перед рафинированием в сплав вводят бериллий (0,001–0,004 % от массы расплава). Бериллий образует прочную окисную пленку, предохраняющую расплав от загорания. Модифицирование магниевых сплавов, содержащих алюминий, осуществляют перегревом или введением углеродсодержащих веществ.

Производство отливок из медных сплавов

Медь – металл розово-красного цвета, очень ковкий и тягучий (плотность 8,94 г/см³, для сплавов 7,5–10,7 г/см³; температура плавления 1 083 °С, кипения 2360 °С; усадка линейная 1,44–2,5 %; усадка объемная 6,4 %). Широкое применение меди обусловлено высокой электро- и теплопроводностью, химической устойчивостью и другими ценными качествами. Чистую

медь используют в основном для изготовления листов, труб, профилей, прутков и проволоки методами пластической деформации.

Классификация медных сплавов. Для изготовления отливок используются три группы медных сплавов: оловянные бронзы, безоловянные бронзы и латуни. Механические свойства литейных бронз регламентирует ГОСТ 613-79. *Оловянные бронзы* широко применяются для изготовления арматуры, подшипников, шестерен, втулок, работающих в условиях истирания, повышенного давления воды и водяного пара. Оловянные бронзы обладают хорошими литейными свойствами, что позволяет получать при литье в землю сложные по конфигурации отливки. Характерная особенность этой группы сплавов – большой интервал между температурами ликвидуса и солидуса (150–200 °С), что обуславливает образование в отливках рассеянной усадочной пористости. Бронзы с высоким содержанием олова (Бр.010; Бр.0Ц 10-2; Бр.0Ф 10-1) ввиду его высокой стоимости и дефицитности применяют для отливок ответственного назначения. Вредными примесями являются алюминий и кремний. Сотые доли процентов этих элементов снижают механические свойства бронз и способствуют усилению поглощения водорода при плавке. С увеличением содержания олова прочностные свойства возрастают. Легирование бронз цинком повышает литейные свойства, свинец улучшает антифрикционные свойства, фосфор повышает износостойкость и улучшает жидкотекучесть.

Безоловянистые бронзы используются как заменители оловянных. По механическим, коррозионным и антифрикционным свойствам они превосходят оловянные. Среди сплавов этой группы широко применяют алюминиевые бронзы, они используются для изготовления гребных винтов крупных судов, тяжелонагруженных шестерен и зубчатых колес, корпусов насосов и других отливок. Механические, технологические и эксплуатационные свойства алюминиевых бронз улучшаются при легировании железом, марганцем, никелем. Марки алюминиевых бронз: Бр.АМн 9-2Л, Бр.АЖ9-4Л и др. Свинцовые бронзы Бр.С 30, Бр.СН 60-2,5 обладают высокой износостойкостью при трении в условиях больших удельных нагрузок и скоростей скольжения. Поэтому свинцовые бронзы применяют как заменители оловянных при изготовлении вкладышей подшипников. Особенность этих бронз – сильная ликвация свинца. Дисперсное распределение свинца в бронзе может быть достигнуто большими скоростями охлаждения.

Латуни – сплавы меди с цинком (до 50 % Zn). По химическому составу латуни разделяются на двойные (простые), т.е. состоящие из меди и цинка, и многокомпонентные (сложные), в состав которых кроме цинка входят другие компоненты (Si, Al, Mn, Pb). Кремнистые латуни ЛК 80-3 склонны к поглощению водорода и образованию газовой пористости. Эти латуни обладают высокой жидкотекучестью, хорошей свариваемостью, легко обрабатываются резанием. Они применяются для изготовления отливок, работающих под повышенным воздушным и гидравлическим давлением; деталей, работающих в агрессивных средах. Алюминиевые латуни ЛАЖ 60-1-1Л и другие

обладают коррозионной стойкостью в морской воде и применяются в судостроении. Марганцовистые латуни используются для изготовления жаростойких и коррозионно-стойких отливок. Свинцовистые латуни применяются как антифрикционный материал, свинец также улучшает обрабатываемость резанием.

Для *плавки литейных медных сплавов* используют отражательные, дуговые и индукционные печи, футерованные шамотом, динасом, кварцем или графитом. При плавке на воздухе медь интенсивно растворяет кислород, с образованием окислов. Взаимодействие с газами интенсифицируется с повышением температуры перегрева. Выше 1 150–1 200 °С перегрев недопустим. Для защиты от окисления применяют флюсы (буру, соду, фториды, древесный уголь). Рафинируют медные сплавы хлористым марганцем, после чего модифицируют и разливают в формы при 1 150 °С.

Контрольные вопросы

1. Какова роль эвтектического превращения в формировании структуры и свойств чугуна?
2. Как влияет химический состав отливок на свойства чугуна?
3. Как влияет режим охлаждения отливок на структуру и свойства чугуна?
4. Как классифицируют отливки из стали?
5. Как маркируют литейные углеродистые и легированные стали?
6. Как классифицируют отливки из сплавов на основе алюминия?
7. Какие жаропрочные сплавы на основе магния вы знаете?
8. Нужно ли рафинировать и модифицировать сплавы на основе алюминия?
9. Каковы особенности плавки магниевых сплавов?
10. Какова классификация и область применения сплавов на основе меди?

Л е к ц и я 3

Формовочные материалы, смеси и краски

П л а н л е к ц и и

1. Краткая характеристика исходных формовочных материалов.
2. Классификация, составы и свойства формовочных и стержневых смесей.
3. Виды красок и области их применения.
4. Оборудование для подготовки исходных формовочных материалов и для приготовления формовочных и стержневых смесей.

Краткая характеристика исходных формовочных материалов

К формовочным материалам относятся все материалы, используемые для изготовления разовых форм и стержней.

Исходные формовочные материалы делят на две группы:

- 1) основные:
огнеупорный наполнитель (кварцевый песок, циркон, магнезит и др.);
связующие материалы, обеспечивающие прочность связи частиц наполнителя (глина, жидкое стекло, лигносульфонат технический, смолы и др.);
- 2) вспомогательные материалы – различные добавки (торф, опилки, уголь и др.), придающие смесям определенные свойства (газопроницаемость, податливость, непригораемость и т.д.).

Наполнители. К наполнителям относятся кварцевый песок, электрокорунд, шамот и другие материалы.

Кварцевые пески. В качестве огнеупорной основы формовочных и стержневых смесей наибольшее распространение получил кварцевый песок из-за высокой огнеупорности, прочности и твердости, дешевизны.

Основу песков составляет кремнезем SiO_2 , имеющий температуру плавления 1713°C , твердость (по шкале Мооса) 7, плотность $2,5\text{--}2,8\text{ г/см}^3$. Наряду с кремнеземом в формовочных песках присутствуют вредные примеси (полевой шпат, слюда, окислы алюминия, железа и другие соединения), ухудшающие свойства песка.

В соответствии с ГОСТ 2138-91 формовочные пески в зависимости от массовой доли глинистой составляющей (обломков зерен кварца и других минералов размером менее $0,02\text{ мм}$) подразделяют на кварцевые, тощие и жирные. Кварцевые пески содержат до 2 % глинистой составляющей, тощие пески – от 4 до 12 %, жирные пески – от 12 до 50 %.

Кварцевые пески используют для изготовления форм и стержней при получении отливок из стали и чугуна, тощие и жирные – для изготовления форм при производстве отливок из цветных сплавов и мелких чугунных отливок. Тощие пески можно применять для приготовления формовочных сме-

сей при производстве чугунных и стальных отливок с использованием противопригарных покрытий.

Электрокорунд. Безводный оксид алюминия существует в нескольких модификациях. Плотность корунда составляет от 3,98 до 4,01 г/см³ в зависимости от наличия примесей. Температура плавления 2 050 °С. Твердость 9 по шкале Мооса. Электрокорунд широко применяют при литье титановых сплавов по выплавляемым моделям.

Циркон (силикат циркония) состоит из ZrO₂ (63 %) и SiO₂ (32 %). Это природный минерал плотностью 4,6 г/см³. Температура плавления 2 600 °С. Твердость по шкале Мооса 7,5. Циркон используют в качестве наполнителя облицовочных смесей и противопригарных красок при изготовлении отливок из стали и чугуна.

Дистенсиллиманит состоит из природных алюмосиликатных материалов – Al₂O₃ (57 %) и SiO₂ (39 %). Плотность 3,5 г/см³. Огнеупорность 1 830 °С. Его применяют главным образом при литье по выплавляемым моделям, а также в качестве наполнителя облицовочных смесей и противопригарных красок при изготовлении особо сложных стальных отливок при литье в песчаные формы.

Промышленные огнеупорные отходы. Наиболее широко используют отработанную смесь – собственные отходы литейных цехов, которые могут использоваться повторно (песчано-глинистые смеси).

У отработанной песчано-глинистой смеси восстанавливают частично свойства следующими последовательными операциями: раздавливанием комков, магнитной сепарацией, аэрацией. После подготовки ее используют как основной огнеупорный материал с небольшими добавками свежих материалов (5–10 %) в единых смесях. Качество отработанной смеси зависит от свойств исходных компонентов.

Смеси на выгорающих связующих (масле, декстрине и пр.) также могут использоваться повторно. Жидкостекольные и смоляные смеси повторно использовать нельзя, так как они представляют собой твердоспеченные куски различных размеров.

Связующие материалы должны обладать следующими свойствами: равномерно распределяться по поверхности формовочных материалов в течение определенного времени, что обеспечивает постоянство свойств смесей и красок;

придавать высокие свойства формовочным и стержневым смесям;
не быть газотворными при сушке и заливке;
не снижать огнеупорность формовочного материала и не увеличивать его пригораемость;

быть дешевым, недефицитным и безвредным для окружающих.

Связующие материалы делятся на неорганические и органические. *Неорганические* связующие хорошо выдерживают воздействие высоких температур, но имеют низкую податливость и выбиваемость. *Органические* свя-

зующие при высоких температурах сравнительно легко разлагаются и обеспечивают хорошую податливость и выбиваемость.

Из неорганических связующих материалов наибольшее распространение получили формовочные глины, этилсиликат, жидкое стекло.

Формовочные огнеупорные глины представляют собой горные породы, которые состоят из тонкодисперсных частиц водных алюмосиликатов, обладающих высокой связующей способностью и термохимической устойчивостью, а также пластичностью после увлажнения.

По содержанию глинистых минералов формовочные глины делят на три вида:

Вид глины	Обозначения вида	Основной породообразующий минерал
Бентонитовая	Б	Монтмориллонит
Каолиновая и каолино-гидрослюдистая	К	Каолинит и каолинит с гидрослюдой
Полиминеральная	П	Любой глинистый минерал

Кроме указанных выше минералов глины содержат ряд примесей (кварц, полевые шпаты, слюды, карбонат, гипс, окислы и сульфиды железа), ухудшающие качество глин.

В соответствии с ГОСТ 3226-93 «Глины формовочные огнеупорные» глины классифицируют в зависимости от их химических и физических показателей.

Этилсиликат является основой для приготовления связующего при литье по выплавляемым моделям. Он представляет собой смесь этиловых эфиров ортокремниевой кислоты. Это прозрачная жидкость с температурой кипения 165 °С, плотностью 0,98–1,05 г/см³. Этилсиликат состоит из эфиров разной молекулярной массы. Для придания этилсиликату свойств связующего его подвергают гидролизу.

В России производят этилсиликат двух марок – ЭТС-32 и ЭТС-40. Число, указанное в марке, соответствует среднему условному содержанию диоксида кремния (в процентах по массе).

Жидкое стекло (ГОСТ 13078-81) является водным раствором силиката натрия. Его получают сплавлением кварцевого песка и соды при температуре 1 400–1 500 °С с последующим растворением в воде до плотности 1,36–1,50 г/см³, осуществляемым в автоклавах.

Связующая способность жидкого стекла определяется его модулем, который равен $M = (SiO_2 / Na_2O) \cdot 1,032$, где SiO_2 – массовая доля диоксида кремния; Na_2O – массовая доля оксида натрия; 1,032 – соотношение молярных масс оксида натрия и диоксида кремния.

В зависимости от значения модуля различают три марки жидкого стекла: А, Б и В. Наибольшее распространение получило жидкое стекло мар-

ки В с модулем 2,61–3,0, в котором массовая доля SiO_2 составляет 31–33 %, Na_2O – 10–12 %. Чем выше модуль жидкого стекла, тем выше прочность и ниже живучесть смеси.

Упрочнение форм осуществляется тремя способами:

воздушной сушкой в течение 2–8 ч;

тепловой сушкой при температуре 220–250 °С в течение 30–60 мин;

химической сушкой (продувкой углекислым газом, введением феррохромового шлака, эфиров угольной кислоты).

Металлофосфатные связующие используют для изготовления керамических оболочек при литье по выплавляемым моделям, противопригарных покрытий и как водное связующее для стержней, отверждаемых тепловой сушкой. Наибольшее применение нашло алюмохромофосфатное связующее – кислый фосфорнокислый хром-алюминий. Связующее представляет собой вязкий раствор темно-зеленого цвета.

Кремнийорганические связующие широко применяются в производстве точных отливок по выплавляемым моделям. Лучшим из них является этилсиликат. Для противопригарных покрытий используют термостойкие кремний кремнийорганические лаки (КО-928, КО-921 и др.) и кремнийорганические смолы (КО-9, КО-917).

Кристаллогидратные связующие – это водорастворимые кристаллогидратные соли, сульфат магния, гипс и цемент.

Стандарты на формовочные материалы. Качество отливок в значительной степени зависит от свойств формовочных материалов, поэтому необходим их тщательный контроль. Контроль качества формовочных материалов осуществляется в цеховой или заводской лаборатории по стандартным методикам. Стандарты (ГОСТ 23409.0-78 – ГОСТ 23409.26-78) на методы испытаний формовочных песков, формовочных и стержневых смесей включают 26 видов контроля: содержания примесей (оксидов кальция, магния, железа, титана, алюминия), влаги, прочности смесей при комнатной и высоких температурах, газопроницаемости, осыпаемости, гигроскопичности, текучести при динамическом и статическом уплотнениях, газотворности.

Вспомогательные материалы. К вспомогательным материалам относятся:

противопригарные материалы (например, пылевидный и гранулированный уголь, графит и др.);

разделительные материалы (тальк, графит и др.);

материалы, увеличивающие податливость стержней и форм;

материалы, снижающие прилипаемость смеси к стенкам стержневого ящика или модели;

материалы, улучшающие технологические свойства смесей (прочность, текучесть, теплопроводность и др.);

специальные экзотермические добавки;

отвердители (шлак феррохромовый, шлак нефелиновый, газ углекислый и др.) – вещества, благодаря взаимодействию которых со связующим происходит быстрое отверждение смесей без тепловой сушки;

катализаторы – вещества (например, ортофосфорная кислота), которые способствуют ускорению химических реакций только вследствие своего присутствия, сами же не претерпевают изменений;

пенообразователи – используются в наливных самотвердеющих смесях (например, контакт черный нейтрализованный рафинированный).

Классификация, составы и свойства формовочных и стержневых смесей

Классификацию формовочных смесей осуществляют по нескольким признакам.

По роду заливаемого металла выделяют смеси для получения отливок из сталей, чугуна и цветных сплавов.

По назначению смеси могут быть формовочными и стержневыми. Стержневые смеси отличаются от формовочных газопроницаемостью, прочностью и другими свойствами, так как стержни, установленные в литейной форме, подвергаются более сильному тепловому и динамическому воздействию металла, чем форма.

По характеру использования формовочные смеси делят на единые, облицовочные, наполнительные.

Облицовочную смесь, оформляющую рабочую поверхность формы толщиной 15–30 мм и непосредственно контактирующую с расплавом, тщательно готовят из свежих высококачественных исходных материалов. Остальной объем опоки заполняют наполнительной смесью, состоящей в основном из оборотной смеси с небольшими добавками свежих исходных материалов. Наполнительная смесь значительно дешевле и проще в приготовлении, чем облицовочная. К ней предъявляются требования только по газопроницаемости и прочности, которые должны быть не ниже, чем у облицовочной смеси.

Использование облицовочных и наполнительных смесей рационально в условиях мелкосерийного и единичного производства при изготовлении средних и крупных отливок. Условия машинной формовки в серийном и массовом производстве определяют необходимость использования единых формовочных смесей, которые изготавливают из наиболее стабильных по составу и свойствам формовочных песков и прочносвязующих глин.

По состоянию формы перед заливкой выделяют смеси для форм, заливаемых во влажном и в сухом состояниях.

Составы и свойства формовочных и стержневых смесей. В литейном производстве применяются самые разнообразные по составу и свойствам, смеси, которые используют в зависимости от требований к отливке и возможностей производства. При выборе состава смеси для формы и стержня

учитывают следующие факторы: смеси должны обеспечить требуемое качество отливки, быть дешевыми, недефицитными, безвредными.

Наиболее дешевыми являются естественные песчано-глинистые смеси (ПГС). Песчано-глинистые искусственные смеси на обогащенных песках, высокосортовых бентонитах, со специальными добавками уже на порядок дороже естественных и выше качеством. Но и их применение ограничивается массой, сложностью отливок. Поэтому кроме ПГС используют жидкостекольные, смоляные, сульфитные, масляные, фосфатные и другие смеси. Такие смеси применяют в основном в качестве стержневых, облицовочных; реже в качестве единых и никогда – наполнительных.

Смоляные смеси имеют самые высокие технологические свойства, но они дорогие и токсичные. Жидкостекольные смеси обладают меньшей podatливостью и худшей выбиваемостью, чем смоляные, но они дешевле и безвреднее. В настоящее время им отдают предпочтение, так как появились новые процессы формообразования, позволяющие улучшить их свойства.

Сульфитные смеси (на основе лигносульфонатов) являются дешевыми, безвредными и для изготовления легких, не очень сложных отливок могут полноценно заменить смоляные смеси (горячетвердеющие смеси – ГТС, пластичные самотвердеющие смеси – ПСС). Фосфатные смеси уступают по свойствам смоляным смесям, но во многих случаях заменяют их.

Виды красок и области их применения

Противопригарные покрытия увеличивают поверхностную прочность, уменьшают осыпаемость и термохимическую стойкость форм и стержней, обеспечивая получение чистых отливок.

Покрyтия бывают водными, самовысыхающими и самотвердеющими.

Водные покрытия применяют обычно для форм и стержней, подвергаемых сушке. Эти покрытия готовят из паст, которые поставляются централизованно.

Применение *самовысыхающих* и *самотвердеющих покрытий* позволяет исключить сушку формы и или стержня. Их используют для форм и стержней из самотвердеющих смесей.

Если жидкое покрытие не обеспечивает достаточной чистоты отливки, то для натирки или облицовки стержней применяют пасты, которые наносятся вручную и поэтому используются достаточно редко, в основном при изготовлении крупных стальных отливок.

Оборудование для подготовки исходных формовочных материалов и для приготовления формовочных и стержневых смесей

Формовочные и стержневые смеси готовят в смесеприготовительном отделении литейного цеха, где размещаются склад формовочных материалов, оборудование для предварительной подготовки формовочных материалов и смесеприготовительные установки.

Подготовка свежих формовочных материалов состоит обычно в сушке песка и глины, просеивании песка, помоле глины и угля, приготовлении глинистой или глинисто-угольной суспензии.

Сушку песка и глины производят в сушильных печах при температуре 150–250 °С. Просушенные пески просеивают на механических ситах различной конструкции для отделения крупных частиц и посторонних примесей.

Для дробления огнеупорной глины и размалывания глины и угля применяют дробилки и мельницы различных типов. Использование суспензии исключает операции сушки и размола глины.

Отработанная формовочная смесь перед ее повторным использованием проходит следующие операции обработки: разминание комьев смеси после выбивки сухих форм, отделение металлических частиц (крючков, шпилек, застывших капель металла) с помощью магнитных сепараторов, просеивание на механических ситах.

Приготовление смесей. Для достижения высокого качества смесей необходимы точная дозировка исходных материалов, тщательное их перемешивание, вылеживание готовой смеси с целью выравнивания влажности и разрыхление смеси.

Для дозирования применяют весовые и объемные дозаторы. Последние используют для взвешивания жидких составляющих – связующих и воды.

При перемешивании обеспечивается равномерное распределение всех компонентов в объеме смеси и обволакивание зерен песка тонкой пленкой связующего. Для приготовления формовочных и стержневых смесей используют литейные смесители каткового, лопастного и шнекового типов.

В автоматизированных цехах применяют смесители непрерывного действия, в которых загрузка, перемешивание и выгрузка готовой смеси ведутся одновременно, непрерывно. К смесителям непрерывного действия относятся высокопроизводительные центробежные (или маятниковые) смешивающие бегуны с катками, вращающимися в горизонтальной плоскости.

Приготовленные песчано-глинистые смеси передаются из смешивающих бегунов в бункера-отстойники, где смесь выдерживается 2-3 ч с целью выравнивания влажности и стабилизации свойств по всему объему. Затем уплотненную от вылеживания смесь дополнительно разрыхляют, пропуская ее через специальные установки – разрыхлители, лопастные (аэраторы) и

дисковые (дезинтеграторы). Разрыхленная смесь направляется в формовочное отделение конвейером к расходным бункерам.

Лопастные и шнековые смесители применяют для приготовления пластичных (например, песчано-смоляных) и жидкоподвижных самотвердеющих смесей, а также сыпучих смесей, используемых для изготовления оболочковых форм и стержней. Такие смесители обеспечивают равномерное распределение составляющих и хорошее их перемешивание, но не создают оболочки вокруг зерен из-за отсутствия перетирающего действия на смеси.

Механизация и автоматизация смесеприготовительного отделения.

В литейных цехах массового производства применяются автоматические линии формовки, включающие в себя полностью автоматизированные смесеприготовительные установки.

В цехах с поточным механизированным производством отливок, потребляющих большое количество одинаковых по составу смесей, приготовление их производят в центральном смесеприготовительном отделении, где машины, транспортеры и устройства для переработки исходных материалов, приготовления смесей и передачи их к местам изготовления форм и стержней объединены в единую центральную смесеприготовительную систему (ЦСС) с автоматическим управлением.

Контрольные вопросы и задания

1. По каким показателям классифицируют формовочные пески?
2. Расскажите о классификации глин.
3. Каким образом классифицируют связующие материалы?
4. Приведите примеры вспомогательных материалов, расскажите об их назначении.
5. По каким признакам классифицируют формовочные смеси?
6. Почему требования, предъявляемые к стержневым смесям, более высокие, чем требования, предъявляемые к формовочным смесям?
7. Каково назначение красок?
8. Какое оборудование используют для подготовки исходных формовочных материалов?
9. Какое оборудование применяют для приготовления формовочных и стержневых смесей?
10. В каком отделении литейного цеха готовят формовочные и стержневые смеси?

Лекция 4

Технология изготовления отливок в разовых песчаных формах

П л а н л е к ц и и

1. Модельно-опочная оснастка.
2. Элементы литниковой системы, их взаимное расположение.
3. Технология получения форм в разовых песчано-глинистых формах.

Модельно-опочная оснастка

Под модельно-опочной оснасткой понимают набор элементов, необходимых для образования при формовке рабочей полости литейной формы.

Литейная модель служит для образования в литейной форме отпечатка, соответствующего конфигурации и размерам отливки. По конструкции, которая обуславливается удобством формовки, модели подразделяют на неразъемные и разъемные (рис. 1.1).

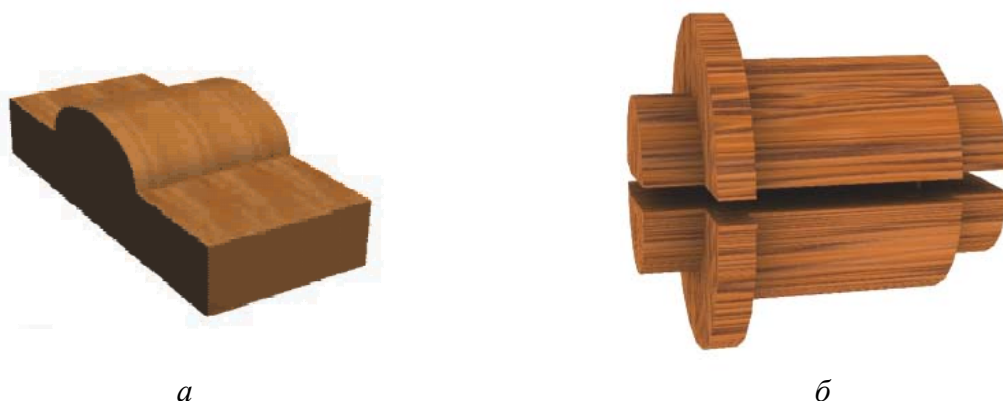


Рис. 1.1. Типы моделей: *а* – неразъемные; *б* – разъемные

Неразъемные модели (рис. 1.1, *а*) применяют при получении несложных по конфигурации отливок, преимущественно заформовываемых в одной половине формы. Разъемные модели (рис. 1.1, *б*) широко используют при производстве отливок более сложной и разнообразной конфигурации, когда модель формуется в двух опоках и более. В единичном и мелкосерийном производстве, когда оформлять выступающие элементы отливок стержнями экономически нецелесообразно, в моделях предусматривают отъемные части, которые остаются на рабочей поверхности формы после извлечения из нее модели, затем извлекают и отъемные части. Крепление отъемных частей на основании модели производят стальными гвоздями или шипами со скосами.

Точное соединение частей разъемных моделей осуществляется с помощью деревянных шипов или металлических дюбелей. Для легкого извлечения из полуформы боковые поверхности моделей снабжают уклонами. Удобство извлечения модели из полуформы при ручной формовке достигает-

ся с помощью металлических приспособлений, закрепляемых на модели, которые называют подъемами.

Подмодельные плиты служат для образования в форме плоскостей разъема. При ручной формовке применяют деревянные подмодельные плиты, склеиваемые из строганных досок, а при машинной – металлические фасонные, обычно отливаемые из серого чугуна, служащие основой для монтажа модельных плит.

Модельные плиты применяют при машинной формовке. Модельные плиты представляют собой тщательно обработанные металлические фасонные плиты с моделями отливок и элементов литниковых систем, а также двумя штырями, предназначенными для фиксации устанавливаемых опок.

К *опочной оснастке* относят опоки, штыри, крепежные приспособления, литейные жакеты и подопочные плиты.

Опоки (рис. 1.2) представляют собой жесткие металлические рамки, служащие для набивки и удержания смеси при изготовлении литейных форм, удобства их транспортирования на участки заливки и выбивки. Опока придает форме повышенную прочность, необходимую для противодействия давлению заливаемого в нее литейного расплава.

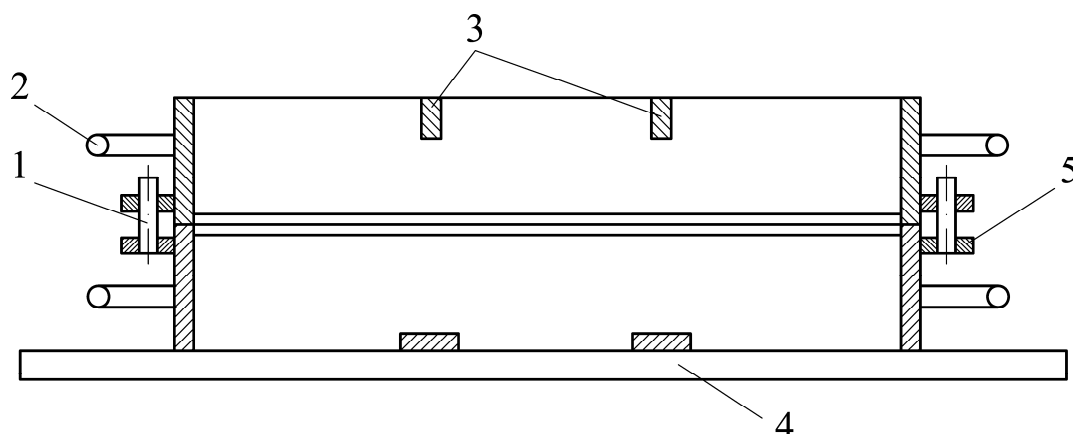


Рис. 1.2. Опоки: 1 – штыри; 2 – ручки; 3 – ребра;
4 – подопочная плита; 5 – ушки

Размеры опок регламентируются ГОСТами и колеблются в пределах (в свету) от 500×400 до 3 000×2 500 мм при диапазоне высот 150–1 500 мм. По конфигурации опоки подразделяют на прямоугольные, круглые и фасонные; в зависимости от размеров и массы – на ручные и крановые.

Крепежные приспособления предназначены для надежного соединения полуформ при подготовке формы к заливке, что предупреждает вытекание заливаемого расплава по плоскости ее разъема.

Подопочные плиты предназначены для установки на них готовых литейных форм, направляемых от формовочных машин на заливку и выбивку с помощью напольного тележечного конвейера в условиях массового и крупносерийного производства.

Элементы литниковой системы, их взаимное расположение

Литниковой системой называют совокупность каналов и элементов литейной формы, служащих для подвода расплавленного металла в рабочую полость формы, обеспечения благоприятных условий ее заполнения, а также питания отливки при затвердевании.

Основные элементы литниковой системы представлены на рис. 1.3.

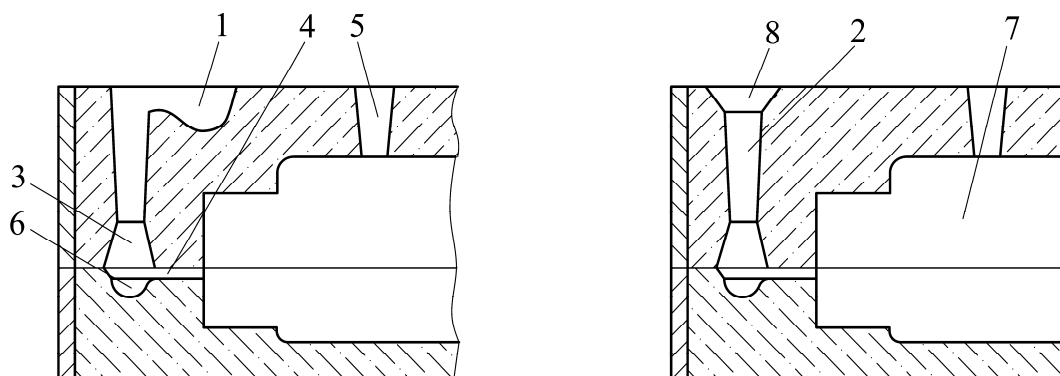


Рис. 1.3. Элементы литниковой системы: 1 – литниковая чаша; 2 – стояк; 3 – шлакоуловитель; 4 – питатели; 5 – выпор; 6 – зумпф; 7 – полость формы; 8 – воронка

Каждый из элементов литниковой системы имеет свое назначение, неправильное изготовление его может стать причиной брака отливки. Поэтому при серийном производстве отливок выгоднее применять заранее изготовленные модели литниковой системы, имеющие расчетную площадь и правильный профиль.

Литниковая чаша и *воронка* являются резервуарами, служащими для приема металла из разливочного устройства и подачи его через стояк и другие элементы литниковой системы в рабочую полость формы.

В небольших формах верхняя часть стояка заканчивается небольшой воронкой, выполняющей роль чаши. Литниковая воронка обычно имеет форму усеченного конуса, расширяющегося вверх, что облегчает при заливке попадание в нее струи металла.

Стояк представляет собой вертикальный (реже наклонный) прямой или изогнутый канал, служащий для подачи расплава из литниковой чаши (или воронки) к другим элементам литниковой системы: зумпфу, шлакоуловителям, питателям. Для удобства удаления из формы стояки делают коническими, расширяющимися кверху.

Зумпф выполняется в конце стояка в виде полусферы и служит для смягчения удара падающей струи расплава, уменьшения разбрызгивания его, плавного изменения направления движения потока.

Шлакоуловитель – элемент литниковой системы для задерживания шлака, кусочков формовочной смеси и для подвода расплавленного металла

из стояка к питателям. Частицы шлака, попадая с металлом в шлакоуловитель, расположенный выше питателей, всплывают и остаются в нем, не проникая в полость формы.

Питатель – элемент литниковой системы для подвода расплавленного металла в полость литейной формы. Питатели чаще всего располагают в нижней полуформе под шлакоуловителем.

Выпор – элемент литниковой системы для вывода газов из формы при заливке, контроля заполнения формы расплавленным металлом, питания отливки в момент ее затвердевания, смягчения удара струи металла в верхнюю стенку полости формы в конце ее заливки, для слива холодного металла из верхней части полости формы.

Прибыль. Во время усадки металла в форме в стенках отливки могут образовываться усадочные раковины, которые возникают там, где металл долгое время остается в жидком состоянии, т.е. в толстых сечениях отливки. В тонких сечениях отливки раковины образоваться не могут, потому что возникающая в процессе затвердевания усадка компенсируется металлом из соседних, более толстых сечений отливки, находящихся еще в жидком состоянии.

Если во время затвердевания отливки в то место, где происходит образование усадочной раковины, своевременно добавлять жидкий металл – питать отливку, то усадочной раковины в отливке не будет. Подобный прием в производстве отливок используется как средство борьбы с усадочными раковинами. Питание отливки в момент ее усадки осуществляется за счет жидкого металла элемента литниковой системы, устраиваемого в форме над той частью отливки, где возможно образование раковины. Такую полость в форме называют прибылью. Прибыль может питать отливку лишь в том случае, если металл в ней в момент образования раковины в отливке еще жидкий и затвердевает после питаемого узла, т.е. прибыль должна быть больше той части отливки, которую она питает.

Типы литниковых системы. Различают несколько характерных способов подвода литниковой системы ([рис. 1.4](#)).

При *сифонной заливке* литники подводят к нижней части отливки. Сифонная заливка обеспечивает спокойное заполнение полости формы без разбрызгивания. Однако пока расплав достигает верхней части формы, он успевает остыть, что ухудшает питание отливки из прибылей и может привести к появлению раковин в отливке.

При *заливке сверху* через литник, подведенный к верхней части отливки, форма заполняется в направлении, противоположном направлению выхода газов, вследствие чего часть газов может попасть в отливку. Кроме того, расплав, падая на дно формы, разбрызгивается, сильнее окисляется и может размыть форму в местах падения. Преимуществом заливки сверху является поступление горячего металла в верхнюю часть отливки и в прибыль.

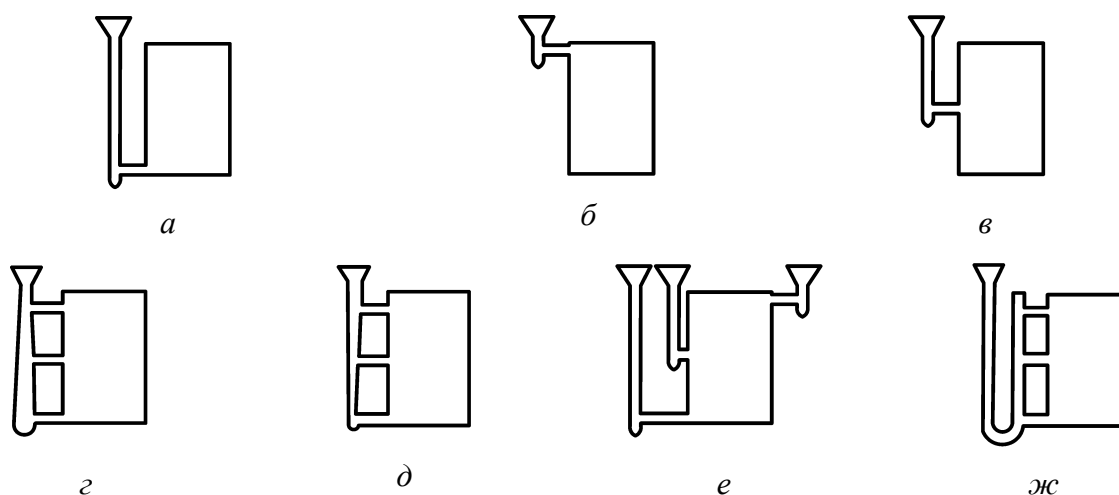


Рис. 1.4. Подвод металла к отливке: *а* – сифонная заливка; *б* – заливка сверху; *в* – заливка в середину отливки; *г* – ступенчатая расширяющаяся литниковая система; *д* – ступенчатая сужающаяся литниковая система; *е* – заливка через несколько самостоятельных литников; *ж* – сифонная ступенчатая литниковая система

Для заливки в середину литники подводят к середине отливки, на уровне $1/2$ ее высоты. В этом случае нижняя часть отливки заполняется как при заливке сверху, а верхняя – как при заливке снизу. Практикуется и заполнение литейной формы через несколько литников. Например, используется *расширяющаяся ступенчатая* литниковая система, суммарная площадь поперечного сечения литников которой больше площади поперечного сечения стояка, благодаря чему жидкий металл, поднявшись до среднего уровня, вновь поступает в стояк. Возникает циркуляция, показанная стрелками. Обратное движение имеет место, если *ступенчатая система запертая*.

Ступенчатая литниковая система может быть разделена на несколько отдельных стояков, заполнение которых происходит в соответствующем порядке.

Сифонная заливка металла через ступенчатую литниковую систему обеспечивает благоприятное распределение температуры в отливке.

Технология получения отливок в разовых песчано-глинистых формах

Общая схема технологического процесса изготовления отливок в песчаных формах представлена [на рис. 1.5.](#)

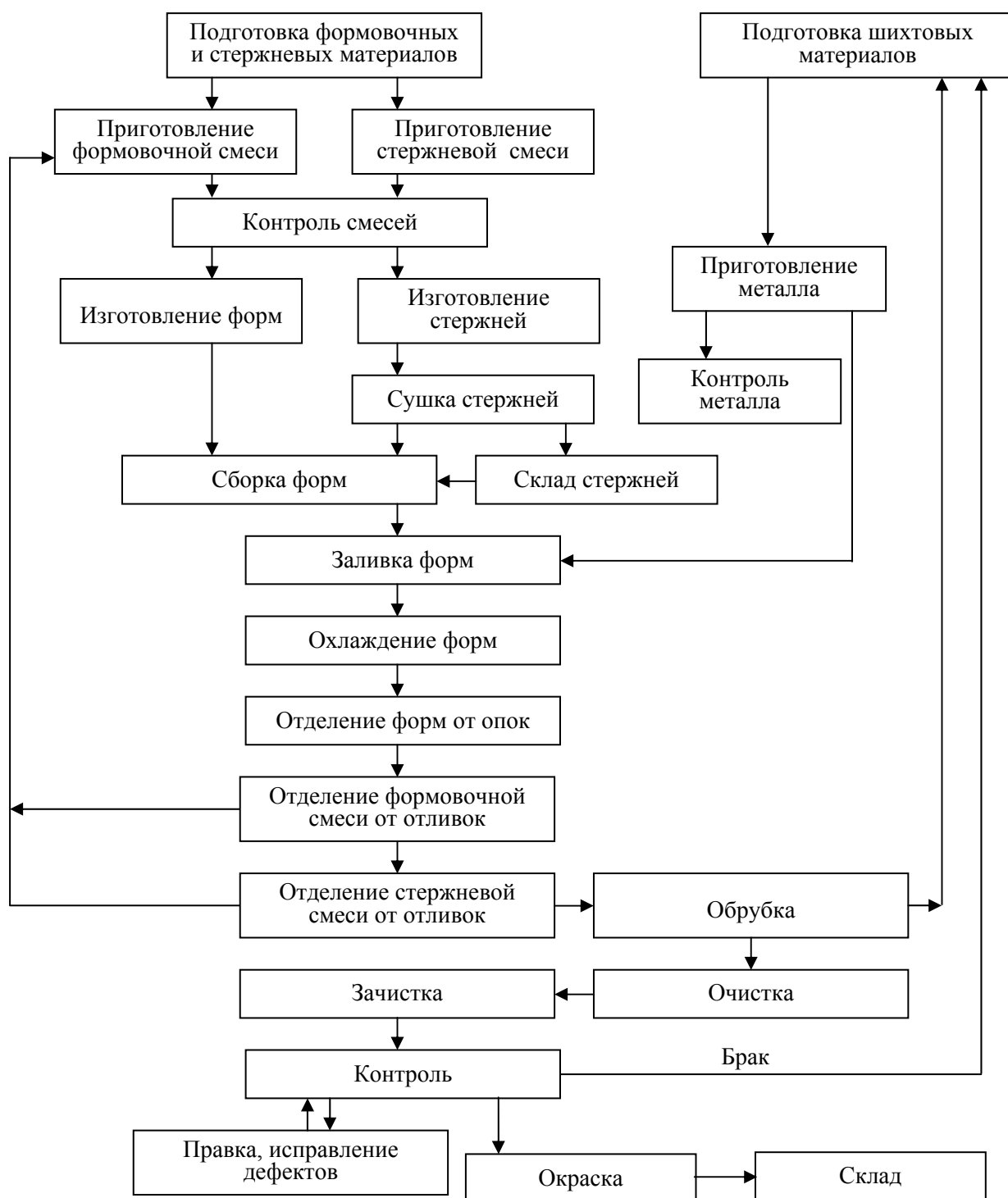


Рис. 1.5. Общая схема технологического процесса изготовления отливок в песчаных разовых формах

В литейном производстве роль основного инструмента для изготовления отливок выполняет литейная форма. Она представляет собой систему элементов, образующих рабочую полость, при заливке которой расплавленным металлом формируется отливка.

Распространенность способа литья в песчаные формы связана с его дешевизной, применением для изготовления отливок различных сплавов – легких и тяжелых, цветных, чугунов и сталей, а также со сравнительно невысокими затратами на оснастку и приспособления.

Изготовление отливок в разовых песчаных формах наряду со многими достоинствами обладает и рядом недостатков. Для получения каждой отливки необходимо выполнить ряд трудоемких, даже в условиях механизированного производства, операций. При заливке песчаных форм расплавом и охлаждении в них отливок происходят процессы испарения влаги и выгорания связующих, при формовке и выбивке отливок неизбежно образование пыли, что вызывает необходимость соблюдения специальных мер по технике безопасности и охране окружающей среды. Сами формы значительно подвержены силовому, тепловому и химическому воздействию заливаемого расплава, нередко приводящему к снижению размерной точности отливок и образованию на их поверхности трудноудаляемой корки пригара, состоящей из приварившегося формовочного материала и продуктов его взаимодействия с расплавом.

Контрольные вопросы и задания

1. Какая оснастка используется при изготовлении разовых песчаноглинистых форм?
2. Для чего служит литейная модель?
3. Как классифицируют литейные модели?
4. Какие технологические операции необходимо выполнить при формовке?
5. В чем отличие формовки по неразъемной и разъемной моделям?
6. Что такое литниковая система?
7. Какие элементы литниковой системы вы знаете?
8. Расскажите о назначении каждого элемента литниковой системы.
9. Каково назначение прибыли?
10. Каково назначение выпора?
11. Какие дефекты возможны в отливках из-за избытка влаги в смеси?
12. Перечислите способы подвода литниковой системы к полости формы.
13. Назовите достоинства и недостатки способа литья в разовые формы.

Л е к ц и я 5

Механизация и автоматизация процесса изготовления форм и стержней

П л а н л е к ц и и

1. Формовочные и стержневые машины.
2. Поточно-литейная линия.

Формовочные и стержневые машины

В формовочных отделениях обычно используется способ изготовления форм на двух формовочных машинах с односторонними модельными плитами в двух парных опоках: одна для нижней и другая для верхней полуформы. Наиболее распространенными методами уплотнения формовочной смеси являются: встряхивание, прессование, встряхивание с подпрессовкой, пескометный, пескодувный.

Встряхивание. На рис. 1.6 приведена схема часто встречающегося на практике пневматического встряхивающего механизма с подъемным поршнем.

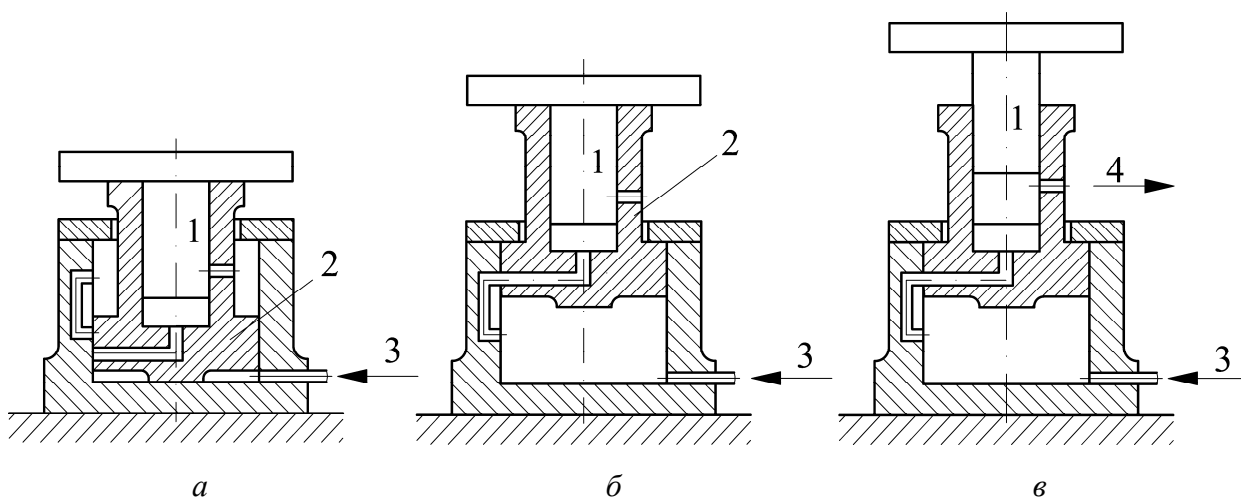


Рис. 1.6. Встряхивающий механизм с подъемным поршнем: *а* – исходное положение; *б* – подъем механизма; *в* – встряхивание; 1 – поршень; 2 – подъемный поршень; 3 – впуск воздуха; 4 – выхлоп

При впуске воздуха (рис. 1.6, *а*) подъемный поршень поднимается до упора в крышку цилиндра и поднимает на себе (сделанный заодно с ним) встряхивающий цилиндр. При этом воздух по каналам, показанным на схеме, поступает во встряхивающий цилиндр, и начинается встряхивание, во время которого подъемный поршень продолжает оставаться в верхнем положении. Удары встряхивающего стола передаются на фундамент машины через воздушную подушку, находящуюся в цилиндре под подъемным поршнем.

Часть энергии удара при этом поглощается упругой деформацией подушки. Таким образом, удары, передающиеся на фундамент, смягчаются.

На рис. 1.7 дана схема пневматического встряхивающего механизма с отсечкой и расширением воздуха в цилиндре. Когда поршень пройдет из положения «а» (рис. 1.7, а) путь наполнения, прекращается впуск сжатого воздуха в цилиндр, т.е. происходит отсечка воздуха. Но в этот момент выхлопное отверстие еще не начнет открываться. Происходит расширение сжатого воздуха. Если же в момент закрытия впускного отверстия (в момент отсечки) начнет открываться выхлопное окно, то будем иметь механизм с отсечкой, но без расширения воздуха. Пневматические встряхивающие механизмы с отсечкой (и расширением) воздуха являются более экономичными по сравнению с механизмами без отсечки; они широко применяются.

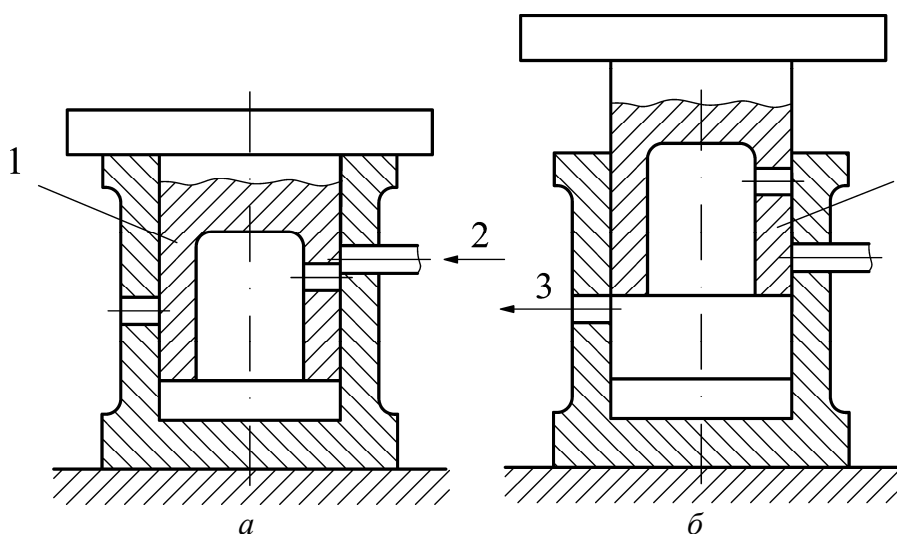
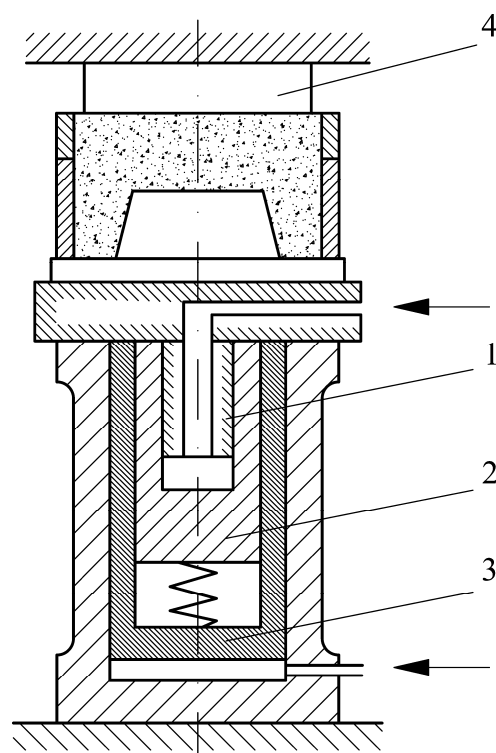


Рис. 1.7. Встряхивающий механизм с отсечкой и расширением воздуха: а – нижнее положение; б – верхнее положение; 1 – встряхивающий поршень; 2 – впуск воздуха; 3 – выхлоп

Встряхивание с подпрессовкой. Схема механизма для уплотнения литейных форм с помощью одновременного встряхивания и прессования приведена на [рис. 1.8](#). При включении одновременно встряхивающего и прессового цилиндров прессовый поршень поднимает стол машины. При этом выбирается расстояние между верхней кромкой формы и прессовой колодкой. Расстояние в таких механизмах делается большим (150–200 мм и более), что позволяет производить на них уплотнение чистым встряхиванием. Поэтому во время подъема стола прессовым поршнем успевает произойти некоторое количество ударов предварительного встряхивания. И лишь после того, как форма будет прижата к прессовой колодке, начинается процесс встряхивания с одновременным прессованием. Встряхивающий поршень со столом остается неподвижным. Ударный же массивный подпружиненный поршень, или амортизатор, наносит частые удары снизу по столу машины. Эти удары передаются набивке формы, образуя в ней направленные вниз инерционные силы, дополнительно к статической прессующей нагрузке.

Встряхивание (т.е. удары амортизатора по столу) в таком комплексном механизме производится с большой частотой, 10–12 ударов в секунду (примерно вдвое чаще, чем в обычных встряхивающих машинах). Поэтому при общей продолжительности цикла уплотнения 3–5 с число произведенных на одну форму ударов амортизатора в первые 1–2 с получается достаточно большим и действие их эффективно. Таким образом, недостатками встряхивающего способа уплотнения форм являются: значительный шум и сотрясение почвы; слабое уплотнение верхних слоев формы, поэтому требуется дополнительное уплотнение сверху. Это дополнительное уплотнение достигается: 1) подтрамбовкой, пневмотрамбовкой или вручную; 2) наложением на поверхность смеси груза (чугунной плиты) и встряхиванием вместе с ним; 3) допрессовкой после встряхивания; 4) прессованием при одновременном встряхивании.

Рис. 1.8. Схема механизма для уплотнения литейных форм встряхиванием с одновременным прессованием: 1 – встряхивающий поршень; 2 – амортизатор; 3 – прессовый поршень; 4 – прессовая колодка



Верхнее и нижнее прессование. При верхнем прессовании формовочная смесь из наполнительной рамки запрессовывается в опоку прессовой колодкой со стороны, противоположной модельной плите ([рис. 1.9](#)). При верхнем прессовании, кроме основного дефекта – переуплотнения смеси над моделью и недоуплотнения вокруг нее, получается большое уплотнение верхних, нерабочих частей формы и меньшее уплотнение рабочих частей формы, прилегающих непосредственно к модели. Это переуплотнение смеси над моделью может оказаться вредным, так как приводит к снижению газопроницаемости формы.

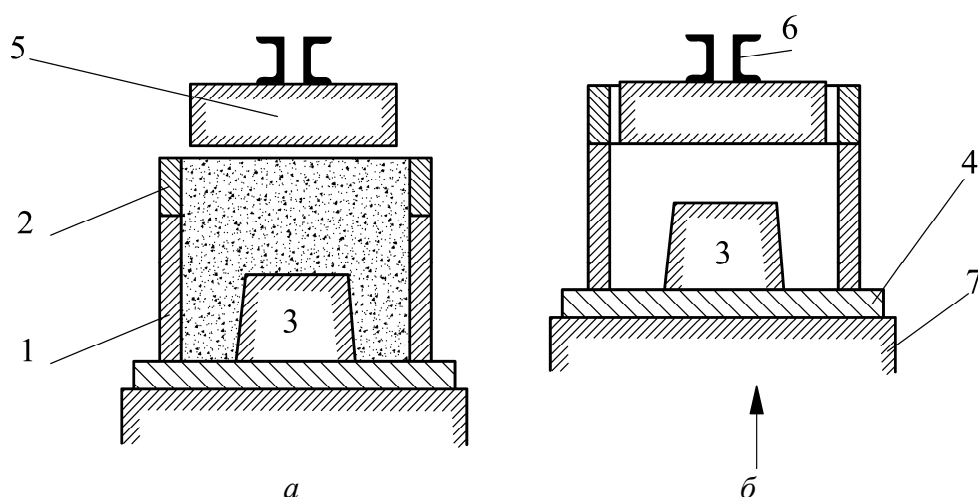


Рис. 1.9. Схема верхнего прессования: *а, б* – до и после прессования; 1 – опока; 2 – наполнительная рамка; 3 – модель; 4 – модельная плита; 5 – прессовая колодка; 6 – неподвижная траверса; 7 – прессовый стол машины

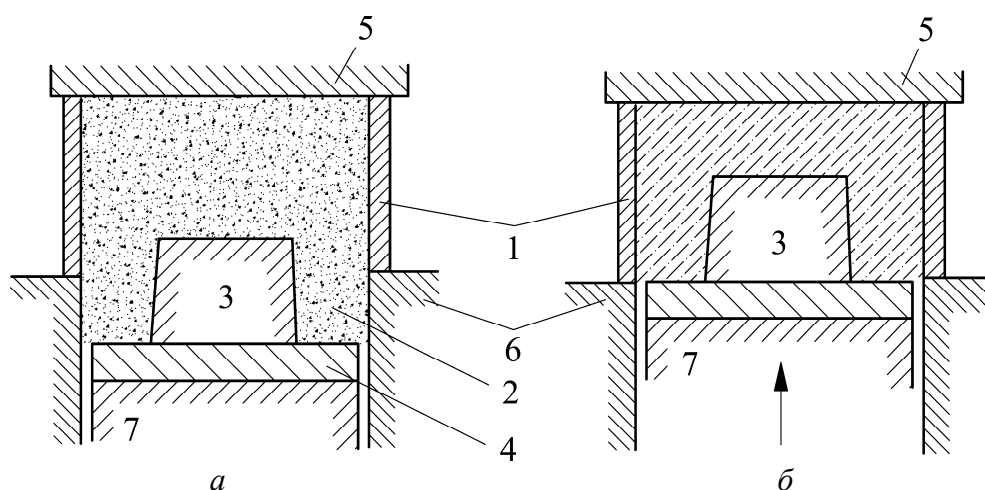


Рис. 1.10. Схема нижнего прессования: *а, б* – до и после прессования; 1 – опока; 2 – наполнительная рамка; 3 – модель; 4 – модельная плита; 5 – неподвижная плита; 6 – неподвижный стол машины; 7 – подвижный прессовый стол машины

При нижнем прессовании формовочная смесь запрессовывается в опоку модельной плитой со стороны разъема литейной формы (рис. 1.10). В качестве наполнительной рамки, содержащей объем запрессовываемой в опоку смеси, здесь служит углубление в неподвижном столе машины. В углублении располагается модельная плита, укрепленная на прессовом столе, движущемся вверх при прессовании. Основной дефект прессования (переуплотнение смеси над моделью и недоуплотнение ее вокруг модели) наблюдается и при нижнем прессовании. Но здесь распределение уплотнения по высоте опоки более благоприятно: большее уплотнение получается в рабочих частях формы, около модели, а меньшее уплотнение – в нерабочей части формы. Кроме того, при нижнем прессовании создаются более благоприятные условия для уплотнения узких карманов формы – объема смеси между

стенками опоки и моделью. Несмотря на некоторые отмеченные технологические преимущества нижнего прессования, на практике чаще применяют верхнее прессование литейных форм из-за большей простоты конструкции машин и более легкой переналадки технологической оснастки.

Пескометная формовка. Пескомет представляет собой метательную машину, которая бросает формовочную смесь в опоку, одновременно уплотняя ее и производя уплотнение смеси. Основным рабочим органом современного центробежного пескомета является метательная головка, представляющая собой быстро вращающийся ротор с одной, двумя или тремя лопатками. Эти лопатки и выбрасывают из кожуха головки порции, «пакеты» формовочной или стержневой смеси с большой скоростью вертикально вниз, в набиваемую опоку или стержневой ящик.

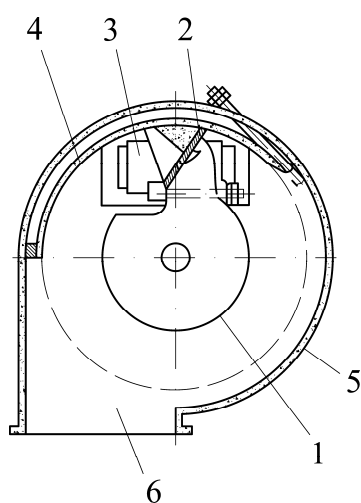


Рис. 1.11. Схема метательной головки центробежного пескомета: 1 – ротор; 2 – сменная лопатка или ковш; 3 – ленточный конвейер, подающий в головку формовочную смесь; 4 – направляющая дуга; 5 – кожух головки; 6 – выходной патрубок кожуха

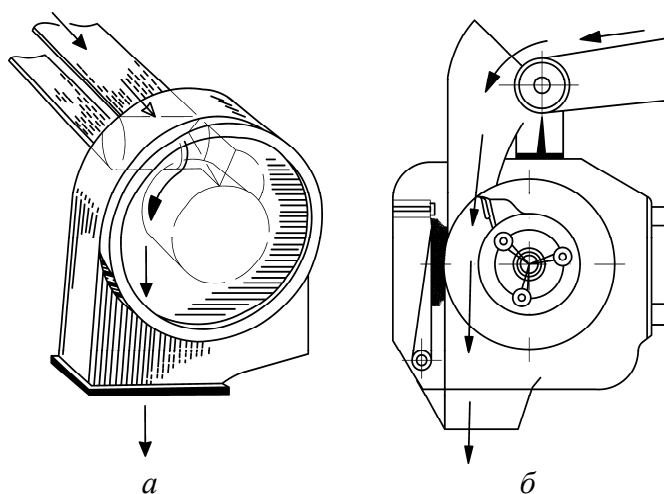


Рис. 1.12. Варианты подачи смеси в головку пескомета в осевом направлении (а) и в плоскости вращения ротора (б)

На рис. 1.11 показана схема метательной головки центробежного пескомета. Быстро вращающийся на горизонтальном валу ротор приводится непосредственно от электродвигателя. На роторе крепится одна (как показано на схеме) сменная лопатка. Формовочная или стержневая смесь непрерывно поступает с ленточного конвейера в кожух головки в осевом направлении через окно в задней стенке кожуха (рис. 1.12). Поток смеси отсекается быстро вращающейся лопаткой, формируется под действием центробежных сил в пакет и продвигается лопаткой по окружности. При этом продвижении пакет смеси ограничивается с периферии стальной направляющей дугой. При передвижении лопаткой вдоль направляющей дуги пакет смеси под действием центробежных сил приобретает некоторое уплотнение. По прохождении направляющей дуги пакет соскальзывает с лопатки и выбрасывается в наби-

ваемую опоку или стержневой ящик со скоростью до 60 м/с. Современные центробежные пескометы выпускают производительностью до 60 м³/ч.

Пескодувный процесс уплотнения литейных форм и стержней.

Принцип пескодувного процесса уплотнения литейных форм и стержней заключается в том, что формовочная или стержневая смесь транспортируется с помощью сжатого воздуха через вдувные отверстия в технологическую емкость (полость стержневого ящика или опоку) и, заполняя ее, одновременно в ней уплотняется. Поступающий же вместе со смесью из пескодувного (пескострельного) резервуара сжатый воздух эвакуируется из технологической емкости в атмосферу через специальные очень тонкие вентиляционные отверстия, или венты. На рис. 1.13 представлена схема современного пескодувного механизма. Чтобы избежать слеживания смеси на дне резервуара, выпуск воздуха в резервуар делается по его периферии. Входя с боков и снизу, струйки сжатого воздуха разрыхляют смесь, тем самым препятствуя ее застыванию и слеживанию, и способствуют более легкому ее прохождению через вдувные отверстия.

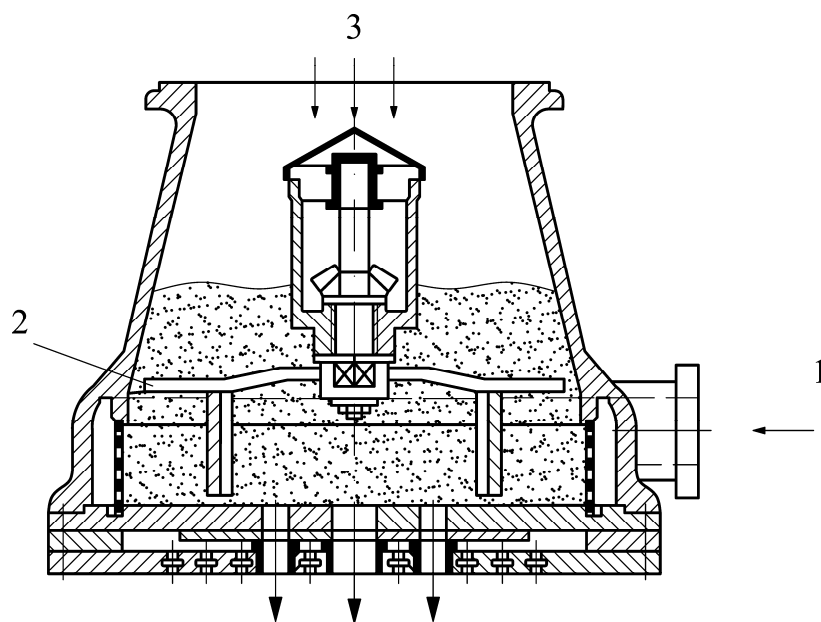


Рис. 1.13. Схема современного пескодувного механизмов: 1 – подвод сжатого воздуха; 2 – механическая ворошилка; 3 – загрузка смеси; 4 – выпуск сжатого воздуха; 5 – ресивер

От пескодувной машины пескострельная машина отличается более быстрым впуском сжатого воздуха в резервуар. Очень быстрый, подобно выстрелу, выпуск сжатого воздуха в патрон пескострельной машины (в течение около 0,05 с) обеспечивается быстрым открыванием клапана дутья. Сразу после впуска порции или заряда сжатого воздуха в пескострельный патрон клапан дутья закрывается и делает отсечку воздуха. Заряд сжатого воздуха в патроне своим давлением выталкивает порцию смеси из патрона через вдувное отверстие в технологическую емкость. Смесь устремляется в набиваемую опоку или стержневой ящик компактной массой, толкаемая сзади зарядом сжатого воздуха подобно пуле, вылетающей из пневматического ружья. Пес-

кострельные машины в настоящее время нашли широкое промышленное применение для изготовления стержней. Их можно также использовать для изготовления литейных форм.

Поточно-литейная линия

В литейных цехах массового и крупносерийного производства процесс получения отливок, т.е. изготовления литейных форм, их сборки, заливки и выбивки, организуется по принципу непрерывного потока. Оборудование и рабочие места располагаются в последовательности операций и соединяются соответствующими транспортными средствами, передающими объекты обработки, а сами операции выполняются одновременно на всех рабочих местах. Такая система машин образует поточную линию получения отливок, или литейную формовочную линию (рис. 1.14).

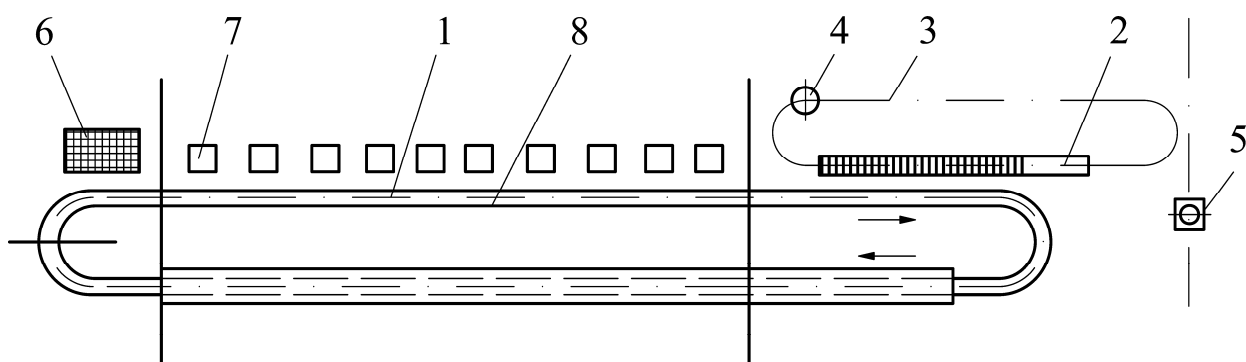


Рис. 1.14. Схема поточной литейной линии с горизонтально-замкнутым конвейером: 1 – формовочные машины; 2 – заливочная площадка; 3 – подвесной путь заливочных ковшей; 4 – заливочный ковш; 5 – раздаточный ковш; 6 – выбивная решетка; 7 – литейный конвейер; 8 – охлаждающий кожух

Горизонтально-замкнутый литейный конвейер представляет собой ряд тележек, непрерывно движущихся по рельсам при помощи тяговой замкнутой цепи, приводимой в движение от электродвигателя через соответствующую передачу. Скорость движения формовочных конвейеров колеблется от 2 до 10 м/мин, в зависимости от загруженности и размеров опок. На рис. 1.14 конвейер показан не в виде отдельных тележек, а условно, в виде непрерывной ленты. Формовочные машины устанавливают вдоль конвейера. Формы можно собирать на самом движущемся конвейере, если скорость его невелика. Однако чаще всего сборку осуществляют на рольгангах у формовочных машин, вне конвейера, и на конвейер ставят уже собранные формы. Заливку форм обычно производят на движущихся тележках конвейера из заливочных ковшей, подвозимых по подвесному пути. Металл в заливочные ковши разливается из более крупных раздаточных ковшей, подвозимых по другому подвесному пути непосредственно от плавильной печи. Для облегчения работы заливщика заливочную площадку часто делают в виде верти-

кально-замкнутого пластинчатого конвейера, перемещающегося параллельно основному конвейеру с той же скоростью.

Залитые формы, обогнув закругление на конвейере, проходят через охлаждающий кожух и попадают на участок выбивки. Здесь формы снимаются с конвейера и выбиваются на выбивной решетке. Отработанная смесь, выбитая из опок, проваливается сквозь решетку и передается в центральное смесеприготовительное отделение, из которого после переработки раздается в бункера над формовочными машинами. Отливки транспортируют в обрубное отделение для очистки, пустые же опоки ставят на освободившиеся тележки конвейера, который доставляет их снова к формовочным машинам. Заливочное и выбивное отделения изолируют от формовочного перегородками. Пуск конвейера осуществляют нажатием пусковой кнопки обычно на участке заливки. Остановить конвейер можно с любого участка (формовки, заливки, выбивки) нажатием стоп-кнопки.

Контрольные вопросы

1. Какие методы уплотнения смеси известны?
2. Каковы преимущества и недостатки при уплотнении форм встряхиванием?
3. Каковы преимущества и недостатки при уплотнении форм прессованием?
4. Какой основной дефект форм возникает при верхнем прессовании?
5. Для каких форм и стержней целесообразно использовать пескометную формовку?
6. Каково устройство головки пескомета?
7. Какие машины используются для изготовления стержней?
8. Какие конвейеры используют для транспортировки форм на автоматических формовочных линиях?
9. Как доставляют стержни на сборочный участок автоматических формовочных линий?
10. Какое оборудование используется для выбивки форм?

Лекция 6

Литье в кокиль и литье под давлением

П л а н л е к ц и и

1. Общие сведения о технологических процессах получения отливок специальными способами литья.
2. Литье в кокиль.
3. Литье под давлением.

Общие сведения о технологических процессах получения отливок специальными способами литья

В производстве литых заготовок для деталей машин и приборов значительное место занимают так называемые специальные виды литья: литье в кокиль, литье под давлением, центробежное литье, литье в оболочковые формы, литье по выплавляемым моделям, позволяющие получать отливки повышенной точности с чистой поверхностью, минимальным припусками на обработку, высокими служебными свойствами.

Технологические процессы получения отливок специальными видами в сравнении с литьем в песчаные формы отличаются меньшими трудозатратами, меньшей материало- и энергоемкостью, дают возможность существенно улучшить условия труда и уменьшить вредное воздействие на окружающую среду.

Литье в кокиль

Кокиль – металлическая форма, которая заполняется расплавом под действием гравитационных сил. В отличие от разовой песчаной формы кокиль может быть использован многократно. Таким образом, сущность литья в кокиль состоит в применении металлических материалов для изготовления многократно используемых литейных форм.

Материал и конструкции кокилей. В зависимости от конфигурации и массы отливок в литейном производстве используют кокили различных конструкций: неразъемные (вытряхные); с вертикальной плоскостью разъема; с горизонтальной плоскостью разъема. Для отливок сложной конфигурации применяют кокили с комбинированной поверхностью разъема ([рис. 1.15](#), [рис. 1.16](#), [рис. 1.17](#), [рис. 1.18](#)).

По числу одновременно отливаемых деталей кокили разделяют на *одноместные* и *многоместные*.

В зависимости от способа охлаждения различают кокили с *воздушным* (естественным и принудительным), *жидкостным* (водяным, масляным) и *комбинированным охлаждением*. Воздушное охлаждение используют для малонагруженных кокилей, водяное охлаждение – для высоконагруженных кокилей или для его отдельных частей.

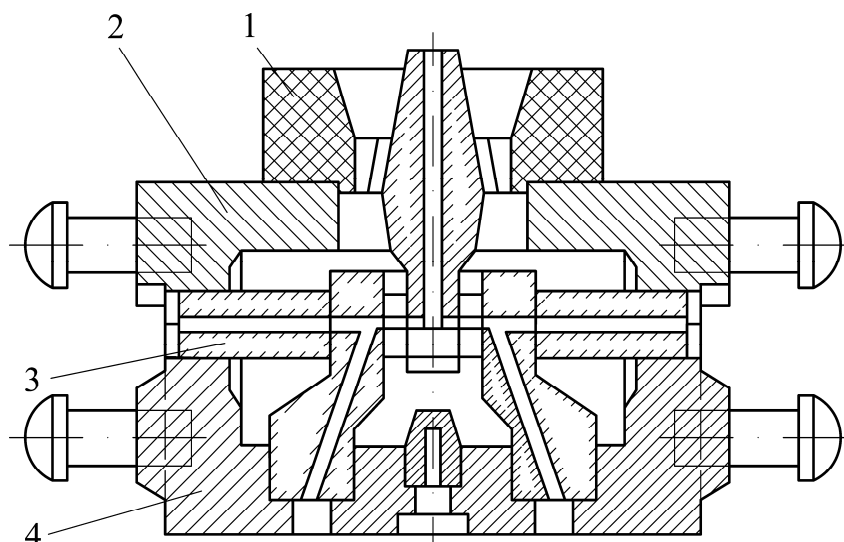


Рис. 1.15. Кокиль с горизонтальной плоскостью разъема: 1 – литниковая чаша; 2 – верхняя половина кокиля; 3 – стержень; 4 – нижняя половина кокиля

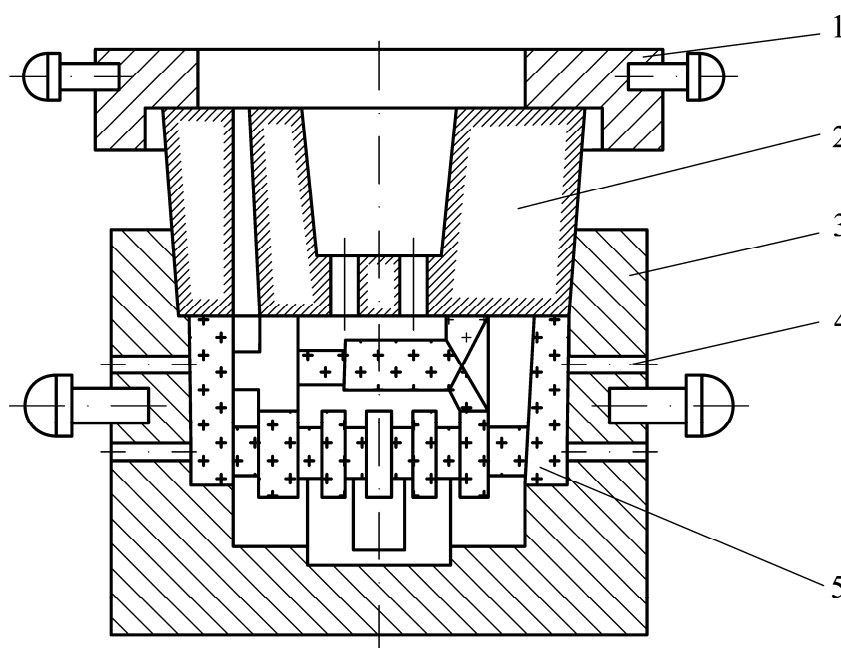


Рис. 1.16. Вытряхной кокиль: 1 – груз; 2 – песчаная чаша; 3 – кокиль; 4 – вентиляционный канал; 5 – песчаный стержень

Для изготовления кокилей широко применяют серый и высокопрочный чугуны, легированные никелем, хромом, медью, углеродистые и легированные стали. Кокили для отливки мелких деталей из алюминиевых сплавов могут изготавливаться из алюминиево-кремниевых сплавов.

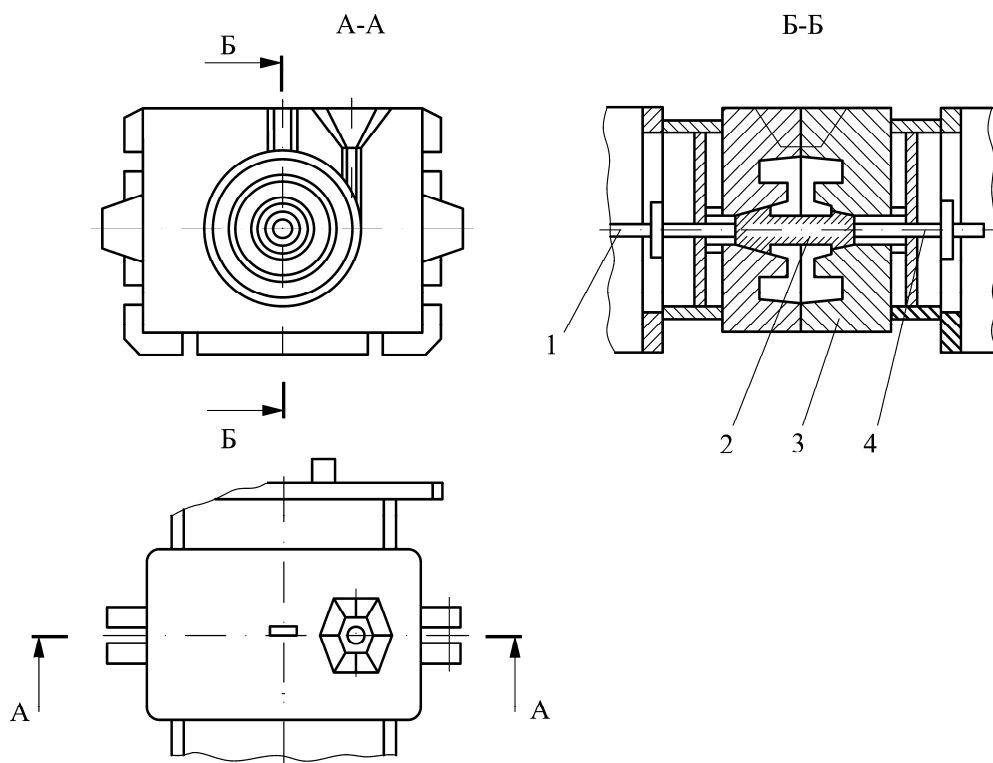


Рис. 1.17. Кокиль с вертикальной плоскостью разреза: 1 – толкатель; 2 – стержень; 3 – кокиль; 4 – выталкиватель

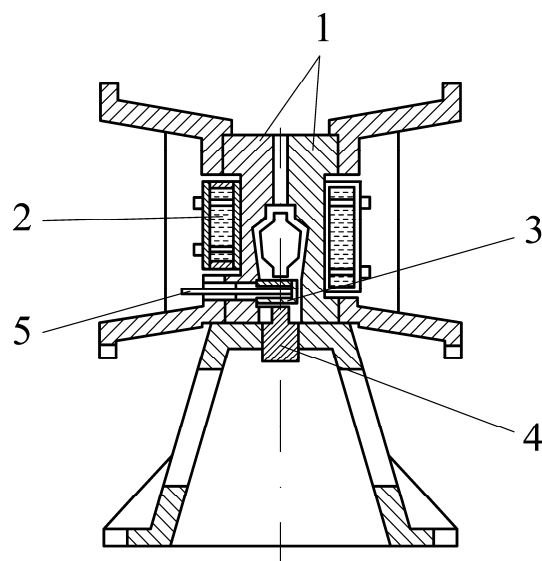


Рис. 1.18. Водоохлаждаемый кокиль: 1 – вставки кокиля; 2 – водоохлаждаемые камеры; 3 – водоохлаждаемый боковой стержень; 4 – нижний стержень; 5 – трубка

Рабочая поверхность кокиля и металлических стержней покрывается специальными красками. Покраска производится с целью предохранения поверхности кокиля от воздействия жидкого металла и тем самым увеличения срока его службы, а также с целью регулирования скорости охлаждения отливки.

Перед началом литья кокиль прогревают газовыми горелками до температуры 200–250 °С. Нагрев осуществляется с целью предотвращения растрескивания рабочей поверхности формы.

Свойства отливок. В общем объеме производства отливок из цветных металлов на долю кокильного литья приходится около 40 %, что обусловлено преимуществами данного метода литья.

Кокиль – металлическая форма, обладающая по сравнению с песчаной значительно большей теплопроводностью, прочностью, практически нулевыми газопроницаемостью и газотворностью. Эти свойства материала кокиля обуславливают качество получаемых в нем отливок.

Повышенная скорость охлаждения способствует получению плотных отливок с мелкозернистой структурой, что повышает прочность и пластичность металла отливки. Однако в отливках из чугуна, получаемых в кокилях, вследствие особенностей кристаллизации часто образуются карбиды, ферритографитная эвтектика, отрицательно влияющие на свойства чугуна: снижается ударная вязкость, износостойкость, резко возрастает твердость в отбеленном поверхностном слое, что затрудняет обработку резанием таких отливок и приводит к необходимости подвергать их термической обработке для устранения отбела.

Кокиль практически неподатлив и более интенсивно препятствует усадке отливки, что может вызвать появление внутренних напряжений, коробление и трещины в отливке.

Размеры рабочей полости кокиля могут быть выполнены значительно точнее, чем песчаной формы. При литье в кокиль отсутствуют погрешности, вызываемые расталкиванием модели, упругими и остаточными деформациями песчаной формы, снижающими точность ее рабочей полости и, соответственно, отливки. Поэтому отливки в кокилях получаются более точными.

Физико-химическое взаимодействие металла отливки и кокиля минимально, что способствует повышению качества поверхности отливки. Отливки в кокиль не имеют пригара. Шероховатость поверхности отливок определяется составами облицовок и красок, наносимых на поверхность рабочей полости формы.

Кокиль практически газонепроницаем, но и газотворность его минимальна и определяется составами огнеупорных покрытий, наносимых на поверхность рабочей полости, поэтому газовые раковины в кокильных отливках – явление не редкое.

Механизация и автоматизация кокильного литья. В зависимости от серийности производства, массы, размеров, сложности отливок, предъявляемых к ним требований изменяется степень механизации и автоматизации процесса. Анализ основных операций литья в кокиль показывает, что этот способ – малооперационный.

При механизации процесса основными операциями являются: раскрытие и закрытие форм, установка и извлечение стержней, удаление отливок из формы, нанесение огнеупорного покрытия, охлаждение и нагрев формы, заливка металла.

При серийном и мелкосерийном производстве крупных отливок эффективными оказываются автоматизированные кокильные машины или механизированные кокили. В массовом и крупносерийном производстве мелких

и средних отливок более эффективно использование автоматических литейных кокильных машин, комплексов, линий.

Основное направление развития производства кокильного литья – комплексная механизация и автоматизация производственных процессов на всех переделах, начиная с подготовки шихтовых материалов и приготовления жидкого металла, кончая обрубкой, очисткой и складированием готовых отливок, что позволит достичь необходимой эффективности производства.

Преимущества и недостатки литья. К преимуществам метода литья в кокиль можно отнести повышенную размерную точность отливок, высокую производительность процесса, многократность использования литейных форм, возможность автоматизации процесса, экономное использование производственных площадей, возможность комбинированного использования кокилей и сложных песчаных стержней, стабильность плотности и структуры отливок, высокие механические и эксплуатационные свойства.

Недостатки литья в кокиль – высокая трудоемкость изготовления и стоимость металлической формы, повышенная склонность к возникновению внутренних напряжений в отливке, вследствие затрудненной усадки.

Дефекты отливок. Общими характерными дефектами отливок при литье в кокиль являются недоливы и неслитины, усадочные дефекты, трещины, шлаковые включения и газовая пористость.

Недоливы и неслитины наблюдаются при низкой температуре расплава и кокиля перед заливкой, недостаточной скорости заливки, большой газотворности стержней и плохой вентиляции какиля;

Усадочные дефекты (раковины, утяжины, пористость) возникают из-за нарушений направленного затвердевания и недостаточного питания массивных узлов отливки, чрезмерно высокой температуры расплава и кокиля, местного перегрева кокиля, нерациональной конструкции литниковой системы.

Трещины появляются вследствие несвоевременного подрыва металлического стержня или вставки, высокой температуры заливки, нетехнологичности конструкции отливки.

Шлаковые включения образуются при использовании загрязненных шихтовых материалов, недостаточном рафинировании расплава, неправильной работе литниковой системы.

Газовая пористость образуется при нарушении технологии плавки – использовании влажной шихты, перегреве расплава, недостаточном рафинировании или раскислении сплава.

Литье под давлением

Сущность процесса литья под давлением заключается в том, что форма заполняется расплавом под давлением внешних сил, превосходящих силы гравитации, а затвердевание протекает под избыточным давлением.

Преимущества и недостатки литья. Преимуществами данного способа литья являются:

возможность изготовления отливок с малой толщиной стенок (менее 1 мм);

повышение качества отливок – отливка получается с высокой точностью размеров и чистой поверхностью, с малой шероховатостью, практически не требует обработки, имеет достаточно высокие механические свойства;

полное исключение трудоемких операций и хорошие предпосылки для полной автоматизации производства;

значительное улучшение санитарно-гигиенических условий труда из-за устранения из производства формовочных материалов, меньшее загрязнение окружающей среды.

Наряду с преимуществами литье под давлением имеет ряд недостатков:

ограничение габаритных размеров и массы отливок мощностью машины, усилием, развиваемым механизмом запираания пресс-формы;

высокую стоимость пресс-формы, сложность и трудоемкость ее изготовления;

низкую стойкость пресс-формы при литье тугоплавких сплавов, что ограничивает область его использования;

наличие в отливках газовоздушной пористости, что снижает их герметичность, затрудняет термообработку.

Основные операции. В процессе литья расплавленный металл заливается в камеру прессования специальной машины, а затем под воздействием поршня, перемещающегося в этой камере, через литниковый канал заполняет полость металлической пресс-формы, затвердевает под избыточным давлением и образует отливку. После затвердевания и охлаждения до определенной температуры из отливки сначала извлекаются стержни, а затем пресс-форма раскрывается, и толкатели удаляют отливку из пресс-формы.

Область использования. Заполнение пресс-формы и кристаллизация под давлением позволяют получать отливки высокого качества. Чистая поверхность и точные размеры металлической формы, высокая скорость движения расплава дают возможность резко сократить продолжительность заполнения, улучшить заполняемость и получить отливки сложной конфигурации с чистой поверхностью.

Внешнее давление на затвердевающий металл и высокие скорости его охлаждения в металлической форме способствуют измельчению структуры металла в отливке, уменьшению усадочных дефектов, повышению механических свойств.

Литьем под давлением изготавливают отливки для различных отраслей машино- и приборостроения из цинковых, алюминиевых, магниевых, медных сплавов, реже из чугуна и стали, массой от нескольких граммов до десятков килограммов, обычно тонкостенные, сложной конфигурации с развитой поверхностью.

Автоматизация литья под давлением. Размеры и масса отливок зависят от мощности машин, на которых они отливаются. Чем больше усилие

запираания пресс-формы, тем большее давление и скорость перемещения развивает прессующий механизм машины, тем больших размеров отливки можно получить.

В зависимости от устройства камеры прессования различают процессы литья на машинах с холодной ([рис. 1.19](#)) и горячей камерами прессования ([рис. 1.20](#)).

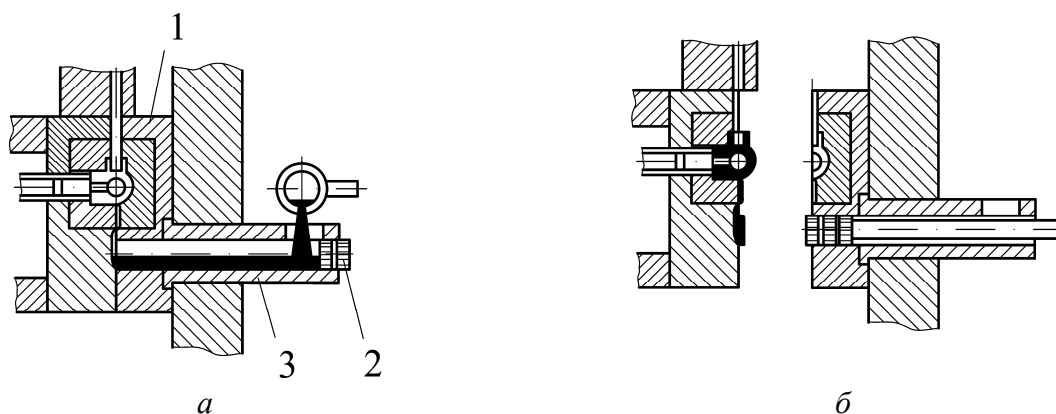
В *горячекамерных машинах* камера прессования располагается в тигле и сообщается с ним отверстием, через которое в нее поступает расплав. При движении поршня отверстие перекрывается, и расплав поступает в полость формы. После затвердевания отливки поршень возвращается в исходное положение, и остатки расплава сливаются в камеру. После извлечения отливки пресс-форма закрывается, и цикл повторяется.

Машины с горячей камерой прессования более производительны, однако камера прессования и поршень на этих машинах работают в тяжелых условиях, быстро изнашиваются и требуют замены. Такие машины обычно используют для литья цинковых, свинцово-сурьмянистых, магниевых и других сплавов, не взаимодействующих с материалом поршня и камерой прессования.

Машины с *горизонтальной холодной камерой* прессования позволяют развивать значительные усилия запираания и прессования, поэтому они чаще используются для изготовления отливок из алюминиевых, медных сплавов, чугуна и стали. Однако на таких машинах труднее получить мелкие точные отливки, так как расплав быстро охлаждается и заполняемость формы ухудшается.

Машины для литья под давлением являются сложными автоматизированными агрегатами, работающими в комплексе со вспомогательным оборудованием. К *вспомогательному оборудованию* относятся: раздаточные печи, дозаторы жидкого металла, манипуляторы для простановки арматуры, смазывания камер прессования и пресс-формы, удаления отливки, устройства для подогрева и стабилизации температуры пресс-формы, пресс для обрезки литников и облоя.

Эффективность производства отливок под давлением зависит от того, насколько полно используются его преимущества и как учтены его недостатки.



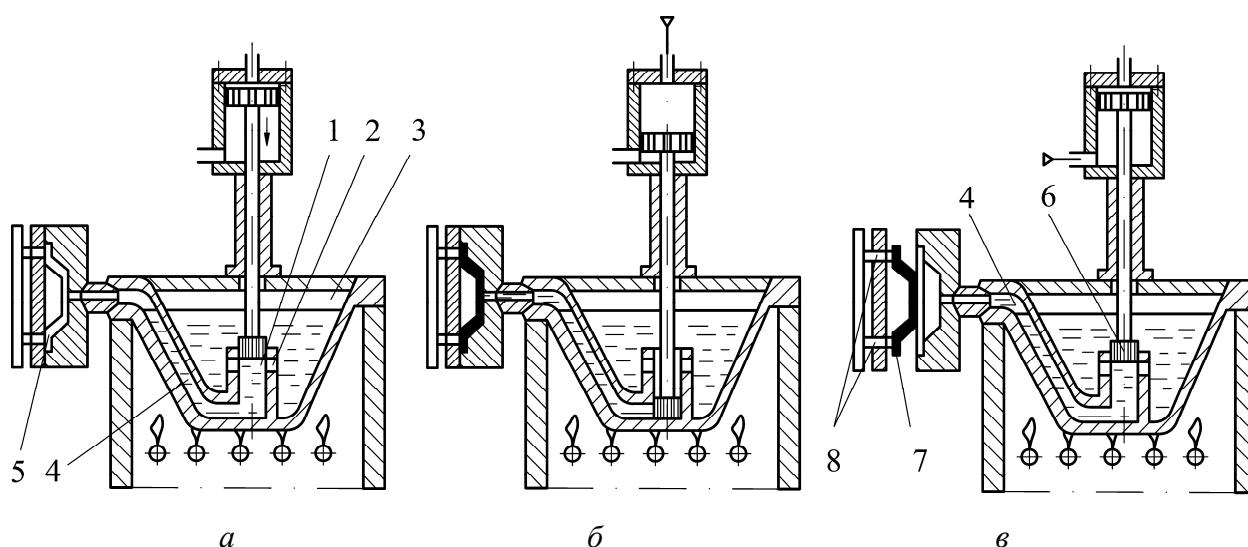
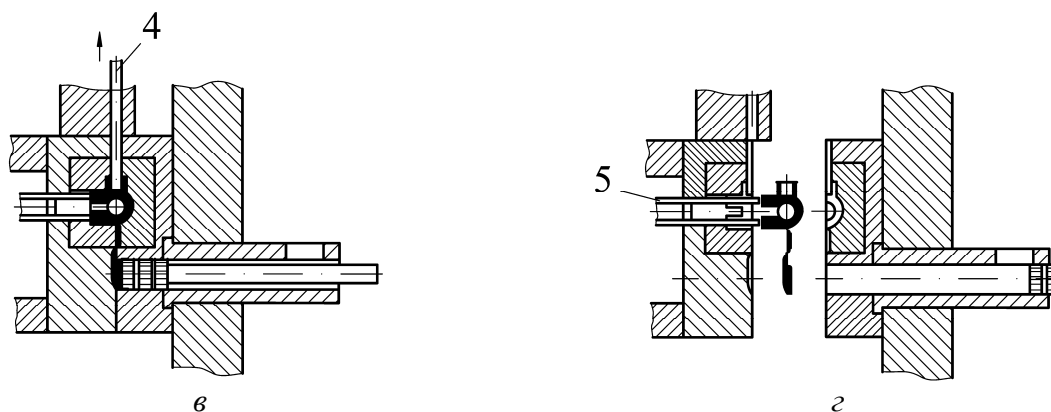


Рис. 1.20. Схема технологического процесса литья под давлением на машине с горячей камерой прессования: а – заполнение камеры прессования расплавом; б – запрессовка; в – раскрытие пресс-формы и выталкивание отливки; 1 – камера прессования; 2 – заливочное отверстие; 3 – тигель с расплавом; 4 – пресс-поршень; 5 – пресс-форма; 6 – пресс-поршень; 7 – отливка; 8 – толкатели

Дефекты отливок. Причины образования дефектов при литье под давлением могут быть связаны как с качеством приготовления сплава, так и с нарушениями специфических технологических требований, присущих данному способу литья. Различают дефекты в виде несплошностей тела отливки, несоответствия геометрических размеров требованиям чертежа и дефекты поверхности отливки.

Наиболее распространенными дефектами отливок, вызванными плохим качеством сплава, являются трещины, привар, низкие механические свойства, коррозия отливок. К специфическим дефектам отливок при литье под давлением можно отнести узорчатую поверхность, следы потоков метал-

ла, привар, задиры на поверхности отливки, нечеткие контуры отливки, газовые раковины и пористость.

Литье под низким давлением. Этим способом изготавливают отливки преимущественно из алюминиевых и реже из медных сплавов.

Сущность данного способа литья состоит в вытеснении газом жидкого металла из тигля раздаточной печи в литейную форму с регулированием давления сжатого газа по заданной программе. Помимо принудительного заполнения литейной формы, позволяющего получать крупногабаритные тонкостенные детали, в этом методе литья эффективно используют питание затвердевающей отливки жидким металлом из естественной прибыли – металлопровода. При этом необходимо обеспечить затвердевание отливки сверху вниз. Регулирование динамики потока металла осуществляется давлением сжатого газа в герметичной раздаточной печи.

Воздух или инертный газ под давлением до 0,1 МПа давит на зеркало расплава. Вследствие разницы между давлением в печи и атмосферным давлением расплав по металлопроводу поступает в форму. По окончании заполнения формы и затвердевания отливки давление газа над расплавом в печи снижается до атмосферного и остаток жидкого металла из металлопровода сливается в тигель. Форма раскрывается, отливка извлекается, после чего цикл повторяется.

При литье под низким давлением отливку можно изготавливать в кокиле, песчаной или комбинированной (кокиль с песчаными или оболочковыми стержнями) форме.

Основными преимуществами процесса литья под низким давлением являются: автоматизация трудоемкой операции заливки формы; возможность регулирования скорости потока расплава в полости формы; улучшение питания отливки; повышение ее плотности, благодаря избыточному давлению на расплав; снижение расхода металла на литниковую систему, так как незатвердевший металл из металлопровода сливается в тигель, что повышает коэффициент выхода годного до 90 %.

Наряду с указанными преимуществами способ литья под низким давлением имеет ряд недостатков: невысокую стойкость металлопровода, погруженного в расплав, что затрудняет использование способа для литья из сплавов с высокой температурой плавления; сложность системы регулирования скорости потока расплава в форме, вызванную динамическими процессами, происходящими в установке при заполнении ее камеры воздухом.

Преимущества и недостатки способам определяют рациональную область его применения и перспективы развития.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие материалы используют для изготовления кокилей?
2. С какой целью наносится краска на рабочую поверхность кокиля?
3. Назовите основные технологические операции при литье в кокиль.

4. С какой целью производится подогрев кокиля перед заливкой металла?
5. Перечислите основные преимущества процесса литья в кокиль.
6. Назовите характерные виды дефектов при литье в кокиль, причины их возникновения и меры предупреждения.
7. Опишите сущность процесса литья под давлением.
8. Какие отливки изготовляют литьем под давлением?
9. Назовите основные недостатки процесса литья под давлением.
10. В чем заключается принцип литья под низким давлением?

Лекция 7

Центробежное литье, литье в оболочковые формы

П л а н л е к ц и и

1. Центробежное литье.
2. Литье в оболочковые формы.

Центробежное литье

Центробежное литье – это способ изготовления отливок, при котором заполнение формы расплавом и его затвердевание происходит в поле действия центробежных сил.

Основные операции. Форма может вращаться вокруг горизонтальной, вертикальной или наклонной осей, а также одновременно вокруг горизонтальной и вертикальной осей.

Наиболее распространен способ литья во вращающиеся металлические формы с горизонтальной осью вращения (рис. 1.21). По этому способу отливка формируется со свободной поверхностью в поле центробежных сил, а формообразующей поверхностью служит внутренняя поверхность изложницы. Расплав заливается в изложницу через заливочный желоб и растекается по внутренней поверхности формы, образуя под действием центробежных сил пустотелый цилиндр.

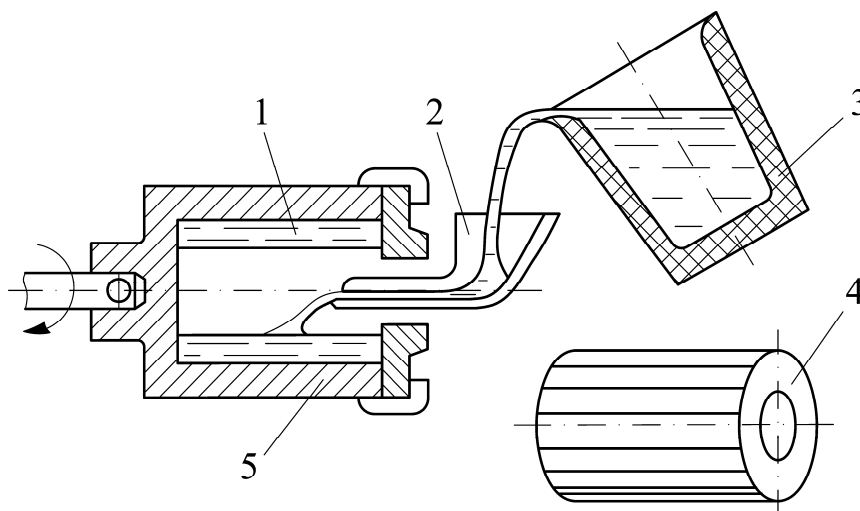


Рис. 1.21. Схема получения отливки при вращении формы вокруг горизонтальной оси: 1 – расплав; 2 – заливочный желоб; 3 – ковш; 4 – отливка; 5 – форма

После полного затвердевания металла и остановки машины отливка извлекается из формы. Этот способ обладает наиболее высоким коэффициентом выхода годного ($\approx 100\%$).

При получении отливок со свободной поверхностью при вращении формы вокруг *вертикальной оси* ([рис. 1.22](#)) расплав заливают в форму, укрепленную на шпинделе, приводимом в движение электродвигателем. Расплав под действием центробежных сил отбрасывается к стенкам формы и затвердевает.

Отливки с внутренней поверхностью сложной конфигурации получают с использованием стержней в формах с вертикальной осью вращения ([рис. 1.23](#)). Расплав через заливочное отверстие и стояк попадает в центральную полость формы, выполненную стержнями. Затем через щелевые питатели под действием центробежных сил расплав попадает в полость формы.

Центробежное литье принадлежит к литейным процессам, основные операции которых выполняются с использованием машин. В зависимости от назначения машины для центробежного литья разделяют на *универсальные*, предназначенные для изготовления отливок общего назначения; *труболитейные*, предназначенные для изготовления чугунных и стальных труб, в том числе труб большого диаметра; *специального назначения*, используемые для изготовления однотипных отливок в массовом производстве (гильзы двигателей внутреннего сгорания, биметаллические отливки и др.).

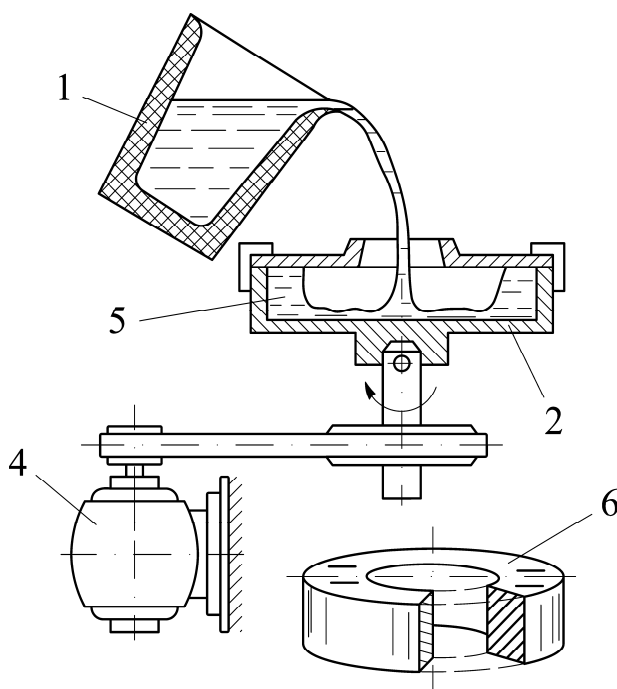


Рис. 1.22. Схема получения отливки при вращении формы вокруг вертикальной оси: 1 – ковш; 2 – форма; 3 – шпиндель; 4 – электродвигатель; 5 – расплав; 6 – отливка

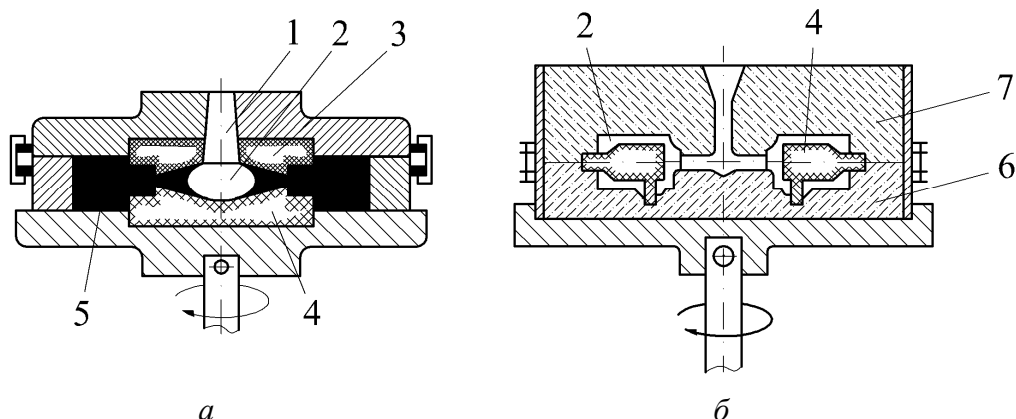


Рис. 1.23. Схема получения фасонных отливок: а – венцов шестерен; б – мелких фасонных отливок; 1 – стояк; 2 – рабочая полость; 3, 4 – стержни; 5 – избыток расплава (сверх массы отливки); 6 – нижняя полуформа; 7 – верхняя полуформа

В зависимости от расположения в пространстве оси вращения различают машины с горизонтальной, вертикальной и наклонной осью вращения. По конструктивному исполнению различают шпиндельные и роликовые машины и центробежные столы.

Основные требования, предъявляемые к машинам для центробежного литья: обеспечение вращения формы с требуемой частотой, регулирование частоты вращения в заданных условиях технологического процесса. Машина должна работать плавно, без вибраций, иметь прочные и удобные устройства для крепления и фиксации форм, устройство для подогрева и охлаждения изложниц.

Преимущества и недостатки литья. Заливка вращающейся формы и затвердевание отливки под действием центробежных сил обуславливают главные преимущества данного способа литья:

затвердевание металла под действием центробежных сил способствует получению плотных (без газовых, усадочных раковин и рыхлот) отливок с высокими механическими свойствами;

отсутствие литниковых систем и прибыльных надставок обеспечивает высокий коэффициент выхода годного;

при литье полых цилиндров и труб не требуется стержней для образования центрального отверстия.

Основными недостатками центробежного литья являются: неточность размеров свободных поверхностей отливок, повышенная склонность к ликвации компонентов сплава, повышенные требования к прочности литейной формы.

Область использования. Центробежным литьем получают литые заготовки, имеющие форму тел вращения: втулки, венцы червячных колес, ба-

рабаны бумагоделательных машин, трубы различного назначения, роторы электродвигателей, камеры сгорания реактивных двигателей, деталей пусковых установок. В некоторых случаях метод центробежного литья является единственно возможным.

Наибольшее применение центробежное литье находит при изготовлении втулок из медных сплавов, преимущественно оловянных бронз, и сложных фасонных отливок из титановых и других жаропрочных сплавов.

Втулки из медных сплавов получают в металлических изложницах, а отливки из титановых сплавов – в графитовых формах, изготовленных прессованием или по выплавляемым моделям. Венцы червяных колес из оловянистых бронз получают в песчаных формах, а рабочие колеса центробежных насосов – в металлических формах с песчаными стержнями.

Свойства металла, отлитого центробежным способом. Главная особенность процесса формирования отливок при центробежном литье заключается в том, что заполнение формы и затвердевание отливки происходят в поле действия центробежных сил, во много раз превосходящих силу тяжести.

При изготовлении отливок со свободной поверхностью расплав охлаждается в изложнице неравномерно по объему. Часть теплоты отводится от расплава в стенку изложницы и ее крышку, другая часть – конвекцией и излучением со стороны свободной поверхности. Воздух в полости отливки вовлекается во вращение и выходит из ее полости; на его место вдоль оси вращения поступает холодный воздух. Такая неравномерность охлаждения отливки приводит к возникновению конвекции в расплаве. Охлажденный более плотный расплав перемещается к стенкам формы, а горячий и менее плотный – к свободной поверхности расплава. Вследствие этого в расплаве возникают конвекционные потоки, циркулирующие в радиальном направлении, что способствует направленному затвердеванию в радиальном направлении и тем больше, чем больше частота вращения.

При направленном затвердевании от стенок изложницы фронт растущих в радиальном направлении кристаллов все время соприкасается с расплавом, что способствует улучшению питания отливок.

Свободная поверхность расплава затвердевает в последнюю очередь и остается геометрически правильной. Инородные включения (газы, шлак и т.д.), имеющие меньшую плотность, чем расплав, под действием силы, обусловленной разностью плотностей и гравитационным коэффициентом, интенсивно всплывают на свободную поверхность. Это приводит к необходимости назначать большие припуски на обработку свободных поверхностей отливки.

Центробежные силы способствуют направленному затвердеванию только тогда, когда выделяющиеся на свободной поверхности кристаллы твердой фазы имеют плотность большую, чем плотность остающегося расплава. Для большинства сплавов это условие соблюдается. Исключение составляют два случая: когда сплав затвердевает с увеличением объема (например, серый чугун) и когда выделяющиеся подвижные кристаллы обога-

щены компонентами сплава, имеющими меньшую плотность, чем остающийся расплав.

Ликвация сплавов под действием центробежных сил происходит при изготовлении отливок из сплавов, компоненты которых взаимно нерастворимы и не образуют эвтектик и химических соединений. К таким сплавам относятся, например, свинцовистая бронза.

Дефекты отливок и меры по их предупреждению. В процессе производства отливок способом центробежного литья возникает ряд характерных дефектов: мелкие спаи на поверхности при низкой температуре формы и металла, горячие трещины, плены в наружных слоях втулок, сквозные раковины при литье оловянных бронз.

Надежный контроль технологических параметров литья, автоматизированная дозировка металла позволяют до минимума свести потери от брака.

Литье в оболочковые формы

Литье в оболочковые формы является одним из прогрессивных технологических процессов, позволяющих получать отливки повышенной точности.

Литье в оболочковую форму – это литье металла, осуществляемое путем его свободной заливки в оболочковую форму.

Толщины стенок оболочковых форм соизмеримы с толщинами стенок отливок либо значительно меньше их; толщины стенок оболочковых форм в десятки раз меньше толщин стенок обычных разовых форм.

Оболочковые формы изготавливают из песчано-смоляных смесей, кварцевых или цирконовых песков и искусственных термореактивных смол с добавлением увлажнителей, растворителей и катализаторов, твердеющих в оснастке.

Преимущества и недостатки. Литье в оболочковые формы по сравнению с литьем в обычные формы имеет преимущества. Высокая прочность оболочковых форм позволяет делать их тонкостенными, что существенно снижает расход смесей. Повышенная точность размеров отливки дает возможность снизить припуски на механическую обработку вдвое по сравнению с отливками, полученными в песчано-глинистые формы; сокращаются затраты на обрубно-очистные операции. Следует также отметить такие положительные качества оболочковых форм, как податливость, негигроскопичность, газопроницаемость.

Недостатками процесса являются высокая стоимость формовочных материалов, необходимость оборудования и организации эффективной вентиляции из-за высокой газотворной способности смесей.

Технология изготовления оболочковых форм и стержней. Процесс изготовления оболочек включает в себя следующие операции ([рис. 1.24](#)). Предварительно нагретую плиту с металлическими моделями покрывают

смесью из песка и термореактивной синтетической смолы. Под действием тепла смола в слое смеси, прилегающем к моделям и плите, плавится, и на модельной плите образуется однородная полутвердая песчано-смоляная оболочка. После удаления избытка смеси модельную плиту с образовавшейся на ней полутвердой оболочкой дополнительно нагревают до полного ее затвердевания.

Твердую оболочку (полуформу) снимают с модельной плиты и соединяют ее с другой полуформой, проставляют стержни и скрепляют зажимами или склеивают. Оболочковые формы заливают в вертикальном или горизонтальном положении. Формы после заливки и затвердевания отливки легко разрушаются при выбивке.

При изготовлении оболочковых форм песчано-смоляную смесь можно наносить на модельную плиту различными способами: свободной засыпкой из поворотного бункера, пескодувным или пескоструйным способом.

Для предупреждения прилипания смесей к модельным плитам и облегчения съема оболочек применяют разделительные составы – смеси кремнийорганического термостойкого каучука и уайт-спирита. Разделительный состав наносят пульверизатором на рабочую поверхность модельной плиты и нагревают 1,5–2 ч при температуре 200–220 °С.

Процесс *изготовления оболочковых стержней* идентичен изготовлению полуформ. Оболочковые стержни изготавливают в металлических стержневых ящиках двумя способами: 1) насыпным, применяемым при ручном и механизированном изготовлении стержней; 2) пескодувным. Первый способ аналогичен тому, как изготавливают полуформы, только вместо модельной плиты на бункер устанавливается металлический стержневой ящик.

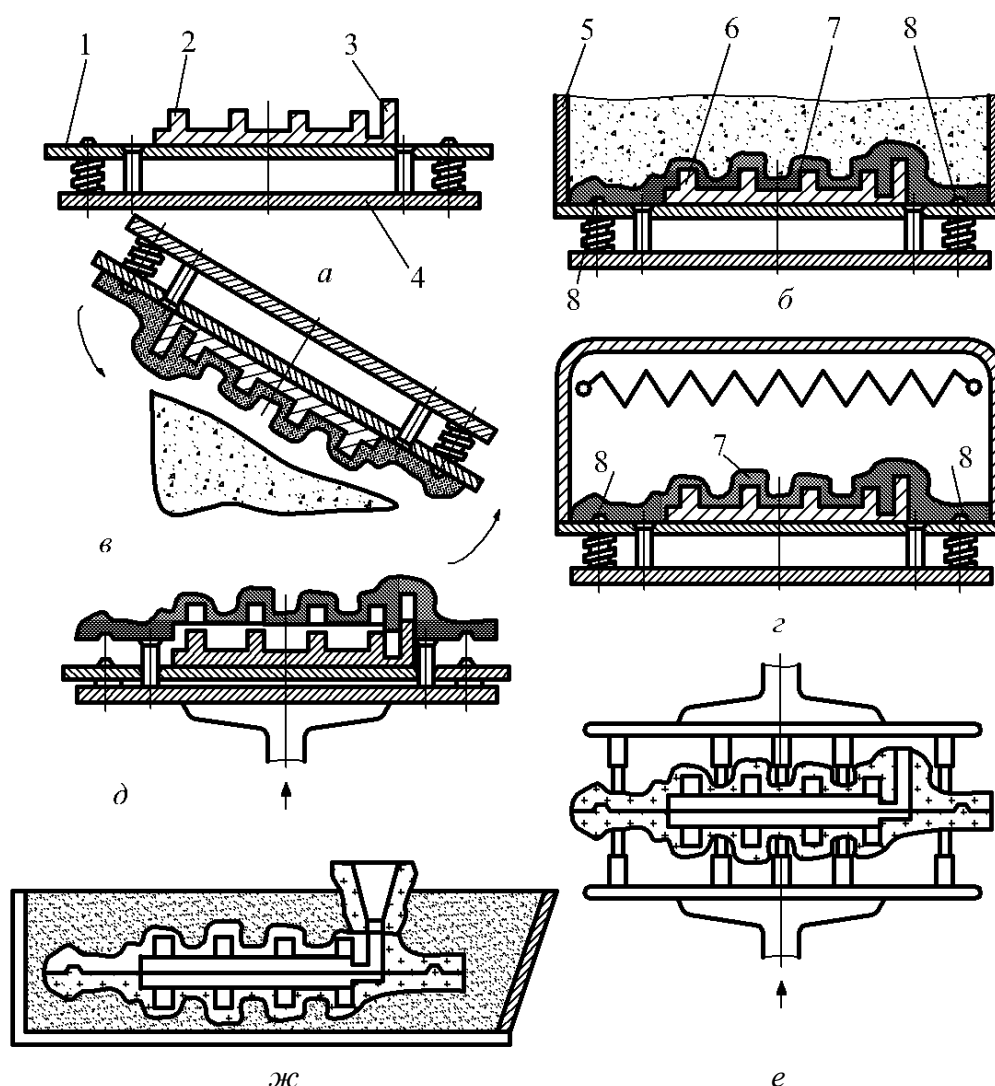


Рис. 1.24. Схема технологического процесса изготовления оболочковой формы: *а* – подготовка модельной оснастки; *б* – засыпка модельной плиты смесью; *в* – удаление излишков смеси; *г* – окончательное затвердевание оболочки в печи; *д* – съем оболочковой полуформы с модельной плиты; *е* – склеивание оболочковых полуформ; *ж* – подготовка формы к заливке; 1 – модельная плита; 2 – модель отливки; 3 – литниковая система; 4 – плита толкателей; 5 – бункер со смесью; 6 – смесь; 7 – формирующаяся оболочка; 8 – элементы центрирования оболочковой полуформы при будущей сборке

Более сложные оболочковые стержни изготавливают пескодувным способом на специальных установках.

Стержневой ящик нагревают в печи до температуры 200–250 °С в течение 10–20 мин. Рабочую поверхность покрывают разделительным составом, снова прогревают 3–4 мин, засыпают песчано-смоляной смесью и выдерживают 15–20 с. Время выдержки зависит от температуры нагрева ящика и требуемой толщины оболочки. По истечению указанного времени излишек смеси высыпают из ящика. Стержни вместе с ящиком помещают в печь с

температурой 300–450 °С и выдерживают 30–45 с для завершения второй стадии полимеризации. После этого стержень извлекают из ящика.

Способы плакирования формовочного песка. Формовочная смесь для оболочковых форм состоит из кварцевого песка, термореактивной смолы (5–8 %) и увлажнителя (1,0–1,2 %). В качестве смол чаще применяются термореактивные смолы, в качестве увлажнителя – фурфурол, керосин, машинное масло.

Процесс обволакивания зерен песка смолой называют плакированием. Различают холодное и горячее плакирование.

В процессе *холодного плакирования* смолу растворяют в растворителе (технический спирт или ацетон) и смешивают с песком при 20 °С в бегунах. При перемешивании зерна песка обволакиваются пленкой раствора смолы. Смесь продувают воздухом, растворитель испаряется, и смесь постепенно высыхает. Этот способ плакирования применяется редко из-за повышенной взрыво- и пожароопасности.

При *горячем плакировании* сухой песок предварительно нагревается до 110–130 °С, а затем смешивается со смолой, которая при этом нагревается, плавится и обволакивает зерна песка. Далее в смесь вводят уротропин и другие необходимые технологические добавки. После завершения перемешивания смесь охлаждают и просеивают. Процесс горячего плакирования требует тщательного контроля температурных режимов – начальной температуры песка при вводе в смеситель и температуры смеси в момент ввода уротропина. Нарушение этих режимов приводит к получению некачественных смесей. Для горячего плакирования песка необходимо более сложное оборудование, чем для холодного плакирования.

Формовочные смеси изготавливаются в шнековых, лопастных и других смесителях.

Область использования. Литьем в оболочковые формы получают сложные фасонные отливки массой до 200 кг и с максимальными размерами до 1 500 мм. Наиболее эффективно изготовление этим способом отливок массой 5–15 кг в условиях крупносерийного и массового производства.

Дефекты отливок. При литье в оболочковые формы наиболее часто возникают следующие дефекты:

газовые раковины (из-за повышенного содержания связующего или неравномерного его распределения в смеси, из-за применения песка, вызывающего низкую газопроницаемость оболочковых форм и стержней, из-за трещин в оболочковой форме или стержне);

повышенная шероховатость (из-за местных дефектов оболочковых форм или стержней);

спаи (из-за несоответствия конструкции отливки требованиям технологии, плохой жидкотекучести сплава, низкой температуры заливки, медленного заполнения форм);

трещины горячие и холодные (из-за низкой податливости оболочковых форм и стержней);

усадочные раковины (из-за неправильной конструкции отливки, не обеспечивающей ее достаточное питание в процессе затвердевания).

Анализ вида брака показал, что основным видом брака, возникающим при литье в оболочковые формы, являются трещины.

Надежный контроль технологических параметров литья в оболочковые формы позволяет сократить потери от брака.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите основные типы отливок, получаемые центробежным литьем.
2. Опишите типы литейных машин, предназначенных для получения отливок центробежным литьем.
3. Как влияют центробежные силы на структуры отливок?
4. Назовите основные требования, предъявляемые к машинам для центробежного литья.
5. Каковы главные преимущества и недостатки центробежного литья?
6. Раскройте сущность литья в оболочковые формы.
7. Назовите материалы, используемые для изготовления оболочковых форм.
8. При каких температурах происходит полимеризация отвердителя при изготовлении оболочковых стержней?
9. Как осуществляется формовка оболочек перед заливкой расплава?
10. Назовите преимущества способа литья в оболочковые формы.

Лекция 8

Литье по выплавляемым моделям

П л а н л е к ц и и

1. Основные операции получения отливки.
2. Технология изготовления моделей и керамических форм. Заливка форм, обрубка и очистка отливок.
3. Механизация и автоматизация процесса. Контроль отливок.

Основные операции получения отливки

Сущность литья по выплавляемым моделям заключается в использовании точной неразъемной разовой модели, по которой из жидких формовочных смесей изготавливается неразъемная керамическая форма. Перед заливкой расплава модель удаляется из формы выплавлением, выжиганием, растворением или испарением; для удаления остатков модели и упрочнения форма нагревается до высоких температур.

Модель или звено моделей изготавливают в разъемной пресс-форме, рабочая поверхность которой имеет конфигурацию отливки с припусками на усадку и механическую обработку.

Модель изготавливают из материалов с невысокой температурой плавления (воск, парафин, стеарин), способных растворяться (карбамид) или сгорать без образования твердых остатков (полистирол). Готовые модели или звено моделей собирают в блоки, литниковые системы которых выполняют из того же материала, что и модели. Блок моделей погружают в емкость с жидкой формовочной смесью – суспензией для оболочковых форм, состоящей из пылевидного кварца или электрокорунда и связующего. Для упрочнения этого слоя и увеличения его толщины на него наносят слой огнеупорного зернистого материала (кварцевый песок, электрокорунд, шамот). Операцию нанесения суспензии и обсыпки повторяют до получения оболочки требуемой толщины (3–10 слоев).

Каждый слой высушивают на воздухе или в парах аммиака, что зависит от связующего. После сушки оболочковой формы модель удаляют из нее выплавлением, растворением, выжиганием или испарением. Для упрочнения перед заливкой оболочковую форму помещают в контейнер и засыпают огнеупорным материалом. Для удаления остатков моделей и упрочнения связующего контейнер с оболочковой формой помещается в печь для прокали. Прокаленную форму заливают металлом. После затвердевания и охлаждения отливки до заданной температуры форму выбивают, отливки очищают от остатков керамики и производят обрезку литников.

Последовательность операций при изготовлении оболочковых форм по выплавляемым моделям показана на [рис. 1.25](#).

Отсутствие операции разъема формы, использование для изготовления моделей материалов, позволяющих не разбирать форму при удалении моделей, высокая огнеупорность материалов формы, нагрев ее до высоких

температур перед заливкой дают возможность получать отливки сложнейшей конфигурации, максимально приближающейся к конфигурации готовой детали, поэтому литье по выплавляемым моделям относится к прогрессивным материало- и трудосберегающим технологическим процессам обработки металлов.

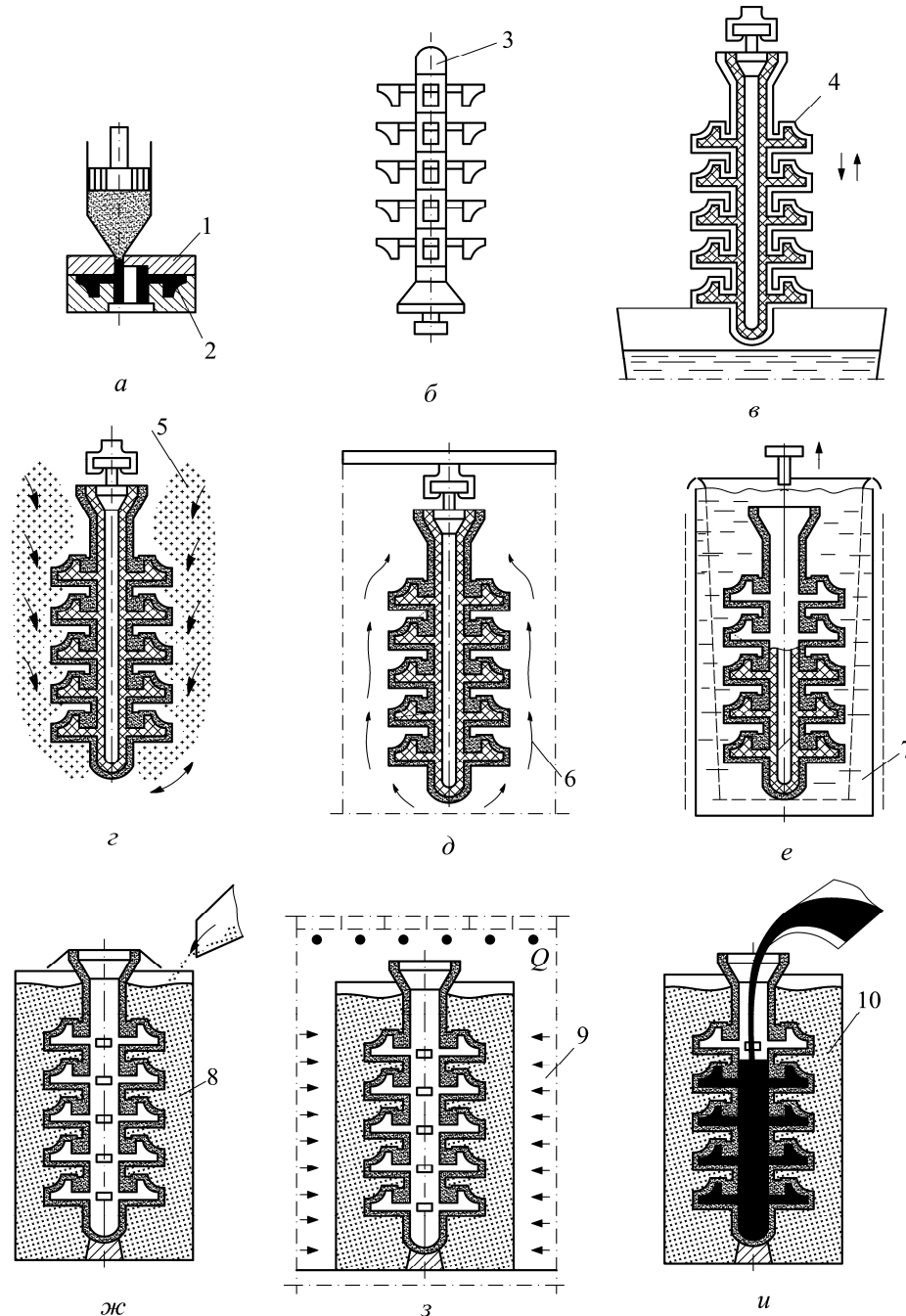


Рис. 1.25. Последовательность изготовления многослойной оболочковой формы по выплавляемым моделям: а – запрессовка модельного состава в пресс-форму; б – сборка блока; в – нанесение на блок суспензии; г – обсыпка огнеупорным зернистым материалом; д – сушка; е – удаление модели; ж – засыпка опорным материалом; з – прокалка в печи; и – заливка формы расплавом; 1 – пресс-форма; 2 – модель; 3 – блок моделей отливок и литниковой системы; 4 – слой суспензии; 5 – огнеупорный зернистый материал; 6 – пары аммиака; 7 – горячая вода; 8 – опорный материал; 9 – печь; 10 – прокаленная форма; Q – подвод теплоты

Технология изготовления моделей и керамических форм.**Заливка форм, обрубка и очистка отливок**

Изготовление моделей. Для изготовления выплавляемых моделей используют смеси и сплавы легкоплавких материалов, чаще всего органического происхождения. В качестве исходных материалов применяют буроугольный воск, церезин, парафин, стеарин, канифоль, этилцеллюлозу и др.

Модельные составы должны обладать следующими свойствами:

температура плавления 60–100 °С;

температура размягчения 35–45 °С;

хорошая жидкотекучесть;

минимальная линейная и объемная усадка;

минимальная зольность и неприлипаемость к поверхности пресс-форм;

хорошая смачиваемость облицовочными составами;

минимальное выделение паров при нагревании и сгорании;

возможность многократного использования.

Технологический процесс приготовления модельного состава зависит от входящих в него компонентов. Чаще всего приготовление модельного состава и расплавление возврата производится в специальных термостатах с водяным обогревом.

Заполнение пресс-формы модельным составом осуществляется свободной заливкой расплавленной массы, запрессовкой в пастообразном состоянии, заливкой и запрессовкой под высоким давлением.

Основным способом изготовления моделей является запрессовка состава в рабочую полость пресс-формы. Это обеспечивает хорошую точность и чистоту поверхности моделей. Для выполнения этой операции применяют установки, на которых приготовление пасты из жидкого расплава и запрессовка модельной массы в пресс-формы производится автоматически.

[На рис. 1.26](#) приведена схема запрессовки модельной массы в пресс-форму. Перед запрессовкой модельной массы стенки пресс-формы смазывают касторовым или трансформаторным маслом, смешанным с этиловым спиртом.

Готовые модели хранятся в холодной проточной воде или в термостатах. Одновременно с изготовлением модели отливки изготавливают модели элементов литниковой системы: стояка и воронки. Затем модели собирают в блоки («елки») с помощью припайки моделей отливки к моделям литниковой системы.

Изготовление оболочки. Процесс изготовления литейной формы включает подготовку материалов, формирование огнеупорной оболочки на поверхности моделей, удаление модели из оболочки, формовку оболочки в наполнителе и прокалку формы.

Исходными материалами для изготовления оболочки являются кварцевый песок, пылевидный кварц, гидролизированный раствор этилсиликата и 15 %-й раствор едкой щелочи.

Этилсиликат – сложное химическое соединение, основой которого является эфир ортокремниевой кислоты, содержащий до 45 % окиси кремния.

Для придания этилсиликату вяжущих свойств осуществляют операцию его гидролиза в смеси воды, этилового спирта или ацетона и соляной кислоты. В результате гидролиза образуется золь кремниевой кислоты, обладающий высокими вяжущими свойствами.

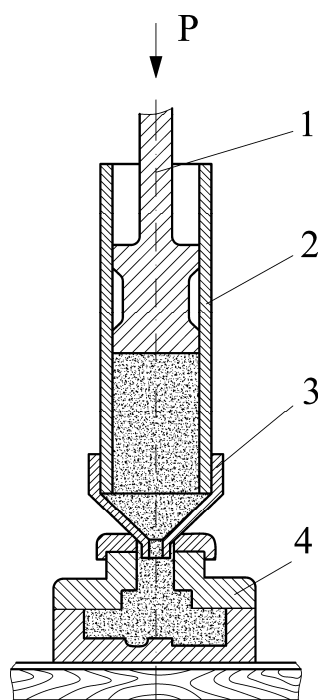


Рис. 1.26. Схема запрессовки модельной массы в пресс-форму: 1 – шток; 2 – цилиндр; 3 – наконечник; 4 – пресс-форма

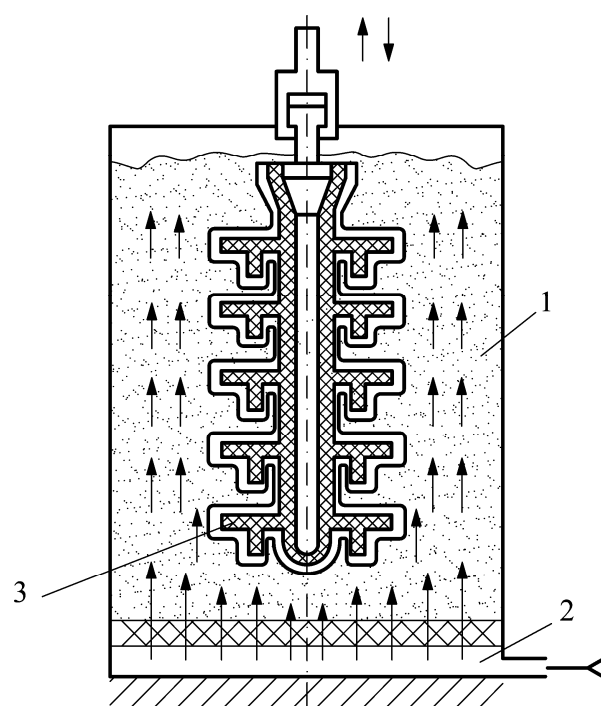


Рис. 1.27. Схема установки для обсыпки блока моделей в «кипящем» слое песка

Огнеупорную суспензию рекомендуется готовить в специальных смесителях. В бак загружается пылевидный кварц и добавляется связующее – гидролизированный раствор этилсиликата. Смесь тщательно перемешивается до полного удаления пузырьков воздуха.

Суспензию наносят на блоки моделей окунанием их в ванну с суспензией, а на крупные блоки и модели – обливанием. В зависимости от характера производства и степени механизации блок моделей погружают в ванну вручную, с помощью манипуляторов или копирующих устройств на цепных конвейерах. Блок погружают так, чтобы с поверхности моделей, особенно из глухих полостей, отверстий могли удалиться пузырьки воздуха. Вынутый из суспензии блок моделей поворачивают в различных направлениях так, чтобы суспензия равномерно распределилась по поверхности моделей, а излишки ее стекли назад в бак. После этого модельный блок сразу обсыпается песком; между нанесением суспензии и обсыпкой песком не должно проходить более 10–15 с, так как суспензия быстро сохнет и песок не соединяется с ней. Суспензию в баке непрерывно перемешивают, чтобы предотвратить оседание огнеупорного материала. Для нанесения песка на слой суспензии используют погружение модельного блока в слой «кипящего» песка.

Установки для обсыпки блока моделей в слое «кипящего» песка (рис. 1.27) состоит из емкости с песком, в ее нижней части расположена по-

лость 2, в которую подводится сжатый воздух. Полость отделена от емкости с песком 1 сеткой, на которой уложен слой войлока. Воздух, проходя через войлок, переводит песок во взвешенное состояние, и песок обсыпает модельный блок 3.

После нанесения каждого слоя суспензии и обсыпки его высушивают в потоке воздуха или в парах аммиака. Продолжительность сушки и обсыпки каждого слоя суспензии на воздухе составляет 2–4 ч, а в парах аммиака – 50–60 мин. Сушку производят в вертикальных или горизонтальных многоярусных сушилах.

В зависимости от материала моделей используют различные способы их удаления из оболочки. Модели из выплавляемых воскообразных составов удаляют из формы погружением блока моделей в горячую воду или ванну с модельным составом. Этот способ получил наибольшее применение на производстве. Полистироловые выжигаемые модели удаляются из форм выжиганием или растворением в бензоле, ацетоне. Выжигание сопровождается выделением большого количества паров стирола, углеводородов, сажи. Во всех случаях при выжигании, растворении полистироловых моделей должна быть обеспечена хорошая приточно-вытяжная вентиляция с последующей очисткой удаляемого в атмосферу воздуха.

После удаления из блока легкоплавкого модельного состава оболочки формуют в жаропрочной опоке; засыпают наполнитель, уплотняют его, а затем форму прокаливают в газовых или электрических печах при температуре 850–900 °С и выдерживают при этой температуре не менее двух часов, после чего формы поступают на участок заливки.

Изготовление отливки. Заливка форм металлом может производиться различными способами в зависимости от размера и веса отливок, состава сплава, назначения отливок. Заливка может быть:

свободная – металл заполняет форму под действием собственного веса;
на центробежных машинах – металл заполняет форму и затвердевает под действием центробежных сил.

После охлаждения форм производят выбивку отливок на специальных установках с поворотом опок на 180° для того, чтобы из опок высыпался наполнитель.

Отделение отливок от литников осуществляют следующими способами: на вибрационных установках; продавливанием стояка с отливками через обрезной штамп; отрезкой дисковыми и ленточными пилами; отрезкой газовыми горелками.

Очистка отливок от огнеупорного покрытия является очень трудоемкой операцией. На практике применяют вибрационную, пескоструйную, гидрореспектоструйную, химико-термическую в растворах щелочей и кислот, а также в расплавленных солях и другими способами.

Механизация и автоматизация процесса. Контроль отливок

Литье по выплавляемым моделям – процесс многооперационный.

Манипуляторные операции при изготовлении и сборке моделей, нанесение суспензии на модель и другие достаточно сложны и трудоемки, что осложняет автоматизацию процесса.

Процесс состоит из ряда длительных операций, определяющих производительность: послойное формирование и сушка слоев оболочковой формы на модели, прокаливание формы.

Качество отливок, полученных данным способом, существенно зависит от стабильности качества исходных материалов для изготовления моделей, суспензии, формы, а также от стабильности режимов технологического процесса. Это осложняет автоматизацию управления технологическим процессом.

В зависимости от характера производства (единичное, серийное, массовое), номенклатуры отливок и предъявляемых к ним требований проблема автоматизации производства решается различно.

В серийном производстве осуществляется автоматизация отдельных операций, таких, как изготовление моделей или звеньев модельных блоков, приготовление суспензии и др.

В массовом производстве отливок используют автоматизированные линии, выполняющие следующие операции: приготовление модельных составов; изготовление моделей; приготовление суспензий; изготовление оболочек; их прокаливание; заливку расплава; очистку отливок. Такие линии позволяют комплексно автоматизировать все производство.

Контрольные вопросы и задания

1. Опишите технологические операции изготовления форм при литье по выплавляемым моделям.
2. Какие материалы используют для изготовления выплавляемых моделей?
3. Для каких целей используются пресс-формы в технологическом процессе литья по выплавляемым моделям?
4. Назовите состав жидкой формовочной смеси – суспензии для формирования оболочки.
5. Опишите процесс изготовления оболочки при литье по выплавляемым моделям.
6. Какие требования предъявляются к модельным составам?
7. Назовите способы заполнения пресс-форм модельным составом.
8. Для чего производят гидролиз этилсиликата при изготовлении оболочек?
9. При каких температурах производится выплавка модельного состава и прокалка форм перед заливкой?
10. Опишите достоинства и недостатки литья по выплавляемым моделям.

Лекция 9

Получение слитков непрерывным и полунепрерывным способами

П л а н л е к ц и и

1. Особенности технологического процесса непрерывного и полунепрерывного литья слитков.
2. Литейные машины и их узлы.
3. Особенности технологии литья слитков из алюминиевых, магниевых и медных сплавов. Термообработка слитков.
4. Дефекты слитков и меры их предупреждения.

Особенности технологического процесса непрерывного и полунепрерывного литья слитков

Слитком называют отливку определенной формы и размеров, предназначенную для дальнейшей обработки давлением, т.е. прокаткой, прессованием, штамповкой, ковкой, волочением и т.д.

В зависимости от назначения слитки могут быть плоскими (в виде плит), цилиндрическими, цилиндрическими полами, а также могут иметь любое несложное по конфигурации сечение.

Методов литья слитков известно довольно большое количество. По основным признакам формирования их можно разделить на две группы:

- 1) наполнительное литье;
- 2) полунепрерывное и непрерывное литье слитков.

Наполнительным является такое литье, при котором форма и размер слитка определяются полостью изложницы.

Непрерывным называется литье, при котором слиток может быть получен любой требуемой длины, а литье может продолжаться сколько угодно долго. При этом кристаллизатор остается неподвижным, а слиток вытягивается с заданной скоростью.

Уровень жидкого металла в кристаллизаторе поддерживается постоянным, а отлитый слиток режется на мерные заготовки специальными устройствами, двигающимися синхронно со скоростью вытягивания слитка.

Полунепрерывное литье отличается от непрерывного тем, что оно ведется непрерывно только до получения слитка заданной длины, после чего литье прекращается, слитки извлекаются и цикл повторяется.

Процесс непрерывного литья осуществляется следующим образом ([рис. 1.28](#)). Расплав равномерно и непрерывно подается в водоохлаждаемую форму – кристаллизатор. Затвердевшая часть слитка непрерывно извлекается валками или опускается под действием собственного веса.

Особенности процесса формирования непрерывной отливки обусловлены тем, что в кристаллизаторе в разных его зонах по высоте в каждый момент одновременно происходят все последовательные стадии охлаждения и затвердевания расплава:

- I – заполнение кристаллизатора расплавом;
- II – отвод теплоты перегрева;
- III – кристаллизация;
- IV – охлаждение слитка.

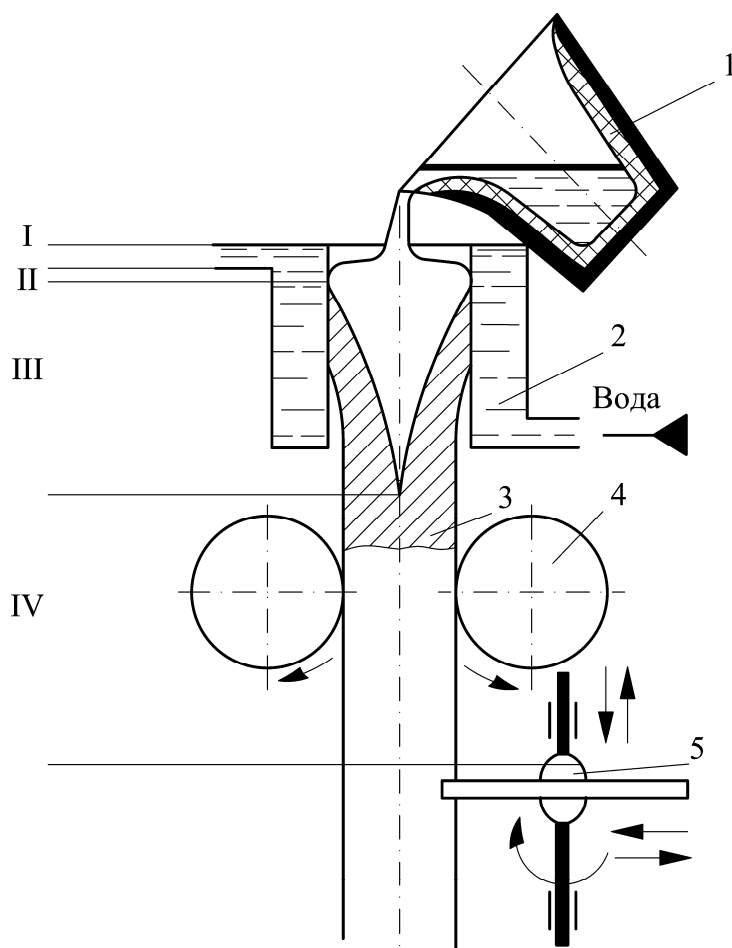


Рис. 1.28. Схема получения отливок при непрерывном литье:
1 – ковш; 2 – кристаллизатор; 3 – затвердевшая часть отливки; 4 – валки; 5 – пила; I–IV – температурные зоны

Высокая интенсивность охлаждения расплава способствует его направленной кристаллизации, уменьшению ликвационной неоднородности, а непрерывная подача расплава в верхнюю часть затвердевающего слитка – постоянному питанию фронта растущих кристаллов, устранению усадочных дефектов, рыхлот, пористости.

Как правило, заготовки, полученные способом непрерывного литья, имеют плотное, без усадочных дефектов строение, малоликвационную неоднородность и газосодержание, чистую поверхность и высокую точность размеров.

Наряду с указанными особенностями формирования отливки, способствующими повышению качества металла, процесс непрерывного литья обеспечивает ряд преимуществ над наполнительными способами получения слитков: возможность получения слитков постоянного поперечного сечения неограниченной длины, увеличение выхода годного, уменьшение расходов на изготовление изложниц, улучшение качества металла, точности размеров,

улучшение поверхности слитков, автоматизация процесса создания непрерывно действующих высокопроизводительных комплексов, полное исключение трудоемких ручных операций, существенное улучшение условий труда и уменьшение вредного воздействия на окружающую среду.

Важнейшим технологическим параметром процесса непрерывного литья является интенсивность охлаждения расплава, определяющая скорость кристаллизации, качество слитка, а также производительность процесса.

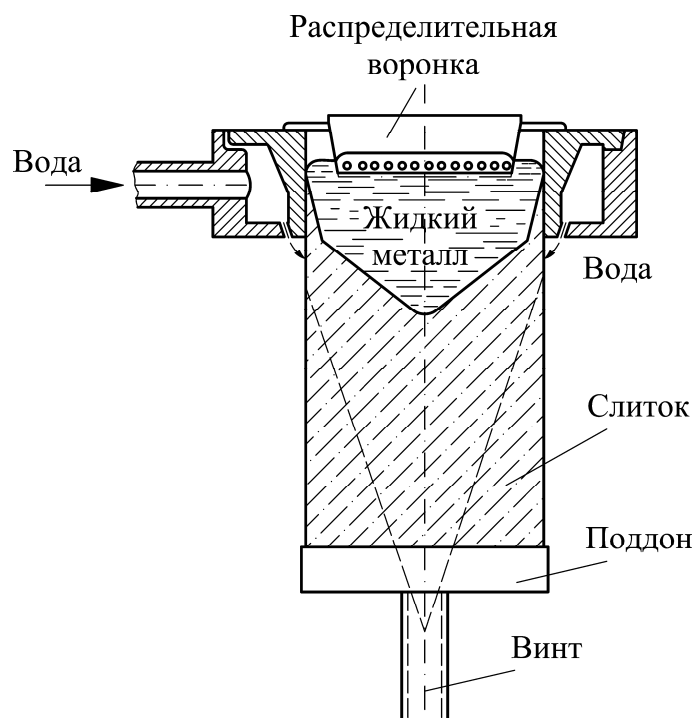


Рис. 1.29. Схема непрерывного литья, при котором вода из изложницы подается непосредственно на поверхность слитка

Интенсивность отвода теплоты от расплава в кристаллизаторе ограничена тем, что вследствие усадки отливки между кристаллизующейся корочкой металла и стенками кристаллизатора образуется зазор, снижающий скорость охлаждения слитка. Для повышения интенсивности охлаждения слитка процесс осуществляется так, что в коротком кристаллизаторе формируется только корочка толщиной, достаточной для того, чтобы при ее выходе из кристаллизатора не образовывалось надрывов и трещин, а основное количество теплоты отводят непосредственно подачей воды на слиток через ряд отверстий в нижней кромке кристаллизатора или через щель по периметру кристаллизатора (рис. 1.29).

Литейные машины и их узлы

Современный литейный комплекс для производства слитков полунепрерывным методом включает в себя следующие агрегаты:

раздаточную печь (миксер) с электрическим или газовым обогревом, служащую для приготовления сплава заданного состава, поддержания заданной технологической температуры и дозирования подачи на литейную машину;

установку внепечного рафинирования расплава (рис. 1.30), служащую для очистки расплава от газов, металлических и неметаллических примесей;
установку для подачи модифицирующих добавок ([рис. 1.31](#));
камеру фильтрации через пенокерамические или насыпные фильтры (рис. 1.30);
литейную машину вертикального или горизонтального типа для отливки плоских, цилиндрических слитков и других заготовок.

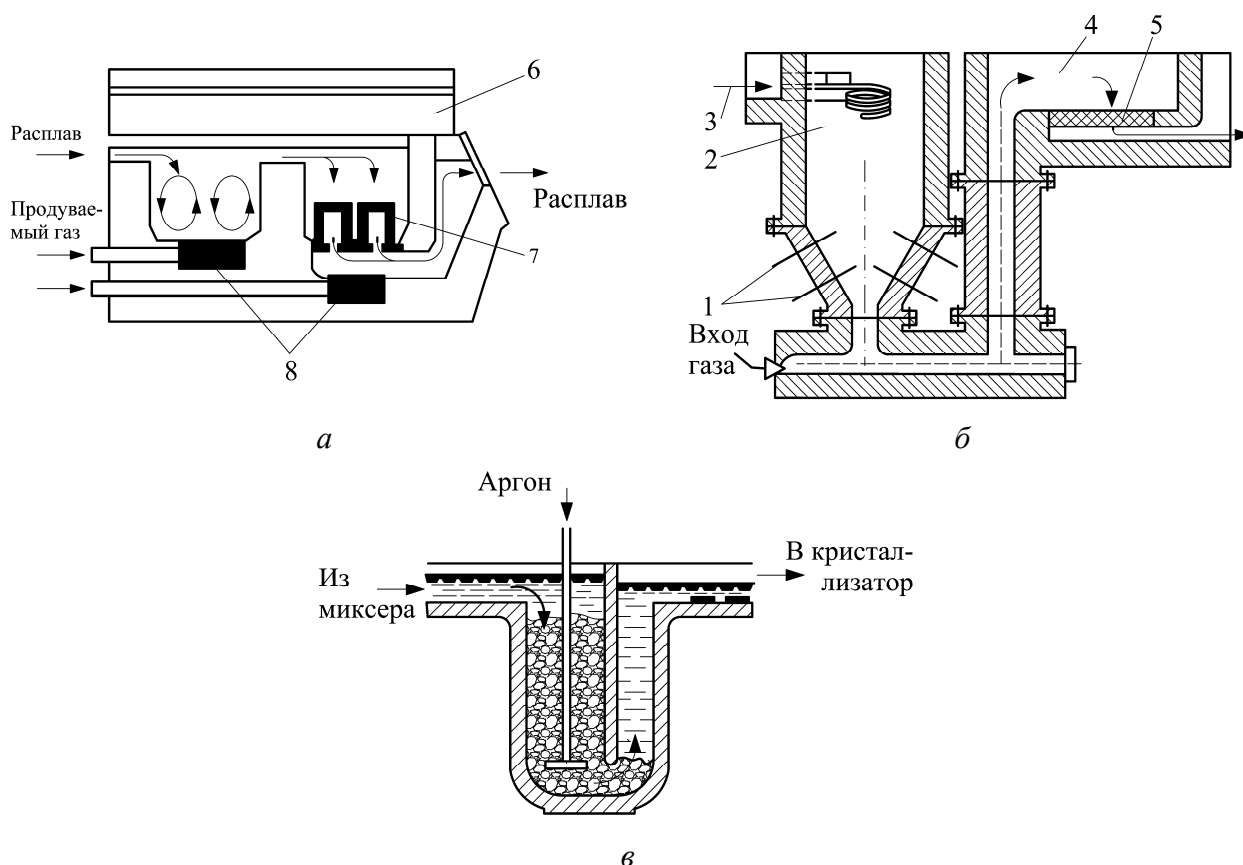


Рис. 1.30. Схема установок для дегазации алюминиевых сплавов фирмы «Alcoa» (а), системы MINT фирмы «Consolidated Aluminium» (б) и системы MULTICAST фирмы Metal lics» (в): 1 – сопло; 2 – реактор; 3 – входное отверстие; 4 – чаша фильтра; 5 – фильтр из керамической пены; 6 – обогреваемая крышка; 7 – фильтр-трубки; 8 – продувные камни

В зависимости от привода литейные машины бывают следующих типов: винтовые, цепные, тросовые и машины с гидравлическим приводом.

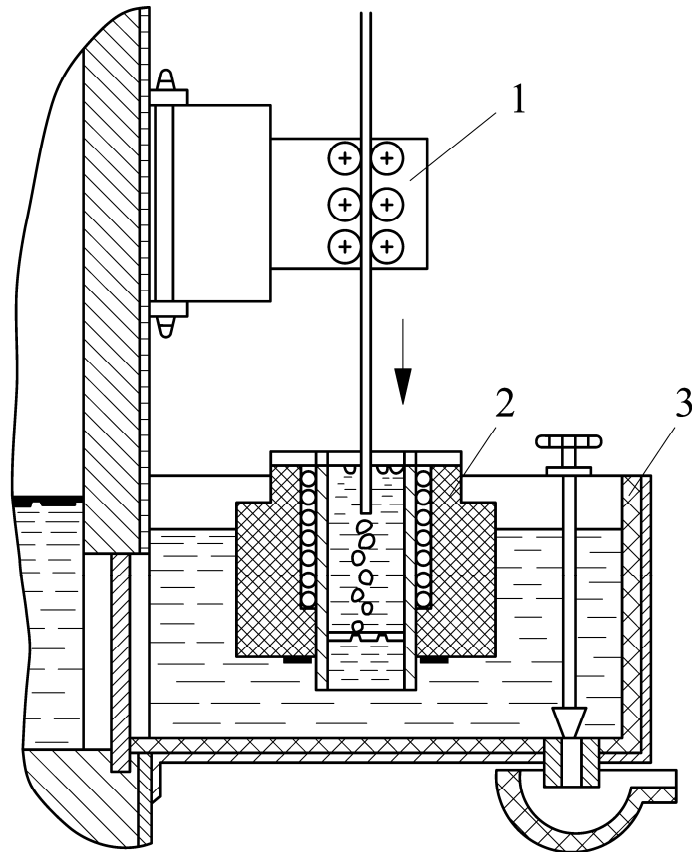


Рис. 1.31. Принципиальная схема непрерывного модифицирования лигатурным прутом: 1 – привод; 2 – рафинирующее устройство; 3 – прилётчатая коробка



Рис. 1.32. Кристаллизатор

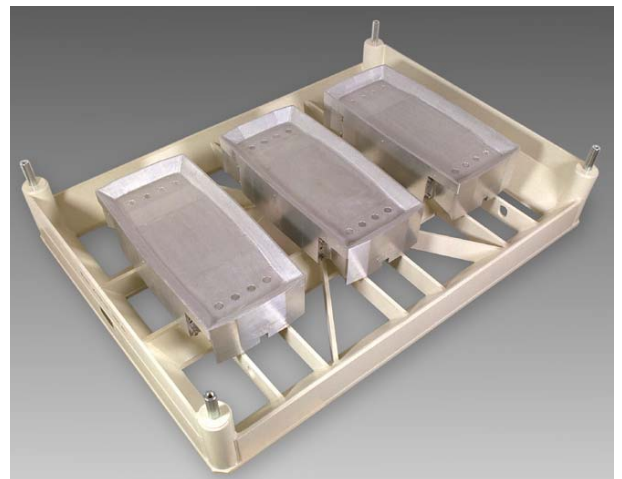


Рис. 1.33. Поддон

Литейные машины с гидравлическим приводом наиболее перспективны, так как по сравнению с другими типами машин обладают целым рядом достоинств: большой грузоподъемностью (до 120 т), позволяющей вести од-

новременную отливку 4–6 крупногабаритных плоских или до 140 цилиндрических слитков; широким диапазоном регулирования скорости литья и хорошей плавностью хода; возможностью полной автоматизации процесса литья под управлением оператора.

Основные узлы литейной гидравлической машины – привод, гидроцилиндр, литейный приямок (кессон), стол для монтажа литейной оснастки.

Основными элементами литейной оснастки являются:

кристаллизатор (формообразователь), определяющий форму, размеры и качество отливаемого слитка ([рис. 1.32](#));

поддон, служащий для формирования донной части слитка и запира-
ния кристаллизатора в момент подачи первых порций расплава ([рис. 1.33](#));

коллектор-охладитель, регулирующий подачу воды для охлаждения кристаллизатора и вторичного охлаждения слитка.

Особенности технологии литья слитков из алюминиевых, магниевых и медных сплавов. Термообработка слитков

При литье слитков из алюминиевых и магниевых сплавов высота кристаллизаторов составляет 70–140 мм. Как правило, кристаллизаторы изготовляют из алюминиевых сплавов (АМц, Д1 и Д16). Для отливки медных сплавов из-за повышенной температуры разливки материал кристаллизатора должен быть более тугоплавким – медь и медные сплавы, нередко используются графитовые кристаллизаторы. Медные и графитовые кристаллизаторы также используются при непрерывном литье слитков из стали и чугуна, при этом высота кристаллизаторов достигает 1 000 мм и более.

После отливки слитков большая часть их в зависимости от состава сплава, из которого они отлиты, проходит термическую обработку.

К термической обработке слитков относят гомогенизацию (гомогенизирующую обработку) и отжиг (гетерогенизирующую обработку).

Гомогенизацию слитков широко применяют в промышленности уже много лет. Ее проводят при температурах, приближающихся к температуре солидуса сплава, т.е. лежащих выше границы растворимости основных легирующих элементов.

Гомогенизация слитков позволяет устранить или уменьшить дендритную ликвацию, повысить способность материала к горячему и холодному деформированию; улучшить механические свойства полуфабрикатов, особенно по толщине, а также снять внутренние напряжения, возникшие в слитке при затвердевании.

Отжиг слитков проводят при температурах, достаточных для снятия внутренних напряжений. Для большинства сплавов, упрочняемых термической обработкой, этот интервал температур соответствует минимальной устойчивости твердого раствора.

Целью отжига является устранение внутренних напряжений в слитке и разупрочнение сплава, получившего полную или частичную закалку в процессе кристаллизации и последующего охлаждения.

Дефекты слитков и меры их предупреждения

При непрерывном литье слитков могут возникать дефекты на поверхности и внутри слитка. Рассмотрим наиболее характерные из них.

Наплывы ([рис. 1.34](#)) – это дефекты в виде выступов застывшего металла слитка, в том числе другого химического состава (ликвационные наплывы).

Причинами образования наплывов являются: завышенная температура литья, недостаточное охлаждение, выдавливание остаточной жидкой фазы из центра слитка на поверхность через междендритные каналы в корочке слитка.

Для снижения образования наплывов необходимо установить скорость литья в зависимости от температуры металла, подобрать режим охлаждения кристаллизатора и вторичного охлаждения, обеспечить постоянный уровень расплава в кристаллизаторе.

Неслитина – дефект, выходящий на поверхность в виде чередующихся углублений, перпендикулярных оси слитка. Неслитина представляет собой несплошность, образовавшуюся из-за неслияния потоков металла при кристаллизации.



Рис. 1.34. Наплывы на широкой грани



Рис. 1.35. Неслитина на широкой грани плоского слитка

Причиной образования неслитин является заниженная скорость литья и температура металла, непостоянный уровень в кристаллизаторе (рис. 1.35).

Надыры и *надрывы* – это дефекты поверхности, связанные с плохой полировкой и смазкой кристаллизатора, неправильной их установкой. Для предупреждения данных дефектов необходимо зачистить поверхность кристаллизатора, проверить качество смазки и равномерность ее нанесения на стенки кристаллизатора.

Кривизна слитков появляется из-за неисправностей литейной машины – это кривизна направляющих (большого люфта между рамой поддонов и на-

правляющими), неправильная установка поддона и кристаллизаторов. Искривление слитка также может произойти из-за неравномерного охлаждения по периметру кристаллизатора.

Для предупреждения образования кривизны необходима регулярная проверка и наладка литейной машины, обеспечение равномерной подачи воды по периметру кристаллизатора и подачи металла в центр кристаллизатора.

Трещина – это разрыв металла на поверхности или внутри слитка. Трещины в слитках возникают как в процессе кристаллизации (кристаллизационные или горячие трещины), так и после полного затвердевания слитка (холодные трещины).

Как правило, трещины образуются вследствие нарушения установленных параметров литья; завышенной температуры и скорости литья, неравномерного охлаждения по периметру слитка, из-за неравномерного распределения горячего металла в кристаллизаторе. Трещины могут располагаться по широким граням плоского слитка, в донной части слитка, по углам, а также в центре цилиндрического слитка.

Соблюдение технологических параметров литья и оптимального химического состава сплава позволит существенно уменьшить потери от брака по трещинам.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем заключается принцип производства слитков непрерывным способом?
2. Опишите типы литейных машин, применяемых для литья слитков.
3. Назовите вид оснастки, обеспечивающей заданное сечение слитка и качество его поверхности.
4. Опишите последовательность операций при непрерывном литье.
5. Какие технологические операции предусматриваются на литейном агрегате для обеспечения чистоты расплава?
6. Каким способом обеспечивается получение мелкозернистой однородной структуры слитка?
7. Чем отличается непрерывное литье слитков от полунепрерывного?
8. Для каких целей служит раздаточный миксер в литейном комплексе?
9. Перечислите основные дефекты, характерные для слитков, полученных непрерывным литьем.
10. Назовите причины образования основных дефектов на слитках и меры их предупреждения.

РАЗДЕЛ II

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Лекция 1

Предмет курса «Обработка металлов давлением»

П л а н л е к ц и и

1. Роль и место обработки металлов давлением в производстве металлоизделий.
2. Краткая история развития обработки металлов давлением.
3. Основные направления развития теории обработки металлов давлением.
4. Основные виды обработки металлов давлением.

Роль и место обработки металлов давлением в производстве металлоизделий

Использование металлов в большинстве случаев становится возможным только после придания им необходимой формы. Тогда из экономической категории «предметы труда» металлы переходят в категорию «средства труда» или становятся готовым продуктом.

Существует много способов формоизменения металлов, из которых наиболее распространенными являются литейное производство, обработка металлов резанием и обработка металлов давлением.

Литье – наиболее простой, высокопроизводительный и дешевый способ получения отливок практически из всех металлов и сплавов. Литые изделия отличает разнообразие форм от простых до очень сложных. К последним можно отнести изделия, получаемые художественным литьем. Однако для отливок характерны такие дефекты, как пористость, неметаллические включения, крупнозернистая структура. Кроме того, в результате неравномерного охлаждения отливок в них возникают значительные остаточные напряжения. Поэтому (чаще всего) литые детали не способны работать при значительных силовых и ударных нагрузках и уступают по уровню механических свойств изготовленным обработкой давлением.

Обработкой резанием получают разнообразные детали, имеющие высокую точность размеров и чистоту поверхности. Но при этом в отход в виде стружки идут миллионы тонн металла. Снизить стружкообразование при резании можно за счет использования заготовок, близких по своим размерам к изделиям.

Обработка металлов давлением (ОМД) способна объединить указанные способы получения изделий из металлов. Так, в качестве заготовок для обработки давлением чаще всего используются отливки. В процессе деформирования меняется их структура: измельчается зерно, завариваются поры,

устраняется химическая неоднородность (дендритная ликвация) и т.д. Изменения структуры способствуют повышению уровня механических свойств: повышаются прочность и пластичность металлических заготовок. Кроме того, обработанная давлением заготовка становится максимально приближенной к готовой детали по своей форме и размерам, что значительно снижает количество отходов при обработке резанием и упрощает технологию этих процессов.

Краткая история развития обработки металлов давлением

Наряду с литейным производством обработку металлов давлением можно отнести к древнейшим человеческим ремеслам. Так, археологами в Сирии, Израиле и Иордании были обнаружены железные браслеты, кинжалы и перстни, которые могут быть отнесены ко II тыс. до н.э. Известны также еще более древние изделия, полученные из самородных металлов золота, серебра, меди и т.д.

Первым из процессов обработки металлов давлением возникло кузнечное дело. Подтверждением этому может служить, например, высокая оценка кузнечного ремесла в античном мире. Так, в иерархии олимпийских богов высокое место занимал покровитель кузнецов Гефест – сын главного бога Зевса и его жены Геры. Он считался богом огня и художественного ремесла, осуществляемого с помощью огня. Гефест пользовался уважением среди богов, потому что был художником и мастером высочайшего уровня и, кроме того, себе и другим богам создал на Олимпе дворцы из металла. Легендарный древнегреческий поэт Гомер посвятил много строф своей «Илиады» удивительным творениям этого мастера.

На Руси кузнечным делом начали заниматься приблизительно в VI в. до н.э. Русские кузнецы могли ковать из металла мечи и серпы, топоры и ножи, кольчуги и шлемы, искусство изготовления которых поражает наших современников. В первой половине XVI в. русские кузницы поставляли на вооружение кованые вручную пушки. В 70-х гг. XVIII в. в Москве было более трехсот кузниц, а кузнецы, медники, слесари, серебряники по числу дворов занимали в городе второе место после галантерейщиков. В каждой семье, в каждом доме были вещи, изготовленные кузнецами – от тонкого обручального кольца до окованных железом ларцов, в которых хранили самое ценное. Профессия кузнеца была очень уважаемой в народе. Труд кузнецов прославлен во многих литературных произведениях. Ярким свидетельством является история русского мастера Левши, подковавшего английскую блоху, которую описал писатель Лесков. О принадлежности к кузнечному делу самих владельцев или их предков свидетельствуют такие распространенные в мире фамилии, как Смит, Ковальчик, Шмидт, Ферран, Коваль, Ковач, а в России очень часто можно встретить Кузнецовых, Ковалевых и т.д.

Основные направления развития теории обработки металлов давлением

Обработка металлов давлением основывается на способности металлов принимать значительную пластическую деформацию, не разрушаясь. Этот важный технологический процесс металлургического производства обеспечивает не только придание слитку или заготовке необходимой формы и размеров, но и существенно улучшает свойства металлов.

В ряду инженерных дисциплин обработка металлов давлением наиболее близка к литейному производству и особенно к металловедению. Это закономерно, так как, во-первых, исходными заготовками для обработки давлением чаще всего являются слитки. Во-вторых, обработчики имеют дело с металлами, свойства которых определяются их структурой, меняющейся в процессе пластической деформации, обычно протекающей при высоких температурах. Очень эффективным для получения изделий с высокими свойствами является сочетание пластической деформации с термической обработкой – термомеханическая обработка, отражающая связь обработки давлением с металловедением.

В последние годы широкое развитие получили процессы, в которых литье комбинируется с обработкой давлением: прессованием, прокаткой, штамповкой и т.д. Эти способы позволяют повысить свойства изделий и производительность процесса, а также снизить количество отходов.

Как и другие инженерные дисциплины, обработка металлов давлением имеет свою теоретическую базу.

Теория обработки металлов давлением разрабатывает общие основы рационального построения и анализа технологии всех процессов. В ее задачи входит определение условий деформации, которые обеспечивают:

наивысшую пластичность обрабатываемого металла и тем самым возможность достижения максимальной деформации в каждой операции обработки;

получение заготовок или изделий с оптимальным сочетанием физико-механических свойств;

проведение процесса при минимальном расходе энергии.

Основные направления теории обработки металлов давлением: механико-математическое, физическое и физико-химическое.

Механико-математическое направление изучает напряжения и деформации в пластически деформируемом теле и условия перехода упругой деформации в пластическую. Это направление использует гипотезы об однородности, изотропности и неизменности свойств металлов в процессе деформации. Перечисленное практически исключает применение этого направления для изучения пластической деформации, основной особенностью которой является непрерывное изменение физических и физико-механических свойств деформируемого металла.

Физическое направление теоретически и экспериментально исследует механизм пластической деформации с учетом анизотропии, характерной для кристаллического строения металлов. При этом учитывается влияние на процесс пластической деформации металлов температуры, скорости и степени деформации, а также внешнего трения.

Физико-химическое направление изучает связь химического состава и фазового состояния металла с процессом пластической деформации.

Физическое и физико-химическое направления теории обработки металлов давлением тесно связаны с металловедением. Не случайно основы физической теории заложил «отец металловедения» Д.К. Чернов, а одним из разработчиков физико-химического направления теории был другой выдающийся ученый-металловед Н.С. Курнаков.

Основные виды обработки металлов давлением

Принято различать шесть основных видов обработки металлов давлением ([рис. 2.1](#)): прокатка, прессование, волочение, ковка, объемная штамповка (горячая или холодная), листовая штамповка. Часто перечисленные виды делят на две групп. В первую группу включают прокатку, прессование и волочение, которыми получают однотипную длинномерную продукцию, а ко второй – относят оставшиеся виды, объединяя их в кузнечно-штамповочное производство. Дадим определения каждому из перечисленных процессов обработки металлов давлением.

Прокатка – пропускание заготовки между вращающимися валками ([рис. 2.1, а](#)).

Прессование – выдавливание металла из замкнутого объема через отверстие в прессовом инструменте ([рис. 2.1, б](#)).

Волочение – протягивание металла через плавно сужающийся канал волоки ([рис. 2.1, в](#)).

Ковка – деформирование металла ударным прерывистым воздействием универсального инструмента ([рис. 2.1, г](#)).

Объемная штамповка (горячая или холодная) – процесс деформирования металла, при котором его свободное течение ограничено поверхностями ручьев штампов ([рис. 2.1, д](#)).

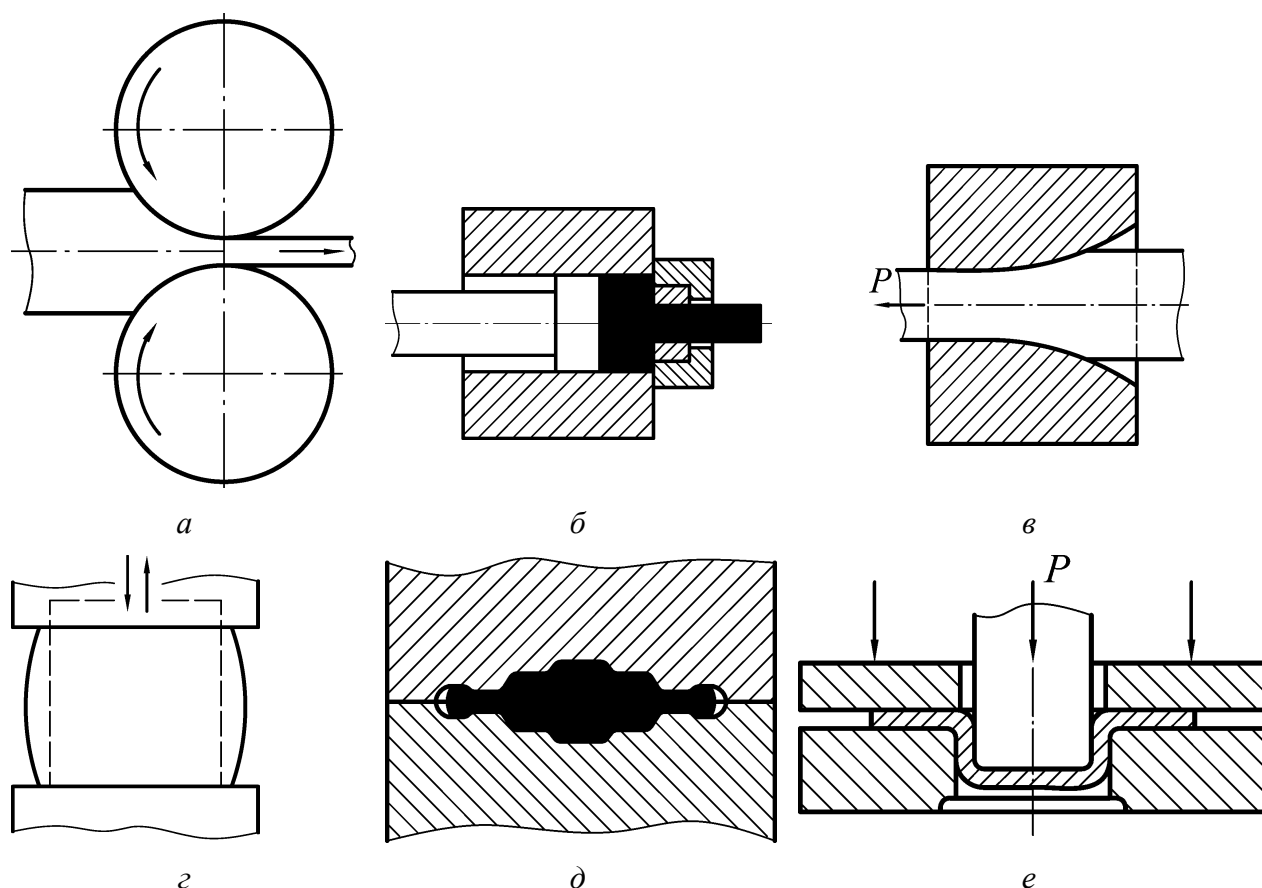


Рис. 2.1. Схемы основных видов обработки металлов давлением: *а* – прокатка; *б* – прессовка; *в* – волочение; *г* – ковка; *д* – объемная штамповка; *е* – листовая штамповка

Листовая штамповка – процесс получения изделия из листовой заготовки, толщина которой в процессе деформации практически не изменяется ([рис. 2.1, е](#)).

В соответствующих лекциях эти процессы будут рассмотрены подробнее.

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите преимущества и недостатки обработки металлов давлением по сравнению с литейным производством и обработкой металлов резанием.
2. Как связана обработка металлов давлением с другими дисциплинами?
3. Каковы основные направления теории обработки металлов давлением, а также решением каких вопросов занимается каждое направление?
4. Назовите русских ученых, внесших большой вклад в развитие теории обработки металлов давлением.
5. Какие основные виды обработки металлов давлением вы знаете?

Л е к ц и я 2

Механизмы пластической деформации

П л а н л е к ц и и

1. Краткие сведения о строении металлов.
2. Пластическая деформация монокристалла.
3. Пластическая деформация поликристалла.

Краткие сведения о строении металлов

Все металлы и сплавы имеют кристаллическое строение. Чаще всего кристаллизация расплавленного металла происходит из большого числа центров, поэтому обычно металл состоит не из одного, а из множества кристаллов, называемых *зернами*, или *кристаллитами*. В отличие от кристаллов, поверхность которых образована плоскостями, кристаллиты характеризуются произвольной формой поверхности. *Кристалл* – это тело, наружной поверхностью которого являются грани, пересекающиеся под определенными углами. Общим у кристаллов и кристаллитов является закономерность во взаимном расположении атомов. Расположение атомов в кристалле изображают в виде пространственных схем – элементарных кристаллических ячеек. Элементарная ячейка – это наименьшее количество атомов, которое при многократном повторении в пространстве образует кристаллическую решетку.

Для металлов характерны 3 основных типа решетки ([рис. 2.2](#)): кубическая объемноцентрированная (ОЦК); кубическая гранецентрированная (ГЦК) и гексагональная плотноупакованная (ГПУ). Каждому металлу при данной температуре и давлении свойственно определенное строение кристаллической решетки.

Известно, что все свойства кристаллов определяются взаимодействием атомов между собой. Но так как расстояния в кристалле между атомами и их взаимное расположение в разных кристаллографических направлениях различны, то и свойства его в разных направлениях будут неодинаковы. Различие свойств по разным направлениям называется *анизотропией*. Анизотропия является характерной особенностью кристаллического строения и наиболее резко выражена в монокристалле.

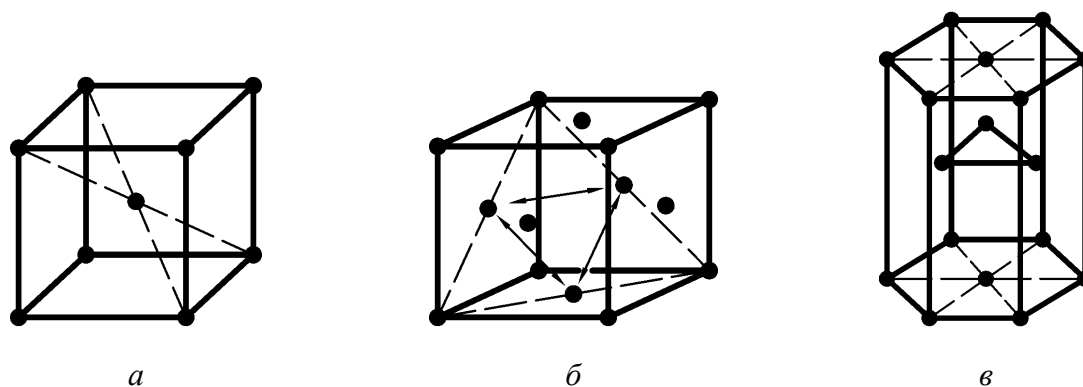


Рис. 2.2. Типы элементарных кристаллических решеток металлов: а – ОЦМ; б – ГЦК; в – ГПУ

Однако реальные металлы и сплавы – поликристаллы, состоящие из большого количества по-разному ориентированных зерен. Произвольная ориентировка зерен приводит к усреднению свойств в поликристалле. Это называется *квазиизотропностью*. Кроме того, в отличие от идеальных, реальные кристаллы обладают рядом структурных несовершенств, основными из которых являются дислокации. Теория дислокаций наиболее логично объясняет механизм пластической деформации. Согласно этой теории, скольжение атомов друг относительно друга, происходящее при пластической деформации, является результатом перемещения дислокаций.

Пластическая деформация монокристалла

Для правильного понимания механизма пластической деформации реальной металлической заготовки, представляющей собой поликристалл, рассмотрим пластическую деформацию монокристалла. Принято считать, что пластическая деформация – результат необратимых смещений атомов. В кристаллах эти смещения атомов в большинстве случаев происходят путем движения дислокаций, что является основным атомным механизмом пластической деформации. Движение дислокаций может вызвать макропластическую деформацию образца путем скольжения или двойникования.

Скольжение представляет собой параллельное смещение тонких слоев монокристалла по определенным кристаллографическим плоскостям, называемым плоскостями скольжения ([рис. 2.3](#)). Конечным итогом такого смещения является сдвиг отдельных частей кристалла относительно других. Обычно плоскостями скольжения являются плоскости с наибольшей плотностью размещения атомов, а направлениями скольжения – те направления, по которым межатомные расстояния минимальны. Например, в металлах с ГЦК решеткой плоскостями скольжения обычно являются плоскости октаэдра типа (111), а направлениями скольжения – направления типа [101]. Повышение температуры, а следовательно, и амплитуды тепловых колебаний атомов приводит к тому, что процесс скольжения может происходить и по другим плоскостям.

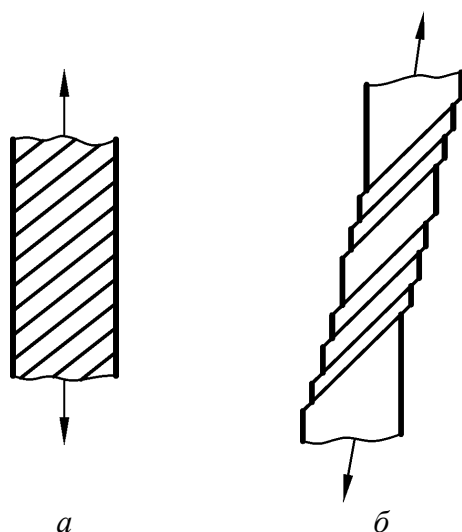


Рис. 2.3. Схема механизма скольжения:
а – до скольжения; б – после скольжения

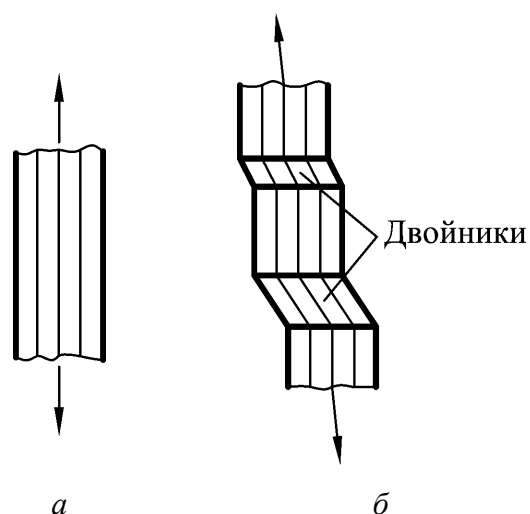


Рис. 2.4. Схема механизма двойникования:
а – до деформации; б – после деформации

Вторым механизмом пластической деформации является *двойникование* (рис. 2.4). Этот механизм заключается в смещении атомов, расположенных в плоскостях, параллельных некоторой плоскости (плоскости двойникования), на расстояния, пропорциональные расстоянию этих плоскостей от плоскости двойникования. Конечным итогом такого движения является сдвиг и поворот атомных рядов в отдельных участках образца под некоторым углом к направлению сдвига. В результате поворота получается зеркальное отображение одной части кристалла по отношению к другой. Двойникование чаще всего происходит при динамическом нагружении, например, при ковке.

У металлов процесс пластической деформации в основном осуществляется путем скольжения. Установлено, что сдвигающее напряжение, необходимое для начала пластической деформации скольжения для данного металла, при данной температуре и скорости деформации есть величина постоянная, не зависящая от ориентировки плоскостей скольжения относительно действующих сил. Так, например (рис. 2.5), если растягивать с усилием P образец из монокристалла с плоскостью поперечного сечения F , у которого нормаль к плоскости скольжения и направление скольжения наклонены по отношению к направлению действующей силы под углами, соответственно, φ и λ , то величину сдвигающего напряжения τ можно найти по следующей формуле:

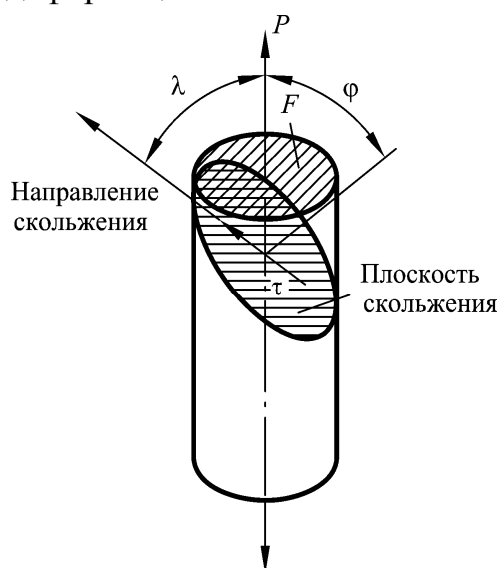


Рис. 2.5. Схема растяжения монокристалла

$$\tau = \frac{P}{F} \cos \varphi \cdot \cos \lambda. \quad (2.1)$$

Анализ формулы (2.1) показывает, что при постоянном τ величина предела текучести монокристалла (нормального напряжения $\sigma = P/F$, соответствующего началу пластической деформации) для каждого металла существенно зависит от ориентировки плоскостей скольжения относительно направления действия сил, имея минимум при $\varphi = \lambda = 45^\circ$.

По современным воззрениям, процесс скольжения не является одновременным смещением всех атомов одной плоскости относительно атомов соседней, а происходит путем последовательного смещения отдельных групп атомов. Наибольшее распространение получила теория, объясняющая процесс скольжения перемещением в плоскости скольжения отдельных несовершенств пространственной решетки – дислокаций.

Пластическая деформация поликристалла

Механизм пластической деформации поликристалла сложнее, чем монокристалла, так как в поликристалле зерна отличаются между собой по форме и размерам, обладают неодинаковыми физико-механическими свойствами, различно ориентированы по отношению к деформирующей нагрузке и т.п. Общее формоизменение поликристаллического тела складывается из пластической деформации составляющих его зерен и их относительного смещения. Поэтому различают *внутрикристаллитную* и *межкристаллитную* деформации поликристалла. Первая осуществляется путем скольжения и двойникования, вторая – путем поворота и перемещения одних зерен относительно других. Оба вида деформации протекают в металлах одновременно. Преобладание того или иного вида деформации определяется соотношением прочности отдельных зерен и их границ в данных условиях деформирования. При комнатной температуре прочность границ зерен, как правило, выше прочности зерен. Поэтому при холодной обработке давлением внутрикристаллитная деформация является основным процессом, обуславливающим изменение формы поликристалла. С повышением температуры прочность зерен становится больше прочности их границ из-за наличия на границах легкоплавких примесей и меньшей термодинамической устойчивости пограничных зон самого металла. Поэтому при горячей обработке давлением преобладает межкристаллитная деформация.

Рассмотрим последовательность развития пластической деформации поликристалла ([рис. 2.6](#)). Поскольку в поликристалле зерна имеют различную ориентировку плоскостей скольжения, то пластическая деформация при действии внешних сил начинается не во всех зернах одновременно.

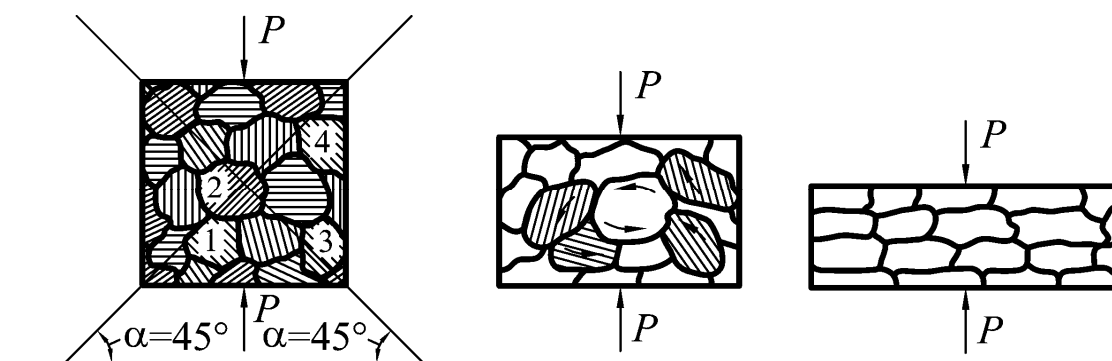


Рис. 2.6. Схема последовательного развития пластической деформации поликристалла

Вначале деформируются наиболее благоприятно ориентированные зерна, т.е. зерна, плоскости скольжения в которых составляют с направлением усилия 45° (рис. 2.6, зерна 1–4). Остальные зерна в этот момент поворачиваются, и, когда их плоскости скольжения составят с направлением усилия угол 45° , они также подвергнутся деформации. В конце концов большинство зерен вытягивается в направлении наиболее интенсивного течения металла. После деформации плоскости скольжения вытянувшихся зерен ориентированы в одном направлении. Такую структуру называют *волокнистой*. Так как одновременно с изменением формы зерен в процессе деформации происходит и поворот плоскостей скольжения в отдельных зернах, то при значительных степенях деформации плоскости скольжения зерен поликристалла стремятся совместиться с направлением течения металла. Такая ориентировка плоскостей скольжения зерен называется *текстурой* и вызывает в поликристалле анизотропию свойств.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие основные типы кристаллических решеток имеют металлы?
2. Что такое квазиизотропность, какова природа этого явления?
3. Опишите механизмы скольжения и двойникования.
4. Какова роль дислокаций в пластической деформации металлов?
5. Опишите последовательность развития пластической деформации поликристалла.
6. Объясните физический смысл предела текучести.

Л е к ц и я 3

Пластичность металлов и факторы, влияющие на нее

П л а н л е к ц и и

1. Основные факторы, влияющие на пластичность металлов.
2. Влияние пластической деформации на структуру и свойства металлов.
3. Сверхпластичность.

Основные факторы, влияющие на пластичность металлов

Все процессы обработки металлов давлением основаны на свойстве металлов под действием приложенной нагрузки переходить в пластическое состояние. Поэтому для наиболее рационального выбора технологического процесса необходимо знать факторы, с помощью которых можно управлять пластичностью.

Пластичность – способность металла под действием нагрузки менять свою форму без разрушения и сохранять ее после снятия нагрузки.

Основными факторами, влияющими на пластичность металлов при обработке давлением, являются:

- состав и структура деформируемого металла;
- характер напряженного состояния при деформации;
- неравномерность деформации;
- скорость деформации;
- температура деформации;
- степень деформации;
- режим термической обработки.

Рассмотрим влияние каждого из перечисленных факторов.

Состав и структура деформируемого металла. Обычно чем чище металл, тем выше его пластичность. Однако в чистом виде металлы почти не используются для получения изделий из-за невысоких прочностных свойств. У сплавов наибольшую пластичность имеют твердые растворы. В сталях, например, резко снижают пластичность такие примеси, как Sn, Pb, Sb, S, P, H, O и др. Они почти не растворяются в железе, располагаются по границам зерен, ослабляя связь между ними. Кроме того, температуры плавления этих элементов и их эвтектических соединений с железом относительно низкие. Поэтому при горячей деформации содержание указанных примесей выше допустимых пределов из-за расплавления может привести к полной потере пластичности стали. Снижает пластичность неоднородная структура. При одинаковом химическом составе однофазный сплав пластичнее двухфазного: в двухфазном сплаве фазы имеют разные механические свойства и деформация протекает неравномерно. Мелкозернистый материал пластичнее крупнозернистого, а деформированная заготовка пластичнее слитка, так как литая

структура последнего более грубая, неоднородная по химическому составу, имеет включения и другие дефекты.

Схема напряженного состояния при деформации. Установлено, что одно и то же вещество, в зависимости от условий деформирования, может переходить из хрупкого состояния в пластичное, и наоборот. Поэтому правильнее считать, что в природе не существует тел с неизменными свойствами, а есть хрупкое и пластичное состояния вещества, определяемые условиями нагружения при деформировании. При этом чем ярче выражены сжимающие силы, тем выше пластичность обрабатываемого материала. Наибольшую пластичность металлические материалы проявляют при всестороннем сжатии. В этом случае затрудняются межзеренные перемещения и вся деформация осуществляется за счет внутризеренного перемещения дислокаций. С появлением в схеме растягивающих напряжений пластичность уменьшается. Самую низкую пластичность металлы имеют при всестороннем растяжении. В реальных процессах обработки давлением такая схема практически не встречается.

Неравномерность деформации. Основными причинами, вызывающими неравномерное распределение напряжений и деформаций в обрабатываемом теле, считают неоднородность физических свойств обрабатываемого материала, контактное трение, исходные формы тела и рабочего инструмента.

В условиях неравномерной деформации отдельные элементы тела получают различное изменение размеров. Поскольку обрабатываемое тело принимается сплошным, то те участки, которые получают большую деформацию, оказывают определенное воздействие на участки с меньшей деформацией, и наоборот. В результате этого в теле возникают взаимно уравновешенные дополнительные напряжения, которые не определяются схемой напряженного состояния, вызываемого непосредственно воздействием внешних сил. Дополнительные напряжения могут при определенных условиях обработки изменять схему напряженного состояния деформируемого тела. Поэтому возможно появление в некоторых участках тела растягивающих напряжений, что может привести к разрушению, хотя при этом общая схема напряженного состояния выражается всесторонним сжатием.

Взаимно уравновешенные в пределах деформируемого тела дополнительные напряжения могут быть трех видов: напряжения *первого рода* (зональные), уравновешивающиеся между отдельными зонами или частями тела; напряжения *второго рода*, уравновешивающиеся между отдельными зернами данного тела; напряжения *третьего рода*, уравновешивающиеся в одном зерне. Примером неравномерности деформации может служить бочкообразование при осадке, обусловленное трением между инструментом и образцом.

Скорость деформации. В обработке металлов давлением различают две скорости: скорость деформирования, или скорость перемещения рабоче-

го органа машины (бабы молота, ползуна прессы и т.д.), и скорость деформации ω , или изменение степени деформации ε в единицу времени, с^{-1} :

$$\omega = \frac{d\varepsilon}{dt}. \quad (2.2)$$

В обработке металлов давлением диапазон скоростей деформации меняется от 10^{-2} до 10^5 с^{-1} . Эта величина правильнее отражает влияние скорости на пластичность. В первом приближении, чем больше скорость, тем ниже пластичность. Однако при этом следует учитывать разогрев металла из-за тепла, выделяемого при деформации. Причем интенсивность разогрева тем выше, чем выше скорость деформации. Поэтому при холодной обработке малые скорости деформации слабо влияют на пластичность. Высокие скорости обеспечивают нагрев деформируемого тела, что способствует развитию диффузионных процессов и разупрочнению, а следовательно, некоторому повышению пластичности металла.

При горячей обработке скорость деформации слабее влияет на пластичность, чем при холодной, так как высокая температура способствует протеканию процессов разупрочнения за счет ускорения диффузионной подвижности атомов.

Температура деформации. При температурах обработки, близких к абсолютному нулю, металл имеет минимальную пластичность из-за низкой тепловой подвижности атомов. Однако при температурах, близких к температуре плавления металла, возможны перегрев или пережог. Наибольшую пластичность металлы имеют в интервале от температуры рекристаллизации до температуры плавления, но верхний предел должен быть ниже температуры окисления границ зерен. Важным параметром структуры в изделии, полученном деформированием при температуре выше температуры рекристаллизации, является размер зерна, который сильно влияет на механические свойства изделий. Зависимость размера зерна в металлах после деформации с последующей рекристаллизацией, с одной стороны, от температуры, а с другой – от степени деформации обычно представляется объемными диаграммами рекристаллизации, которые строят по результатам специально проводимых экспериментов. Эти диаграммы характерны для каждого металла и сплава и используются для выбора температурного режима деформации.

Степень деформации. Совокупность явлений, связанных с изменением свойств металлов в процессе пластической деформации, называется *деформационным упрочнением* или *наклепом*. При холодной обработке давлением с увеличением степени деформации возрастает плотность дислокаций, затрудняется их перемещение, блокируются источники дислокаций, и пластичность падает. Горячая обработка влияет на пластичность слабее, так как при повышении температуры активизируются диффузионные процессы, сопровождающиеся возвратом или рекристаллизацией, приводящими к частичному или полному восстановлению пластичности.

Режим термической обработки. Для получения конкретных изделий обработкой давлением требуется определенная степень деформации. Чаще всего достижение такой степени деформации за одну операцию (один проход при прокатке, одна операция вытяжки при листовой штамповке и т.д.) трудноосуществимо или невозможно. Поэтому технологический процесс обычно включает несколько операций. Для частичного или полного восстановления пластичности после операции обработки давлением используют промежуточную термообработку. Это может быть отжиг: *дорекристаллизационный* или *рекристаллизационный*. Для некоторых алюминиевых сплавов применяют *закалку*. Вид термообработки, ее режим выбирают в зависимости от марки сплава, степени деформации, температуры деформации и т.д.

Влияние пластической деформации на структуру и свойства металлов

Характер пластической деформации зависит от процессов упрочнения и разупрочнения. В связи с этим С.И. Губкин предложил различать горячую, неполную горячую, неполную холодную и холодную деформации.

При *горячей деформации* металл не получает упрочнения. Процесс протекает при температуре, превышающей температуру рекристаллизации. Рекристаллизация успевает пройти полностью. Новые равноосные зерна полностью заменяют деформированные зерна, искажения кристаллической решетки отсутствуют.

Неполная горячая деформация характеризуется незавершенностью рекристаллизации, которая не успевает закончиться во время деформации, так как ее скорость ниже, чем скорость деформации. Часть зерен в металле остается деформированной, и металл упрочняется. Возникают значительные остаточные напряжения, способные привести к разрушению материала. Этот вид деформации наиболее вероятен при температурах, незначительно превышающих температуру рекристаллизации. При обработке металлов давлением неполная горячая деформация почти не используется.

Неполная холодная деформация – это деформация, при которой рекристаллизация не происходит, но протекает процесс возврата. Температура деформации выше температуры начала возврата, а скорость деформации не превышает скорости возврата. Остаточные напряжения в значительной мере снимаются, а интенсивность упрочнения понижается.

При *холодной деформации* разупрочняющие процессы (возврат и рекристаллизация) не происходят. Температурный интервал холодной деформации расположен ниже температуры начала возврата.

Согласно приведенной классификации, холодная и горячая деформация не связаны с конкретными температурами нагрева, а зависят только от протекания процессов упрочнения и разупрочнения. Поэтому, например, деформация свинца при комнатной температуре относится к горячей деформации, так как температура рекристаллизации этого металла расположена в области отрицательных температур.

По объему производства горячая пластическая обработка металлов распространена шире, чем холодная, хотя дороже и сложнее последней. Применение горячей обработки оправдано повышением пластичности металлов и снижением усилий на деформацию. Благодаря горячей обработке давлением можно получать крупногабаритные изделия. Холодная деформация используется обычно на конечных стадиях получения изделий для обеспечения точности размеров и высокого качества поверхности.

Холодная пластическая деформация вызывает в металле структурные изменения, включающие изменение формы кристаллитов, их кристаллографической пространственной ориентировки и внутреннего строения каждого кристаллита. Основное изменение формы кристаллитов заключается в вытягивании их в направлении главной деформации растяжения, тогда структура становится волокнистой (рис. 2.7). Кристаллические решетки зерен приобретают преимущественную пространственную ориентировку, возникает текстура деформации. Это одно из важнейших следствий кристаллографической направленности скольжения в каждом зерне по определенным плоскостям и направлениям пространственной решетки.

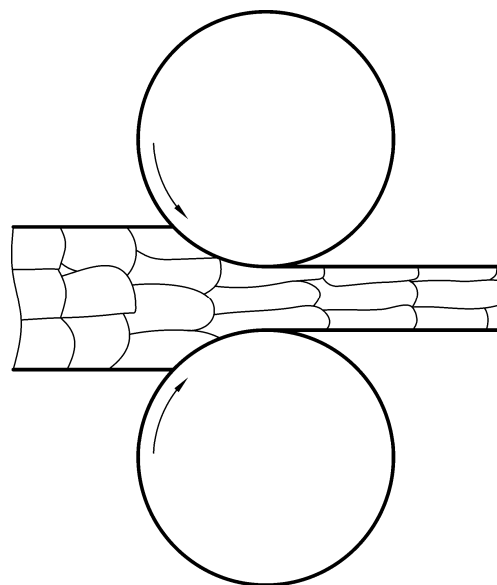


Рис. 2.7. Изменение структуры металла при прокатке

Важнейшее изменение внутреннего строения каждого кристаллита при холодной деформации – увеличение плотности дислокаций. Она может возрасти на 5–6 порядков. Кроме того, растет концентрация вакансий, появляются участки с локальной разориентировкой кристаллической решетки. При не слишком низкой энергии дефектов упаковки образуются микрополосы, и формируется ячеистая структура.

С увеличением степени холодной деформации показатели сопротивления деформированию ($\sigma_{\text{в}}$; $\sigma_{0,2}$; HB) возрастают, а показатели пластичности (δ , ψ) падают. Рост прочностных характеристик и снижение пластических обусловлен повышением плотности дислокаций, которое затрудняет скольжение уже имеющихся, а также генерирование и скольжение «свежих» дислокаций.

Из-за волокнистости структуры и наличия текстуры деформации холоднодеформированный металл характеризуется анизотропией свойств. Поэтому для оценки механических свойств изделий, полученных холодной деформацией, необходимо испытывать образцы, вырезанные как вдоль, так и поперек направления деформации. В связи с этим в таких изделиях различают долевые, поперечные, а в объемных полуфабрикатах еще и высотные свойства. Обычно показатели пластичности и ударная вязкость поперечных

образцов ниже, чем долевых. Причина заключается в том, что при вырезке поперек волокон возрастает число межзеренных границ, обогащенных примесями и менее пластичными, чем тело зерна.

Сверхпластичность

Под *сверхпластичностью* (СП) понимают способность металлических тел квазиравномерно удлиняться с высокой скоростной чувствительностью напряжения течения. Последние работы ученых показали, что СП не является свойством определенных металлических материалов, поэтому правильнее говорить о СП состоянии, в которое можно перевести практически любой металл или сплав. Установлены два типа сверхпластичности: *структурная СП* материалов с ультрамелким зерном и *СП превращения*, обусловленная фазовым превращением. Далее будет рассматриваться только структурная СП.

Установлено, что для перевода металлов в СП-состояние необходимо наличие следующих условий:

ультрамелкозернистая структура (характерный диапазон размера зерна для СП материалов от $\sim 0,5$ до ~ 10 мкм);

температура деформации выше $\sim 0,5 T_{пл}$;

диапазон скоростей деформации от $\sim 10^{-5}$ до 10^{-1} с^{-1} .

Для СП материалов характерно сочетание трех свойств: большого относительного удлинения (порядка 10^2 – 10^3 %), низкого напряжения течения (порядка 10^0 – 10^1 МПа) и высокого показателя скоростной чувствительности напряжения течения m (более 0,2–0,3).

Сверхпластичный материал отличается от любых других материалов сигмаидальной кривой зависимости напряжения течения от скорости деформации, построенной в логарифмических координатах ([рис. 2.8](#)).

На зависимости σ – $\dot{\epsilon}$ выделяют три скоростных интервала. В интервале II наблюдается наиболее резкая зависимость напряжения течения от скорости деформации и максимум m , а в интервалах I и III значения m и δ существенно ниже. Показатель m можно определить по следующему уравнению:

$$\sigma = B \cdot \dot{\epsilon}^m, \quad (2.3)$$

где σ – напряжение течения; B – коэффициент; $\dot{\epsilon}$ – скорость деформации.

Графически показатель m определяется как тангенс угла наклона касательной к зависимости σ – $\dot{\epsilon}$ в логарифмических координатах ([рис. 2.8](#)). Оптимальной скоростью СП-деформации считают ту, которая отвечает максимальному значению m .

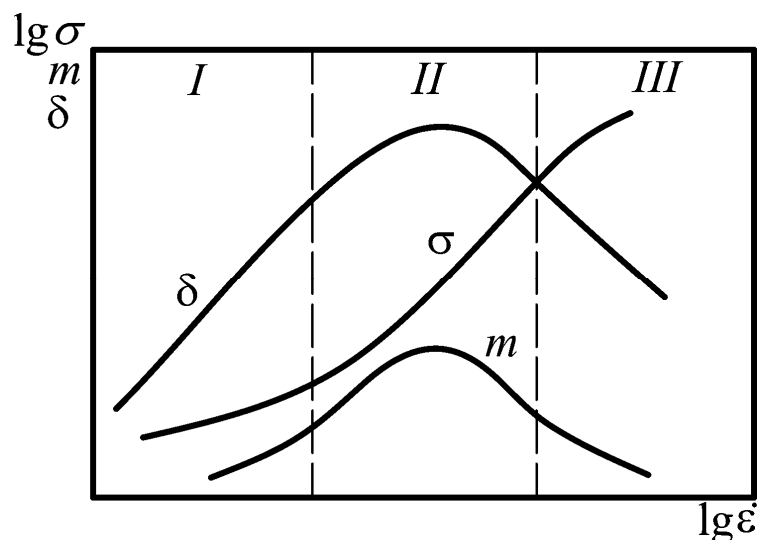


Рис. 2.8. Зависимость напряжения течения σ , показателя m и относительного удлинения δ от скорости деформации $\dot{\epsilon}$

С уменьшением размера зерна и повышением температуры оптимальная скорость СП-деформации увеличивается, и весь интервал II сдвигается в сторону более высоких скоростей деформации.

Многие материалы могут иметь высокие значения δ и низкие — напряжения течения, но только СП-материалы имеют высокие значения показателя m и поэтому при растяжении в условиях СП обладают большим сопротивлением образованию шейки. Это объясняется тем, что в месте образования шейки повышается скорость деформации $\dot{\epsilon}$, следовательно, увеличивается напряжение течения (рис. 2.8) и рост шейки прекращается. СП-деформацию можно представить периодическим образованием шеек без дальнейшего их роста. Такое удлинение образца назвали *квазиравномерным*. Поэтому главным отличием СП-деформации от обычной пластической является высокая устойчивость течения.

Механизм сверхпластической деформации. При СП-деформации действуют те же механизмы, что и при классической ползучести, а именно диффузионная ползучесть, дислокационная ползучесть и зернограничное скольжение. СП-деформация отличается лишь особым сочетанием этих механизмов, что обусловлено малым размером зерна.

Главным механизмом СП-деформации является *зернограничное скольжение*, обеспечивающее при ультрамелком зерне необычайно высокие удлинения. При обычной деформации крупнозернистого материала все небольшое удлинение образца — результат вытягивания каждого зерна, причем в сечении образца число зерен не уменьшается. В оптимальных условиях СП-деформации форма каждого зерна почти не меняется, а происходит скольжение зерен друг относительно друга, приводящее к увеличению числа зерен вдоль оси растяжения с одновременным уменьшением их числа в поперечном направлении. Однако смена соседних зерен при зернограничном скольжении сопровождается образованием пустот между новыми «соседями». Для

обеспечения целостности материала при СП-деформации требуется залечивание этих пустот. Процесс залечивания пустот называется *аккомодацией* и протекает диффузионным путем. Последнее объясняет необходимость высокой температуры, низкой скорости деформации и ультрамелкозернистой структуры для перевода металлических материалов в СП-состояние.

Использование эффекта сверхпластичности в ОМД. Деформирование в режиме СП имеет преимущества по сравнению с традиционными методами обработки давлением:

- возможность получения деталей сложной формы за одну операцию;
- снижение энергозатрат и замена оборудования на менее мощное за счет резкого уменьшения усилия деформирования металлов и сплавов;
- увеличение коэффициента использования металла;
- возможность усложнения деталей.

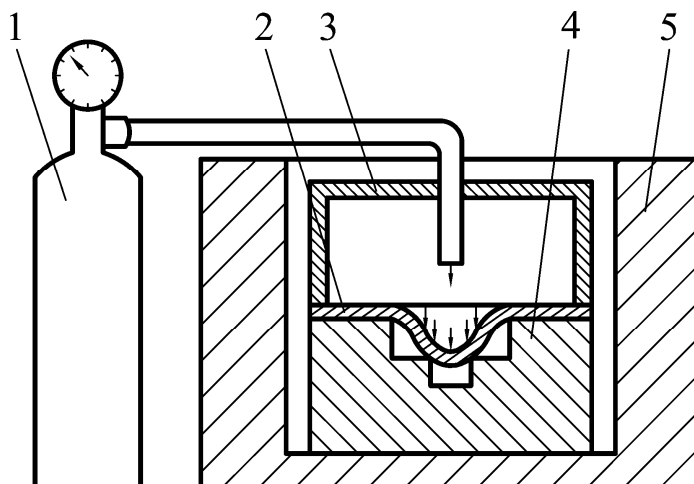


Рис. 2.9. Схема установки для газокompрессионной штамповки в состоянии сверхпластичности

Эффект СП используют при газокompрессионной штамповке или при объемной изотермической штамповке. Первый способ заключается в выдувке деталей под небольшим газовым давлением из листов (рис. 2.9).

Под действием сжатого газа, поступающего из баллона 1, листовая заготовка 2, удерживаемая прижимом 3 на матрице 4, заполняет полость последней. Матрица и заготовка помещены в печь 5. Таким способом изготавливают полые детали очень сложной конфигурации, главным образом из алюминиевых, титановых и цинковых сплавов.

Объемной изотермической штамповкой получают объемные детали из труднодеформируемых сплавов: никелевых, титановых и т.д.

При этом штамповку ведут с низкой скоростью, поддерживая с помощью изотермического блока постоянную высокую температуру. В качестве оборудования используют тихоходные гидравлические прессы.

Контрольные вопросы и задания

1. Как влияет на пластичность состав и структура сплава?
2. Какова роль напряженного состояния при деформации?
3. Опишите влияние на пластичность металлов неравномерности деформации.
4. Каково влияние на пластичность металлов температуры, скорости и степени деформации?
5. Как влияет пластическая деформация на структуру и свойства металлов?
6. При каких условиях металлы переходят в состояние сверхпластичности?
7. Объясните механизм сверхпластической деформации.
8. Как используют эффект сверхпластичности в процессах обработки металлов давлением?

Лекция 4

Напряженное и деформированное состояние в точке тела

П л а н л е к ц и и

1. Напряженное состояние в точке тела.
2. Деформированное состояние в точке тела.
3. Условие пластичности.

Напряженное состояние в точке тела

Пластическое деформирование для придания необходимой формы обрабатываемому изделию осуществляется приложением к нему внешних сил с помощью механизма или устройства. Внешние силы вызывают появление в теле внутренних сил, уравнивающих действие первых. Интенсивность внутренних сил называют *напряжением*. Очевидно, что напряжение σ на площадке, выделенной внутри или на поверхности тела, можно выразить следующей формулой:

$$\sigma = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta F}, \quad (2.4)$$

где ΔF – элементарная площадка; ΔP – результирующая внутренних сил, действующих на площадке.

При изучении напряженного состояния принимают, что тело однородно, изотропно и представляет собой систему непрерывных материальных точек, каждая из которых в напряженном теле находится под действием всех ее окружающих точек. Поэтому в любой плоскости, проведенной через данную точку, на нее будет действовать напряжение, характеризуемое определенной величиной и направлением.

В напряженном теле возьмем точку A и проведем через нее три плоскости, параллельные плоскостям координат. Для того чтобы иметь возможность обозначить на чертеже напряжения, действующие на точку в этих плоскостях,

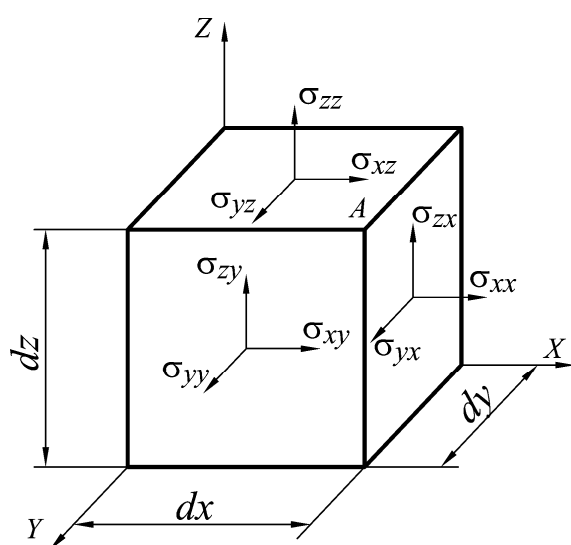


Рис. 2.10. Напряженное состояние в точке тела

построим параллелепипед, ребра которого примем бесконечно малыми, неограниченно приближающимися к точке. Тогда на гранях такого элементарного параллелепипеда, проходящих через точку A , можно изобразить векторы напряжений, действующих на точку в трех взаимно перпендикулярных плоскостях. При этом напряжение на каждой площадке разложим на три: одно нормальное и два касательных, которые направим параллельно осям координат.

Таким образом, всего получим три нормальных и шесть касательных

напряжений (рис. 2.10): $\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz}$ – нормальные напряжения; $\sigma_{xy}, \sigma_{xz}, \sigma_{yx}, \sigma_{yz}, \sigma_{zx}, \sigma_{zy}$ – касательные напряжения. Для касательного напряжения первый индекс – это координатная ось, вдоль которой оно действует, а второй – координатная ось, перпендикулярная площадке, к которой приложено напряжение. Нормальные напряжения принято считать положительными, если они стремятся вызвать растяжение тела, и отрицательными – если сжатие.

Удобнее всего записывать напряжения по трем координатным плоскостям в виде матрицы, в которой каждая строка представляет напряжения одного направления в последовательности адресов x, y, z ; а каждый столбец – напряжения одного адреса в последовательности направлений x, y, z :

$$\begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{pmatrix}. \quad (2.5)$$

Вследствие парности касательных напряжений в этой матрице только шесть неизвестных, так как $\sigma_{xy} = \sigma_{yx}$; $\sigma_{xz} = \sigma_{zx}$; $\sigma_{yz} = \sigma_{zy}$. Поэтому считается, что если заданы напряжения в трех взаимно перпендикулярных площадках (известны 6 компонент матрицы), то напряженное состояние точки определено. Матричное описание означает, что напряженное состояние – это тензорная величина, в отличие от скалярной (определяемой числом) и векторной (определяемой числом и направлением). Геометрический смысл тензора напряжений – поверхность второго порядка. С тензорами производят различные математические действия, изучаемые в тензорном анализе. Важное следствие: по тензору напряжений определяют напряжение на любой площадке, наклонной относительно осей координат. Для этого нужно знать ее положение относительно осей координат, которое задается косинусами углов между нормалью к ней и координатными осями.

Через точку, находящуюся в напряженном состоянии, всегда можно провести такие три взаимно перпендикулярные плоскости, в которых касательных напряжений не будет. При этом полученные три нормальных напряжения будут называться *главными нормальными напряжениями*, а плоскости, на которые они действуют, – *главными плоскостями*. Таким образом, если оси координат выбраны параллельно главным направлениям, то в соответствующих координатных плоскостях будут действовать только главные нормальные напряжения. В этом случае напряженное состояние будет определено, если даны направления трех главных осей и величины трех главных нормальных напряжений, обозначаемых обычно $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$. Тензор напряжения будет иметь диагональный вид:

$$T_{\sigma} = \begin{pmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{pmatrix}. \quad (2.6)$$

Принято, что $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$.

Главные касательные напряжения – это максимальные касательные напряжения. Их можно выразить через главные напряжения:

$$\sigma_{12} = \pm \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2), \quad \sigma_{23} = \pm \frac{1}{2}(\sigma_2 - \sigma_3), \quad \sigma_{31} = \pm \frac{1}{2}(\sigma_3 - \sigma_1). \quad (2.7)$$

При этом

$$\sigma_{12} + \sigma_{23} + \sigma_{31} = 0. \quad (2.8)$$

Главные касательные напряжения возникают в площадках, перпендикулярных одной из координатных плоскостей и составляющих углы 45° с каждой из двух других, или в площадках, проходящих через одну координатную ось и делящих угол между двумя другими пополам.

Если выделить в напряженном теле кубик со сколь угодно малыми гранями, перпендикулярными к главным направлениям, то грани кубика будут главными площадками. При уменьшении размеров кубика он превратится в точку и напряжения на его гранях станут напряжениями в точке. Графическое представление о наличии и знаке главных нормальных напряжений в точке называется *схемой напряженного состояния*. В ряде случаев можно принять, что схема главных напряжений одинакова для всех точек и характеризует напряженное состояние деформируемого тела. Всего имеется 9 схем напряженного состояния: 2 линейных; 3 плоских и 4 объемных (рис. 2.11).

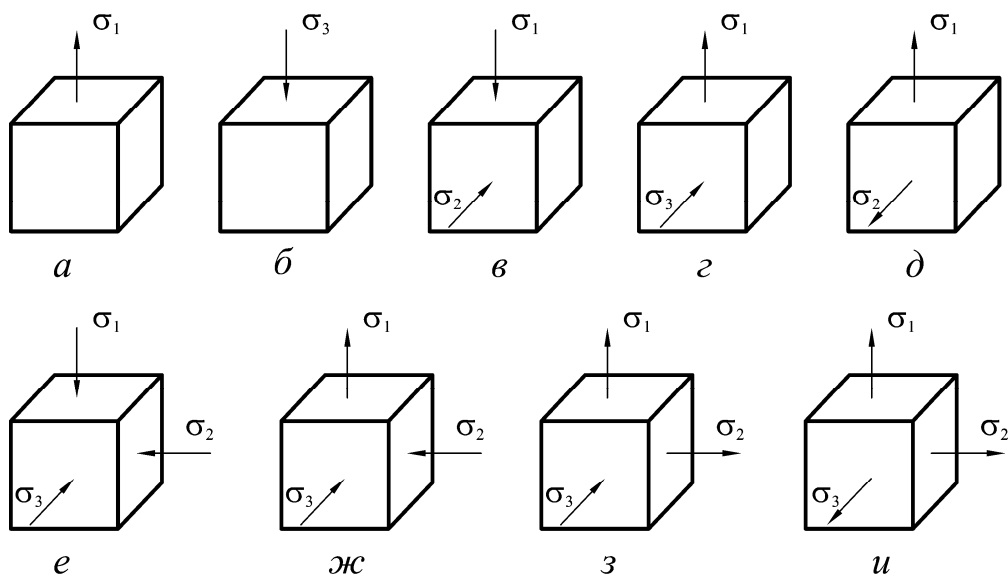


Рис. 2.11. Схемы напряженного состояния: а, б – линейные; в–д – плоские; е–и – объемные

Линейные схемы напряженного состояния, соответствующие одноосному растяжению (сжатию), в обработке давлением практически не встречаются из-за действия сил трения. Плоское напряженное состояние (рис. 2.11, в–д) воз-

никает в таких видах листовой штамповки, как гибка, отбортовка и т.д. Чаще всего в обработке давлением реализуется объемное напряженное состояние. При равномерном всестороннем растяжении (рис. 2.11, *и*) пластическая деформация невозможна из-за хрупкого разрушения. При всестороннем равномерном сжатии деформация не происходит из-за отсутствия сдвигающего напряжения. Пластическая деформация возможна при всестороннем неравномерном сжатии (рис. 2.11, *е*) или при совмещении сжатия и растяжения (рис. 2.11, *ж, з*). Из двух последних схем благоприятнее для проявления пластических свойств та, в которой преобладают сжимающие напряжения (рис. 2.11, *ж*).

Большинство процессов обработки металлов давлением (прокатка, прессование, ковка и объемная штамповка) протекают в условиях всестороннего неравномерного сжатия. При этом сжимающие напряжения препятствуют нарушению межкусталлитных связей, способствуют развитию внутрикристаллических сдвигов и повышению пластичности металлов.

Деформированное состояние в точке тела

Деформация любого тела определяется изменением формы и размеров его элементарного объема. Чаще всего в технологических расчетах принимают, что объем металла при обработке давлением не изменяется. По аналогии с напряженным состоянием *деформированное состояние точки* описывает тензор деформации T_ε :

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} & \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} & \varepsilon_{zy} & \varepsilon_{zz} \end{pmatrix}, \quad (2.9)$$

где ε_{xx} , ε_{yy} , ε_{zz} – относительные удлинения по осям x , y , z ; $\varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yx}$; $\varepsilon_{yz} = \varepsilon_{zy}$; $\varepsilon_{zx} = \varepsilon_{xz}$ – компоненты тензора, характеризующие сдвиговые деформации.

По условию постоянства объема

$$\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz} = 0. \quad (2.10)$$

В любой точке деформируемого тела можно обнаружить такие три взаимно перпендикулярные оси, в системе которых отсутствуют сдвиговые деформации. Они и называются *главными осями деформированного состояния*. Относительные удлинения вдоль этих осей также называют главными и обозначают ε_1 , ε_2 , ε_3 . Тензор деформации в главных осях имеет следующий вид:

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_1 & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_2 & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_3 \end{pmatrix}. \quad (2.11)$$

В свою очередь, из условия (2.10) вытекает условие постоянства объема (2.12) для главных осей деформации:

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0. \quad (2.12)$$

Из-за ограничения, накладываемого выражением (2.12), существует только три *схемы деформированного состояния* (рис. 2.12). При этом деформации, направленные на увеличение первоначального размера, считают положительными, а на уменьшение – отрицательными.

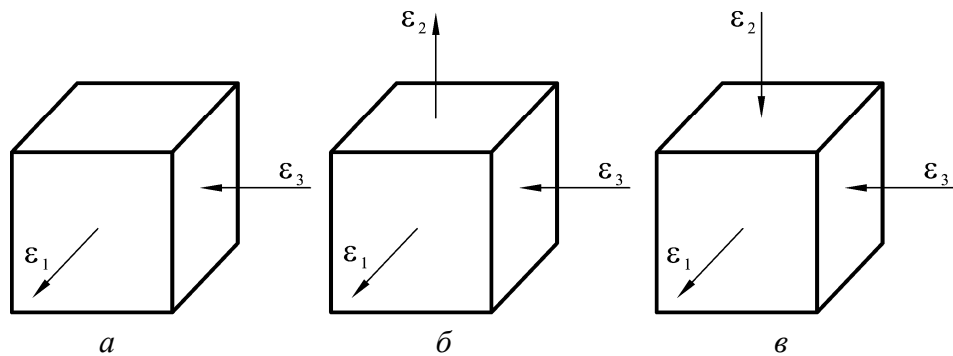


Рис. 2.12. Схемы деформированного состояния: *а* – плоская;
б, в – объемные

Уменьшение одного размера тела ведет к увеличению двух других (рис. 2.12, *б*). Так осуществляется деформация при осадке и прокатке. Наиболее рациональной (для производительности процесса обработки давлением) является третья схема (рис. 2.12, *в*): размеры тела уменьшаются по двум направлениям, а увеличиваются в третьем, т.е. длина увеличивается максимально. По этой схеме происходят процессы прессования, волочения и некоторые виды прокатки труб. Плоская схема деформации (рис. 2.12, *а*) встречается при прокатке широкого листа, когда его ширина в процессе прокатки практически не меняется.

Условие пластичности

Для практических расчетов необходимо знать минимальное усилие, которое обеспечивает пластическое изменение формы тела. В условиях линейной схемы напряженного состояния пластическая деформация начинается при достижении нормальным напряжением предела текучести σ_T :

$$\sigma_1 = \sigma_T. \quad (2.13)$$

В условиях сложной схемы напряженного состояния, когда в деформируемом теле действуют все три главных нормальных напряжения, переход тела в пластическое состояние описать сложнее. Совокупность соотношений главных напряжений $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ представляет из себя поверхность, называемую *предельной поверхностью пластичности*, которую описывает следующее равенство:

$$f(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3) = 0. \quad (2.14)$$

Определение этой функции для сложной системы напряженного состояния вызывает трудности, поэтому в целях упрощения используют гипотезы предельного состояния, две из которых получили наиболее широкое применение.

Условие постоянства максимальных касательных напряжений. Пластическая деформация в данной точке тела возникает независимо от схемы напряженного состояния, если наибольшее касательное напряжение в рассматриваемой точке достигло предельной величины, характерной для данного материала:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_T. \quad (2.15)$$

Эта теория применима только для плоского напряженного состояния, так как не учитывает среднего по величине напряжения σ_2 .

Энергетическое условие пластичности. Пластическая деформация в любой точке тела возникает и поддерживается в том случае, если интенсивность напряжений достигает предела текучести. Интенсивность напряжений σ_i есть некоторая характеристика напряженного состояния и не является напряжением, действующим на какой-либо площадке:

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}. \quad (2.16)$$

Условие пластичности записывается следующим образом:

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_T^2. \quad (2.17)$$

Физический смысл условия пластичности состоит в том, что пластическая деформация возникает тогда, когда удельная потенциальная энергия упругой деформации формы элемента достигает определенного значения независимо от схемы напряженного состояния.

В теории пластичности доказано, что соотношения между главными напряжениями и главными относительными пластическими деформациями можно выразить следующими уравнениями:

$$\delta_1 = \frac{1}{E'} \left(\sigma_1 - \frac{\sigma_2 + \sigma_3}{2} \right), \quad (2.18)$$

$$\delta_2 = \frac{1}{E'} \left(\sigma_2 - \frac{\sigma_3 + \sigma_1}{2} \right), \quad (2.19)$$

$$\delta_3 = \frac{1}{E'} \left(\sigma_3 - \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \right), \quad (2.20)$$

где E' – модуль пластичности, зависящий от материала, температуры, скорости деформации и упрочнения.

Академик С.И. Губкин ввел понятие *механической схемы деформации* – совокупности схемы главных напряжений и схемы главных деформаций.

Так как схем главных напряжений 9, а схем главных деформаций 3, то математически возможны $9 \cdot 3 = 27$ сочетаний. Четыре сочетания не имеют физического смысла: при линейном сжатии невозможна деформация по схемам

[рис. 2.11, а, в](#); при линейном растяжении невозможна деформация по схемам [рис. 2.11, а, б](#). Таким образом, реальны 23 механические схемы деформации.

Контрольные вопросы и задания

1. При каких условиях считается, что напряженное состояние точки тела определено?
2. Каков геометрический смысл тензора напряжений?
3. Перечислите схемы напряженного состояния, которые встречаются в обработке металлов давлением. Какие из них наиболее благоприятны для проявления пластичности?
4. Как в обработке металлов давлением описывают деформированное состояние?
5. Перечислите схемы деформированного состояния, которые встречаются в обработке металлов давлением.
6. Сформулируйте условие пластичности и его физический смысл.

Л е к ц и я 5

Основные законы пластической деформации. Внешнее трение

П л а н л е к ц и и

1. Основные законы пластической деформации.
2. Внешнее трение.

Основные законы пластической деформации

Фундаментальные положения теории обработки металлов давлением находят отражение в основных законах пластической деформации.

Закон постоянства объема. Пластическая деформация металла сопровождается очень малым изменением объема (приблизительно 1–2 %), которым в технологических расчетах пренебрегают и считают, что объем металла до деформации равен объему металла после деформации. Из закона постоянства объема вытекает важное следствие. Если взять прямоугольный параллелепипед, ребра которого до деформации равны x_n, y_n, z_n и совпадают с направлением оси координат, подвергнуть его сжатию по любой оси, например z , то после деформации он останется прямоугольным, но размеры его ребер изменятся: по осям x и y увеличатся, а по оси z уменьшатся. По закону постоянства объема

$$\frac{x_k}{x_n} \frac{y_k}{y_n} \frac{z_k}{z_n} = 1, \quad (2.21)$$

где x_k, y_k, z_k – размеры параллелепипеда после деформации. Логарифмированием обеих частей уравнения (2.21) получим

$$\ln \frac{x_k}{x_n} + \ln \frac{y_k}{y_n} + \ln \frac{z_k}{z_n} = 0. \quad (2.22)$$

Выражение (2.22) еще записывают так:

$$e_1 + e_2 + e_3 = 0, \quad (2.23)$$

где e_1, e_2, e_3 – логарифмические, или истинные, деформации, соответственно, в направлениях x, y, z .

В обработке металлов давлением часто пользуются относительной деформацией ε :

$$\varepsilon = \frac{x_k - x_n}{x_n} \cdot 100 \%, \quad (2.24)$$

где ε – относительная деформация по оси x .

При малых значениях (менее 10 %) $\varepsilon \approx e$, поэтому закон постоянства объема можно записать следующим образом:

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0. \quad (2.25)$$

На основании этого закона рассчитывают все технологические процессы обработки металлов давлением.

Закон подобия. При осуществлении в одинаковых условиях одних и тех же процессов пластического деформирования геометрически подобных тел из одинакового материала отношение усилий деформирования равно квадрату, а отношение затрачиваемых работ – кубу отношений соответствующих линейных размеров.

Проиллюстрируем закон следующим примером. Даны два прямоугольных параллелепипеда с размерами ребер, соответственно, a_1, b_1, c_1 и a_2, b_2, c_2 . Если

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{b_1}{b_2} = \frac{c_1}{c_2} = m, \quad (2.26)$$

то

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{a_1 b_1}{a_2 b_2} = m^2, \quad (2.27)$$

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{a_1 b_1 c_1}{a_2 b_2 c_2} = m^3, \quad (2.28)$$

где m – масштаб моделирования; P_1, P_2 и A_1, A_2 – соответственно, усилия и работа, затрачиваемые на деформирование первого и второго тела.

Согласно этому закону, зная усилие и работу деформации, затрачиваемые на деформирование модели, и масштаб моделирования, можно вычислить усилие и работу деформации, требуемые на деформирование натуральной заготовки. При расчете реальных процессов, включающих много факторов, в этот закон вводят поправочные коэффициенты.

Принципы наименьшего сопротивления и наименьшего периметра.

Первый принцип формулируется следующим образом: в случае возможности перемещения точек деформируемого тела в различных направлениях, каждая его точка перемещается в направлении наименьшего сопротивления. Знание *принципа наименьшего сопротивления* используется в ОМД, например, при разработке технологии объемной штамповки в открытых штампах. Металл в начальный период штамповки начинает вытекать за пределы фигуры штампа в зазор между верхним и нижним штампами. Заполнение же элементов полости штампа возможно, если сопротивление течению металла в разъем между штампами больше сопротивления течению в те или иные участки полости. По мере смыкания половин штампа зазор между ними уменьшается, сопротивление течению в него металла возрастает, что и обеспечивает заполнение всех элементов полости.

Траектории, по которым движутся точки деформируемого тела, подчиняются *принципу наименьшего периметра*: любая форма поперечного сечения призматического или цилиндрического тела при осадке его в пластическом состоянии с наличием контактного трения стремится принять форму,

имеющую при данной площади наименьший периметр, т.е. в пределе стремится к окружности. Этот принцип позволяет наиболее рационально подбирать форму поперечного сечения заготовок для конкретных случаев пластического деформирования. Благодаря ему можно применять заготовки квадратного сечения для получения осадкой поковок, имеющих в плане круглое сечение.

Внешнее трение

Закономерности формоизменения металлов обусловлены не только свойствами самих металлов, но и внешними факторами, возникновение которых является результатом взаимодействия обрабатываемого металла с деформирующей средой. Один из таких факторов – внешнее трение. В обработке металлов давлением происходит перемещение деформируемого металла относительно инструмента. При этом возникают силы, препятствующие перемещению, – силы трения. Такое трение называют *контактным*.

Трение между металлом и инструментом вызывает:

высокие удельные давления на поверхности контакта (иногда более 2 500 МПа);

высокую температуру, которая способствует изменению физико-химического состояния металла, в частности, образованию окислов, окалин и т.д.;

постоянное обновление контактных поверхностей, происходящее благодаря выходу на поверхность глубинных частиц металла, в отличие от истирания;

изменение схемы напряженного состояния, а значит, и пластичности металла и его сопротивления деформированию.

В большинстве своем трение, несмотря на отрицательное воздействие при обработке давлением, в отдельных его видах (например, при прокатке) является необходимым условием протекания процесса.

Виды трения. В обработке металлов давлением различают три основных вида трения: сухое, граничное и жидкостное.

При *сухом трении* поверхности трущихся тел свободны от третьих веществ (смазки, окислов и т.д.), т.е. происходит взаимодействие чистых металлических поверхностей. В чистом виде такой вид трения при обработке давлением не встречается, поэтому в широкой практике сухим трением называют трение несмазанных тел. Так, горячую прокатку проводят без смазки, поэтому трение при горячей прокатке условно называют сухим.

Граничное трение характеризуется наличием на поверхности трущихся тел адсорбированных веществ, существенно отличающихся свойствами от материалов инструмента и обрабатываемого тела. При этом имеет место механическое зацепление шероховатостей поверхностей контакта. Этот вид трения реализуется при использовании смазок, которые содержат поверхностно-активные вещества, адсорбирующиеся на трущихся поверхностях с образованием прочных пленок. Такие пленки способны выдерживать высокие нагрузки и оказывают малое сопротивление сдвигу этих поверхностей. Одна-

ко толщина смазки так мала, что шероховатости изделия и инструмента находятся во взаимном зацеплении.

При *жидкостном трении* между трущимися поверхностями имеется слой смазки, выводящий из механического зацепления шероховатости этих поверхностей. Поэтому жидкостное трение – это внутреннее трение в объеме смазки. Оно нашло применение, например, при волочении проволоки. Ведутся работы по реализации этого вида трения и в других видах обработки металлов давлением. Термин «жидкостное трение» условен, так как смазка может быть консистентной и даже твердой, например, парафин. Главное, чтобы не происходило соприкосновения трущихся поверхностей, а сопротивление деформации самой смазки было во много раз меньше сопротивления деформации обрабатываемого металла. Отличительная особенность жидкостного трения – давление в слое смазки. Оно должно быть таким, чтобы могло перевести обрабатываемый металл в пластическое состояние. В этом случае смазка не будет выдавливаться из промежутка между трущимися поверхностями, а деформация изделия инструментом будет осуществляться через слой смазки.

Приведенная классификация условна. На практике чаще всего встречается промежуточный режим – полусухое трение. При сухом трении между поверхностями трущихся тел может попасть третье вещество, что не отвечает условиям сухого трения. Но даже при обильной смазке вероятно выдавливание смазывающей пленки и ее разрушение, а следовательно, возникновение участков контактирующих поверхностей. Полусухое трение можно представить как трение с очень малым количеством смазки, не создающим сплошного слоя адсорбированных молекул.

Законы трения. На напряжение трения оказывают влияние многие факторы: состояние поверхностей инструмента и деформируемого тела, величина давления, скорость и температура деформации, наличие смазки, способ ее подачи и др. Все это объясняет сложность зависимости напряжения трения от перечисленных факторов. Практически используют два упрощенных закона трения.

Согласно *закону Амонтона-Кулона*, сила трения T пропорциональна нормальному давлению P на поверхности контактирующих тел:

$$T = f \cdot P, \quad (2.29)$$

где f – коэффициент трения.

При переходе к элементарной площадке закон трансформируется:

$$\tau = f \cdot p, \quad (2.30)$$

где τ – удельное трение, или напряжение трения; p – нормальное контактное напряжение.

При этом τ может достигать предела текучести материала при сдвиге. Этот закон обычно используют при холодной обработке давлением.

В случае горячей обработки давлением лучше пользоваться *законом Зибеля*:

$$\tau = f \cdot \sigma_s, \quad (2.31)$$

где σ_s – предел текучести материала, зависящий от температуры.

Коэффициент трения при обработке металлов давлением обычно меняется от 0,1 до 0,5. При использовании смазки он может снижаться до 0,03.

Знание основных положений теории пластичности поможет при изучении конкретных видов обработки металлов давлением.

Контрольные вопросы и задания

1. Как используют знание законов и принципов обработки металлов давлением в технологических расчетах?
2. Какова положительная и отрицательная роль трения в процессах обработки металлов давлением?
3. Охарактеризуйте каждый из основных видов трения.
4. Сформулируйте закон Амонтона-Кулона. В каком случае его целесообразно использовать?
5. Сформулируйте закон Зибеля. Когда используют этот закон?
6. Какие факторы оказывают влияние на напряжение трения?

Лекция 6

Теория прокатки

П л а н л е к ц и и

1. Определение процесса прокатки. Продольная прокатка.
2. Геометрия очага деформации при прокатке.
3. Параметры деформации при прокатке.
4. Условие захвата металла валками.
5. Опережение и уширение.

Определение процесса прокатки. Продольная прокатка

Прокаткой называется процесс деформации металла путем обжатия исходной заготовки между вращающимися валками с целью уменьшения поперечного сечения заготовки и придания ей заданной формы.

Прокатка – это один из наиболее распространенных видов обработки металлов давлением, которому подвергается приблизительно 80 % выплавляемого в нашей стране металла. Широкое применение прокатки объясняется рядом ее преимуществ по сравнению с другими видами обработки давлением (прессованием, волочением), а также высокой производительностью этого процесса и меньшей стоимостью получаемых изделий.

Прокатка является эффективным инструментом для формирования структуры, обеспечивающей повышение эксплуатационных свойств изделий. Поэтому существует много схем термомеханической обработки, включающих прокатку.

В настоящее время широко внедряется совмещение обработки давлением с литейным производством. Примером может служить высокопроизводительный способ непрерывного литья и прокатки стали и сплавов.

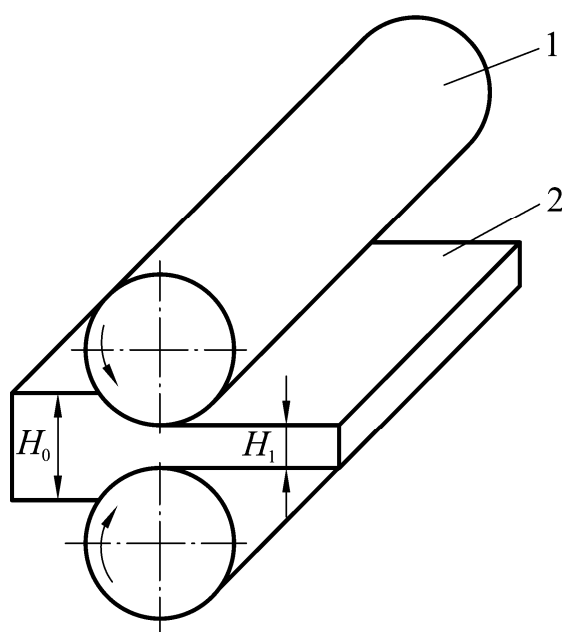


Рис. 2.13. Схема процесса продольной прокатки

Знание основ прокатки позволяет экономистам, специализирующимся в металлургии, активно влиять на технологический процесс прокатки с целью повышения технико-экономических показателей работы прокатных цехов.

Различают три основных вида прокатки: продольная, поперечная и поперечно-винтовая (косая). При *продольной прокатке* (рис. 2.13), являющейся наиболее распространенной, заготовка 2 деформируется между вращающимися в разные стороны валками 1, зазор между которыми меньше, чем исходная толщина заготовки. Процесс прокатки считают простым, или симметричным, если

его осуществляют в гладких некалиброванных валках с параллельными осями, расположенными в одной плоскости. Оба валка являются приводными, имеют равные диаметры и вращаются в разные стороны с одной окружной скоростью.

Состояние поверхности обоих валков одинаковое, т.е. одинаковы коэффициенты и силы трения на них. Наконец, предполагается, что прокатке подвергают полосу прямоугольного сечения с однородными физико-механическими свойствами по всему объему и на нее действуют силы только со стороны валков.

Геометрия очага деформации при прокатке

При продольной прокатке одновременно пластической деформации подвергается не весь объем обрабатываемого металла, а только его небольшая часть, находящаяся вблизи валков. Поэтому объем прокатываемого металла, заключенный между плоскостью входа AA_1 металла в валки и плоскостью выхода BB_1 металла из валков, называется *геометрическим очагом деформации* (рис. 2.14). Дуга AB , по которой деформируемый металл контактирует с валками, называется *дугой захвата*, а центральный угол α , соответствующий дуге захвата, – *углом захвата*. Проекция очага деформации на горизонтальную ось – это длина *очага деформации* l .

При прокатке исходная полоса толщиной H_0 обжимается валками до толщины H_1 на величину абсолютного обжатия:

$$\Delta H = H_0 - H_1. \quad (2.32)$$

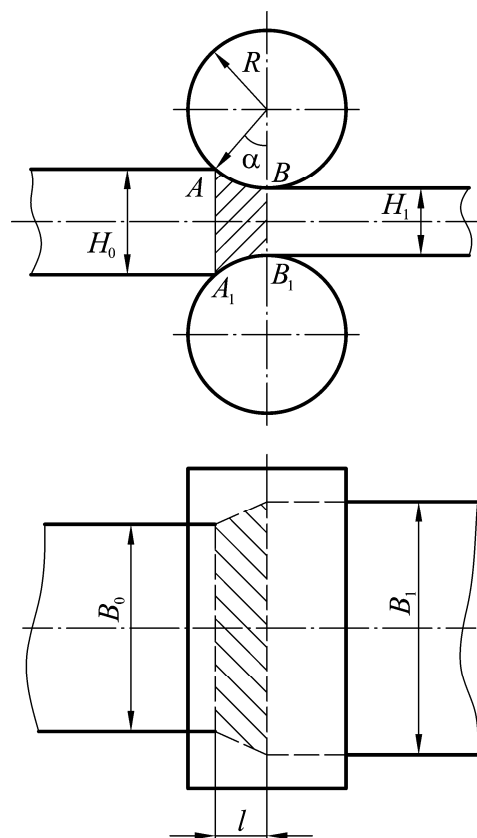


Рис. 2.14. Геометрия очага деформации при прокатке

Поскольку действует условие несжимаемости металла, происходит увеличение длины и ширины полосы. Таким образом, форму геометрического очага деформации при прокатке характеризуют углом захвата α , высотами сечения H_0 и H_1 , длиной очага деформации l , а также начальной и конечной шириной полосы B_0 и B_1 . Для нахождения α и l используют формулы

$$\cos \alpha = 1 - \frac{\Delta H}{D}, \quad (2.33)$$

$$l \approx \sqrt{R \Delta H}, \quad (2.34)$$

где R, D – соответственно, радиус и диаметр валков.

Параметры деформации при прокатке

Для оценки величины деформации при прокатке используют такие безразмерные величины, как коэффициенты обжатия η , уширения β , вытяжки λ , определяемые по следующим формулам:

$$\frac{1}{\eta} = \frac{H_0}{H_1}; \quad (2.35)$$

$$\beta = \frac{B_1}{B_0}; \quad (2.36)$$

$$\lambda = \frac{L_1}{L_0}, \quad (2.37)$$

где L_0, L_1 – длина заготовки, соответственно, до и после прокатки.

По закону постоянства объема

$$\eta \cdot \beta \cdot \lambda = \frac{V_1}{V_0} = 1, \quad (2.38)$$

где V_0, V_1 – объем металла, соответственно, до и после прокатки.

Для оценки интенсивности деформации применяют относительное обжатие ε_H , относительное уширение ε_B , относительное удлинение ε_l :

$$\varepsilon_H = \frac{H_0 - H_1}{H_0} = \frac{\Delta H}{H_0}; \quad (2.39)$$

$$\varepsilon_B = \frac{B_1 - B_0}{B_0} = \frac{\Delta B}{B_0}; \quad (2.40)$$

$$\varepsilon_l = \frac{L_1 - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}. \quad (2.41)$$

Уравнения (2.35)–(2.37) и (2.39)–(2.41) связаны между собой следующим образом:

$$\eta = \frac{H_1}{H_0} = \frac{H_0 - \Delta H}{H_0} = 1 - \varepsilon_H; \quad (2.42)$$

$$\beta = \frac{B_1}{B_0} = \frac{B_0 + \Delta B}{B_0} = 1 + \varepsilon_B; \quad (2.43)$$

$$\lambda = \frac{L_1}{L_0} = \frac{L_0 + \Delta L}{L_0} = 1 + \varepsilon_L. \quad (2.44)$$

При малых степенях деформации с большой точностью можно записать:

$$\varepsilon_B + \varepsilon_L - \varepsilon_H = 0. \quad (2.45)$$

При больших степенях деформации

$$\ln \frac{L_1}{L_0} + \ln \frac{B_1}{B_0} - \ln \frac{H_0}{H_1} = 0, \quad (2.46)$$

где каждое из слагаемых представляет собой истинную, или логарифмическую, деформацию в соответствующем направлении.

В практике чаще всего для характеристики деформации при прокатке используют коэффициент вытяжки λ , показывающий, во сколько раз увеличилась длина заготовки после прокатки, и относительную степень обжатия ε :

$$\varepsilon = \frac{H_0 - H_1}{H_0} \cdot 100 \%. \quad (2.47)$$

Если прокатку осуществляют за несколько проходов, то суммарный коэффициент вытяжки $\lambda_{\text{сум}}$ определяют как произведение коэффициентов вытяжки после каждого прохода:

$$\lambda_{\text{сум}} = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \dots \lambda_{n-1} \cdot \lambda_n, \quad (2.48)$$

где n – число проходов при прокатке.

Условие захвата металла валками

Захват металла вращающимися валками, сопровождающийся изменением размеров прокатываемой полосы, обеспечивается наличием контактного трения между полосой и рабочей поверхностью валков. Условие захвата металла валками обычно рассматривают для двух периодов прокатки: неустановившегося и установившегося.

Первый период включает захват полосы валками (или принудительную подачу ее в щель между валками) и заполнение области деформирования до момента образования некоторой длины

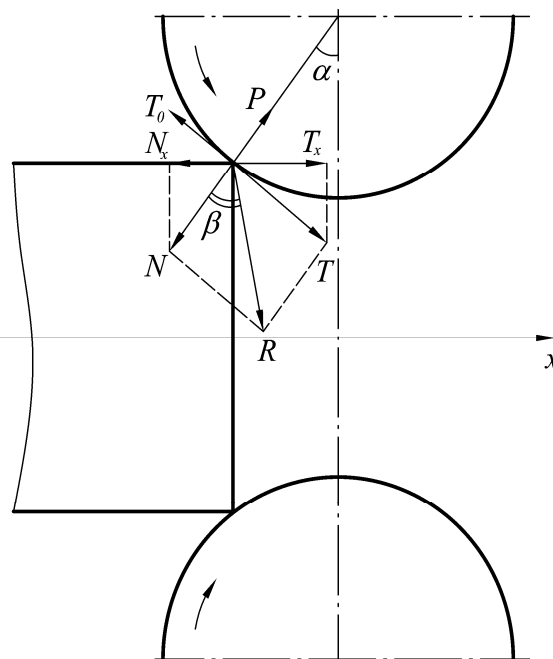


Рис. 2.15. Схема неустановившегося периода прокатки

переднего конца полосы за пределами области деформирования. По мере заполнения щели между валками условия деформирования металла непрерывно изменяются, что дало основание назвать данный период прокатки *неустановившимся*. Рассмотрим подробнее этот период ([рис. 2.15](#)).

При соприкосновении полосы с вращающимися валками между ними возникает взаимодействие. Валки действуют на полосу нормальной силой N , стремясь оттолкнуть металл, и силой трения T , втягивающей его в зазор между валками. В свою очередь, полоса давит на валки силой P и тормозит их вращение силой T_0 . Для определения захватывающей способности валков сопоставляют действие сил N и T в направлении прокатки, т.е. сравнивают горизонтальные проекции этих сил:

$$T_x = T \cdot \cos \alpha; \quad (2.49)$$

$$N_x = N \cdot \sin \alpha. \quad (2.50)$$

При этом возможны три случая. При $T_x > N_x$ будет происходить захват; при $T_x = N_x$ наблюдается состояние равновесия, т.е. валки будут вращаться, а полоса останется неподвижной (валки «буксуют» по полосе). Наконец, если $T_x < N_x$, то полоса отбрасывается от валков. С учетом выражений ([2.49](#)) и ([2.50](#)) условие захвата можно записать следующим образом:

$$\frac{T \cdot \cos \alpha}{N \cdot \sin \alpha} > 1 \quad (2.51)$$

или

$$\frac{T}{N} > \operatorname{tg} \alpha. \quad (2.52)$$

Если принять, что трение в рассматриваемом случае подчиняется закону Амонтона-Кулона, т.е.

$$T = \mu \cdot N, \quad (2.53)$$

где μ – коэффициент трения, то будет справедливой запись

$$\mu > \operatorname{tg} \alpha. \quad (2.54)$$

Так как при малых углах $\operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$, то условие захвата можно преобразовать так:

$$\mu > \alpha. \quad (2.55)$$

Если взять равнодействующую сил T и N , обозначив ее через R ([рис. 2.15](#)), то условие захвата примет вид

$$\beta > \alpha, \quad (2.56)$$

где β – угол трения, образуемый силами N и R .

Второй период прокатки начинается с момента выхода переднего конца полосы через сечение выхода, а заканчивается при достижении задним концом сечения выхода. На протяжении всего времени протекания второго

периода параметры очага деформации остаются неизменными, поэтому второй период процесса прокатки называют *установившимся*. Если принять, что в установившемся периоде прокатки нормальные контактные напряжения распределены по длине области деформирования равномерно, то результирующая сила действия валков на металл будет проходить через середину дуги захвата (рис. 2.16).

Повторяя предыдущие рассуждения, получим условие захват для установившегося периода прокатки:

$$\beta > \alpha/2. \quad (2.57)$$

Сравнивая выражения (2.56) и (2.57), можно заключить, что в установившемся периоде прокатки захват металла валками, по сравнению с неустановившимся периодом, облегчен вдвое.

Обычно чем больше угол захвата, тем больший объем металла деформируется за один проход и тем выше производительность процесса прокатки. Улучшению захвата металла валками способствуют следующие факторы:

- повышение коэффициента трения, например, нанесением насечек на валках;
- снижение величины обжатия;
- увеличение диаметра валков при данном обжатии;

- использование вталкивающей силы, направленной на заготовку вдоль оси;

- устройство заходного клина (фрезерование переднего конца заготовки под углом) и т.д.

Необходимо отметить, что хотя использование смазки затрудняет захват металла, холодную прокатку листов обычно ведут со смазкой для получения высокого качества их поверхности. Углы захвата при холодной прокатке со смазкой составляют 3–4°, без смазки – 5–8°. При горячей прокатке на обжимных станах (бюмингах и слябингах) $\alpha = 18–34^\circ$.

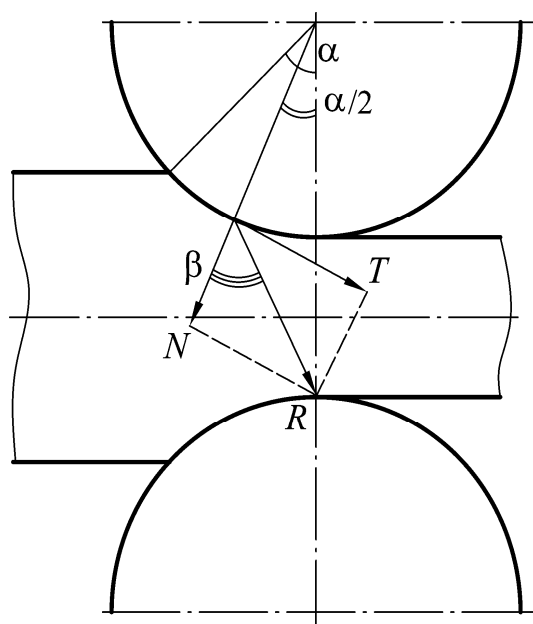


Рис. 2.16. Схема установившегося периода прокатки

Опережение и уширение

Установлено, что скорость выхода заготовки из валков V_h всегда больше, а скорость входа заготовки в валки V_n меньше окружной скорости валков V_o . Это явление называется *опережением* S :

$$S = \frac{V_h - V_o}{V_o}. \quad (2.58)$$

Опережение возрастает с увеличением обжатия, диаметра валков, коэффициента трения и переднего натяжения полосы. Так как при прокатке наблюдается опережение и отставание, следовательно, в очаге деформации есть сечение, в котором скорости движения заготовки и валков равны. Это сечение называют критическим, а центральный угол, соответствующий ему, называют критическим углом (рис. 2.17).

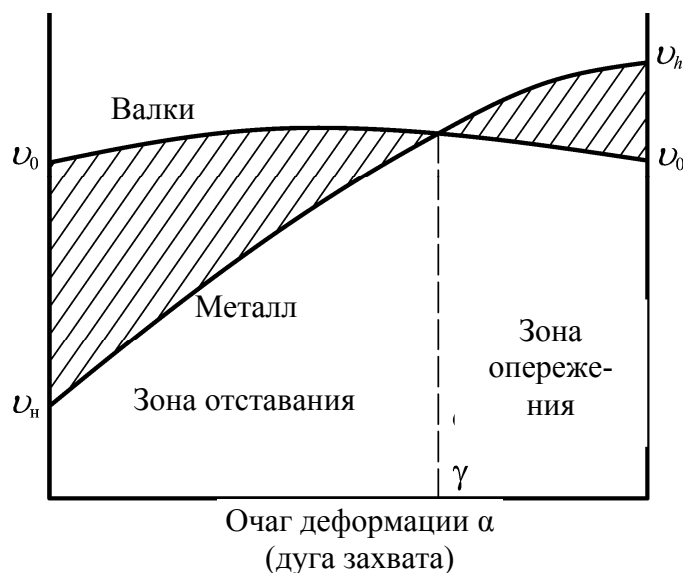


Рис. 2.17. Изменение скорости металла и валков в очаге деформации при прокатке

Очаг деформации от входного сечения до критического называют зоной отставания, а от критического сечения до выходного сечения – зоной опережения.

Уширение – это приращение при прокатке ширины прокатываемого изделия. Эта величина возрастает с увеличением обжатия, диаметра валков, коэффициента трения и числа проходов. При прокатке листов уширение мало, и в расчетах им пренебрегают. При прокатке сортового металла, имеющего близкие размеры по ширине и высоте, его необходимо учитывать, так как в противном случае может происходить незаполнение калибра либо заклинивание из-за его переполнения.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение простому процессу прокатки.
2. Опишите геометрические параметры очага деформации при прокатке.
3. Как связаны между собой коэффициенты деформации при прокатке?
4. Сформулируйте условие захвата металла валками для неустановившегося периода прокатки.
5. Как меняются условия захвата металла валками при переходе от неустановившегося периода прокатки к установившемуся?

6. Для чего необходимо учитывать опережение и уширение в технологических расчетах прокатки?

Лекция 7

Виды продольной прокатки и получаемая продукция. Оборудование для прокатки

П л а н л е к ц и и

1. Классификация основной продукции, получаемой продольной прокаткой.
2. Получение профилей переменного и периодического сечения.
3. Классификация прокатных станов.

Классификация основной продукции, получаемой продольной прокаткой

Продольной прокаткой получают длинномерные изделия с разнообразной формой поперечного сечения (рис. 2.18).

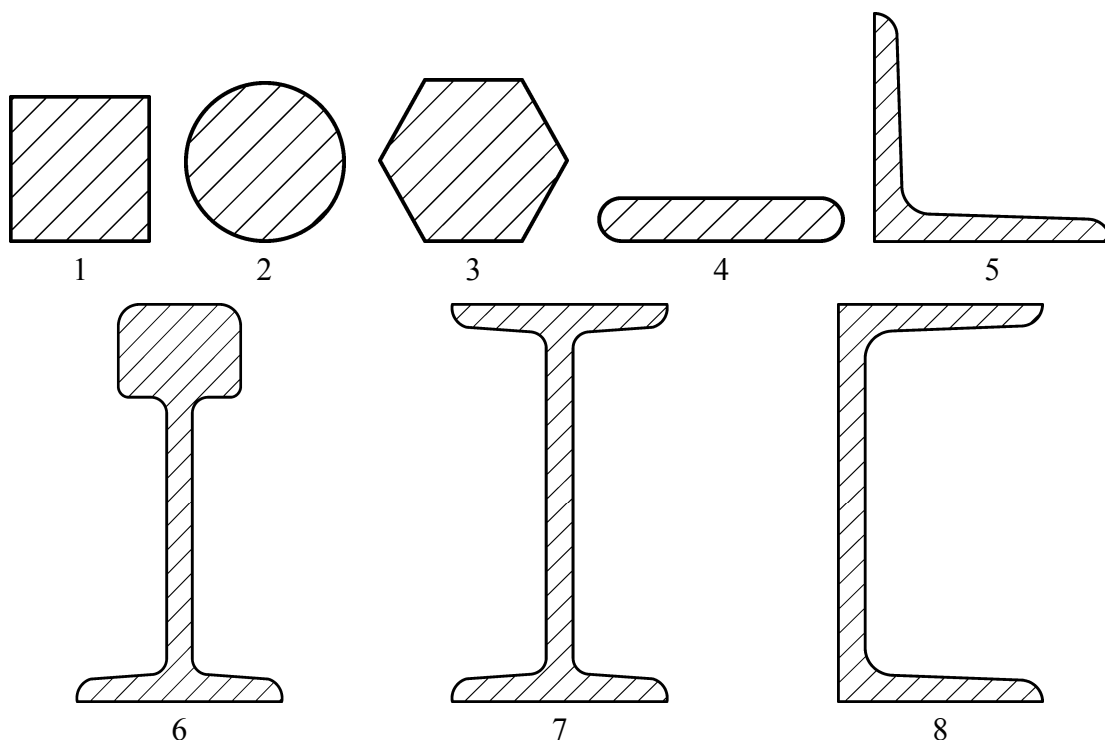


Рис. 2.18. Поперечные сечения некоторых видов проката: 1 – квадратное; 2 – круглое; 3 – шестигранное; 4 – плоское; 5 – угольник; 6 – рельс; 7 – двутавр; 8 – швеллер

Все эти изделия, перечень которых называется сортаментом, как правило, стандартизованы. Хотя сортамент прокатных изделий обширен, весь прокат можно разбить на четыре основных группы: сортовой, листовой, трубы, специальные виды проката (бандажи, колеса, периодические профили и пр.). Наиболее разнообразной является группа *сортового проката*, который подразделяется на простые и фасонные профили. Прокат в виде круга, квадрата, полос плоского сечения относится к простым профилям, а сложного попереч-

ного сечения – к фасонным. В зависимости от назначения фасонные профили подразделяются на профили общего или массового потребления (угловой профиль, швеллеры, двутавровые балки, шестигранные профили и др.) и профили специального назначения (рельсы железнодорожные и трамвайные, профили сельскохозяйственного машиностроения, судостроения, электропромышленности и др.). В России производят более 1 600 размеров простых профилей, более 1 100 – фасонных профилей общего назначения и свыше 1 350 – профилей специального назначения. Весь сортовой прокат подразделяется на три группы: сталь крупносортовая, мелкосортовая и катанка диаметром от 5,5 до 9 мм. Для сортовой прокатки используют калиброванные валки, о конструкции которых будет сказано ниже.

Листовую прокатку проводят в гладких цилиндрических валках. В зависимости от способа производства и толщины листовой прокат подразделяют на три основные группы: горячекатаные тонкие листы толщиной 4 мм и более, горячекатаные тонкие листы толщиной менее 4 мм и холоднокатаные листы всех размеров. Листовой прокат из стали и цветных металлов используется в самых разнообразных отраслях промышленности. Поэтому листовую сталь часто подразделяют по назначению. Так, например, свариваемая корпусная сталь судостроения, горячекатаная толстолистовая конструкционная качественная углеродистая сталь толщиной от 4 до 14 мм и низколегированная сталь для котлостроения и сосудов, работающих под давлением, и др.

В соответствии с государственным стандартом *трубы*, изготавливаемые на прокатных станах, подразделяются на две группы: бесшовные и сварные (со швом). Помимо круглых труб, производят также профильные трубы и с переменными размерами сечения по длине.

Получение профилей переменного и периодического сечения

Разновидностью продольной прокатки является периодическая прокатка, которой получают профили переменного и периодического сечений. Использование таких профилей позволяет снизить массу деталей, элементов конструкций машин и механизмов. Периодические профили часто исключают необходимость проведения не только операций штамповки, но и сводят к минимуму обработку резанием. При использовании таких профилей в качестве заготовок для последующей штамповки поковок сложной формы обеспечивается заметная экономия металла (до 20–30 %), повышается производительность штамповки, снижается трудоемкость изготовления поковок и др.

Под *профилями переменного сечения* подразумевают полосы с плавно изменяющимся поперечным сечением. У *периодических профилей* изменение сечения по длине полосы периодически повторяется ([рис. 2.19](#)).

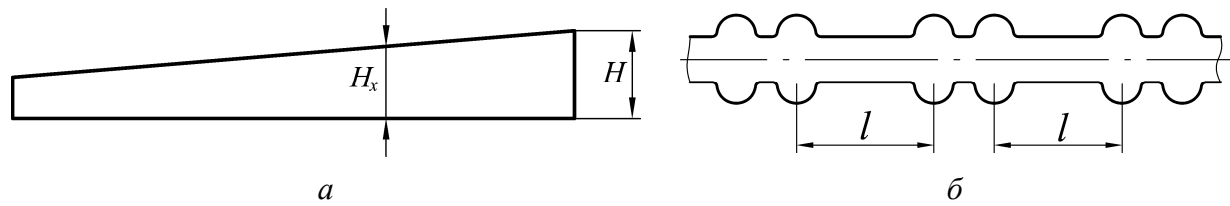


Рис. 2.19. Профили переменного (а) и периодического (б) сечения

Профили переменного сечения, например клиновидные, получают прокаткой в цилиндрических круглых валках как с изменяющимся межцентровым расстоянием A , так и с постоянным.

В первом случае соответствующее изменение расстояния между осями валков приводит к изменению зазора между ними, определяющего толщину прокатанной полосы (рис. 2.20).

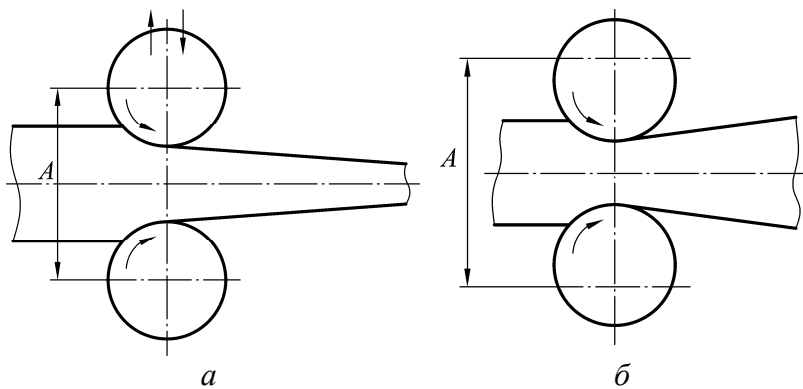


Рис. 2.20. Схема прокатки профилей переменного сечения с изменяющимся (а) и постоянным (б) межцентровым расстоянием A

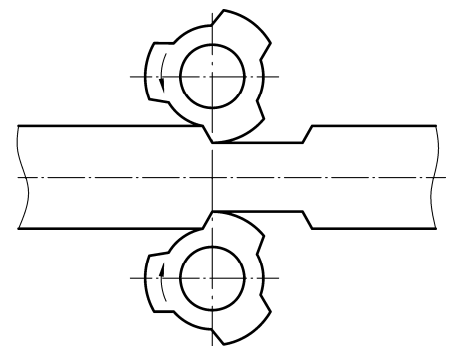


Рис. 2.21. Схема процесса прокатки профилей переменного сечения

Второй вариант процесса прокатки профилей переменного сечения реализуется при постоянном расстоянии между осями валков. Для облегчения изготовления валков и их замены часто используют бандажи или секторы (рис. 2.21).

Очень важен в производстве периодического проката правильный выбор механизма подачи полосы в валки в нужный момент прокатки. При случайной подаче металла в валки на концах каждой полосы появляются периоды неполной длины, что увеличивает потери металла при обрезке. Чтобы приблизить потери к оптимальному значению, необходимо осуществлять захват металла при положении валков, соответствующем началу периода. В тех случаях, когда период имеет большую протяженность, потери металла могут быть особенно велики.

Классификация прокатных станов

Прокатным станом называется комплекс машин и агрегатов, предназначенных для осуществления пластической деформации металла в валках (собственно прокатки), дальнейшей его переработки (правки, резки и пр.) и транспортирования.

В дальнейшем прокатным станом будем называть оборудование, предназначенное только для деформирования металла.

Прокатные станы классифицируются по трем основным признакам:

- по назначению или виду выпускаемой продукции;
- расположению валков в рабочей клетке;
- расположению рабочих клетей.

Классификация по назначению или виду выпускаемой продукции.

В соответствии с данной классификацией прокатные станы делятся на следующие группы:

станы горячей прокатки (обжимные, заготовочные, рельсобалочные, крупносортовые, среднесортные, мелкосортные, проволочные, толстолистовые, среднелистовые, тонколистовые, широкополосные и штрипсовые, выпускающие штрипс-заготовку для труб в виде полосы шириной до 400 мм);

станы холодной прокатки (листовые, жестепрокатные, станы для прокатки тонкой и тончайшей ленты);

станы узкого назначения (колесопрокатные, бандажепрокатные, для прокатки полос и профилей переменного и периодического сечения и т.п.).

За основной параметр сортовых прокатных станов, характеризующий их размер, обычно принимают диаметр валков или шестерен шестеренной клетки. Если в стане несколько клетей, то параметром всего стана является размер валков или шестерен последней чистовой клетки, например, обозначение «блуминг 1300» указывает на то, что диаметр его валков составляет 1 300 мм.

Основным параметром листовых станов является длина бочки валка, которая определяет наибольшую ширину прокатываемых на стане листов или полосы.

Например, обозначение «широкополосный стан 2500» указывает на то, что длина бочки валков равна 2 500 мм, и на них (с учетом запаса) можно прокатывать листы и полосу шириной около 2 300 мм.

Классификация по конструкции и расположению валков рабочей клетки. Согласно данной классификации прокатные станы можно разделить на шесть групп ([рис. 2.22](#)): двухвалковые, трехвалковые, четырехвалковые, многовалковые, универсальные и клетки специальной конструкции.

Двухвалковые клетки бывают нереверсивные и реверсивные. У первых оба валка приводные и имеют постоянное направление вращения. Обе клетки применяются в непрерывных станах, предназначенных, например, для прокатки заготовки, проволоки, тонких полос и т.д. В каждой клетке этих станов осуществляется только по одному пропуску металла в одном направлении.

Реверсивные клетки имеют два приводных валка с переменным направлением вращения, поэтому прокатываемый металл проходит через валки вперед и назад несколько раз. Клетки этого типа применяют в блюмингах, слябингах, толстолистовых станах и т.д.

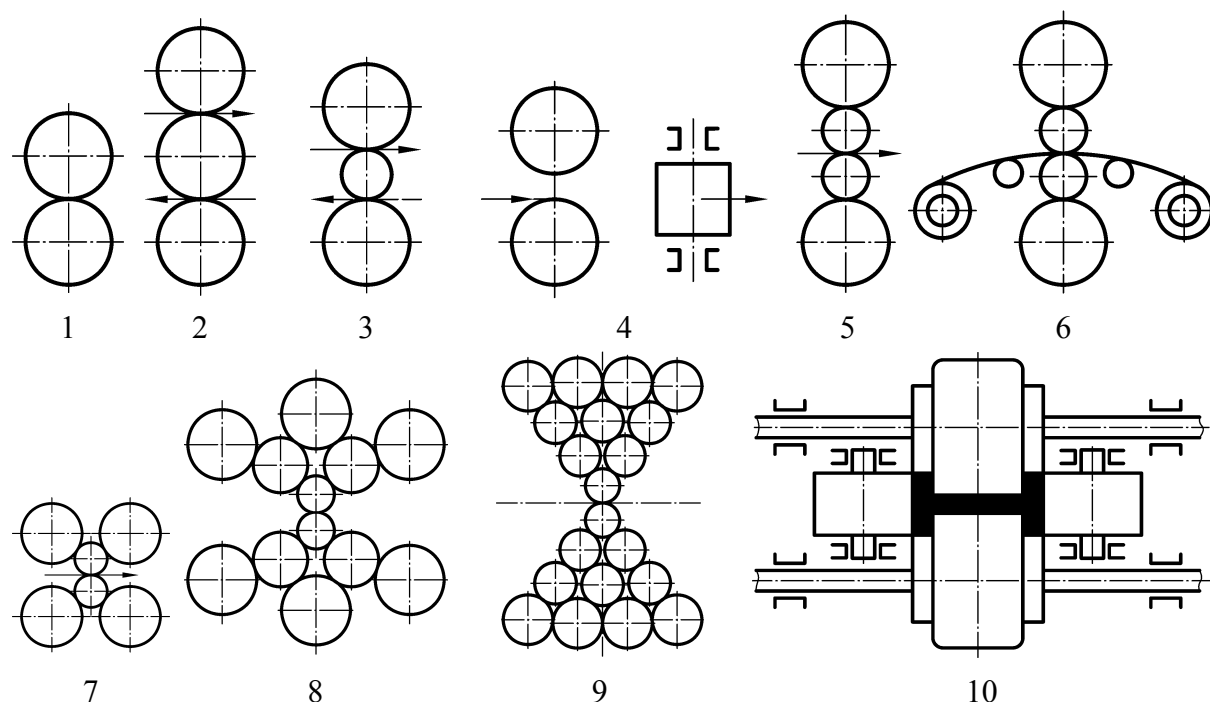


Рис. 2.22. Рабочие клетки с различным расположением валков: 1 – двухвалковая клеть; 2 – трехвалковая клеть сортовая; 3 – трехвалковая клеть Лаута листовая; 4 – универсальная двухвалковая клеть (слябинг); 5 – клеть четырехвалковая листовая нереверсивная; 6 – клеть четырехвалковая реверсивная для прокатки полосы в рулонах; 7 – клеть шестивалковая; 8 – клеть двенадцативалковая; 9 – клеть двадцативалковая для прокатки тонкой полосы; 10 – клеть универсальная для прокатки двутавровых балок с широкими параллельными полками

Трехвалковые клетки – нереверсивные. Сортовые клетки широко применяют, так как на их валках можно расположить больше калибров, чем на валках двухвалковых клеток. Металл движется в одну сторону между нижним и средним валками, а в обратную сторону – между средним и верхним.

Листовые трехвалковые клетки (клетки Лаута) применяют для прокатки толстых и средних листов в виде полос длиной 10–20 м. Средний валок не приводной и имеет меньший диаметр. При прокатке он прижимается то к верхнему, то к нижнему валкам и вращается ими за счет сил трения. Оба типа станов снабжаются подъемно-качающимися столами для подачи заготовок между разными парами валков.

В рабочей *четырёхвалковой клетке* валки расположены один над другим: два рабочих валка меньшего диаметра (средние) и два опорных большего диаметра, назначение которых воспринимать давление при прокатке и уменьшать прогиб рабочих валков. Станы с такими клетями могут быть реверсивными и нереверсивными. Их используют при прокатке тонких и толстых листов и полос, броневых плит, а также рулонов.

Холодную прокатку рулонов ведут на непрерывных нереверсивных станах. В этом случае перед клетью устанавливают разматыватель рулонов, а позади моталку, создающую натяжение полосы и наматывающую ее на барабан. При холодной и горячей прокатке рулонов на одноклетевых реверсивных станах моталки устанавливают с обеих сторон клетки, и прокатка проис-

ходит то в одну, то в другую сторону. Иногда при горячей прокатке моталки устанавливают в печах перед клетью и позади нее.

Шестивалковые клетки с двумя рабочими и четырьмя опорными валками, ввиду жесткости самой рабочей клетки и меньшего прогиба опорных валков, служат для холодной прокатки тонких полос и узких лент в рулонах с точными допусками по толщине. Однако преимущества этого типа клеток по сравнению с четырехвалковыми незначительны, а так как их конструкция сложнее, то широкого распространения они не получили.

Двенадцати- и двадцативалковые клетки широко применяются в прокатном производстве. Благодаря использованию валков очень малого диаметра (10–50 мм) и большой жесткости всей рабочей клетки и валковой системы, на этих станах успешно осуществляют рулонную прокатку тонкой и тончайшей ленты толщиной 5–100 мкм и шириной 100–1 500 мм с допуском по толщине 1–5 мкм. Рабочие валки неприводные, так как имеют слишком малый диаметр; они опираются на приводные валки большего диаметра, а последние, в свою очередь, – на опорные ролики. Эта схема обеспечивает большую прочность всей валковой системы и практически полное отсутствие прогиба рабочих валков.

Клетки с горизонтальными и вертикальными валками называются универсальными. *Универсальные клетки* (обычные) применяют главным образом как реверсивные двухвалковые (например, слябинги) или четырехвалковые (например, толстолистовые). На этих клетях обжатие металла осуществляется как горизонтальными, так и вертикальными валками. Последние обеспечивают создание ровных и гладких боковых граней листов и слэбов. Вертикальные валки располагают, как правило, у одной стороны рабочей клетки.

В универсальных балочных клетях, в отличие от обычных, вертикальные валки – неприводные. Эти станы используют для прокатки высоких двутавровых балок с широкими полками.

Клетки специальной конструкции используют в станах узкого назначения: колесопрокатные, бандажепрокатные, кольцепрокатные, шаропрокатные, станы для прокатки профилей переменного и периодического сечения и др.

Контрольные вопросы

1. Какие виды продукции получают продольной прокаткой?
2. Как получают периодические профили и профили переменного сечения?
3. Как подразделяют сортовой прокат?
4. Из чего состоит прокатный стан?
5. Какие бывают прокатные станы в зависимости от назначения и вида выпускаемой продукции?
6. Каков принцип обозначения прокатных станов?
7. Какие бывают прокатные станы в зависимости от расположения валков в рабочей клетке?

Л е к ц и я 8

Оборудование для прокатки

П л а н л е к ц и и

1. Классификация прокатных станов по расположению рабочих клеток.
2. Общая характеристика оборудования линии рабочей клетки.
3. Прокатные валки.
4. Техничко-экономические показатели прокатных станов.

Классификация прокатных станов по расположению рабочих клеток

В зависимости от расположения рабочих клеток прокатные станы разделяют на пять групп: одноклетевые, линейные многоклетевые, последовательные, полунепрерывные, непрерывные ([рис. 2.23](#)).

Одноклетевые станы имеют одну рабочую клетку, и линия привода валков состоит обычно из шпинделей, шестеренной клетки, редуктора, муфт и главного электродвигателя. К станам этой группы относят блюминги и слябинги, толстолистовые трех- и четырехвалковые, а также универсальные станы.

Рабочие клетки *линейных станов* расположены в одну, две, три и более линий, причем каждая линия работает от отдельного привода или несколько линий – от одного электродвигателя. Станы этого типа нереверсивные; их применяют как проволочные, сортовые, рельсобалочные и толстолистовые.

В *последовательных станах* прокатываемая полоса в каждой клетке проходит несколько раз, поэтому число клеток такого стана равно максимальному числу проходов, необходимых для обжатия заготовки сечением F_0 в готовый профиль сечением F_1 . Для сокращения длины цеха и лучшего использования его площади клетки обычно располагают в несколько параллельных рядов. Станы данной группы имеют высокую производительность, и их широко применяют для прокатки сортовых профилей.

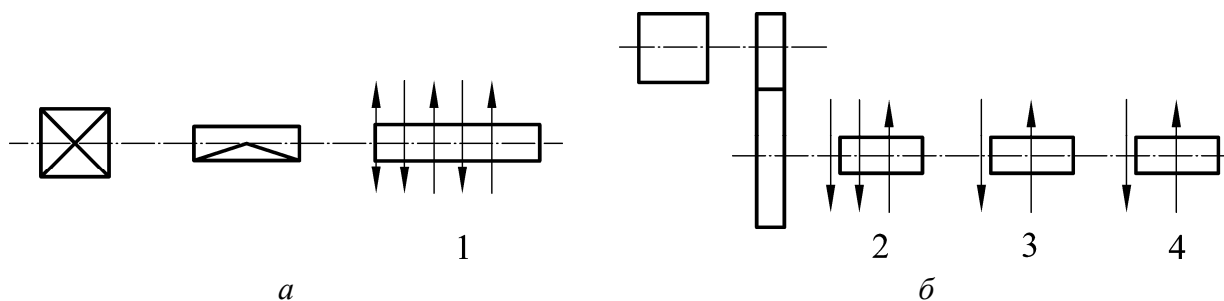


Рис. 2.23

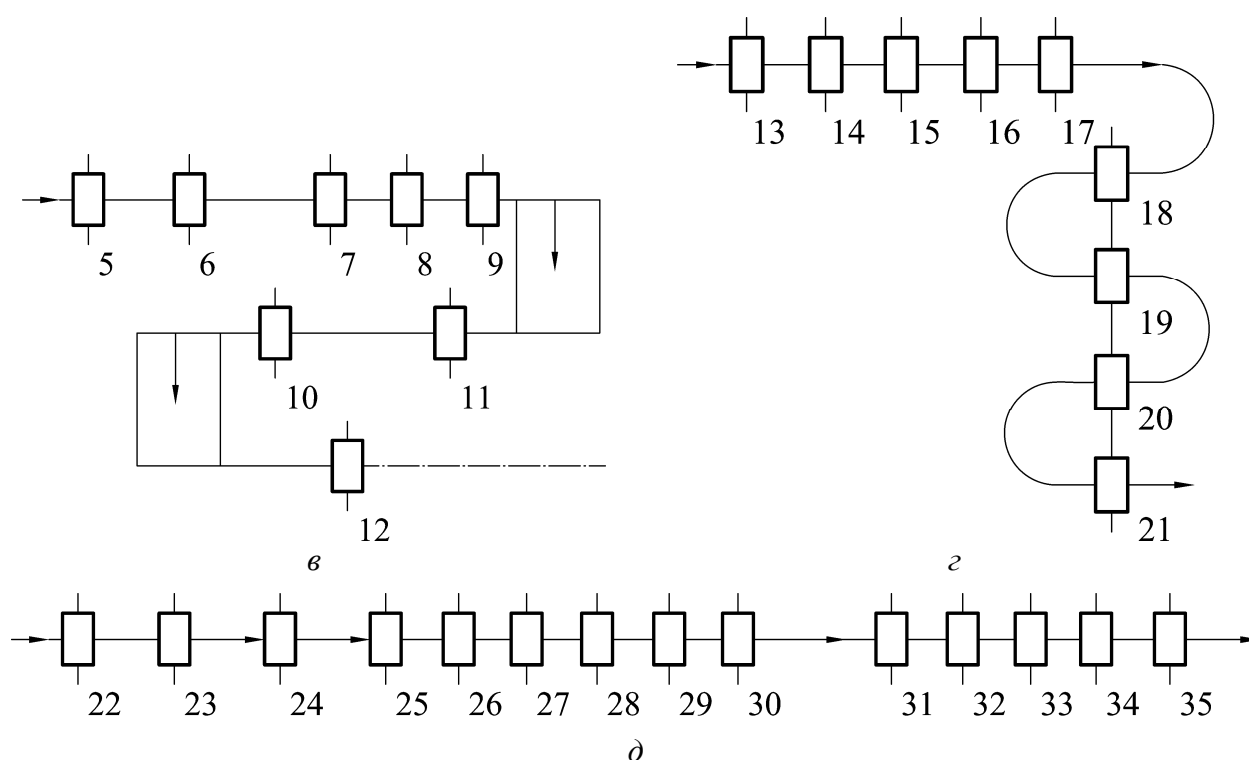


Рис. 2.23. Схема расположения и привод рабочих станов: а – одноклетевый; б – линейно го; в – последовательного; г – полунепрерывного; д – непрерывного; 1–35 – рабочие клетки

Полунепрерывные станы состоят из двух групп клеток: непрерывной и линейной. В одной группе клеток полоса прокатывается непрерывно, т.е. она может находиться одновременно в двух и более клетях. В другой группе прокатка осуществляется по принципу линейных и последовательных станов. Эти станы применяют для прокатки мелкого сорта, проволоки и полос.

При прокатке на *непрерывном стане* металл находится одновременно в нескольких клетях, поэтому скорость вращения валков в клетях должна регулироваться и подбираться так, чтобы расход металла в единицу времени в любой клетю был постоянным:

$$F_1 V_1 = F_2 V_2 = \dots = F_n V_n = \text{const}, \quad (2.59)$$

где $F_1, F_2, \dots, F_n$ – поперечное сечение металла при выходе из первой, второй и последней клетки; $V_1, V_2, \dots, V_n$ – скорости полосы на выходе из валков этих клеток.

Для этого типа станов характерна очень большая производительность. Их применяют как станы заготовочные, широкополосные, мелкосортные, проволочные и станы холодной рулонной прокатки листов и жести. Привод валков этих станов может быть групповым, когда несколько клеток приводятся от одного двигателя, или индивидуальным.

Общая характеристика оборудования линии рабочей клетки

Основным рабочим органом (инструментом) каждого прокатного стана являются валки, вращающиеся в подшипниках, установленных в рабочих

клетях. Привод валков осуществляется электродвигателем через промежуточные передаточные механизмы и устройства. Оборудование, предназначенное для вращения валков, а также для восприятия возникающих при пластической деформации (обжатии) металла усилий и крутящих моментов, составляет рабочую линию клетки (рис. 2.24).

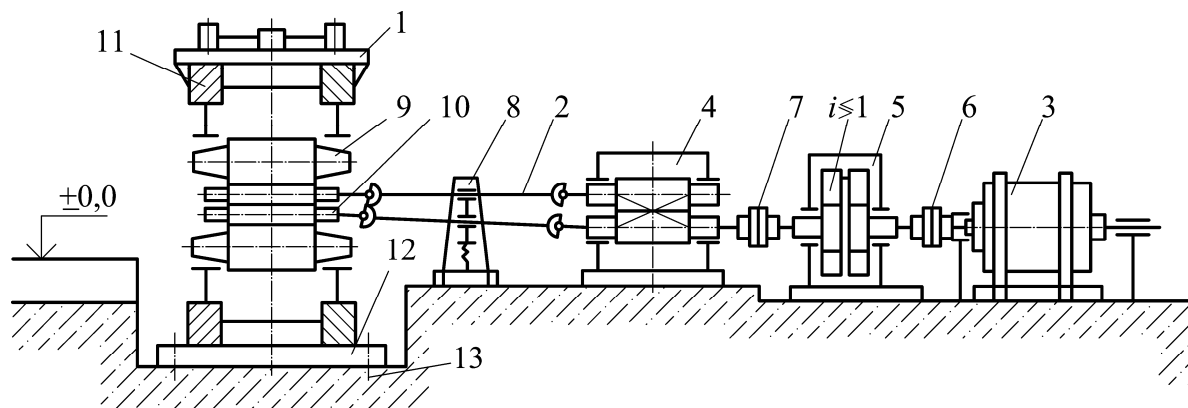


Рис. 2.24. Схема главной линии четырехвалковой рабочей клетки: 1 – рабочая клетка; 2 – универсальные шпиндели; 3 – электродвигатель (главный привод); 4 – шестеренная клетка; 5 – редуктор; 6 – моторная муфта; 7 – коренная муфта; 8 – пружинное уравнивающее устройство шпинделей; 9 – опорные неприводные валки; 10 – рабочие приводные валки; 11 – станина; 12 – плитовина; 13 – анкерный болт

Оборудование, входящее в рабочую линию, можно разделить на три основных группы: рабочую клетку 1, передаточные механизмы 2, 4–7 и главный электродвигатель 3.

Рабочая клетка представляет собой две массивные стальные литые станины, установленные на плитовины 12, прикрепленные к фундаменту анкерными болтами. В станинах смонтированы подушки с подшипниками и валками, а также устройства для перемещения верхнего валка по высоте и его осевой фиксации, направляющие проводки для металла и т.д.

Передаточные механизмы и устройства в зависимости от назначения и конструкции прокатного стана могут быть различными. На крупных станах (обжимных, толстолистовых), а также на станах, прокатывающих металл с большой скоростью, применяют индивидуальный привод рабочих валков от отдельных электродвигателей: в этом случае передаточным устройством являются универсальные шпиндели, промежуточные валы и муфты. На остальных станах предусмотрен общий привод рабочих валков от шестеренной клетки 4. В этом случае между электродвигателем и рабочей клеткой в одну линию расположены моторная муфта 6, шестеренная клетка 4 и универсальные шпиндели 2. Если угловая скорость вращения электродвигателя не соответствует скорости вращения валков, то в линии привода валков устанавливают редуктор 5 и коренную зубчатую муфту 7.

Главный электродвигатель прокатного стана является двигателем специального (металлургического) типа с воздушным охлаждением. Для ста-

нов с постоянной скоростью прокатки применяют более экономичные синхронные (реже – асинхронные) электродвигатели. Для станов с регулируемой скоростью прокатки используют двигатели постоянного тока.

Прокатные валки

Валки прокатных станов выполняют основную операцию прокатки – деформацию (обжатие) металла и придание ему требуемой формы поперечного сечения. В процессе деформации металла вращающиеся валки воспринимают давление, возникающее при прокатке, и передают это давление на подшипники. Валки прокатных станов делят на две основные группы (рис. 2.25): листовые и сортовые.

Листовые валки (рис. 2.25, а) служат для прокатки листов, полос и лент. Бочка этих валков имеет цилиндрическую форму, поэтому иногда эти валки называют гладкими. Бочку валков, предназначенных для горячей прокатки тонких листов, делают немного вогнутой, чтобы при прокатке горячего металла и большом разогреве средней части валков бочка их стала цилиндрической, и тогда толщина прокатанного листа будет равномерной по всей его ширине. Наоборот, бочку валков для холодной прокатки тонких листов выполняют немного выпуклой: при прокатке, вследствие большего изгиба средней части валков по сравнению с краями, бочка станет цилиндрической.

Сортовые валки (рис. 2.25, б) служат для прокатки сортового профиля. На поверхности бочки этих валков есть углубления, соответствующие профилю прокатываемого металла. Эти углубления называют ручьями, а валки – ручьевыми. Ручьи двух валков образуют калибры, поэтому валки еще называют калиброванными.

Два валка образуют несколько калибров, форма поперечного сечения которых постепенно приближается к требуемому сечению изделия. Прокатку осуществляют последовательным пропусканием заготовки через все калибры. Валок (рис. 2.25) состоит из нескольких элементов: бочки (диаметром D и длиной L), которая при прокатке соприкасается с металлом, шеек (диаметром d и длиной l), расположенных с обеих сторон бочки и опирающихся на подшипники вала; концов вала, служащих для соединения вала со шпинделем.

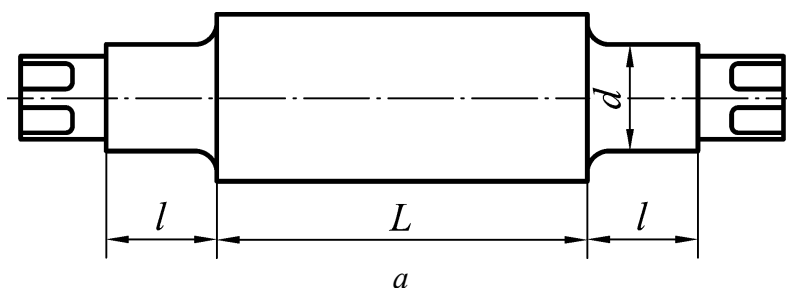


Рис. 2.25. Прокатные валки: а – листовые

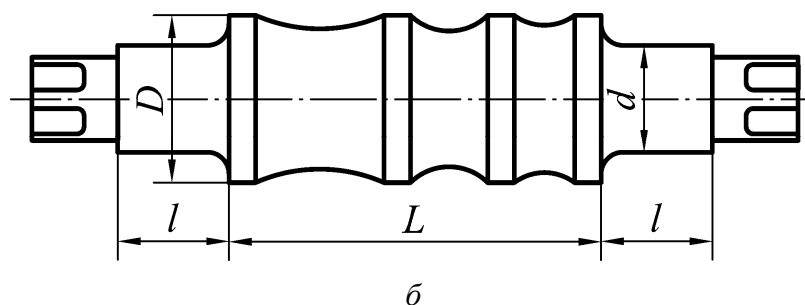


Рис. 2.25. Прокатные валки: б – сортовые

К качеству валков прокатных станов предъявляются очень высокие требования, так как они определяют нормальную работу стана, его производительность и качество выпускаемого проката. Валки работают в условиях непрерывного истирания их металлом при прокатке, испытывая значительные динамические давления при больших скоростях скольжения по металлу и иногда при высокой, резко меняющейся температуре. Обычные стальные и чугунные валки не всегда удовлетворяют повышенным требованиям, предъявляемым к ним, в связи с чем возникла необходимость применять литые и кованые высокопрочные стальные валки и чугунные валки повышенной прочности. Для станов холодной прокатки целесообразно использовать легированные стальные и чугунные валки, у которых поверхностный слой характеризуется большой твердостью. Так, для валков диаметром менее 300 мм применяют стали марок 9Х и 9ХР, а для валков диаметром более 300 мм – стали 9Х2, 9Х2МФ, 9Х2В и др. Валки холодной прокатки, изготовленные из стали всех марок, подвергают термической обработке (закалка, отпуск) по специальным режимам. Для повышения срока службы валков и обеспечения высокого сопротивления контактной усталости поверхность валка должна обладать повышенной твердостью. Глубина слоя повышенной твердости должна быть в пределах 20–60 мм, что дает возможность при износе поверхности бочки производить большое количество перешлифовок и тем самым удлинять срок службы валка.

Технико-экономические показатели прокатных станов

Основными технико-экономическими показателями прокатного стана являются:

- производительность стана и агрегатов прокатного стана;
- расход металла на тонну готового проката;
- расход электроэнергии, необходимой для прокатки металла и отделки готовой продукции;
- расход топлива на нагрев металла;
- расход воды, пара, валков, смазочных материалов, кислорода и коксового газа на зачистку металла и т.д.

Технико-экономические показатели зависят от качества конструкции агрегатов, машин, механизмов, а также от исходного металла и степени рациональности применяемых технологических процессов и операций. Они определяются степенью механизации и автоматизации технологических процессов и операций, уровнем организации производства, квалификацией обслуживающего персонала и т.д.

Одним из важнейших технико-экономических показателей является *производительность* прокатных станов. Техническая часовая производительность стана A_T , т/ч, рассчитывается по формуле

$$A_T = \frac{3600}{t_{\text{ц}}} G, \quad (2.60)$$

где G – масса слитка или заготовки, т; $t_{\text{ц}}$ – темп (цикл) прокатки, с.

Фактическая часовая производительность обжимных станов $A_{\text{ф}}$, т/ч, определяется по массе прокатанных слитков:

$$A_{\text{ф}} = A_T \cdot k_1, \quad (2.61)$$

где k_1 – коэффициент использования стана, обычно 0,85–0,9.

Фактическая часовая производительность заготовочных станов и станов готовой продукции вычисляется следующим образом:

$$A_{\text{ф}} = A_T \cdot k_1 \cdot k_2, \quad (2.62)$$

где k_2 – коэффициент выхода годного металла на тонну заготовки или готовой продукции, обычно 0,85–0,95.

Темп прокатки состоит из машинного времени прокатки металла t_m и времени пауз t_p , необходимых для осуществления вспомогательных операций (кантовки, перемещения и т.д.).

Коэффициент использования стана учитывает снижение темпа прокатки за счет задержек в работе, не считающихся простоями (смена валков и бригад рабочих и т.п.).

Коэффициент выхода годного металла определяется количеством отходов (обрезь, окалина) и зависит от качества металла, типа слитка, технологии прокатки и т.д.

Средняя годовая производительность стана рассчитывается по формуле

$$A_{\text{ф}} = \frac{1}{\frac{a_1}{A_1} + \frac{a_2}{A_2} + \frac{a_3}{A_3} + \dots + \frac{a_n}{A_n}}, \quad (2.63)$$

где $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ – часовая производительность стана при прокатке данного слитка заготовки, профиля и т.п.; $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ – удельное соотношение (в долях единицы) указанного металла в программе стана (за месяц или год).

Средняя производительность стана $A_{\text{ср}}$ и фактическое число часов работы стана в год T определяют годовую производительность, т/год:

$$A = A_{\text{ср}} \cdot T. \quad (2.64)$$

Приведенные формулы касаются только производительности основного оборудования прокатного цеха. Пропускная способность вспомогательного оборудования (нагревательных устройств, транспортных средств и т.д.) также может влиять на производительность прокатного стана. Однако этот вопрос требует специального рассмотрения, хотя основные принципы расчета производительности основного оборудования можно использовать для определения пропускной способности вспомогательных устройств.

Контрольные вопросы и задания

1. Охарактеризуйте каждую из групп прокатных станов в зависимости от расположения рабочих клеток.
2. Какие узлы входят в оборудование линии рабочей клетки?
3. Назовите основные детали, входящие в рабочую клеть.
4. Опишите листовые и сортовые валки.
5. Что такое ручей, калибр?
6. Какие требования предъявляют к материалу валков?
7. Какие стали используют для изготовления валков?
8. Какие виды термообработки используют для валков?

Л е к ц и я 9

Технология разных видов прокатки

П л а н л е к ц и и

1. Производство блюмов и слябов.
2. Производство труб на станах поперечно-винтовой прокатки.
3. Производство труб на станах холодной прокатки труб (ХПТ).
4. Производство сварных труб.

Производство блюмов и слябов

Крупные заготовки – блюмы и слябы – являются полупродуктом, предназначенным для дальнейшей прокатки. *Блюмы* – это заготовки квадратного сечения. Наибольшее сечение блюмов – 450×450 мм, наименьшее – 140×140 мм. В основном блюмы применяют в качестве исходных заготовок для сортовой прокатки. Заготовки прямоугольного сечения, у которых отношение ширины к толщине находится в пределах 3–12, называются *слябами*. Наибольшие размеры слябов составляют 2 000×350 мм, а наименьшие – 500×100 мм. Слябы служат заготовкой для прокатки листа, и их сортамент определяется характеристикой используемых листовых станов. Станы, предназначенные в основном для прокатки блюмов, называют *блюмингами*. На блюмингах прокатывают и слябы размерами от 500×100 до 1 500×250 мм. Станы, предназначенные только для прокатки слябов, называют *слябингами*. Блюмы прокатывают из слитков массой 7–12 т. Для прокатки слябов на блюминге используют слитки массой до 20 т, а при прокатке слябов на слябинге масса исходных слитков достигает 40–45 т.

Для предприятий с общим металлургическим циклом блюминг является основным агрегатом, связывающим сталеплавильные цехи с заготовочными станами и предопределяющим производительность завода в целом.

Блюминги бывают одноклетьевые двухвалковые и многоклетьевые, реверсивные и непрерывные. Наибольшее распространение в качестве заготовочных станов для прокатки блюмов и слябов получили одноклетьевые двухвалковые реверсивные блюминги. В зависимости от диаметра валков условно различают большие блюминги (1 100–1 400), средние (900–1 000), малые блюминги или обжимные станы (800–900).

Принципиальная схема технологического процесса прокатки слитков на блюмингах и слябингах включает следующие основные операции: осмотр и зачистку слитков; загрузку слитков на нагрев; нагрев слитков; выдачу нагретых слитков; прокатку слитков; зачистку металла; резку и клеймение раскатов и охлаждение.

Прокатку блюмов и слябов осуществляют за несколько проходов, число которых зависит от размеров исходного слитка и конечных размеров блюма (сляба). Обычно слиток прокатывают до заданных размеров блюма

за 11–15 проходов. При прокатке на блюминге приходится перемещать полосу (раскат) между проходами от калибра к калибру вдоль оси валков.

Работа современного блюминга полностью автоматизирована. Автоматизация управления нажимным устройством обеспечивает точное перемещение верхнего валка в соответствии с заданным режимом обжатия слитка по проходам. Автоматизация управления главным двигателем блюминга обеспечивает реверсирование валков, повышает скорость вращения двигателя после захвата металла валками и снижает скорость вращения при буксовании валков в момент захвата полосы, регулируется также скорость выхода металла из валков.

Слябинги, предназначенные только для прокатки слябов, распространены меньше блюмингов, так как для обычного сортамента проката на металлургических заводах требуются в качестве исходного полупродукта и блюмы, и слябы.

Производство труб на станах поперечно-винтовой прокатки

Прокаткой получают бесшовные и сварные трубы (со швом). Первый вид труб получают горячей или холодной прокаткой. При производстве горячекатаных труб выполняют две главные операции: прошивку заготовки в гильзу и раскатку гильзы в трубу.

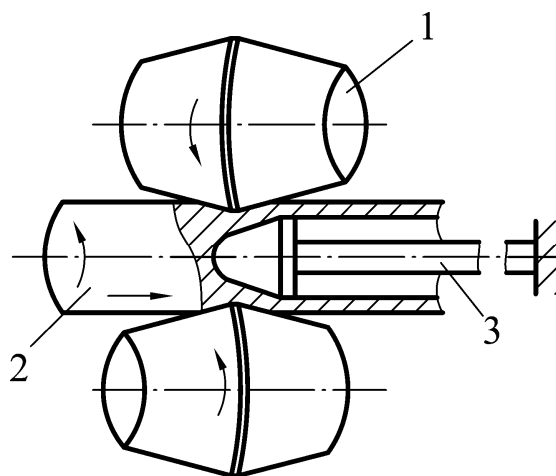


Рис. 2.26. Схема прошивки заготовки при поперечно-винтовой прокатке

Для операции *прошивки* используют в основном поперечно-винтовую прокатку, осуществляемую двумя или несколькими валками, вращающимися в одну сторону (рис. 2.26). Оси валков 1 в вертикальной плоскости наклонены друг к другу под углом 5–17°. Благодаря косому расположению валков заготовка 2 при прокатке получает одновременно вращательное и поступательное движения. Поэтому каждая точка деформируемой части заготовки совершает винтовое движение, а в центре ее создаются напряжения, близкие по схеме к всестороннему растяжению. Последнее способствует разрыхлению центральных слоев заготовки, что значительно снижает усилие ее прошивки конической оправкой 3.

Полученные прошивкой гильзы поступают на *раскатку в трубы*. Для проведения этой операции существуют станы четырех типов: автоматический, непрерывный, пилигримовый и трехвалковый.

После раскатки трубы подвергают отделке, в которую входят: отрезка концов, правка, термическая обработка, окраска или покрытие другими антикоррозийными материалами и др. Для проведения перечисленных операций в трубопрокатных цехах устанавливают соответствующее оборудование.

Производство труб на станах холодной прокатки труб

Для различных машин и приборов требуются трубы с высоким качеством внутренней и внешней поверхностей, высокой точностью размеров стенки трубы и ее формы. Такие трубы можно получать только холодной обработкой: прокаткой в холодном состоянии и волочением. Данные способы позволяют изготавливать трубы диаметром 0,5–250 мм и более при толщине стенки 0,1–20 мм и выше. Исходным продуктом при этом являются горячекатаные трубы или трубы, получаемые прессованием.

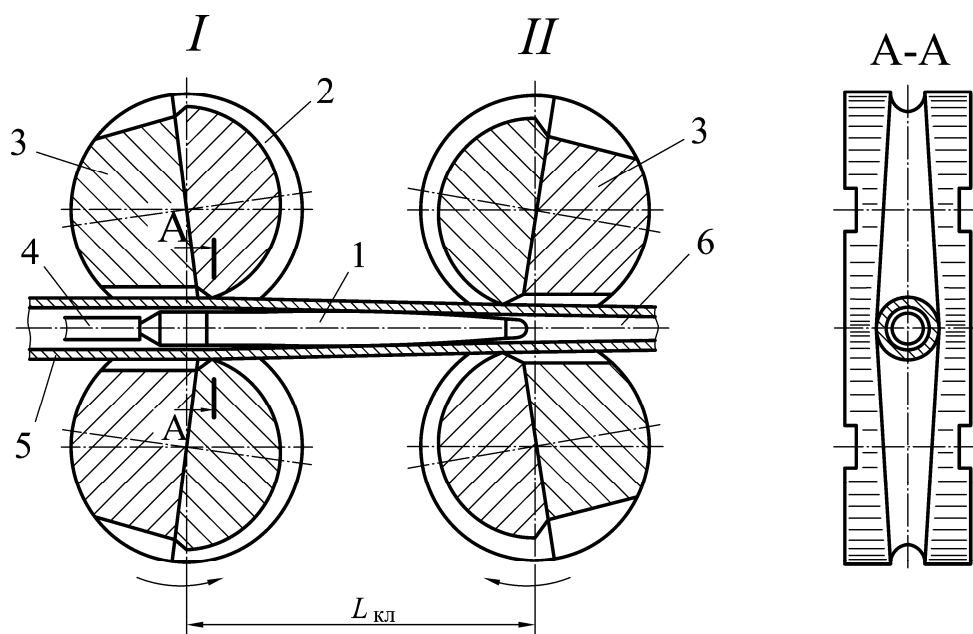


Рис. 2.27. Схема прокатки труб на стане ХПТ: 1 – оправка; 2 – калибр; 3 – валок; 4 – стержень; 5 – заготовка; 6 – труба

Наибольшее распространение при производстве труб получили двухвалковые станы холодной прокатки труб с периодическим режимом работы клетки. Трубы (рис. 2.27) прокатывают на неподвижной конической оправке 1, установленной в калибре валковых сегментов 2, укрепленных на рабочих валках 3. Ручьи выполнены с переменным радиусом, меняющимся по окружности сегмента от радиуса трубной заготовки (начальный размер) до радиуса готовой трубы (конечный размер). Такие валки устанавливают в клетки на жесткой раме, совершающей возвратно-поступательное движение на расстоянии $L_{кл}$ по рельсам на катках. При рабочем ходе клеть с валками переме-

щается из положения I в положение II. Сегменты разворачиваются, радиус калибра между ними уменьшается, что обеспечивает обжатие заготовки по диаметру и толщине стенки. Периодическая подача трубы (обычно на 6–12 мм) в калибр, когда зазор между валками позволяет выполнить эту операцию, и ее поворот на 60° по окончании данного цикла прокатки производят специальными кулачковыми механизмами. По возвращении клетки в первоначальное положение цикл повторяется.

Производство сварных труб

Удельный вес сварных труб в общем производстве труб непрерывно возрастает, что объясняется высокой технологичностью и экономической целесообразностью получения сварных труб при высоком их качестве. Сварные трубы изготавливают печной сваркой и электросваркой. *Печной сваркой* изготавливают трубы диаметром от 10 до 114 мм при толщине стенки 2–5 мм. Этот способ производства водогазопроводных труб является наиболее производительным. Трубосварочные станы обычно имеют 6–12 формовочно-сварочных двухвалковых клеток. После сварки трубы обрабатывают на многоклетевых редуцированных и калибровочных станах.

Исходным продуктом при печной сварке труб являются штрипсы (ленты из низкоуглеродистой стали, содержащие обычно до 0,18 % C). Штрипс в рулонах с размотателя подается в печь, где нагревается до $1\,230 - 1\,320^\circ\text{C}$. По выходе из печи кромки штрипса обдувают воздухом, что повышает их температуру до $1\,390 - 1\,480^\circ\text{C}$. Затем штрипс попадает в формовочно-сварочный стан с чередующимися горизонтальными и вертикальными консольными валками, имеющими ручки. В первой вертикальной паре валков полоса сворачивается на угол $220 - 270^\circ\text{C}$. Перед последующей парой уже горизонтальных валков проводят вторичный продув кромок штрипса воздухом, что повышает их температуру до $1\,500^\circ\text{C}$. При этом сопло обеспечивает направление штрипса в сварочные валки, где кромки металла соединяются и свариваются. В следующих валках создается усилие для протаскивания штрипса через печь и формовочные валки для дополнительного обжатия, улучшающего качество сварного шва.

В промышленности применяют несколько способов производства труб, в которых шов выполняют *электросваркой*. Одним из наиболее распространенных является способ получения труб контактной сваркой сопротивлением. В этом случае изготавливают трубы диаметром от 0,15 до 20 мм. Исходным материалом здесь служит холоднокатаная лента в рулонах или полосы, а для труб больших диаметров – листовая заготовка.

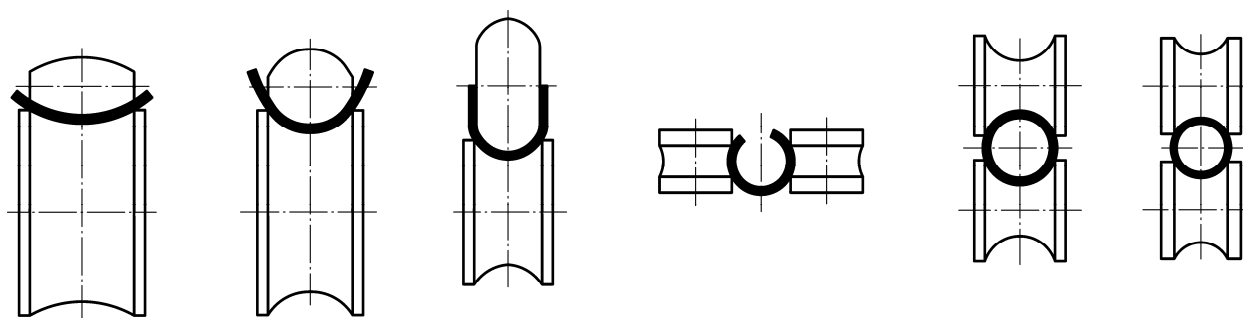


Рис. 2.28. Последовательность процесса свертывания трубы из полосы в шести валках стана

Ленты и полосы свертываются в холодном состоянии в трубу в формовочных непрерывных двухвалковых станах дуо с числом клетей от 5 до 12 в зависимости от размера труб. Расположение валков в клетях обеспечивает последовательное формоизменение полосы в трубу (рис. 2.28). При выходе из последней клетки стана трубная заготовка поступает в электросварочный агрегат, где специальными роликовыми электродами кромки трубы плотно прижимаются друг к другу и одновременно свариваются. Кроме описанного способа, применяют также электродуговую сварку, электродуговую сварку и т.д. Для некоторых видов труб при дуговой сварке с целью защиты металла сварочного шва от окисления используют газы: аргон, гелий и т.д.

Рассмотренные выше процессы прокатки с целью получения ими основного объема катаной продукции следует считать основными. Описание остальных видов прокатки, таких, как прокатка бандажей, шаров, колес и других, можно найти в специальной литературе.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое блюм, сляб?
2. На каком оборудовании прокатывают блюмы и слябы?
3. Опишите схему прошивки заготовки на стане поперечно-винтовой прокатки.
4. На каких станах осуществляют раскатку труб?
5. Какие операции проводят при отделке труб?
6. Какие трубы получают методом холодной прокатки на станах ХПТ?
7. Как изготавливают сварные трубы печной сваркой?
8. Как получают сварные трубы прокаткой в формовочных непрерывных двухвалковых станах?

Лекция 10

Способы прессования

П л а н л е к ц и и

1. Сущность процесса прессования.
2. Преимущества и недостатки прессования.
3. Основные характеристики процесса прессования.
4. Способы прессования.
5. Прессование труб.
6. Многоканальное прессование.

Сущность процесса прессования

Прессование – это один из наиболее прогрессивных процессов обработки металлов давлением, позволяющий получать деформированные изделия – профили, отличающиеся экономичностью и высокой эффективностью при использовании в конструкциях.

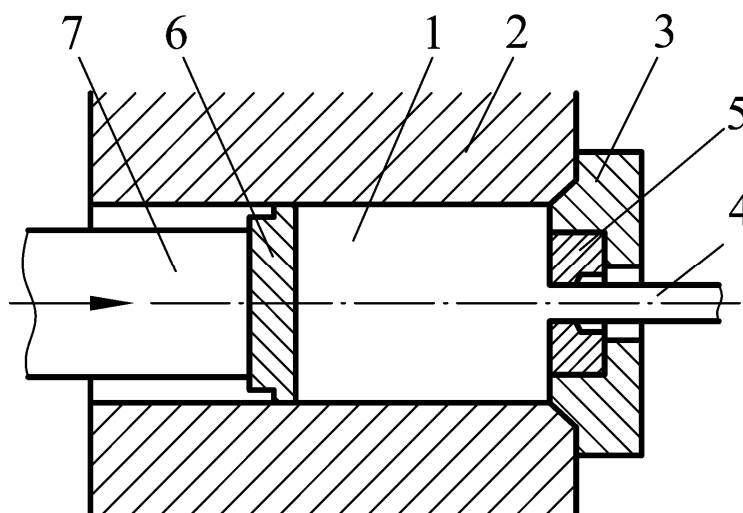


Рис. 2.29. Схема процесса прямого прессования

Рассмотрим сущность процесса прессования (рис. 2.29). Заготовка 1, нагретая до температуры прессования, помещается в контейнер 2. С выходной стороны контейнера в матрицедержателе 3 размещается матрица 5, формирующая контур изделия 4. Через пресс-штемпель 7 и пресс-шайбу 6 на заготовку передается давление от главного цилиндра пресса. Под действием высокого давления металл истекает в рабочий канал матрицы, формирующий заданное изделие. Описанная схема относится к процессу прямого прессования. Кроме прямого, существуют еще такие виды прессования, как обратное, совмещенное, с боковым истечением, полунепрерывное, непрерывное и др.

Широкое развитие прессования объясняется благоприятной схемой напряженного состояния деформируемого металла – всесторонним неравномерным сжатием. В настоящее время прессованием получают несколько десятков тысяч наименований пресс-изделий из различных металлов и сплавов на прессах с номинальным усилием до 200 МН. При этом процесс ведут в широком интервале температур, выбор которых определяется главным образом величиной сопротивления деформации.

Горячее прессование более распространено, чем холодное. Однако область применения последнего расширяется для металлов и сплавов, имеющих невысокое сопротивление деформации, с ростом производства высокопрочных инструментальных сталей и в результате создания высокопроизводительного специализированного оборудования.

Прессование организовано как периодически повторяющийся процесс, однако в настоящее время нашли промышленное применение способы прессования в непрерывном и полунепрерывном режимах.

Преимущества и недостатки прессования

По сравнению с конкурирующими процессами, которыми в данном случае являются горячая сортовая прокатка и прокатка труб, прессование имеет определенные преимущества.

Если при прокатке на многих участках пластической зоны возникают большие растягивающие напряжения, понижающие пластичность обрабатываемого металла, то при прессовании реализуется схема неравномерного всестороннего сжатия, позволяющая изготавливать различные пресс-изделия, вообще не получаемые прокаткой или получаемые, но за большое число проходов. Область применения прессования особенно расширяется, когда степени деформации за переход превышают 75 %, а коэффициент вытяжки имеет значение более 100.

Прессованием можно получать изделия практически любых форм, а прокаткой – профили и трубы сравнительно простых конфигураций поперечного сечения.

При прессовании быстрее осуществляется перевод процесса получения одного типоразмера пресс-изделия на другой – достаточно только заменить матрицу.

Пресс-изделия точнее по размерам, что обусловлено замкнутостью калибра матрицы. Точность изделия определяется качеством изготовления матрицы, ее материалом и видом термообработки.

Меньшие затраты на переналадку оборудования при прессовании позволяют рекомендовать его для производства любой серийности.

Высокие степени деформации при прессовании, как правило, обеспечивают высокий уровень свойств изделий.

Наряду с перечисленными преимуществами, прессование имеет следующие недостатки:

необходимость низких скоростей прессования, требующихся для получения бездефектной продукции из ряда металлов и сплавов;

низкий выход годного из-за больших технологических отходов, достигающих более 15 %, за счет необходимости оставления больших пресс-остатков и удаления слабodeформированного выходного конца пресс-изделия;

ограничение длины заготовки, обусловленное прочностью пресс-штемпелей, силовыми возможностями пресса и устойчивостью заготовки при распрессовке;

повышенную неравномерность деформации, влияющую на неравномерность распределения свойств в изделии по различным направлениям;

сравнительно низкую стойкость инструмента и его высокую удельную стоимость из-за тяжелых условий нагружения, а также необходимости использования для его изготовления дорогих легированных сталей.

Сопоставление преимуществ и недостатков процесса позволяет прийти к выводу о том, что наиболее целесообразно применять прессование при *производстве толстостенных и тонкостенных профилей и труб сложной формы*, прессуемых с высокими скоростями истечения; при *обработке труднодеформируемых и малопластичных металлов* и сплавов; при получении *полуфабрикатов сложной геометрии, повышенной точности размеров*, а также для производства *тонкой проволоки* из металлов и сплавов, не подвергающихся волочению. Кроме того, прессование, в отличие от прокатки, рентабельно в *среднем и мелкосерийном* производстве.

Основные характеристики процесса прессования

Одной из основных характеристик процесса прессования является *коэффициент вытяжки* λ , определяемый как отношение площади поперечного сечения контейнера F_k к площади поперечного сечения всех каналов матрицы $\sum f_m$:

$$\lambda = \frac{F_k}{\sum f_m}. \quad (2.65)$$

Помимо этого коэффициент вытяжки можно рассчитывать как отношение отпрессованной длины изделия L_1 к длине заготовки L_0 , или как отношение квадрата периметра контейнера Π_k к квадрату периметра матрицы Π_m :

$$\lambda = \frac{L_1}{L_0} = \frac{\Pi_k^2}{\Pi_m^2}. \quad (2.66)$$

Важной характеристикой является *относительная степень деформации* ε :

$$\varepsilon = \frac{F_k - \sum f_m}{F_k} \cdot 100 \% . \quad (2.67)$$

Коэффициент вытяжки связан со степенью деформации следующим соотношением:

$$\lambda = \frac{1}{1 - \varepsilon} . \quad (2.68)$$

Приведенные формулы позволяют количественно оценить степени деформации при прессовании, а также подсчитать размеры заготовок для получения нужного количества пресс-изделий.

Способы прессования

Существует достаточно большое количество схем прессования, но основными из них следует считать прямое и обратное. Эти схемы и будут рассмотрены ниже.

При *прямом прессовании* направление выдавливания изделий совпадает с направлением движения пресс-штемпеля (см. [рис. 2.29](#)). Этот способ прессования наиболее распространен и позволяет получать сплошные и полые изделия в широком диапазоне размеров, вплоть до размеров изделия, близких к размеру контейнера. Особенность способа – обязательное перемещение металла заготовки относительно неподвижного контейнера.

Прямое прессование дает возможность получать изделия с высоким качеством поверхности, поскольку при прессовании этим способом у матрицы образуется большая по высоте упругая зона металла, практически исключая попадание дефектов из зоны контакта заготовки с контейнером на поверхность изделия.

В результате сил трения на поверхности заготовки появляются высокие сдвиговые деформации, способствующие обновлению слоев металла, формирующих периферийные зоны профиля.

Однако при прямом прессовании необходимы высокие затраты энергии на преодоление трения металла о поверхность инструмента. В отдельных случаях доля усилия, затрачиваемая на это, может достигнуть 40–60 % от полного усилия прессования. Кроме того, большая неравномерность деформации на протяжении всего процесса приводит к неравномерности структуры и механических свойств пресс-изделий. Низкий выход годного из-за большого пресс-остатка и большой обрезки слабдеформированной части выходного конца пресс-изделия также является недостатком прямого прессования.

При *обратном прессовании* истечение металла в матрицу происходит в направлении, противоположном движению пресс-штемпеля. На [рис. 2.30](#) приведена одна из схем обратного прессования: металл 1 выдавливается из неподвижного контейнера 2, закрытого заглушкой, пресс-шайбой 3 через

матрицу 4. Передача усилия от приводного гидроцилиндра осуществляется на полый матрицедержатель 5.

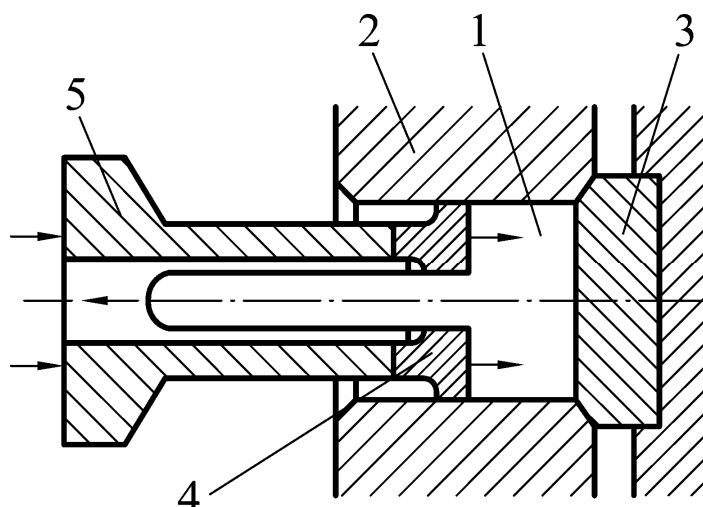


Рис. 2.30. Схема процесса обратного прессования

При обратном прессовании слиток не перемещается относительно контейнера и общее усилие прессования снижается из-за отсутствия затрат энергии на преодоление сил трения между контейнером и прессуемым металлом.

К достоинствам обратного прессования можно отнести снижение усилия прессования, позволяющее увеличивать коэффициент вытяжки и уменьшать температуру прессования, и повышение скорости истечения металла из-за большей равномерности его течения по сечению очага деформации, а следовательно, и увеличение производительности процесса. Этот способ дает возможность формировать, вследствие монотонного характера истечения металла, равномерную структуру и механические свойства пресс-изделий.

Обратное прессование характеризуется ростом выхода годного за счет уменьшения толщины пресс-остатка и снижения глубины распространения пресс-утяжины в изделие, а также увеличением срока службы контейнера из-за неподвижного контакта с заготовкой.

Однако при этом виде прессования наблюдается уменьшение возможного поперечного размера пресс-изделия и числа одновременно прессуемых изделий по сравнению с прямым прессованием из контейнера того же размера, в связи с сокращением размера проходного отверстия в матричном блоке. Кроме того, для получения профилей с хорошим качеством поверхности необходимо применять заготовки с хорошим состоянием поверхности, что достигается предварительной обточкой, скальпированием заготовок или отливкой слитков в электромагнитном кристаллизаторе. И, наконец, при обратном прессовании ограничивается номенклатура пресс-изделий из-за недостаточной прочности удлиненного матричного узла, а также увеличивается стоимость гидропрессов и вспомогательного времени цикла.

Прессование труб

В практике прессования используют следующие виды прессования труб: прессование из полой заготовки, прессование из сплошной заготовки с прошивкой и прессование труб с использованием комбинированной матрицы. При *прессовании из полой заготовки*, осуществляемом прямым или обратным методом (рис. 2.31), формирование стенок трубы происходит в кольцевом зазоре между матрицей 4 и иглой-оправкой 2. Полость в заготовке перед прессованием выполняют, например, отливкой полой заготовки, высверливанием и т.п. В случае использования *трубопрофильных прессов, имеющих прошивную систему*, осевая полость в заготовке выполняется подвижной иглой, а далее прессование ведется аналогично первому способу.

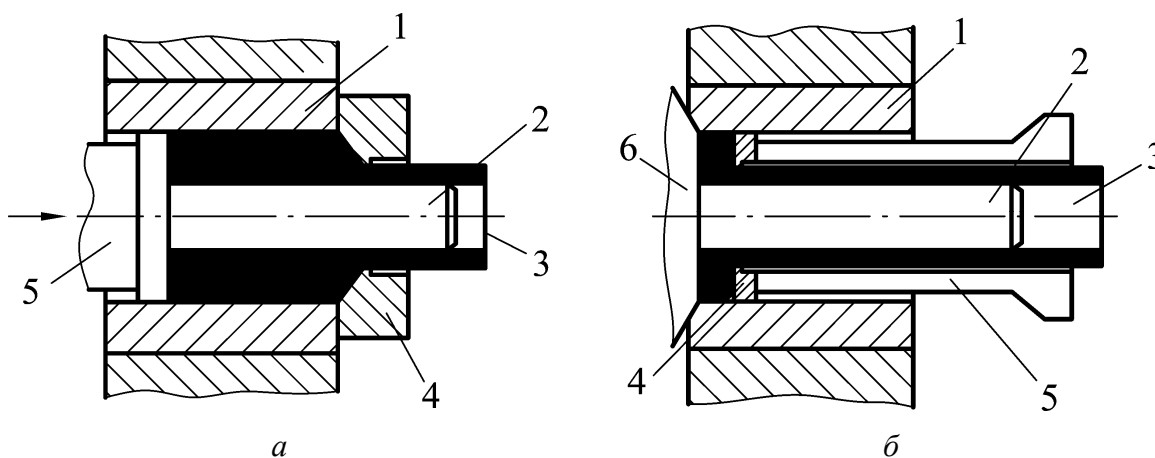


Рис. 2.31. Схемы прессования с прямым (а) и обратным (б) истечением:
1 – контейнер; 2 – игла; 3 – труба; 4 – матрица; 5 – пресс-штемпель; 6 – заглушка

Прессование труб через *комбинированную матрицу* (рис. 2.32) имеет две особенности.

Во-первых, не требуется предварительного образования осевой полости в заготовке, что исключает затраты на ее выполнение и позволяет вести прессование труб и полых профилей на прессах, не имеющих прошивных устройств.

Во-вторых, необходимо рассечение заготовки в процессе прессования на две или более части, входящие отдельными потоками в сварочную зону, а затем каналы матрицы, где эти потоки обтекают оправки и свариваются, образуя продольные полости и швы по всей длине пресс-изделия. Следовательно, требуются условия, обеспечивающие требуемую прочность швов. Одним из таких условий является недопустимость применения смазки, препятствующей прочному схватыванию металла в сварных швах.

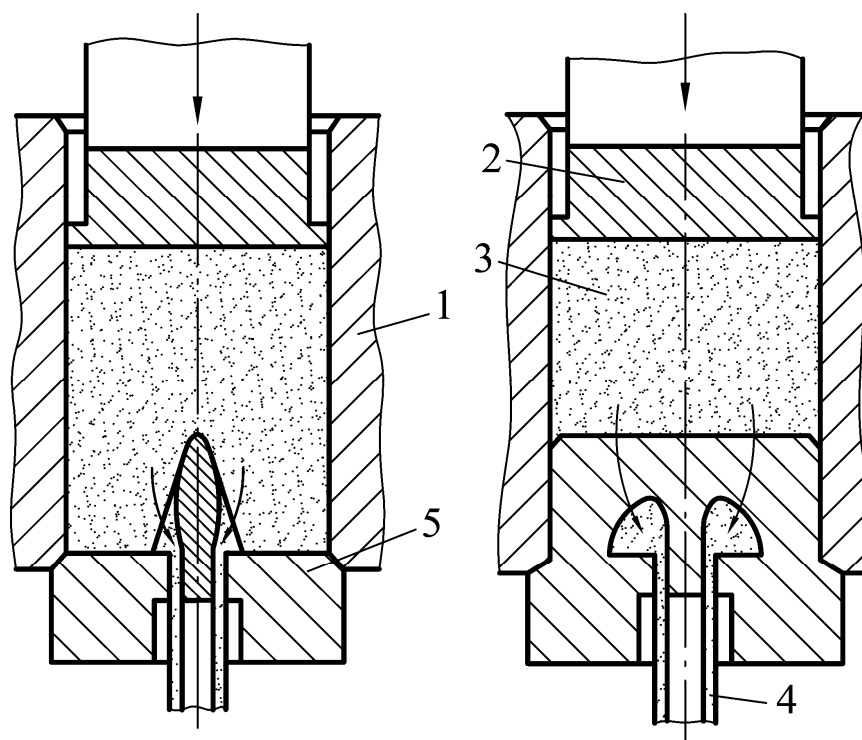


Рис. 2.32. Схема прессования через комбинированную матрицу: 1 – контейнер; 2 – пресс-шайба; 3 – заготовка; 4 – полый профиль; 5 – матрица

В комбинированной матрице объединены матрица и оправка. Такую матрицу еще называют язычковой. Конструкция комбинированной матрицы позволяет получать трубы и профили не только с одной, но и с несколькими полостями самых различных форм, как симметричных, так и асимметричных, которые невозможно изготовить при прессовании в простые матрицы. Более точная фиксация оправки относительно матричного канала, объясняемая монолитностью конструкции матрицы, а также весьма небольшая длина оправки и, как следствие, ее повышенная жесткость дают возможность прессовать трубы и полые профили со значительно меньшей, по сравнению с прессованием через простые матрицы, разнотолщинностью.

Прочные сварные швы могут быть получены при исключении попадания в сварочную зону окислов, смазки и других загрязнений, мешающих схватыванию соединяемых потоков металла, применением таких температурно-скоростных режимов, при которых температура металла в пластической зоне становится достаточно высокой для схватывания в швах, а длительность контакта свариваемых поверхностей обеспечивает протекание диффузионных процессов, способствует развитию и упрочнению металлических связей. Выполнение деформационных условий, гарантирующих высокое гидростатическое давление в сварочной зоне, также обеспечивает хорошее качество сварного шва.

Многоканальное прессование

Этот вид прессования ведут через многоканальную матрицу с числом каналов от двух до двадцати, а иногда и более. К основным отличиям рассматриваемого способа от прессования через одноканальную матрицу относят:

уменьшение средней длины пресс-изделий пропорционально числу каналов;

сокращение длительности процесса прессования;

уменьшение полного давления прессования из-за возрастания суммарного поперечного сечения всех каналов и, следовательно, уменьшения общей вытяжки;

снижение теплового эффекта деформации из-за уменьшения общей вытяжки;

увеличение контактной поверхности в каналах матрицы.

В связи с этим многоканальное прессование применяют тогда, когда возможен рост производительности; номинальное давление пресса многократно превышает необходимое для прессования одной нитки; когда желательно ограничение роста температуры металла в пластической зоне в процессе прессования, а также при получении профилей с очень малой площадью поперечного сечения.

Описываемый вид прессования характеризуется средней вытяжкой $\lambda_{\text{ср}}$:

$$\lambda_{\text{ср}} = \frac{F_3}{\sum F_{\text{из}}}, \quad (2.69)$$

где F_3 – сечение заготовки после распрессовки; $F_{\text{из}}$ – сечение пресс-изделия.

Контрольные вопросы и задания

1. Какую продукцию получают прессованием?
2. Перечислите основные достоинства и недостатки прессования по сравнению с сортовой прокаткой.
3. Как связаны между собой коэффициент вытяжки и относительная степень деформации?
4. В чем заключается характерная особенность прямого прессования?
5. Назовите преимущества и недостатки обратного прессования по сравнению с прямым.
6. Что такое комбинированная матрица и для чего ее применяют?
7. В каком случае целесообразно использовать многоканальное прессование?

Лекция 11

Теория прессования. Оборудование для прессования

П л а н л е к ц и и

1. Стадии прессования. Особенности течения металла.
2. Силовые условия прессования.
3. Оборудование для прессования.
4. Прессовый инструмент.

Стадии прессования. Особенности течения металла

По характеру силовых и деформационных условий процесс прессования можно разбить на четыре последовательные стадии.

I *стадия* – распрессовка слитка в контейнере и заполнение металлом всего объема контейнера.

II *стадия* – начало истечения, соответствующее выходу металла через канал матрицы с одновременным зонообразованием и потерей устойчивости металла.

III *стадия* – условно установившееся течение, при котором происходит истечение основной массы металла.

IV *стадия* – завершающее истечение, соответствующее началу прессования зон затрудненной деформации.

Каждой стадии любого процесса прессования соответствует свой характер течения металла, который имеет решающее значение для прогнозирования закономерностей формирования структуры и свойств пресс-изделий.

К основным факторам, влияющим на течение металла, относятся: природа материала, способ деформирования, величина и направленность внешнего контактного трения на поверхности заготовки и инструмента, степень и скорость деформации и т.п.

При прессовании обычно имеет место неравномерное течение металла, заключающееся в более интенсивном вытекании средних слоев заготовки по сравнению с наружными, что приводит к образованию в задней части прессованного изделия неплотности, называемой *пресс-утяжиной*. На характер течения металла, а следовательно, на пресс-утяжину влияют контактное трение, температура металла и контейнера, состояние поверхности контейнера и матрицы, длина заготовки, профиль матрицы, скорость и степень деформации, смазка.

Установлено, что при длине заготовки, превышающей ее диаметр, характер течения металла и вид очага деформации полностью зависят от контактного трения, перепада температуры и смазки. Таким образом, изменяя тепловой режим прессования и условия трения металла о стенки контейнера и матрицы, можно изменять характер его течения, а также влиять на равномерность механических свойств изделия.

На основании исследований С.И. Губкин выделяет три вида очага деформации (рис. 2.33).

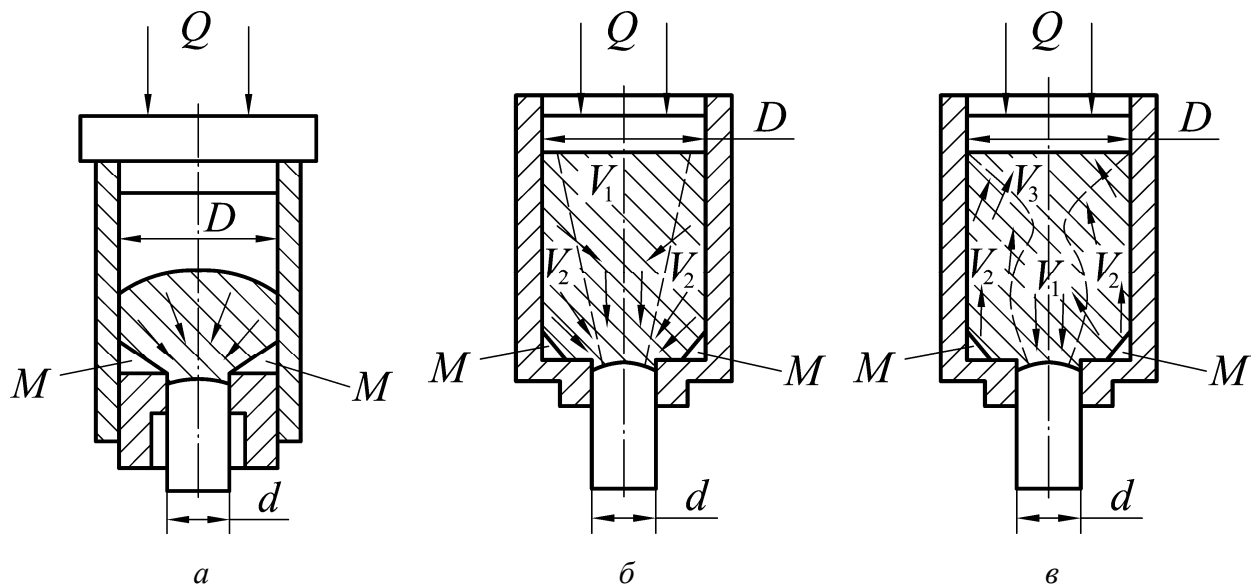


Рис. 2.33. Виды очага деформации при прессовании

При *первом виде очага* (рис. 2.33, а) деформация сосредотачивается вблизи матрицы. Это происходит при обратном методе прессования, а также при прямом, если коэффициент трения не превышает 0,1–0,2 (за счет тщательной обработки стенок контейнера и применения качественной смазки) и если нет значительной неоднородности свойств самого деформируемого металла. Следует добавить, что распределение механических свойств по сечению пресс-изделия и его длине отличаются значительной однородностью.

Второй вид очага деформации распространяется на всю длину заготовки, наблюдается при средних значениях коэффициента трения (0,2–0,4) и наличии лишь небольшой неоднородности механических свойств металла по сечению. Течение внутренних слоев происходит с некоторым опережением внешних, т.е. появляются как бы два объема деформируемого тела: внутренний V_1 и внешний V_2 (рис. 2.33, б). Благодаря задерживающему влиянию трения о стенки контейнера и большей жесткости периферийных слоев металла внешние слои текут медленнее, чем внутренние.

Третий вид очага деформации наблюдается при высоком значении коэффициента трения (более 0,4), что вызывает сильное торможение слоев металла, прилегающих к стенкам контейнера, а также при значительной жесткости внешних слоев заготовки по сравнению с внутренними. Очаг деформации при этом характеризуется высокой неравномерностью течения металла и состоит из трех объемов (рис. 2.33, в). Объем V_1 , расположенный непосредственно против матрицы, отличается наибольшей интенсивностью течения металла. Объем V_2 по мере развития деформации течет от периферии к оси заготовки и создает пережим в первом объеме – возникают вихревые

движения металла. Объем V_3 примыкает к поверхности пресс-шайбы и определяет размер пресс-остатка. Прессование следует прекращать прежде, чем этот объем начнет поступать в пруток, иначе произойдет снижение качественных характеристик готового изделия. Длина объема V_3 в конце прессования приближается к значению диаметра контейнера.

Таким образом, наличие объема V_3 увеличивает расход металла на производство единицы готового изделия, так как приходится прекращать процесс до перехода объема V_3 в пруток. Кроме того, вихревые течения металла приводят к образованию пресс-утяжины. Изменяя условия прессования, можно уменьшать неравномерность механических свойств материала изделия и регулировать протяженность пресс-утяжины.

Следует отметить, что при прессовании в местах перехода контейнера в матрицу появляются так называемые *мертвые зоны*, испытывающие только упругую деформацию (обозначены буквой M на [рис. 2.33](#)). Течение металла в них отсутствует до тех пор, пока размер пресс-остатка не будет достаточно мал. Мертвые зоны при прессовании прутков большой длины выполняют функцию фильтров, задерживая различные загрязнения, тем самым предохраняя от вдавливания посторонних включений в поверхностные слои изделия. При неправильно выбранном размере пресс-остатка загрязнения мертвых углов могут попасть в изделие и вызвать заметное понижение его качества. Все это необходимо учитывать при разработке технологического процесса прессования.

Опытным путем установлено, что минимальная высота пресс-остатка (не считая объема металла, остающегося в канале матрицы) для практически применяемых деформаций колеблется в пределах от 10 до 30 % от диаметра заготовки.

Существуют следующие закономерности, относящиеся к величине пресс-остатка:

- 1) пресс-остаток уменьшается с уменьшением отставания периферийных слоев металла от внутренних;
- 2) пресс-остаток практически не зависит от начальной длины заготовки, если она превышает некоторую величину, при которой начинается интенсивное отставание периферийных слоев от внутренних;
- 3) при неизменных прочих условиях рост диаметра заготовки вызывает увеличение высоты пресс-остатка;
- 4) пресс-остаток возрастает при смазывании пресс-шайбы и уменьшается при торможении скольжения металла по пресс-шайбе.

Образование пресс-утяжины резко уменьшается при обратном прессовании из-за отсутствия перемещения заготовки в контейнере, что соответствует меньшему трению. Однако этот вид прессования менее производительен, чем прямой. Уменьшение образования пресс-утяжины можно обеспечить за счет снижения трения на боковых поверхностях контейнера и матрицы посредством уменьшения шероховатости их поверхности и применения

смазки, а также за счет нагрева контейнера, снижающего охлаждение периферийных слоев слитка.

Силовые условия прессования

Определение силовых условий необходимо для выбора оборудования, расчета инструмента, установления энергетических затрат и других показателей. Основным показателем силовых условий прессования считают *усилие прессования*, равное усилию, необходимому для выдавливания металла из контейнера через отверстие матрицы.

Экспериментально этот параметр можно определять на моделях или в производственных условиях путем натурных испытаний. Последний способ наиболее точный, однако, он трудоемок, дорог и для новых процессов часто невозможен. Моделирование горячих процессов связано с отступлением от натуры в температурном режиме. Причиной являются различия в удельных поверхностях модели и натуры, отсюда неточности этого способа.

Наиболее распространенным и простым способом определения полного усилия прессования является измерение давления жидкости в рабочем цилиндре пресса по показаниям манометра. Применяют также метод упругих деформаций колонн пресса. Наиболее точные результаты при замере усилий дает метод тензометрии.

Существует и аналитический способ определения усилия прессования по формулам И.Л. Перлина, согласно которым *полное усилие пресса*, необходимое для осуществления деформации,

$$P = R_m + T_{кр} + T_m + T_{п}, \quad (2.70)$$

где R_m – усилие для деформации металла без учета внешнего трения; $T_{кр}$ – усилие для преодоления сил трения, возникающих на боковой поверхности контейнера; T_m – усилие для преодоления сил трения, действующих по боковой поверхности обжимающей части очага деформации; $T_{п}$ – усилие для преодоления сил трения, возникающих на поверхности калибрующего пояска матрицы.

Усилие пресса P_i , при котором идет прессование, отнесенное к единице площади сечения контейнера F_0 , называют *удельным давлением истечения* σ :

$$\sigma = \frac{P_i}{F_0}. \quad (2.71)$$

Для подсчета составляющих усилия прессования по формуле (2.70) используют формулы, имеющиеся в справочниках для разных случаев прессования.

Часто при расчете усилия прессования P пользуются упрощенной формулой

$$P = F_3 \cdot M_{п} \cdot \ln \lambda, \quad (2.72)$$

где F_3 – площадь заготовки; M_n – модуль прессования, в котором учтены все условия прессования, кроме площади сечения заготовки и вытяжки λ .

Величина усилия прессования зависит в основном от прочностных характеристик металла; степени деформации; профиля матрицы; размеров заготовки; условий трения; скорости прессования и истечения; температуры контейнера.

Оборудование для прессования

В качестве оборудования для прессования наибольшее распространение получили прессы с гидравлическим приводом, которые отличаются простотой конструктивного исполнения и в то же время могут развивать значительные усилия. Скорость рабочего хода плунжера прессы легко регулируется изменением количества подаваемой в цилиндры жидкости. Прессы с механическим приводом от электродвигателя для прессования металла применяют реже.

Прессы по назначению и конструктивному исполнению подразделяют на *прутково-профильные* и *трубопрофильные*, по расположению – на *вертикальные* и *горизонтальные*. Трубопрофильные прессы оборудованы прошивной системой (независимым приводом иглы), прутково-профильные прошивной системы не имеют.

По методу прессования прессы подразделяют на прессы *для прямого и обратного прессования*, а по усилию – на прессы *малого* (5–12,5 МН), *среднего* (15–50 МН) и *большого* (более 50 МН) усилия.

В настоящее время на отечественных заводах по обработке легких и тяжелых цветных металлов и сплавов применяют вертикальные прессы усилием 6–10 МН и горизонтальные – 5–200 МН. Обработку сплавов на основе меди осуществляют на вертикальных прессах усилием 6–10 МН и на горизонтальных – усилием 10–50 МН. В мировой практике в той или иной мере используют вертикальные прессы усилием 3–25 МН, горизонтальные – 7,5–200 МН.

Прессовая установка состоит из устройства для нагрева и передачи слитков от печи к прессу, собственно прессы, выходной стороны прессы (холодильник, механизмы правки, резки и сматывания изделий) и устройства для привода прессы и всех механизмов – насосные или насосно-аккумуляторные станции.

Вертикальные прессы имеют ряд преимуществ перед горизонтальными. Благодаря небольшому ходу главного плунжера вертикальные прессы по числу прессовок в час значительно превосходят горизонтальные. Вследствие вертикального расположения движущихся частей эти прессы легче центрируются, что позволяет получать на них трубы с меньшей разностенностью. Лучшие условия для работы со смазкой контейнера и конусными матрицами в сочетании с более высокими давлениями дают возможность прессовать трубы с более тонкими стенками.

Однако горизонтальные прессы получили большее распространение благодаря высокой производительности, возможности прессования более длинных изделий, изделий большого поперечного сечения, а также благодаря простоте автоматизации. На заводах по обработке сплавов цветных металлов эксплуатируются как отечественные, так и прессы ряда зарубежных фирм.

В соответствии с технологией прессования гидравлический пресс должен иметь вспомогательные механизмы, используемые для выполнения таких операций, как подача слитка в нагревательную печь, отрезка пресс-остатка и его уборка, транспортировка отпрессованных прутков и их отделка, а при необходимости и термическая обработка. Характерным для современных прессов является их полная механизация и автоматизация с программным управлением выполнения основных и вспомогательных операций, начиная от подачи заготовки в нагревательную печь, самого процесса прессования и кончая уборкой готовых изделий.

Прессовый инструмент

Успешное выполнение прессования во многом зависит от качества и стойкости инструмента. Прессовый инструмент (контейнер, матрицы, иглы, пресс-шайба, иглодержатель, матрицедержатель) работает в очень тяжелых условиях при температурах, достигающих (например, в процессе прессования стали) 1 000–1 250 °С. При этом напряжения на отдельных участках инструмента достигают больших значений: в пресс-шайбе и контейнере они могут превышать 1 500 МПа. Для изготовления прессового инструмента применяют высококачественные легированные стали: 5ХНВ, 5ХНМ, ОХН4М, 3Х2В8, 4ХВ2С, 5ХВ2С и др.

Рассмотрим один из видов инструмента – матрицу, которая при прессовании обеспечивает получение требуемых размеров профиля и качество его поверхности. Матрица работает в исключительно тяжелых условиях: высокие температуры и удельные усилия при минимальных возможностях смазки и охлаждения. По количеству отверстий матрицы бывают одно- и многоканальными. Количество отверстий в матрице определяется видом изделия и необходимой производительностью прессы. Наибольшее распространение получили конические матрицы с одним конусом (рис. 2.34).

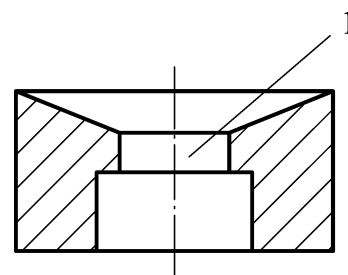


Рис. 2.34. Сечение типовой матрицы: 1 – калибрующий пояс

Практикой установлено, что оптимальный угол конуса составляет 60–100°. С ростом угла конуса появляются мертвые зоны, уменьшающие возможность попадания в изделие загрязненных частей слитка.

Окончательные размеры изделие получает при прохождении через калибрующий пояс, длина которого определяется видом прессуемого метал-

ла. Часто для повышения срока службы матрицу делают разъемной, а поясok выполняют из твердых сплавов, например победита.

Оборудование и инструмент для прессования постоянно совершенствуются, что позволяет повышать эффективность данного вида обработки металлов давлением.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите и охарактеризуйте стадии прессования слитка.
2. Опишите виды очага деформации при прессовании.
3. Что такое пресс-утяжина, как она образуется?
4. Каково технологическое назначение пресс-остатка?
5. От чего зависит величина пресс-остатка?
6. Проанализируйте формулу И.Л. Перлина.
7. По каким признакам классифицируют оборудование для прессования?
8. Какие детали входят в прессовый инструмент?
9. Какие марки сталей используют для изготовления прессового инструмента?

Лекция 12

Волочение

П л а н л е к ц и и

1. Определение волочения.
2. Основные характеристики процесса волочения.
3. Инструмент для волочения.
4. Оборудование для волочения.
5. Технология волочения труб.

Определение волочения

При волочении заготовку протягивают через отверстие инструмента, сечение которого меньше сечения протягиваемой заготовки (рис. 2.35). Сила P , прикладываемая к переднему заостренному концу проволоки, введенному в

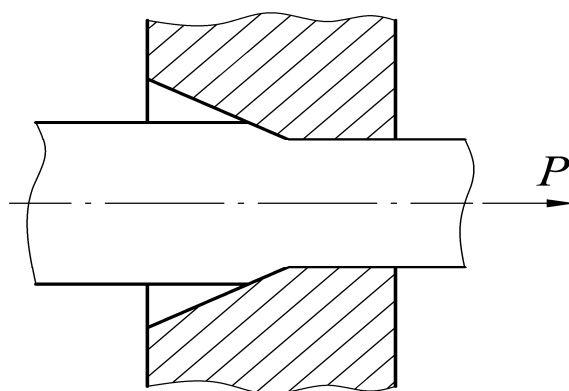


Рис. 2.35. Схема процесса волочения

волоку, называется *силой волочения*. Под действием указанной силы заготовка, протягиваясь через волоку, деформируется и принимает форму и размеры наименьшего сечения канала. В результате площадь поперечного сечения заготовки уменьшается, а длина – увеличивается. Форма и размеры сечения изделия при волочении прутков, проволоки, профилей сплошного сечения и труб без утонения стенки определяются только конфигурацией и размерами калибрующей зоны канала волоки.

Волочением обрабатывают самые различные материалы: стали, алюминий, медь, никель, титан и сплавы на их основе; тугоплавкие металлы и их сплавы, а также благородные металлы и сплавы на их основе.

Получаемые волочением полуфабрикаты представляют собой круглую проволоку диаметром 0,008–17 мм; проволоку квадратного, прямоугольного, шестиугольного и других сечений; прутки круглые, квадратные, шестигранные, трапециевидные и других форм; трубы круглые диаметром 0,3–500 мм со стенкой толщиной 0,05–25 мм, овальные, прямоугольные и др. Кроме того, этим способом обработки давлением можно получить фасонные профили с различной формой поперечного сечения и самых разных размеров.

Основные характеристики процесса волочения

При волочении используют следующие показатели деформации: коэффициент вытяжки, относительное обжатие, относительное удлинение, интегральную (логарифмическую) деформацию.

Коэффициент вытяжки μ показывает, во сколько раз увеличилась длина или уменьшилась площадь поперечного сечения изделия за переход волочения:

$$\mu = \frac{L_1}{L_0} = \frac{F_0}{F_1}, \quad (2.73)$$

где L_0 , F_0 – соответственно, длина и площадь сечения заготовки до волочения; L_1 , F_1 – после волочения.

Относительное обжатие ε – это отношение уменьшения площади поперечного сечения изделия за переход волочения к ее начальному значению:

$$\varepsilon = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \cdot 100 \%. \quad (2.74)$$

Относительное удлинение λ – отношение увеличения длины изделия за переход к ее начальному значению:

$$\lambda = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \cdot 100 \%. \quad (2.75)$$

Интегральная (логарифмическая) деформация – натуральный логарифм соотношения площадей поперечного сечения изделия до и после перехода волочения:

$$i = \ln \left(\frac{F_0}{F_1} \right), \quad (2.76)$$

или

$$i = \ln \mu = \ln \left(\frac{1}{1 - \varepsilon} \right) = \ln(\lambda + 1). \quad (2.77)$$

Сила волочения P_v – это продольная сила, приложенная к протягиваемому металлу у выхода его из волоки. Если силу волочения отнести к площади поперечного сечения изделия на выходе из волоки F_k , то получим напряжение волочения k_v .

Напряжение волочения должно быть меньше сопротивления деформации металла в его состоянии после волочения $S_{д.к.}$. В противном случае пластическая деформация может происходить и после выхода металла из волоки. Это приведет к искажению формы поперечного сечения изделия после волочения, и в конечном счете может произойти его обрыв. Поэтому при волочении обязательно должно соблюдаться условие

$$k_{\hat{a}} = \frac{P_{\hat{a}}}{F_{\hat{e}}} < S_{\hat{a}.\hat{e}}. \quad (2.78)$$

Условие волочения без обрывов записывается следующим образом:

$$j_{\zeta} = \frac{S_{\hat{a}.\hat{e}}}{k_{\hat{a}}} > 1, \quad (2.79)$$

где j_3 – коэффициент запаса.

На практике коэффициент запаса обычно меняется от 1,35 до 2,0 (иногда до 2,5). При этом, чем тоньше изделие и выше требования к качеству его поверхности и точности размеров, тем коэффициент запаса должен быть больше. Поэтому максимальной величины j_3 достигает в последнем калибровочном проходе, в котором изделию придается окончательная форма и размеры.

На силу и напряжение волочения влияют многие факторы: степень деформации за переход; прочностные свойства протягиваемого металла; геометрия продольного профиля канала волоки; трение на контактных поверхностях деформируемого металла и инструмента; форма конечного и начального поперечного сечений изделия; противонапряжение; вибрация инструмента.

Инструмент для волочения

Для получения продукции волочения, называемой тянутыми изделиями, используются специализированное оборудование и инструмент.

Основной инструмент для волочения – это волоки разнообразной конструкции. При получении волочением полых изделий к волочильному инструменту относятся также оправки. Волока обычно включает обойму 1 и собственно волоку 2 ([рис. 2.36](#)).

Волочильный канал состоит из пяти зон: входной I, обжимающей II, переходной III, калибрующей IV и выходной V. Из этих пяти зон в контакте с деформируемым металлом в процессе волочения находятся только три: обжимающая, калибрующая и очень короткая переходная между ними. Поэтому на силу и напряжение волочения оказывает влияние продольный профиль только этих зон, который представляет собой ломаную линию из двух участков: наклонного к оси и параллельного ей, соединенных радиусным переходом. Совокупность этих зон часто называют *деформационной зоной*.

Следует также отметить, что в обжимающей зоне осуществляется основная деформация заготовки при волочении, а в калибрующей зоне сечению заготовки придается окончательная форма и размеры.

Особенно заметно на силу и напряжение волочения влияет угол наклона образующей обжимающей зоны к оси канала волоки, или *угол волоки* α ([рис. 2.37](#)).

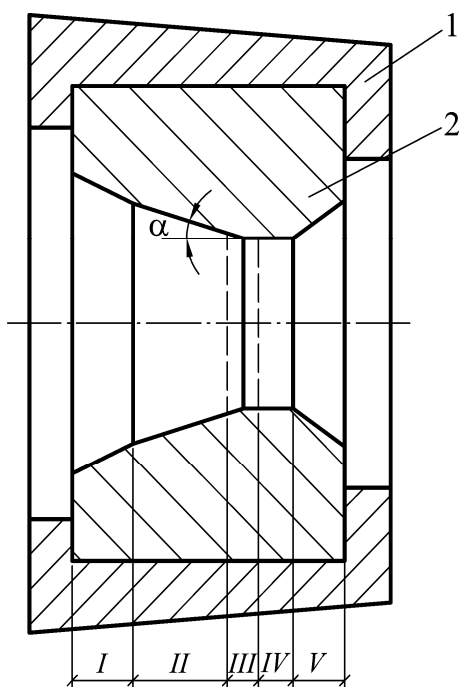


Рис. 2.36. Волока в обойме:
I–V – зоны волоки

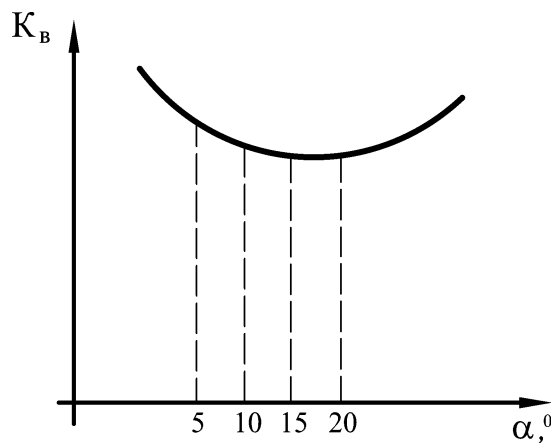


Рис. 2.37. Зависимость напряжения
волочения k_b от угла волоки α

Существует зона оптимальных углов, при которых сила и напряжение волочения имеют минимальные значения. Увеличение α (сверх оптимальных значений) приводит к уменьшению контактной поверхности металла с волокой, что снижает силу трения и силу волочения. Одновременно повышается давление металла на поверхность волочительного канала, выжимается смазка из деформационной зоны, растет коэффициент трения и усилие волочения. Кроме того, на преодоление дополнительных сдвигов из-за увеличения степени деформации требуется дополнительная сила. При значениях α меньше оптимальных увеличивается контактная поверхность металла с волокой, т.е. растет сила трения, но снижается степень деформации.

Наличие двух групп факторов, оказывающих противоположное влияние на силу волочения, и обуславливает существование *зоны оптимальных углов*, которая обычно находится в интервале от 5 до 18°.

Для изготовления волок используют три группы материалов: сталь, твердые сплавы и алмазы. Для стальных волок в зависимости от характеристики протягиваемого материала применяют стали трех групп: нелегированные марок У8-У12; хромомолибденовые марок Х12М; инструментальные разных марок: ШХ15, 40Х5Т и т.д.

Твердосплавные волокни получают порошковым методом, используя сплавы на основе карбидов вольфрама или титана с кобальтом в качестве связующего материала. Они обладают очень большой прочностью на сжатие и изгиб и высоким пределом упругости. Твердость и износостойкость таких волок значительно выше, чем стальных. Для изготовления волок рекомендуют следующие марки твердых сплавов: ВК3, ВК3М, ВК4, ВК6, ВК6М, ВК8.

При производстве проволоки из цветных металлов и сплавов в качестве волоочильного инструмента применяют природные и синтетические алмазы.

Оборудование для волочения

Машины для волочения называют волоочильными станами. Их основными элементами являются волоочильный инструмент и тянущее устройство. Станы могут быть с прямолинейным движением протягиваемого металла и с наматыванием на барабан.

Станы с прямолинейным движением протягиваемого металла. Первый тип машин применяют для волочения профилей, сматывание в бунт которых вызывает определенные трудности из-за больших площадей сечения или возможности нарушения формы сечения. Основной вид такого оборудования – *цепные волоочильные станы* (рис. 2.38).

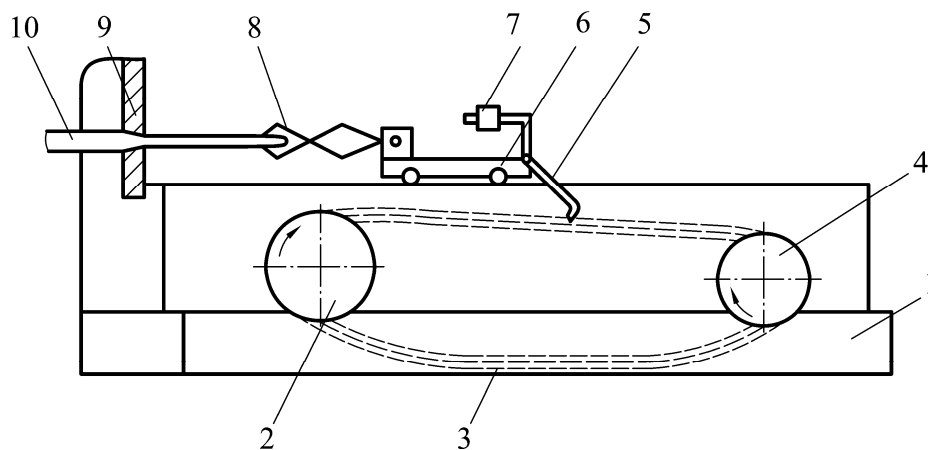


Рис. 2.38. Цепной волоочильный стан

В станине 1 укреплены два цепных барабана 4 и 2, на которые накинута бесконечная цепь 3. По наклонным направляющим станины перемещается тележка 6, на которой укреплены крюк 5 с противовесом 7 и зажимное приспособление в виде клещей 8. К передней стойке стана прикрепляется инструмент 9. Для начала работы на стане необходимо конец прутка обжечь таким образом, чтобы он прошел через отверстие инструмента (волоки) и был захвачен губками клещей.

При работе барабан 4 получает вращение от электродвигателя через редуктор. Крюк тележки накидывается на один из пальцев звена цепи, которая при перемещении будет передвигать тележку. При этом клещи, зажимая прутки 10, протягивают его через отверстие волоки. В крайнем правом положении тележки крюк будет вытолкнут из звена цепи зубом барабана 4; противовес приподнимет крюк, клещи разожмутся, и тележка, будучи установленной на наклонных направляющих, переместится влево для повторения цикла.

Станы барабанного типа делят на станы *однократного* и *многократного* волочения (рис. 2.39).

Бунт проволоки 2 одевается на холостой барабан 1. При работе станок проволока протягивается через одну (рис. 2.39, а) или ряд последовательных волок 3–6 (рис. 2.39, б). Барабаны 7–9 тяговые, на каждый из них наматывается 2–3 витка проволоки для создания тягового усилия. Протянутая проволока поступает на приемный барабан 10.

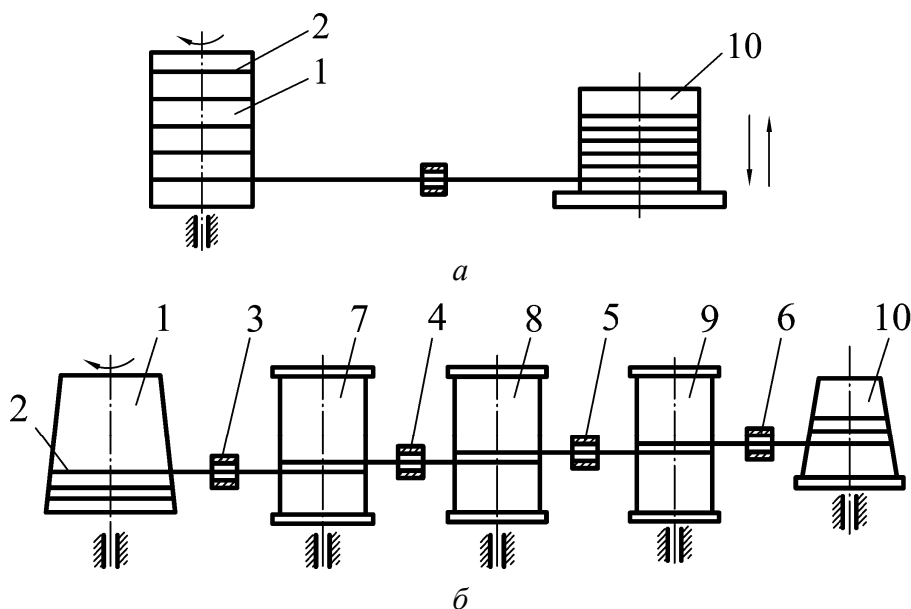


Рис. 2.39. Барабанные станы однократного (а) и многократного (б) волочения

На цепных станах возможно получение изделий ограниченной длины (обычно не более 18 м), на барабанных станах длина протягиваемого изделия может достигать сотен метров, поэтому скорости волочения на барабанных станах в 10 и более раз выше, а отходы металла на захваты и концевую обрезь значительно ниже.

Однако при волочении с навивкой на барабан требуются дополнительные силы для изгиба протягиваемого изделия, которые тем больше, чем меньше диаметр барабана и больше сечение изделия. Кроме того, при волочении фасонных, особенно тонкостенных профилей и труб, в процессе навивки на барабан возможно искажение формы поперечного сечения протягиваемого изделия. Поэтому станы барабанного типа применяют в основном для волочения прутков диаметром не более 12 мм и труб диаметром не более 50 мм при минимальной толщине стенки 3 мм. При уменьшении толщины стенки до 1,5 мм диаметр трубы не должен превышать 25 мм. Для остального сортамента изделий применяются станы линейного волочения.

Технология волочения труб

При волочении труб обычно изменяются не только диаметр, как при волочении проволоки и прутков, но и толщина стенки.

Существуют безоправочное волочение и волочение труб на оправке.

При *безоправочном* волочении (рис. 2.40) толщина стенки трубы может увеличиваться и уменьшаться по сравнению с исходной в зависимости от параметров волочения и главным образом от степени деформации.

Однако для тонкостенных труб, у которых отношение толщины стенки трубы к наружному диаметру меньше 0,1, во всех случаях стенка трубы увеличивается.

Безоправочное волочение алюминиевых и медных сплавов в основном применяют для изготовления труб малого диаметра, а также в качестве отделочных переходов, цель которых – получение труб с жесткими допусками по диаметру. Заготовку для этого процесса обычно получают холодной прокаткой труб или волочением с оправкой.

Безоправочное волочение обычно осуществляют в две волокни, первая из которых служит для центровки трубы, а во второй осуществляется основное обжатие трубы по диаметру.

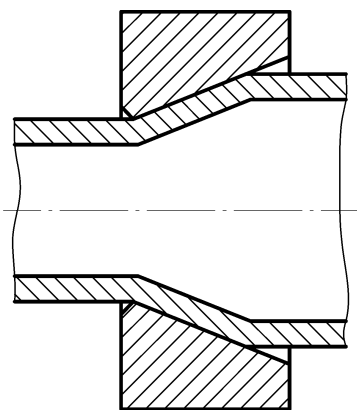


Рис. 2.40. Безоправочное волочение трубы

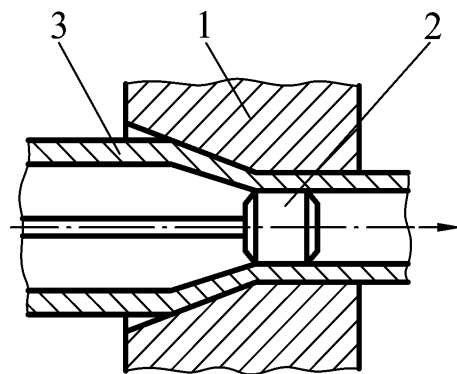


Рис. 2.41. Волочение трубы на оправке

Волочение на оправке. При волочении труб с утонением стенки металл 3 деформируется в кольцевом зазоре между волокой 1 и оправкой 2 (рис. 2.41).

Волочение алюминиевых и медных сплавов после прокатки в последние годы ведут преимущественно бухтовым методом на станах барабанного типа, которые позволяют значительно увеличить длину обрабатываемых труб, скорости волочения и выход годного.

Волочение на цепных линейных станах используют только для обработки труб большого диаметра (более 40–50 мм), особо тонкостенных труб, а также при производстве труб малыми партиями, когда обработка бухтовым способом нерациональна.

Растущая потребность промышленности в тянутых изделиях, отличающихся от катаных и прессованных высокими качеством поверхности и точностью размеров, диктует неуклонный рост этого вида производства длинномерной продукции.

Контрольные вопросы и задания

1. Какую продукцию получают волочением?
2. Что такое интегральная деформация при волочении?
3. Что такое коэффициент запаса при волочении, что он показывает?
4. Что такое условие волочения без обрывов?
5. Какие материалы используют для изготовления волок?
6. Объясните характер зависимости напряжения волочения от угла во-
локи.
7. Объясните целесообразность использования разных типов воло-
чительных станков в зависимости от видов получаемой продукции.
8. Для чего служит оправка при волочении труб?

Л е к ц и я 13

Сущность процессаковки и основные операции

П л а н л е к ц и и

1. Назначениековки.
2. Основные операцииковки.

Назначениековки

Приковке деформацияметалла осуществляется многократным и прерывистым воздействием универсального инструмента – бойков, один из которых (верхний) крепится к подвижному органу кузнечной машины (бабе молота или ползуну прессы), а второй (нижний) закрепляется на шаботе молота или столе прессы. В связи с этим бойки называют закрепляемым инструментом. Верхний боек совершает возвратно-поступательные перемещения, нижний – большей частью неподвижен. Для разделения элементов поковки и выполнения поволоков сложной конфигурации используют также вспомогательный инструмент (топоры, обжимки, раскатки, прошивни и т.п.), на который приковке тоже воздействуют бойками. Приковке течение металла происходит в направлениях, не ограниченных поверхностями инструмента. Ковка применяется в мелкосерийном, а также в индивидуальном производстве. Этим способом получают поволоки весом от нескольких килограммов до 300 т и более, например, валы гидрогенераторов, турбинные диски и др.

Величина деформации приковке может быть выражена либо *относительным изменением площадей поперечного сечения*

$$u = \frac{F_0 - F_1}{F_1} \cdot 100 \%, \quad (2.80)$$

либо *коэффициентом уковки*

$$\phi = \frac{F_0}{F_1}, \quad (2.81)$$

где F_0 – большая площадь поперечного сечения; F_1 – меньшая площадь поперечного сечения.

Коэффициент уковки всегда больше единицы. Уковка показывает, во сколько раз изменилось поперечное сечение заготовки в процессековки, т.е. характеризует степень прокованности металла (распределение деформации по объему), так как чем больше изменено поперечное сечение металла, тем он лучше прокован и, следовательно, выше его механические свойства.

Основные операцииковки

Процессковки можно разделить на элементарные операции. Рассмотрим основные из них.

Билетировка слитка – операция обжатия ребер заготовки для придания ей формы тела вращения. При этом одновременно со снятием конусности слитка разрушается литая дендритная структура и устраняются другие дефекты литого металла.

Осадка – процесс уменьшения высоты заготовки с одновременным увеличением площади поперечного сечения (рис. 2.42).

При этом процессе на боковой поверхности цилиндрической заготовки в результате воздействия на контактную поверхность сил трения наблюдается бочкообразование, которое тем больше, чем больше коэффициент трения μ на контактной поверхности. При $\mu = 0$ бочкообразования нет, т.е. цилиндр при осадке превращался бы в цилиндр на протяжении всего процесса деформации, а распределение деформаций в заготовке было бы равномерным. Однако из-за того, что при горячей деформации $\mu = 0,3-0,4$, а также благодаря подстуживающему действию инструмента в заготовке при осадке можно выделить три зоны (рис. 2.42, б). Зоны затрудненной деформации I расположены с торцевых частей заготовки. В центральной части поковки находится иксообразная зона интенсивной деформации II. Частицы металла в этой зоне деформируются значительно больше, чем в зоне I. Между боковой поверхностью заготовки и зоной интенсивной деформации выделяется зона промежуточных деформаций III с растягивающими напряжениями. Такое распределение деформаций ведет к анизотропии свойств получаемых поковок.

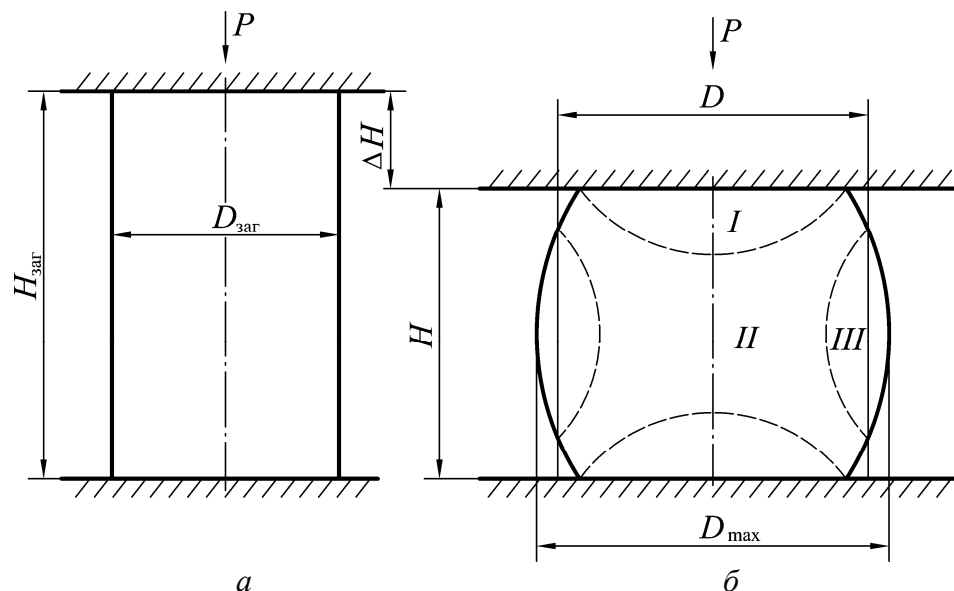


Рис. 2.42. Заготовка до (а) и после (б) осадки: I – зона затрудненной деформации; II – зона интенсивной деформации; III – зона промежуточных деформаций

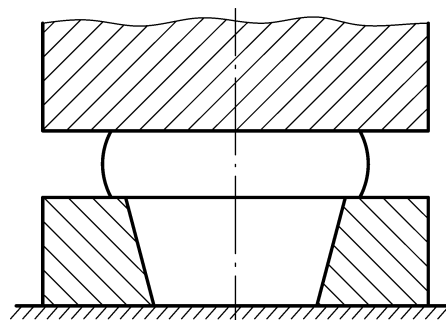


Рис. 2.43. Схема высадки

Высадка – это осадка части заготовки (рис. 2.43).

Прошивка – получение полостей в заготовке за счет вытеснения материала. Она применяется при изготовлении поковок с осевым отверстием. Одна из разновидностей прошивки, выполняемой сплошным прошивнем и надставками, представлена на [рис. 2.44](#). Осаженный слиток располагают на нижнем бойке, по центру устанавливают прошивень, слегка вдавливают его в металл заготовки, а затем поднимают. В углубление для снижения трения и предотвращения приваривания прошивня насыпают графит или толченый уголь. После этого в углубление вновь устанавливают прошивень и вдавливают его в заготовку. Затем для дальнейшего заглубления прошивня используют короткие цилиндрические надставки. Когда толщина перемычки под прошивнем составит 0,1–0,2 высоты поковки, ее кантуют, вынимают надставки и прорезным прошивнем пробивают отверстие, одновременно удаляя первый прошивень.

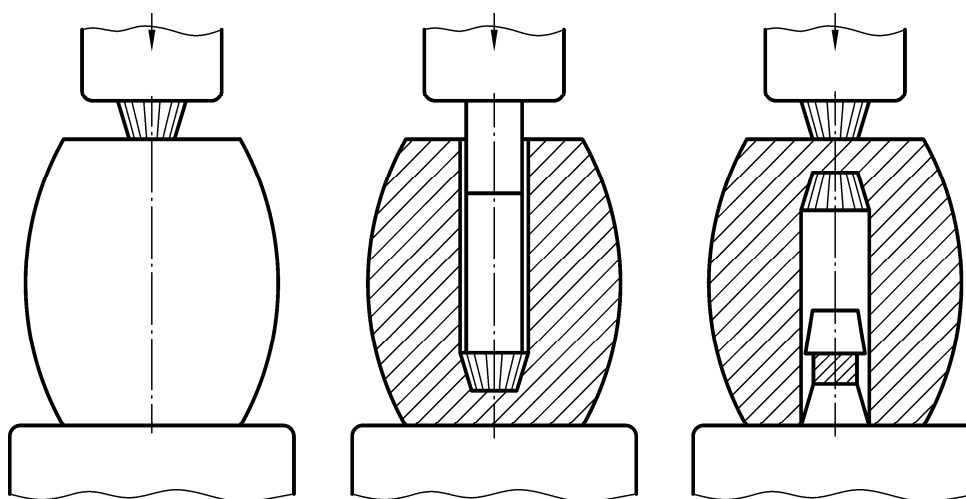


Рис. 2.44. Схема прошивки сплошным прошивнем

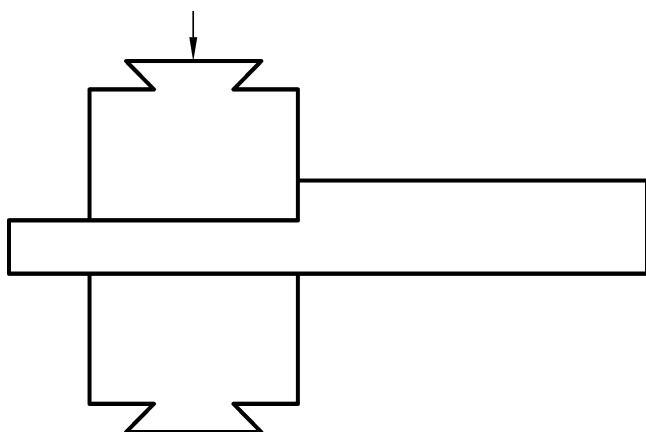


Рис. 2.45. Схема протяжки

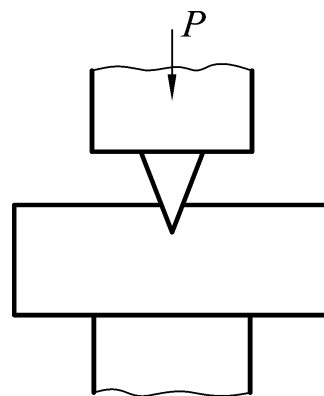


Рис. 2.46. Схема рубки

Протяжка – процесс увеличения длины заготовки за счет уменьшения площади ее поперечного сечения (рис. 2.45). Процесс осуществляется путем приложения усилияковки перпендикулярно оси заготовки. После одного или нескольких ударов заготовку поворачивают на 90° , проковывают, затем возвращают в начальное положение. Короткие заготовки начинают деформировать с края, длинные – с середины. За каждый переход коэффициент вытяжки составляет примерно 1,2–1,3.

Рубка – разделение заготовки на несколько частей или удаление концов поковок (рис. 2.46).

Раскатка – операция, заключающаяся в увеличении диаметра кольцевой заготовки за счет уменьшения ее толщины, выполняемая с помощью бойка и оправки (рис. 2.47). Раскатка используется при изготовлении поковок, имеющих незначительную толщину стенки по сравнению с диаметром отверстия (кольца, бандаж, венцы, различные обечайки). Операция раскатки аналогична протяжке заготовки, концы которой соединены между собой.

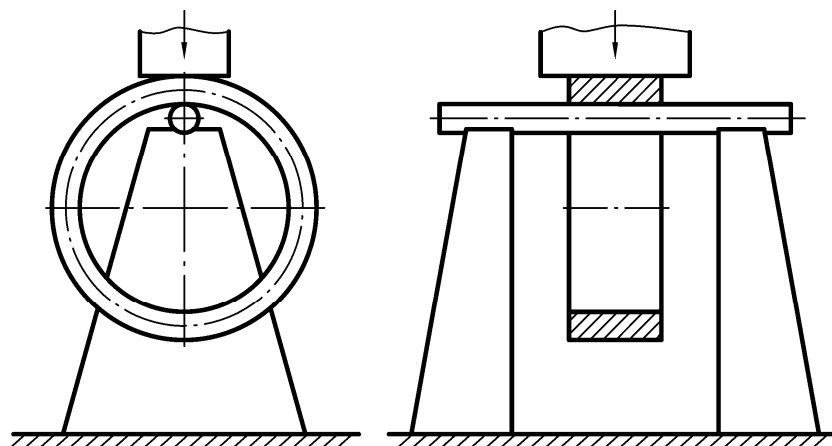


Рис. 2.47. Схема раскатки

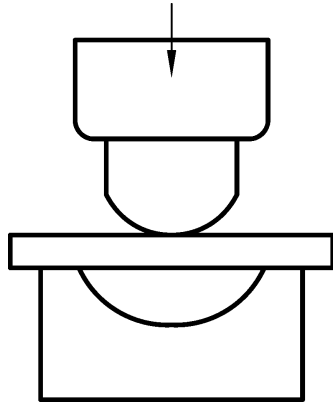


Рис. 2.48. Схема гибки

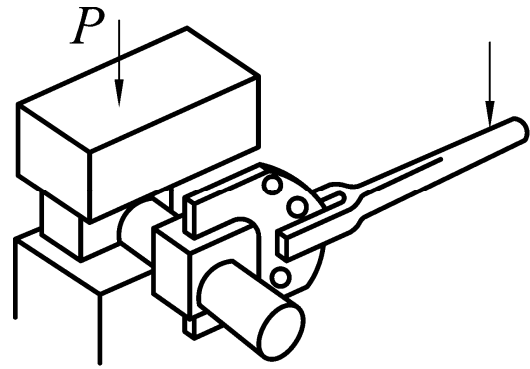


Рис. 2.49. Схема закручивания

Гибка – придание заготовке криволинейной формы, а также образование или изменение углов между частями заготовки (рис. 2.48). Гибку выполняют между опорами.

Закручивание – процесс поворота одной части заготовки относительно другой (рис. 2.49).

Кузнечная сварка – процесс соединения нескольких частей (рис. 2.50). Место соединения очищают, нагревают до $1\ 270\text{--}1\ 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ и сваривают в твердой фазе, прикладывая внешнее давление. Сварку применяют для низкоуглеродистых сталей.

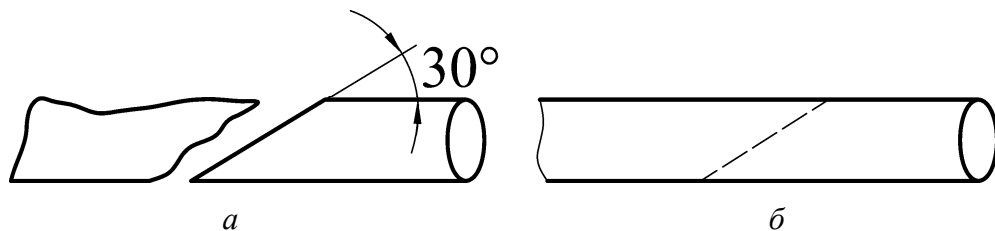


Рис. 2.50. Схема кузнечной сварки: а – до сварки; б – после сварки

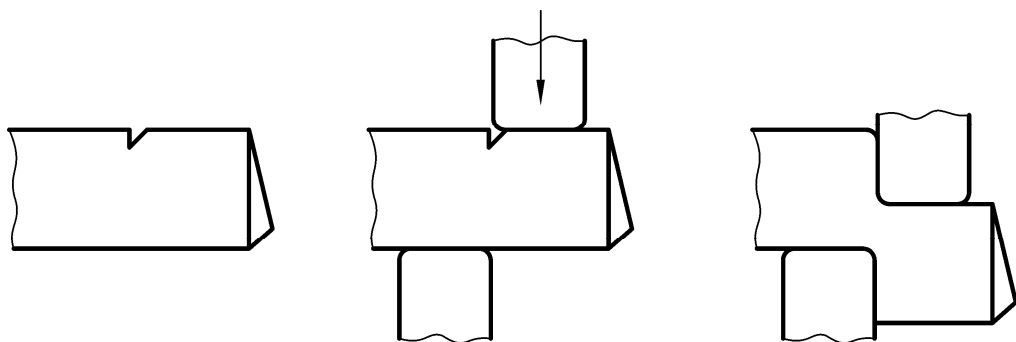


Рис. 2.51. Последовательность операции передачи

Передача – смещение одной части заготовки относительно другой при сохранении параллельности осей или плоскостей частей заготовки ([рис. 2.51](#)).

Широко применяют передачу металла в одной и двух параллельных плоскостях. Например, при передаче по первому способу ([рис. 2.51](#)) на прессе с подвижным столом после надрубки и пережима сдвигают нижний боек относительно верхнего так, чтобы правая кромка нижнего бойка находилась на уровне левой кромки верхнего бойка. После этого нажатием верхнего бойка выполняют смещение одной части металла относительно другой.

Помимо рассмотренных при ковке используют и другие операции: *растяжка* (местное уменьшение площади поперечного сечения путем растяжения), *прожимка* (местное уменьшение площади поперечного сечения заготовки путем обжатия), *обкатка* (придание заготовке формы тела вращения путем повторных ударов или нажатий), *засечка* (выделение части объема заготовки путем нанесения углубления по ее границам), *проглаживание* (устранение неровностей поверхности заготовки путем пластического деформирования) и др.

Контрольные вопросы и задания

1. Что характеризует коэффициент уковки?
2. Для чего применяют биллетировку слитка?
3. В чем заключается отличие осадки от высадки?
4. Дайте определение операции протяжка.
5. Почему операция раскатка аналогична протяжке?
6. Для каких сталей применяют кузнечную сварку?
7. Как осуществляют операцию передача?

Л е к ц и я 14

Влияниековки на структуру и свойства металлов. Оборудование и технологияковки

П л а н л е к ц и и

1. Влияниековки на структуру и механические свойства металлов.
2. Оборудование и технологияковки.

Влияниековки на структуру и механические свойства металлов

Заготовками дляковки обычно служат слитки. Рассмотримковку стальных слитков и влияние этой операции на структуру и свойства металла ([рис. 2.52](#)).

В строении слитка различают несколько зон. Поверхностный слой слитка представляет собой мелкокристаллическую структуру, обусловленную быстрой скоростью охлаждения. В следующем слое кристаллиты имеют столбчатое строение, а в середине слитка кристаллизация жидкого металла происходит еще медленнее и образуется зона равноосных дендритов. Кроме того, в середине слитка скапливается некоторое количество микротрещин, переходящих в верхней части слитка в пустоты и рыхлости с располагающейся в верхней (прибыльной) части усадочной раковины. Таким образом, слиток вследствие неоднородности по структуре и химическому составу, как в пределах зерна, так и по объему, а также из-за наличия пор, газовых пузырей и других дефектов не может быть непосредственно использован для изготовления деталей машин и конструкций. Для устранения перечисленных дефектов слитки подвергают горячей обработке давлением, в частности ковке.

При ковке литого металла первичные кристаллы (дендриты) дробятся и вытягиваются в направлении наибольшей деформации. В результате протекания процессов рекристаллизации деформированный металл приобретает зернистую микроструктуру. Одновременно с дендритами, создавая волокнистую структуру, перемещаются и их границы, представляющие собой неметаллические вещества. Кроме того, процесс сопровождается завариванием пузырей, трещин, пор, и металл уплотняется. Вследствие ускорения протекания диффузионных процессов частично выравнивается химический состав (устраняется дендритная ликвация).

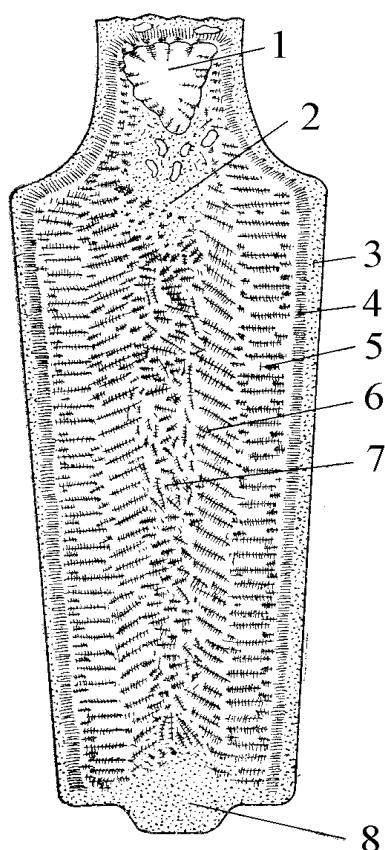


Рис. 2.52. Строение стального слитка: 1 – усадочная раковина; 2 – усадочная рыхлость; 3 – зона плотного зернистого строения; 4, 5 – зоны мелких и крупных кристаллов, ориентированных перпендикулярно к стенкам изложницы; 6 – зона крупных дендритов, наклоненных к стенкам изложницы; 7 – зона средних и крупных дендритов, различно ориентированных; 8 – часть слитка с плотным зернистым строением

В результатековки металл становится прочнее и пластичнее, хотя и приобретает анизотропию свойств. При сравнительно неизменных во всех направлениях характеристиках прочности характеристики пластичности металла вдоль волокон получаются выше, чем поперек. Причем эта разница растет с увеличением коэффициента уковки.

Изменение структуры слитка можно рассмотреть на примере протяжки ([рис. 2.53](#)).

Практикой установлено, что средняя часть слитка приобретает волокнистое строение уже после 2–3-кратного укова, а столбчатые дендриты при этом только начинают заметно отклоняться от первоначального направления. При 4–6-кратном укове увеличиваются деформация и наклон столбчатых дендритов, но последние все же остаются наклоненными к направлению вытяжки на заметный угол.

После 10-кратного укова сталь приобретает волокнистое строение по всему сечению. Эта структура является стойкой и только термообработкой, близкой к температуре плавления, можно лишь частично «размыть» волокнистость.

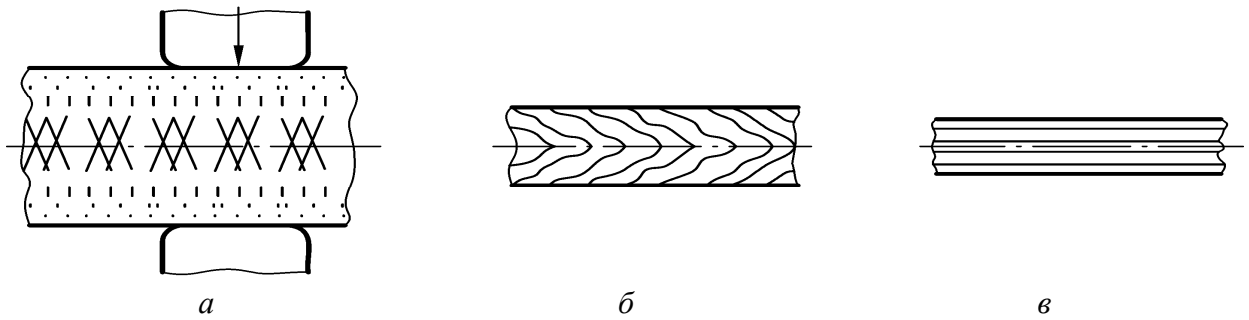
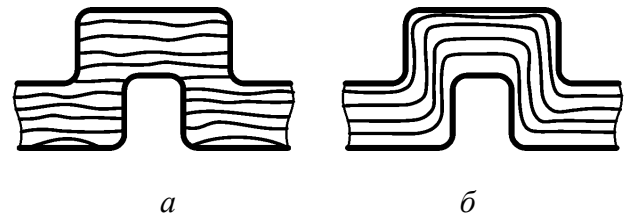


Рис. 2.53. Изменение структуры слитка при протяжке: *а* – до протяжки; *б* – протяжка с 4–6-кратным уковом; *в* – протяжка с 10-кратным уковом

Рис. 2.54. Структура коленчатого вала, из готовленного резкой из пластины (*а*) и полученного операциямиковки: гибкой или передачей (*б*)



Дальнейшая технология получения изделий из поковок должна учитывать волокнистость их структуры. Например (рис. 2.54), если коленчатый вал изготовить механической обработкой на металлорежущих станках из поковки в виде пластины, то волокна в щеках вала получают подрезанными (рис. 2.54, *а*), что снижает прочность этих участков.

Если при изготовлении коленчатого вала применяют операции гибки или передачи металла, то получают волокнистую структуру, расположенную по контуру вала (рис. 2.54, *б*) и имеющую повышенную прочность.

Оборудование и технологияковки

Ковку осуществляют на молотах и вертикальных прессах. Первые представляют собой машины динамического воздействия, в которых скорость движения рабочего инструмента составляет 6,5–7 м/с. У прессов скорость хода инструмента до 0,1 м/с создает статическое воздействие на заготовку. Молоты характеризуются массой падающих частей, а прессы – усилием, которое развивает плунжер.

Молоты. Конструкции ковочных молотов разнообразны, однако они все основаны на общем принципе, суть которого в том, что энергия, необходимая для деформирования металла, передается с помощью удара. Молот любой конструкции имеет следующие основные части:

- падающие, к которым относятся баба, шток, поршень и верхний боек;
- шабот – крупную отливку из стали, к которой крепится нижний боек (масса шабота обычно в 10–15 раз больше массы падающих частей);
- станину с фундаментной плитой, на станине крепятся рабочий цилиндр, служащий для силового воздействия на падающие части, и механизм управления;

фундамент, служащий общей опорой для шабота, под который укладывают для смягчения удара дубовые брусья, и состоящий из трех частей: двух боковых пирсов (на них опирается станина) и средней части (на нее опирается шабот).

По роду привода молоты делятся на *пневматические, паровоздушные, гидравлические* и *механические*.

По принципу действия молоты могут быть *простого* и *двойного действия*. У молотов простого действия энергия удара создается за счет свободного падения подвижных частей, а у молотов двойного действия добавляется также дополнительное воздействие на них какого-либо энергоносителя с целью увеличения силы удара.

Наиболее широко применяют пневматические и паровоздушные молоты. В пневматических молотах для передачи движения от привода к бабе используется упругая воздушная среда. Это оборудование предназначено для изготовления мелких и средних поковок. Кузнечные цехи машиностроительных заводов оснащены в основном паровоздушными молотами с массой падающих частей от 0,5 до 8 т. Недостатками молотов являются низкий КПД (составляет иногда 3–4 %) и создаваемые ими вибрационные нагрузки, из-за которых разрушаются обычные здания, а прецизионные станки теряют точность. Поэтому молотовые кузницы строят отдельно от механических цехов.

На [рис. 2.55](#) представлен паровоздушный молот, который работает следующим образом: пар или сжатый воздух давлением 0,4–1,2 МПа подается с помощью золотника 3 в цилиндр 1 под поршень 2 или над ним. Поршень соединен штоком с бабой 4, имеющей верхний боек 6. Попеременная подача пара или воздуха над поршнем или под поршнем обеспечивает соответствующее движение бабы. При этом следует помнить, что процессы расширения пара и воздуха происходят по разным законам. Поэтому при переходе с пара на воздух требуется соответствующее регулирование парораспределительного механизма.

Нижний боек 7 укреплен на шаботе 8, который устанавливают на самостоятельной части фундамента, используя при этом подушку из дубовых брусьев в виде плит в несколько рядов, уложенных крест-накрест. Стойки 5 молота крепятся к другой части фундамента.

В зависимости от массы изготавливаемых поковок молоты строят *двухстоечными* (арочными) и *мостовыми* (для крупных поковок), а также *одностоечными* (для мелких поковок). На паровоздушных молотах обрабатывают слитки и блюмы массой до 2–3 т, но чаще всего до 1,5 т. Масса падающих частей таких молотов обычно составляет от 1 до 5 т.

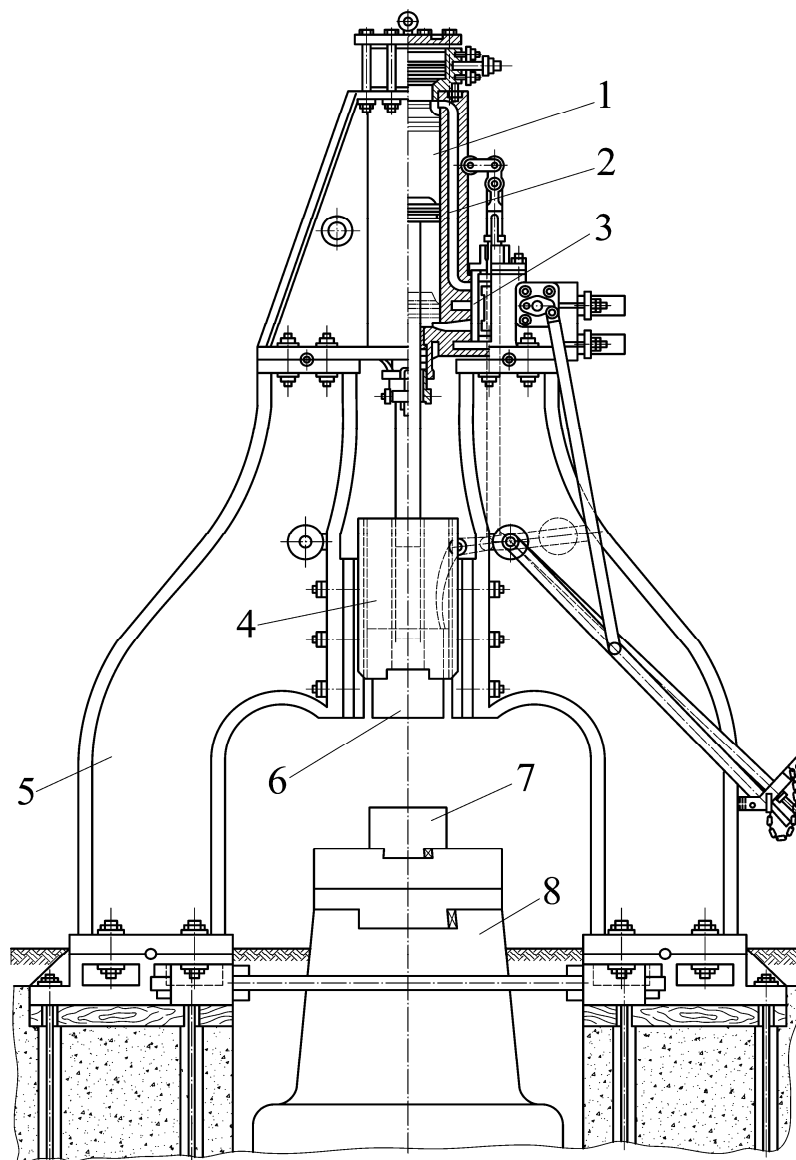


Рис. 2.55. Схема паровоздушного молота

Гидравлические ковочные прессы. Дляковки слитков массой более 2–3 т используют гидравлические прессы с усилием от 5 до 150 МН и более. Гидравлические прессы деформируют поковку не ударным воздействием, а постепенным продвижением инструмента. При этом в процессе рабочего хода бойков непрерывно подводится энергия, для чего используется вода или масло под высоким давлением. Приводы в гидравлических прессах по конструкции делятся на насосные, насосно-аккумуляторные и мультипликаторные.

Возникшие в процессе работы гидропресса силы замыкаются в станине и на фундамент не передаются. Фундаменты гидропрессов значительно дешевле молотовых. Недостатками гидропрессов являются их тихоходность, невысокая производительность и сложность в эксплуатации из-за наличия жидкости высокого давления, с которой могут работать только специально обученные рабочие. Принципиальная схема устройства гидравлического ковочного пресса показана на [рис. 2.56](#).

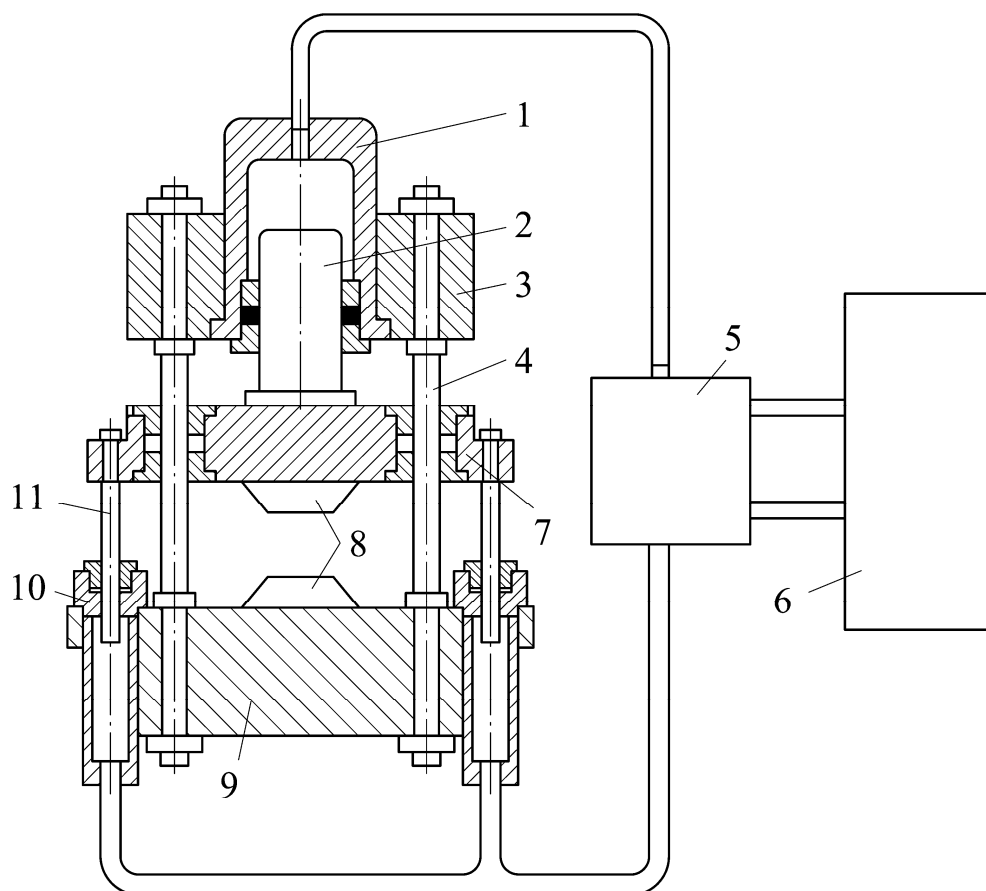


Рис. 2.56. Принципиальная схема гидравлического ковочного пресса

Рабочее усилие пресса создается жидкостью (водной эмульсией или минеральным маслом) высокого давления ($200\text{--}300\text{ кгс/см}^2$, или $20\text{--}30\text{ МН/м}^2$), подаваемой в рабочий цилиндр 1 от привода 6 через систему управления 5. Жидкость давит на плунжер 2, который передает усилие на подвижную поперечину 7. Последняя перемещается по колоннам 4, жестко соединенным верхней и нижней неподвижными поперечинами 3 и 9. При опускании поперечины 7 жидкость из возвратных цилиндров 10 вытесняется плунжерами 11. Заготовка деформируется бойками 8, которые прикрепляют к неподвижной 9 и подвижной 7 поперечинам. Для подъема поперечины 7 после рабочего хода жидкость под давлением подается в возвратные цилиндры 10, а из рабочего цилиндра 1 вытесняется плунжером 2. Таким образом, поперечина совершает прямой и обратный ходы. Прямой ход имеет два участка: приближения, при котором рабочий инструмент подводится к заготовке, и рабочий ход, при котором заготовка деформируется. Остановки подвижной поперечины для выполнения вспомогательных операций (смены инструмента, перемещения заготовки и т.д.) называются технологическими паузами.

Гидропрессовая установка состоит из собственно пресса, привода (источника жидкости высокого давления, питающего пресс), приемников для жидкости (баков), органов управления (распределителей, клапанов), трубопроводов.

При работе гидравлических прессов жидкость высокого давления расходуется только во время прямого рабочего и обратного ходов, а ход приближения осуществляется за счет жидкости низкого давления. Поэтому в гидроприводе прессов часто используют специальные устройства – аккумуляторы, позволяющие накапливать жидкость высокого давления во время технологических пауз и прямого холостого хода (приближения). Это дает возможность снижать установочную мощность привода.

При разработке технологииковки составляют чертеж поковки с припуском на обработку резанием, допусками на точность изготовления и напуском для упрощения очертаний поковки. Затем выбирают заготовку или слиток, которые перед ковкой нагревают в горнах, камерных или методических печах. Нагретую заготовку подают к молоту или прессу дляковки. Пресс выбирают по усилию деформирования. Массу падающих частей молота определяют из условия равенства работы, затрачиваемой на деформацию заготовки, и эффективной энергии удара.

После операцииковки поковки подвергают отделке – удаляют поверхностные дефекты, окалину, шлак, песок. В случае необходимости проводят термическую обработку поковок.

В цехахковки в зависимости от вида выпускаемых поковок и необходимой производительности устанавливают молоты и прессы различного типа. Кроме основного оборудования (молотов и прессов), цехиковки оснащаются нагревательными средствами, мостовыми кранами, транспортными средствами – машинами для посадки металла в печь, выдачи из печи и подачи к молоту или прессу, рельсовыми или безрельсовыми манипуляторами и др., поскольку все основные и вспомогательные операцииковки выполняются с использованием соответствующих машин и механизмов, причем во многих случаях имеется возможность их автоматизации. Оборудование цехаковки размещают с учетом поточности производства: обрабатываемую заготовку от одного агрегата к другому передают в соответствии с наиболее рациональным разделением ковочных, а также отделочных операций.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие процессы протекают в слитке при ковке?
2. Опишите структурные изменения в слитке при протяжке.
3. Проиллюстрируйте влияниековки на свойства изделия на примере поковки, предназначенной для изготовления коленчатого вала.
4. Для чего служит шабот?
5. За счет чего возникает энергия удара у молотов простого действия?
6. В чем заключаются особенностиковки на гидравлических ковочных прессах?
7. Опишите принцип работы гидравлического ковочного пресса.

Лекция 15

Горячая объемная штамповка

П л а н л е к ц и и

1. Сущность процесса горячей объемной штамповки.
2. Виды горячей объемной штамповки
3. Оборудование для штамповки.
4. Инструмент для штамповки.
5. Технологический процесс штамповки.

Сущность процесса горячей объемной штамповки

Штамповка – это процесс обработки металлов давлением с использованием специального инструмента – штампа, состоящего из двух и более деталей. Штампы служат для формоизменения или разделения заготовок, а штамповке подвергают как объемные, так и листовые заготовки, с нагревом и без него.

Для горячей объемной штамповки используют штампы, содержащие полости – ручки. Течение металла при штамповке принудительно ограничивается поверхностями инструмента, что вызывает перераспределение объема заготовки. Заготовка, деформируясь в ручьях, заполняет их и принимает форму штампованной поковки.

Штамповый инструмент отличается высокой стоимостью, а деформирование металла при этом требует большей мощности по сравнению с ковкой, но при массовом производстве однотипных поковок штамповка имеет ряд преимуществ.

Помимо высокой производительности, штамповка обеспечивает получение поковок с высокой точностью размеров, что уменьшает расход металла на изготовление детали и снижает трудоемкость при последующей обработке металла резанием. Кроме того, этот вид обработки металлов давлением обеспечивает получение поверхности поковок высокого качества. Последующие за горячей штамповкой отделочные операции (например, калибровка в холодном состоянии) повышают качество поверхности поковок, а допуски размеров при этом снижаются. Поэтому все повышенные расходы на штамповку и изготовление инструмента окупаются экономией металла и расходами на механическую обработку поковок. Вместе с тем штамповкой можно получать изделия весьма сложной формы, которые во многих случаях нельзя выполнить ковкой без напусков.

Штамповкой изготавливают поковки преимущественно массой до 100 кг, однако производят поковки массой и до 400–500 кг и даже до 2 т.

Виды горячей объемной штамповки

Применяют два вида штамповки (рис. 2.57): облойную (с заусенцем) в открытых штампах (рис. 2.57, *а*) и безоблойную (при отсутствии заусенца) в закрытых штампах (рис. 2.57, *б*).

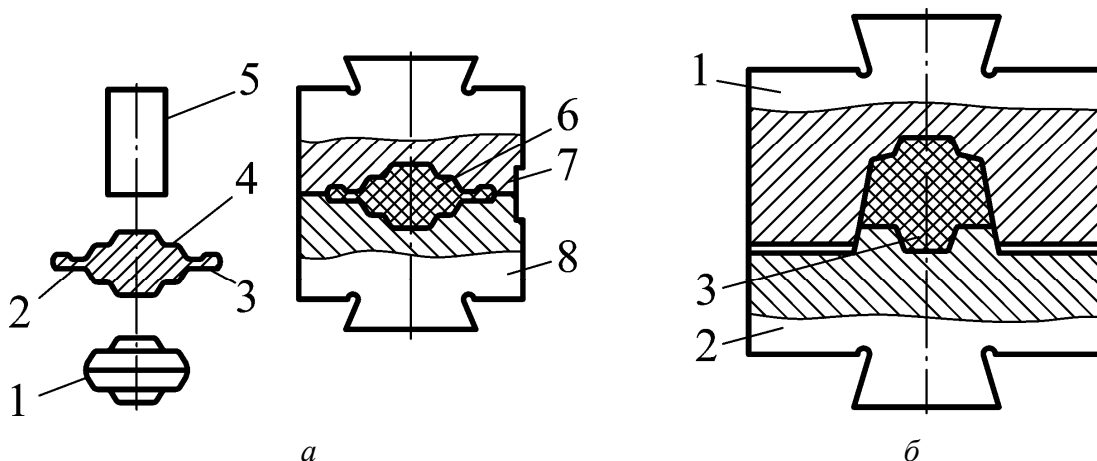


Рис. 2.57. Штампы для горячей штамповки на молоте: *а* – открытый; *б* – закрытый

При *облойной одноручевой штамповке* поковки 1 получают из цилиндрической заготовки 5 в штампе, состоящем из двух частей: верхней 7, прикрепляемой к бабе, и нижней 8, прикрепляемой к штамподержателю и шаботу молота. Для облегчения выемки поковок боковые поверхности ручьев делают с уклонами $\alpha = 3\text{--}12^\circ$. Нагретую заготовку 5 укладывают в нижнюю половину штампа на торец. При деформации металл заполняет ручей, формируя черновую поковку 4. При облойной штамповке заусенец 2, 3 образуется по месту разъема штампа из-за избытка металла. Начало появления заусенца опережает заполнение металлом ручьев штампа. При последующем уменьшении зазоров штампа заусенец создает подпор по контуру поковки 6, что способствует заполнению металлом углов штампа, т.е. облой выполняет определенную технологическую функцию. Заусенечную щель между частями штампа выполняют в виде специальной канавки по периметру поковки. После деформации облой удаляется на обрезных штампах. Облойная штамповка имеет широкое применение, так как надежно обеспечивает заполнение полостей штампа.

При *безоблойной штамповке* в закрытом штампе заготовку помещают в полости нижней части штампа 2 и процесс деформирования выполняют верхней частью 1. Небольшой заусенец, который может образоваться по плоскости разъема, не влияет на процесс штамповки и является результатом неточности размеров заготовки. Для удаления поковки 3 из штампа применяют выталкиватели или стенки штампа изготавливают с уклоном. Основным преимуществом безоблойной штамповки является пониженный расход металла.

Сортамент штамповок, получаемых в открытых штампах, более широкий. Оба метода предусматривают штамповку в одном или нескольких ручьях.

Оборудование для штамповки

Около 80 % штампованных поковок производят на универсальных паровоздушных штамповочных молотах, кривошипных горячештамповочных прессах (КГШП) и горизонтально-ковочных машинах (ГКМ). Кроме того, наиболее крупные изделия штампуют на гидравлических прессах усилием до 750 МН. Оборудование для серийной штамповки обычно объединяют в гибкие производственные модули, оснащенные роботами-манипуляторами и управляемые ЭВМ.

Паровоздушный штамповочный молот. В нем должны точно совпадать верхняя и нижняя части штампа. Поэтому его станина крепится непосредственно к шаботу, имеет регулируемые длинные направляющие бабы. Соотношение масс шабота и падающих частей m составляет 20–30, а число ударов в минуту – 90–110 ([рис. 2.58](#)). Штамповочные молоты благодаря своей универсальности, простоте конструкции и меньшей стоимости по сравнению с другими видами оборудования удобны для использования во всех видах производства, но, вследствие сотрясения зданий и возникающих при работе вибраций, постепенно вытесняются КГШП. У штамповочных паровоздушных молотов масса подвижных частей может составлять от 630 кг до 25 т, однако наиболее широко применяют молоты, у которых этот параметр имеет значение от 630 кг до 10 т.

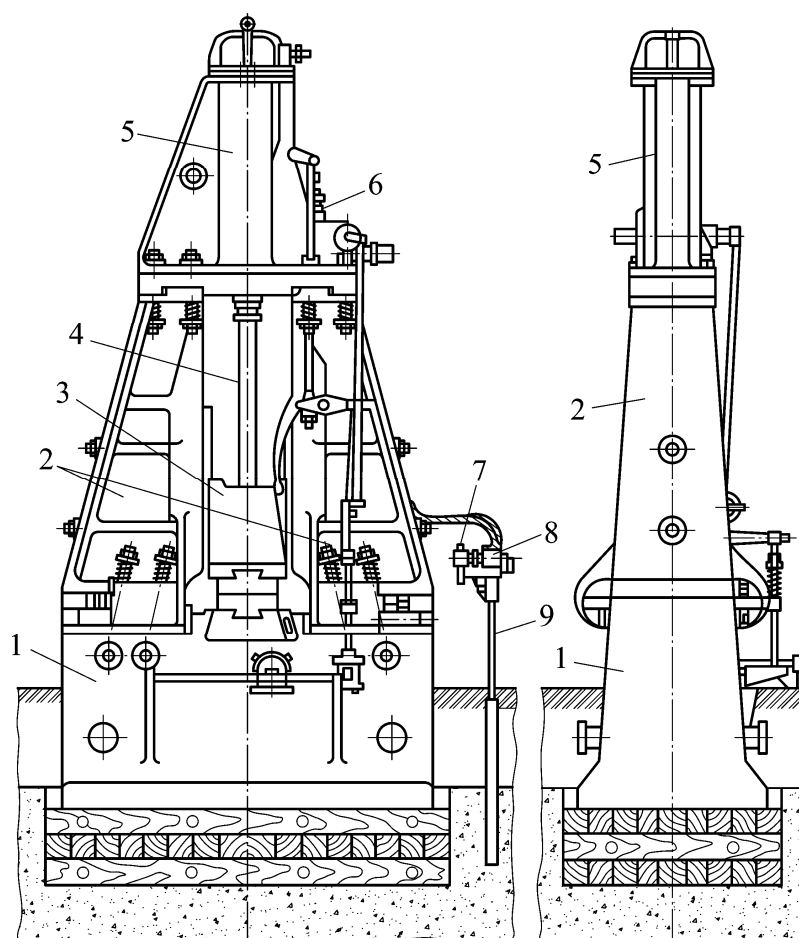


Рис. 2.58. Паровоздушный штамповочный молот: 1 – шабот; 2 – стойки станины; 3 – баба; 4 – шток; 5 – рабочий цилиндр; 6 – золотниковая коробка; 7–9 – устройства для смазки узлов 5, 6

Кривошипные горячештамповочные прессы ([рис. 2.59](#)) предпочитают использовать вместо молотов в цехах крупносерийного производства. Эти прессы имеют массивную закрытую станину, кривошипно-ползунный механизм, механический нижний и верхний выталкиватели. Ползун кривошипного прессы ([рис. 2.59, б](#)) совершает возвратно-поступательное движение при помощи кривошипно-ползунного механизма. Движение ползуна подчинено определенному закону: каждому углу поворота кривошипного вала соответствуют определенная скорость и положение ползуна по высоте. Следовательно, ползун прессы имеет постоянное значение хода и фиксированные нижнее и верхнее положения. Поэтому штамповку в каждом ручье обычно производят только за один ход ползуна (штамповочному молоту требуется несколько ударов), а размеры изделия по высоте получаются более точными, чем при штамповке на молотах.

Штамповка на механических прессах имеет и другие преимущества, которые снижают стоимость изделий. Так, на кривошипных прессах широко используют менее дорогостоящие составные штампы. Производительность таких прессов на 30–50 % выше производительности молотов, так как изделие выполняется за один ход ползуна, при этом облегчается автоматизация,

улучшаются условия труда рабочих. Безударный характер работы кривошипных прессов позволяет устанавливать их в зданиях облегченного типа.

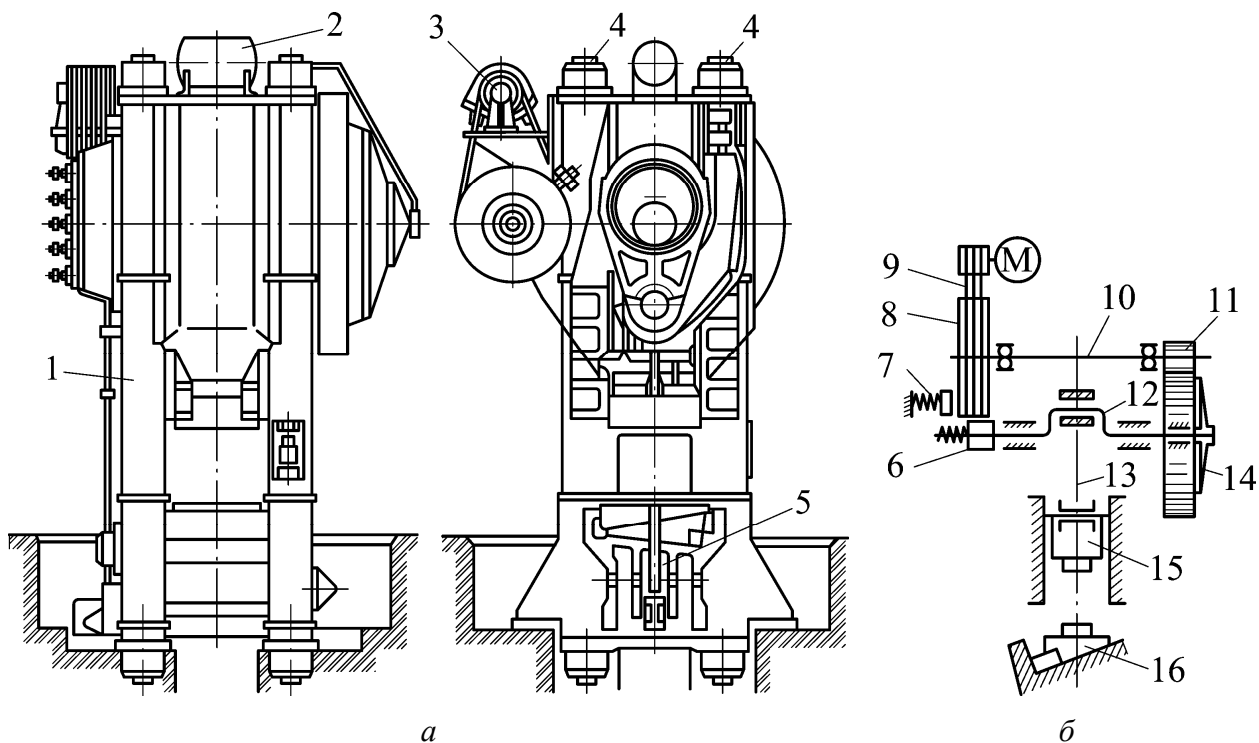


Рис. 2.59. Общий вид (а) и кинематическая схема (б) КГШП: 1 – станина; 2 – ресивер; 3 – электродвигатель; 4 – стяжные болты; 5 – нижний выталкиватель; 6 – тормоз; 7 – тормоз маховика; 8 – маховик; 9 – клиноременная передача; 10 – промежуточный вал; 11 – зубчатая передача; 12 – главный кривошипный вал; 13 – шатун; 14 – пневматическая фрикционная муфта; 15 – ползун; 16 – стол с двуклиновым устройством

Отечественные заводы выпускают КГШП усилием 6,3–63 МН. В особых случаях применяют КГШП усилием до 125 МН.

Гидравлические штамповочные прессы по принципу действия не отличаются от ковочных, но имеют меньшую длину хода траверсы, повышенную жесткость и усилие штамповки до 750 МН. Они дороже и тихоходнее кривошипных прессов и применяются для штамповки особо крупных поковок, поковок из малопластичных сплавов, для операций, требующих большого хода инструмента. К типовым поковкам относятся крупные рычаги, фланцы, диски, зубчатые колеса, гребные винты, оребренные панели и другие корпусные детали летательных аппаратов, кольца, бандаж и т.д.

Прессы оборудуют выталкивателем, вертикальной и боковыми прошивными системами. Например, у прессы усилием 650 МН пять рабочих цилиндров и шесть ступеней усилия, два боковых прошивных механизма усилием 70 МН каждый и один вертикальный усилием 134 МН, наибольшие длина хода 1,5 м и скорость 50 мм/с, давление рабочей жидкости 32 и 63 МПа.

Гидравлические прессы оснащены средствами механизации и электронной системой управления.

Горизонтально-ковочная машина (ГКМ) является механическим прессом, в котором кроме главного деформирующего ползуна есть еще боковой зажимной ползун. Он зажимает недеформируемую часть прутка, а в современных ГКМ осуществляет высадку в матрицах. Течение металла при штамповке на ГКМ представляет собой разновидность прессовой прошивки, выдавливания и высадки.

Схема работы ГКМ показана на [рис. 2.60](#). Штампы ГКМ имеют два разъема. Один проходит между пуансоном 1, закрепленным в ползуне, и матрицами 4 (подвижной) и 3 (неподвижной). В исходном положении *а* прутки диаметром d вставляют манипулятором в полукольцевую выемку неподвижной матрицы 3 и проталкивают до переднего упора 2. В рабочей полости остается часть прутка длиной $l_{\text{в}}$. Включают рабочий ход, части машины занимают положения *б*, затем *в*. В положении *б* показано начало высадки прутка длиной $l_{\text{в}}$, зажатого на длине $l_{\text{зж}}$ между матрицами 3 и 4. В положении *в* высадка закончена. Далее пуансон 1 отойдет назад, матрицы 3, 4 раскроются. Можно извлечь прутки из ГКМ или переложить его в другой ручей (обычно у ГКМ их три).

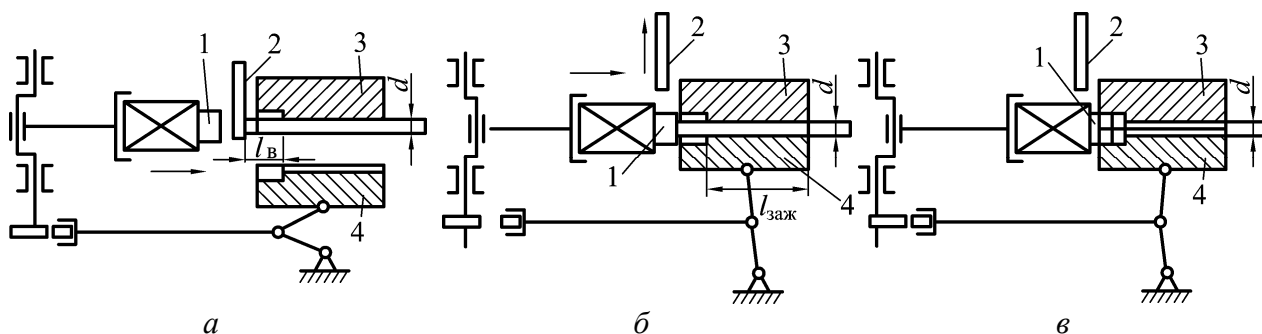


Рис. 2.60. Схема штамповки на ГКМ

На ГКМ кроме стержней с фланцами и утолщениями штампуют детали типа стакана (из прутка) или втулки (из трубной заготовки).

Преимуществами ГКМ являются: удобство штамповки деталей в виде стержня с утолщением на конце, экономия металла (так как нет облоя и штамповочных уклонов), безударная работа. К недостаткам ГКМ относятся: меньшая универсальность; меньшая, чем у прессы, мощность; высокая стоимость штампов и самой ГКМ; необходимость в очистке прутка от окалины.

Современные ГКМ оснащают средствами механизации и автоматизации, на их базе созданы комплексы с автоматизированной сменой штампов.

Инструмент для штамповки

Инструментом для штамповки служат штампы. По назначению различают штампы *собственно для штамповки, обрезные, правочные и калибровочные*.

По видам оборудования штампы подразделяются на *молотовые, пресовые, высадочные* (устанавливаемые на ГKM).

По количеству ручьев различают штампы *одноручьевые* и *мноручьевые*. По конструктивному признаку штампы могут быть *с одной или двумя плоскостями разъема, с выталкивателями и без них, цельные и сборные*; кроме того, штампы делятся на *открытые* (для штамповки с облоем) и *закрытые* (для безоблойной штамповки).

Мноручьевой штамп показан на рис. 2.61. В предчистовом (или предварительном) ручье штампа еще нет облоя, а радиусы закруглений больше.

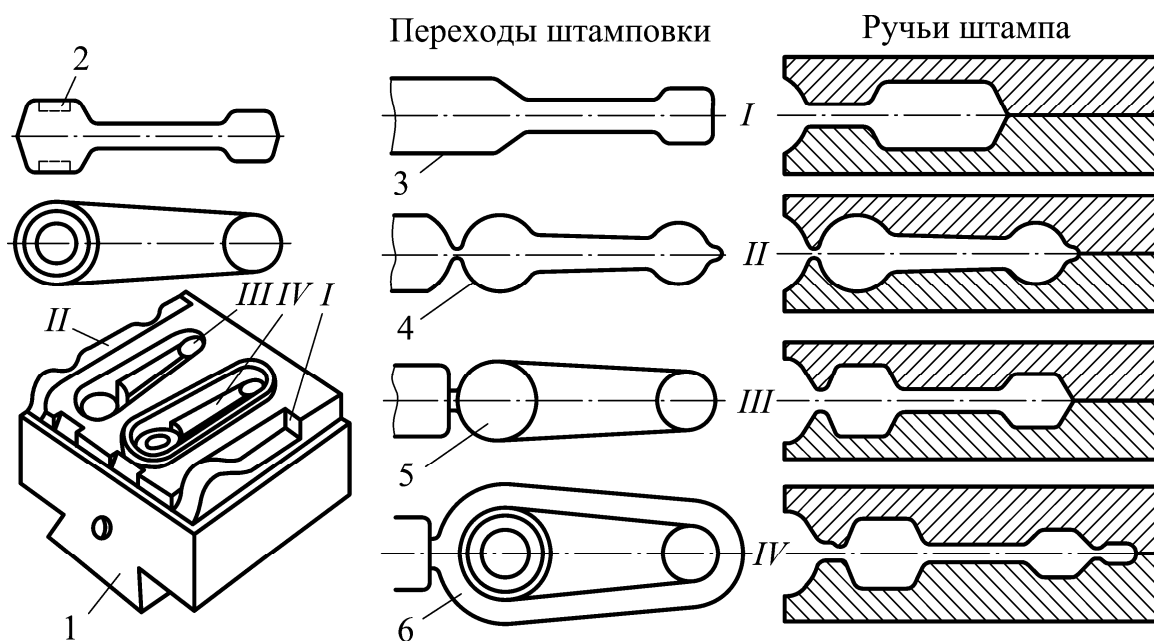


Рис. 2.61. Мноручьевой молотовой штамп: 1 – нижняя часть штампа; 2 – поковка типа шатуна; 3 – протяжка; 4 – подкатка; 5, 6 – предчистовая и чистовая штамповка; I–IV – соответствующие ручки штампа

В чистовом ручье после нескольких ударов молотом металл полностью заполняет полость штампа, а избыток его выдавливается в облой через щель между верхней и нижней половинами штампа. Для легкого извлечения поковки из ручья боковые стенки делают с наклоном 7–10°.

Условия эксплуатации штампов для объемной штамповки, в особенности для горячего деформирования, очень тяжелые. Штампы подвергаются многократному воздействию высоких температур и значительных нагрузок. Интенсивное течение металла в процессе формообразования поковки вызывает истирание поверхности ручья. В течение каждого цикла штампы испытывают резкие колебания температуры, особенно при использовании смазочно-охлаждающих жидкостей, что приводит к образованию на поверхности ручья разгарных трещин.

В связи с вышеизложенным, штамповые стали должны обладать высокими механическими свойствами, сочетая прочность с ударной вязкостью, изно-

состойкостью, разгаростойкостью, и сохранять эти свойства при повышенных температурах. Материалы штампов должны хорошо прокаливаться (при термической обработке), обрабатываться резанием и быть сравнительно дешевыми.

Выбор стали для штампа определяется условиями его эксплуатации (динамический или статический характер нагружения, способ смазки и охлаждения, величина удельных усилий штамповки, зависящая от сложности поковки и ее материала, схемы напряженного состояния в очаге деформации, габариты штампа, серийность производства и др.). Поэтому для изготовления штампов применяют разнообразные по химическому составу и свойствам марки сталей. Однако их число стремятся свести на заводах к целесообразному минимуму, что облегчает заказ и получение штамповых материалов, изготовление штампов и их эксплуатацию.

Марки штамповых сталей и химический состав регламентируются Государственным стандартом. Для изготовления молотовых и прессовых штампов получили распространение стали марок 5ХНМ, 5ХНВ, 5ХНВС, 5ХГМ. Полноценным заменителем дефицитных хромоникелевых сталей 5ХНВ и 5ХНМ может быть безникелевая сталь 4ХСМФ. Дешевыми сталями для штампов являются стали марок 4ХВ2С, 5ХВ2С, 7Х3, 8Х3.

При штамповке труднодеформируемых сплавов применяют высоколегированные стали марок 4Х3ВМФ, 4Х5В2ФС, 4Х5МФС, 4Х4ВМФС, 5Х3В3МФС, 5Х2ВМНФ и др. Эти же стали целесообразно использовать для изготовления высоконагруженных деталей штампов.

Для повышения износостойкости и теплостойкости штамповых вставок, пуансонов и матриц очень часто выполняют химико-термическую обработку поверхности ручья, например азотирование.

Часто режущие кромки деталей штампов наплавляют твердым сплавом.

Весьма перспективно применение литых штампов, изготавливаемых вместе с ручьями. Это повышает стойкость инструмента, снижает трудоемкость изготовления штамповой оснастки, позволяет более экономно расходовать стали за счет многократного переплава изношенного штампа и др.

Технологический процесс штамповки

Под технологическим процессом горячей объемной штамповки понимают совокупность действий, непосредственно связанных с изменением размеров и формы исходной заготовки от поступления металла в обработку до получения готовой поковки.

К основным этапам разработки технологии производства горячештампованных заготовок относят: выбор способа штамповки поковки; составление чертежа поковки; определение переходов штамповки; определение формы и размеров заготовки под штамповку; подбор кузнечно-штамповочного оборудования; конструирование штампов; выбор способа нагрева заготовок; определение вида отделочных операций; оценку технико-экономических показателей разработанного процесса.

Начальным этапом разработки является ориентировочный выбор варианта штамповки – оборудования, способа штамповки (в открытом или закрытом ручье) и т.п. Выбор варианта штамповки определяется серийностью производства, конфигурацией детали, материалом, требованиями к точности и др. В единичном и мелкосерийном производстве ковка может оказаться эффективнее штамповки, так как не связана с изготовлением дорогостоящего инструмента. В крупносерийном и массовом производстве преимущества штамповки на КГШП делают этот процесс экономичнее штамповки на молотах. Применение КГШП особенно эффективно при использовании периодического проката в сочетании с индукционными нагревателями и средствами автоматизации.

Поковка типа стержня с утолщением является типовой для штамповки на ГKM. Поковку типа кольца можно штамповать на ГKM, молоте или прессе. В таких случаях при выборе варианта штамповки учитывают наличие оборудования в цехе, расходы на изготовление штампов, их стойкость и т.д.

Производство многих штампованных изделий может быть полностью механизировано и автоматизировано с организацией поточных линий, имеющих законченный технологический цикл. К автоматизированному производству можно отнести специальные автоматические линии для массового производства горячей штамповки мелких и средних размеров поковок, автоматические линии изготовления крупных поковок в серийном производстве. Эффект автоматизации в значительной мере определяется не только снижением трудоемкости производства поковок, но и более интенсивным использованием дорогостоящего штамповочного оборудования.

Контрольные вопросы и задания

1. Почему в отличие отковки масса штампованных поковок ограничена?
2. В чем заключаются преимущества и недостатки горячей объемной штамповки в открытых штампах по сравнению со штамповкой в закрытых штампах?
3. С какой целью поверхности ручьев штампов выполняют с уклонами?
4. В чем заключается технологическая функция облоя?
5. Назовите преимущества горячей объемной штамповки по сравнению с ковкой.
6. Перечислите конструктивные отличия штамповочного молота от ковочного.
7. В каком случае предпочтительнее использование в качестве оборудования кривошипные горячештамповочные прессы?
8. Какие виды штампованных поковок целесообразно получать на ГKM?
9. Какие марки сталей используют для изготовления штампов?
10. Какова последовательность в разработке технологического процесса горячей объемной штамповки?

Л е к ц и я 16

Холодная объемная штамповка. Листовая штамповка

П л а н л е к ц и и

1. Сущность процесса холодной объемной штамповки. Основные операции.
2. Сущность процесса листовой штамповки. Основные виды продукции.

Сущность процесса холодной объемной штамповки.

Основные операции

Холодной объемной штамповкой называют процесс обработки давлением, при котором формоизменение исходной заготовки из сортового проката происходит без предварительного нагрева и сопровождается значительным перераспределением металла в ее поперечном сечении.

Чаще всего этот способ применяют для изготовления массовых изделий небольших размеров: заклепок, гвоздей, болтов, гаек и т.п. Отсутствие нагрева, а следовательно, окалины и тепловых усадок, позволяет получать при помощи холодной объемной штамповки точные детали с допусками на размеры порядка сотых и десятых долей миллиметра, с высокой чистотой поверхности. Исходными заготовками для холодной объемной штамповки служат калиброванный круглый прут (для метизов) и шайбы, вырубленные из листов.

К операциям холодной объемной штамповки относят осадку, выдавливание, редуцирование, высадку и др.

Свободная осадка происходит в начальной стадии почти всех операций объемной штамповки. Как самостоятельную операцию ее применяют для получения промежуточных заготовок.

При осадке в закрытом штампе ([рис. 2.62](#)) под действием пуансона 4 заготовка 3, помещенная в полость матрицы 2, сначала подвергается свободной осадке ([рис. 2.62, а](#)), а затем, когда бочкообразная поверхность заготовки коснется стенок полости матрицы, начнется закрытая осадка. Если объем металла заготовки будет больше объема полости штампа, то образуется заусенец ([рис. 2.62, б](#)).

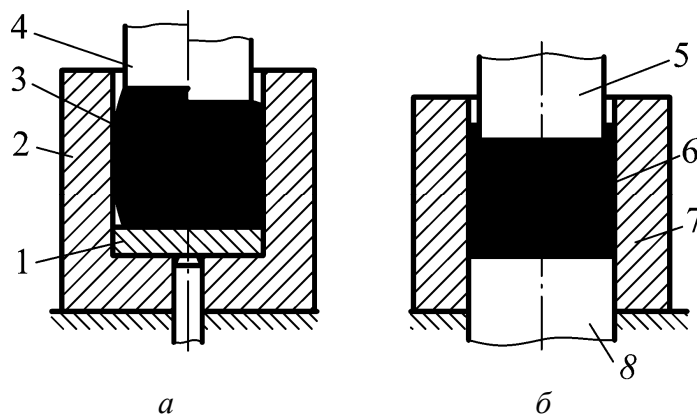


Рис. 2.62. Схемы осадки в закрытом штампе: а – свободная осадка; б – осадка с образованием заусенца; 1, 8 – выталкиватели; 2, 7 – матрицы; 3, 6 – заготовки; 4, 5 – пуансоны

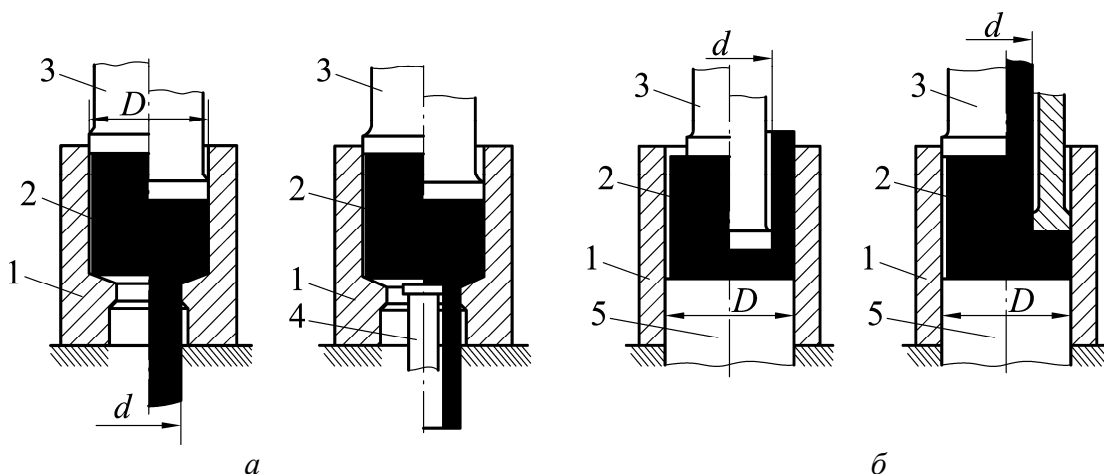


Рис. 2.63. Схема прямого (а) и обратного (б) выдавливания: 1 – матрица; 2 – заготовка; 3, 4 – пуансоны; 5 – выталкиватели

При *выдавливании* происходит вытеснение металла исходной заготовки 2 в полости матрицы 1 (рис. 2.63). При прямом выдавливании (рис. 2.63, а) истечение металла относительно боковых стенок матрицы происходит в направлении, совпадающем с направлением движения пуансона. Высота заготовки выбирается из условия $H < (2,5-3) D_0$. При этом виде выдавливания в зазоре между пуансоном и матрицей возможно образование заусенца. Слева показана схема прямого выдавливания сплошного стержня, а справа – стержня с внутренней полостью.

При обратном выдавливании ([рис. 2.63, б](#)) истечение металла происходит в направлении, противоположном движению пуансона 3. Справа показана схема обратного выдавливания полого стержня постоянного сечения.

Выдавливанием получают изделия массой от 1 г до 35 кг, диаметром до 220 мм и длиной до 1 500 мм. При этом минимальная толщина стенки может достигать 0,1 мм. Процесс особенно эффективен для массового производства, например, тюбиков, корпусов снарядов, гильз, деталей автомашин, велосипедов и т.д.

Для холодного выдавливания применяют механические, фрикционные и гидравлические прессы, снабженные выталкивающими устройствами.

В процессе *редуцирования* ([рис. 2.64](#)) происходит уменьшение площади поперечного сечения заготовки при проталкивании ее через матрицу 1 усилием, направленным вдоль оси заготовки 2. В отличие от прямого выдавливания, при редуцировании заготовка не ограничена стенками матрицы. Степень редуцирования d/D_0 ограничена условием продольной устойчивости свободной части заготовки; продольная устойчивость зависит от длины заготовки, качества ее торцов и продольной кривизны. На [рис. 2.64, б](#) показана схема редуцирования полой заготовки 4 на оправке 7.

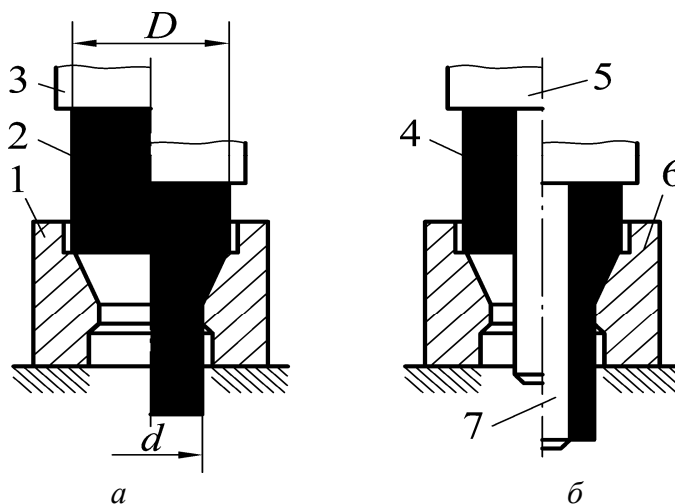


Рис. 2.64. Схемы редуцирования сплошной (а) и полой (б) заготовок: 1, 6 – матрицы; 2, 4 – заготовки; 3, 5 – пуансоны; 7 – оправка; D, d – диаметры заготовки до и после редуцирования

При *высадке* происходит осадка части заготовки ([рис. 2.65](#)). На [рис. 2.65, а](#) показана схема открытой высадки сплошного стержня. Длина высаживаемой части выбирается из условия $H/d \leq 2,5$. Для придания изделию заданной формы применяется высадка в закрытом штампе ([рис. 2.65, б](#)). В этом случае сначала происходит свободная высадка до соприкосновения выпуклой части заготовки со стенками полости пуансона 5 (матрицы), а затем – осадка высаживаемой части заготовки в закрытой полости штампа. При высадке в закрытом штампе заусенец образуется по всему периметру изделия. Высадка является основной операцией при производстве метизов. При этом в качестве оборудования используют холодновысадочные автоматы производительностью от 30 до 400 деталей в минуту. В зависимости от сложности деталей ее изготавливают за один или несколько переходов (ударов автомата).

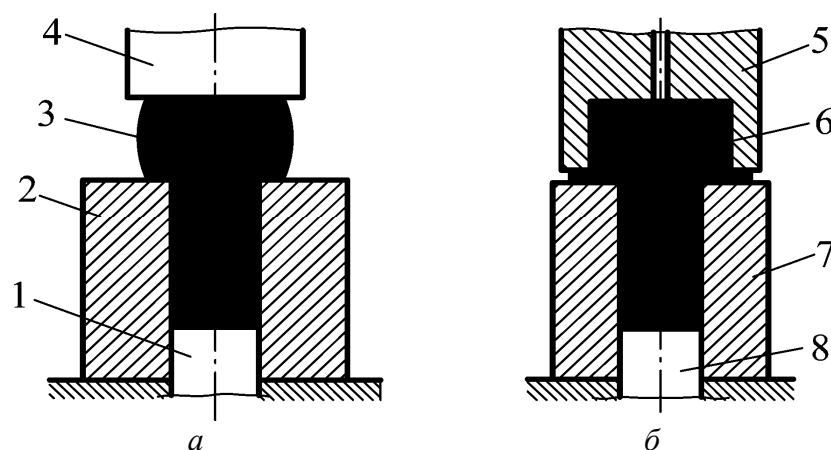


Рис. 2.65. Схема высадки открытой (а) и закрытой в штампе (б): 1, 8 – выталкиватели; 2, 7 – матрицы; 3, 6 – заготовки; 4, 5 – пуансоны

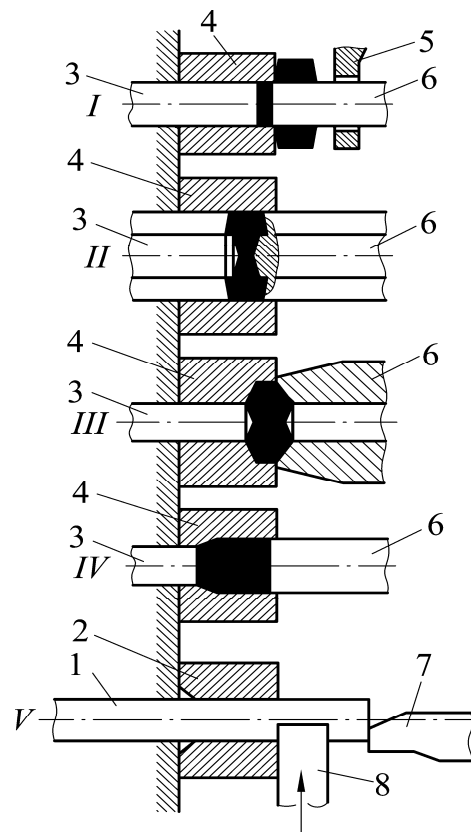
Одним из примеров операций холодной объемной штамповки является изготовление на холодновысадочных прессах-автоматах заготовок болтов, гаек, шариков, роликов и других крепежных деталей, а также деталей более сложной формы.

Схема технологического процесса изготовления заготовки гайки на многопозиционном гайковысадочном прессе-автомате показана на [рис. 2.66](#). Заготовка шестигранной гайки с отверстием под резьбу (резьба нарезается на резьбонарезном автомате) высаживается в четыре операции в каждой паре матрицы и пуансона с межоперационной транспортировкой полуфабриката.

Разработку технологического процесса холодной объемной штамповки начинают с анализа формы и размеров изделия, а также показателей механических свойств его материала. Затем выбирают операции и переходы технологического процесса и назначают размеры заготовки и пооперационные размеры. Критериями выбора количества операций и переходов и степени деформации для каждой операции являются необходимость получения качественного изделия и значение допустимого удельного усилия в рабочих полостях матрицы и пуансона.

Объем исходной заготовки определяют с учетом объема готового изделия и припуска на обрезку кромок и на заусенец. Размеры заготовки назначают в соответствии с ее расчетным объемом и заданным отношением ее длины к диаметру.

Рис. 2.66. Схема высадки гайки на многопозиционном гайковысадочном прессе-автомате: I – прошивка от верстия; II – формовка шести граней; III – осадка с двусторонними конусами; IV – предварительная осадка; V – отрезка заготовки; 1 – исходная заготовка; 2, 4 – отрезная и высадочная матрицы; 3 – выталкиватель; 5 – жесткий съемник; 6 – высадочный пуансон; 7 – упор; 8 – отрезной нож



Усилие $P_{\text{ш}}$ холодной объемной штамповки может быть определено по формуле

$$P_{\text{ш}} = q F, \quad (2.82)$$

где q – удельное усилие, МПа; F – площадь поверхности контакта пуансона с обрабатываемой заготовкой, мм². Удельное усилие q зависит от вида операции, степени деформации и показателей механических свойств материала штампуемой заготовки.

Процессы холодной объемной штамповки характеризуются высокими удельными усилиями, среднее значение которых равно 1 800–2 200 МПа. В отдельных точках оно достигает 2 500–3 000 МПа. Металл заготовки нагревается до 250–300 °С и более. Значительное перемещение металла в полостях штампа обуславливает интенсивный износ рабочей поверхности последнего. Возможное схватывание (адгезия) металла заготовки и инструмента приводит к повышению сопротивления металла деформированию, ухудшает качество изделия, резко снижает износостойкость инструмента.

Существенное значение при холодной объемной штамповке имеет подготовка поверхности заготовки: удаление дефектов и очистка поверхности от окалины, жировых и других загрязнений механическим, термическим (нагревание) или химическим (травление) способами; образование на поверхности слоя-носителя смазки; нанесение на поверхность заготовки технологической смазки. Слой-носитель смазки образуется с помощью химической или электрохимической обработки заготовок.

Пластическая деформация в этих процессах идет при температурах ниже температуры рекристаллизации, поэтому металл упрочняется тем

больше, чем больше степень деформации. Это используют при замене обработки резанием холодной объемной штамповкой. В ряде случаев упрочнение материала при штамповке заменяет термическую обработку (закалку с отпуском), которая применяется после механической обработки детали. Упрочнение металла сопровождается благоприятным расположением волокон в изделии.

При разработке технологии холодной штамповки следует иметь в виду, что суммарная степень деформации, необходимая для получения изделия из заготовки, может оказаться выше, чем та, которую этот металл способен выдержать без разрушения.

Поэтому обычно сложные детали изготавливают за несколько переходов, осуществляя снятие наклепа между отдельными переходами с помощью термической обработки. Уменьшение разовой деформации в результате распределения суммарной деформации по переходам снижает усилие штамповки и повышает стойкость штампов.

Сущность процесса листовой штамповки.

Основные виды продукции

Листовая штамповка – процесс получения из листа, полосы, ленты изделий плоской или пространственной формы с заданными конструктивно-геометрическими и структурными параметрами без существенного изменения толщины материала. Процессы листовой штамповки основаны на использовании пластичности обрабатываемых материалов и их упрочнения при обработке. Они обеспечивают точность и стабильность размеров изготавливаемых деталей, что является основным условием их взаимозаменяемости (при достаточной прочности и минимальной массе), позволяющем снижать массу отдельных конструкций и узлов машины. Благодаря этим достоинствам, а также высокому коэффициенту использования металла, листовая штамповка находит широкое применение как в массовом, так и в мелкосерийном производстве. На дальнейшее развитие технологии листовой штамповки влияют непрерывный рост производства изделий во многих отраслях промышленности, расширение номенклатуры изготавливаемых деталей, специализация производства.

Изделия, полученные листовой штамповкой, используются в авиационной, автомобильной, тракторной промышленности, производстве товаров массового потребления и других отраслях промышленности. Различают *толстолистовую* и *тонколистовую* штамповку, причем к тонколистовой относят штамповку заготовок толщиной менее 4 мм. Тонколистовую штамповку, как правило, ведут в холодном состоянии, а при толщине листа более 10 мм применяют только горячую штамповку.

Процесс листовой штамповки отличается высокой производительностью, легко поддается механизации и автоматизации, обеспечивает высокую точность размеров и хорошее качество поверхности отштампованных деталей.

Номенклатура штампуемых деталей постоянно растет в связи с возможностью изготовления импульсными методами (взрывом, электрогидравлической штамповкой) крупногабаритных деталей, а также необходимостью изготовления мелких деталей из материала толщиной 0,005–0,1 мм.

Для листовой штамповки применяют черные и цветные металлы и сплавы. К черным металлам и сплавам можно отнести сталь (углеродистая обыкновенного качества, углеродистая качественная конструкционная, легированная конструкционная, высоколегированная) и деформируемые сплавы с особыми свойствами (коррозионно-стойкие, жаростойкие, жаропрочные, магнитные и др.). К цветным металлам и сплавам – медь, никель, алюминий, магний, титан и деформируемые сплавы на их основе (латуни, бронзы, дуралюмины и др.).

Наибольшее распространение получили металлы и сплавы, из которых можно штамповать детали с заданными свойствами различных форм и размеров. В автомобилестроении большую часть деталей штампуют из углеродистых сталей. Цветные металлы и сплавы применяют в тех случаях, когда использование стали не обеспечивает заданных эксплуатационных свойств. Однако предполагают, что в перспективе для листовой штамповки автомобильных, в том числе кузовных, деталей возможно более широкое использование сплавов легких цветных металлов (алюминия, а также титана). Тяжелые металлы (медь, никель) и их сплавы необходимо заменять, если это допустимо по условиям эксплуатации детали, на менее дорогие и дефицитные сплавы.

Металлы и сплавы для листовой штамповки поступают на машиностроительный завод в виде проката (листов, полос и лент). Выбор марки металла или сплава, вида проката, требования к их качеству должны соответствовать условиям эксплуатации детали и требованиям технологии листовой штамповки, т. е. необходимо, чтобы материал удовлетворял заданному комплексу эксплуатационных и технологических свойств. Чем в большей степени конструкция детали удовлетворяет требованиям технологии, тем выше технологичность ее изготовления. Основные параметры, определяющие технологичность конструкции, – материал, форма и размеры детали, требования к ней по точности размеров, шероховатости поверхности и качеству в целом. При выборе материала и технологии штамповки необходимо учитывать также технологичность конструкции штампованной заготовки (т.е. после штамповки) при последующей обработке и отделке: обработке резанием, клепке, пайке, сварке, нанесении соответствующих покрытий химическим или электрохимическим путем. Главной характеристикой технологичности конструкции детали является физическая природа материала, от которой зависят его технологические свойства: пластичность, сопротивление деформации, интенсивность деформационного упрочнения. Значительное влияние на процесс листовой штамповки полых и других сложных по форме деталей оказывает анизотропия.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие изделия получают холодной объемной штамповкой?
2. Какие операции чаще всего используют при холодной объемной штамповке?
3. Опишите схему одного из технологических процессов холодной объемной штамповки.
4. Почему в ряде случаев детали, изготовленные холодной объемной штамповкой, не требуют проведения термообработки?
5. В каком случае в технологическом процессе холодной объемной штамповки необходима термообработка?
6. Какие металлы и сплавы обычно используют для листовой штамповки?
7. От чего зависит технологичность материалов, применяемых для листовой штамповки?

Лекция 17

Листовая штамповка

П л а н л е к ц и и

1. Операции листовой штамповки.
2. Оборудование для листовой штамповки.
3. Инструмент для листовой штамповки.
4. Технология листовой штамповки.

Операции листовой штамповки

Различные фазы процесса изготовления детали, при которых происходит изменение формы заготовки, называют операциями. Операции листовой штамповки делят на разделительные, формоизменяющие, прессовочные и штамповочные.

Разделительные операции. Эти операции предназначены для получения заготовки из листа или ленты. К таким операциям, выполняемым по замкнутому или незамкнутому контуру, относятся [\(рис. 2.67\)](#):

отрезка – полное отделение одной части материала от другой по незамкнутому контуру по прямой или кривой линии;

вырубка – полное отделение металла по замкнутому контуру, причем отделяемая часть является изделием или заготовкой, а оставшаяся часть – отходом;

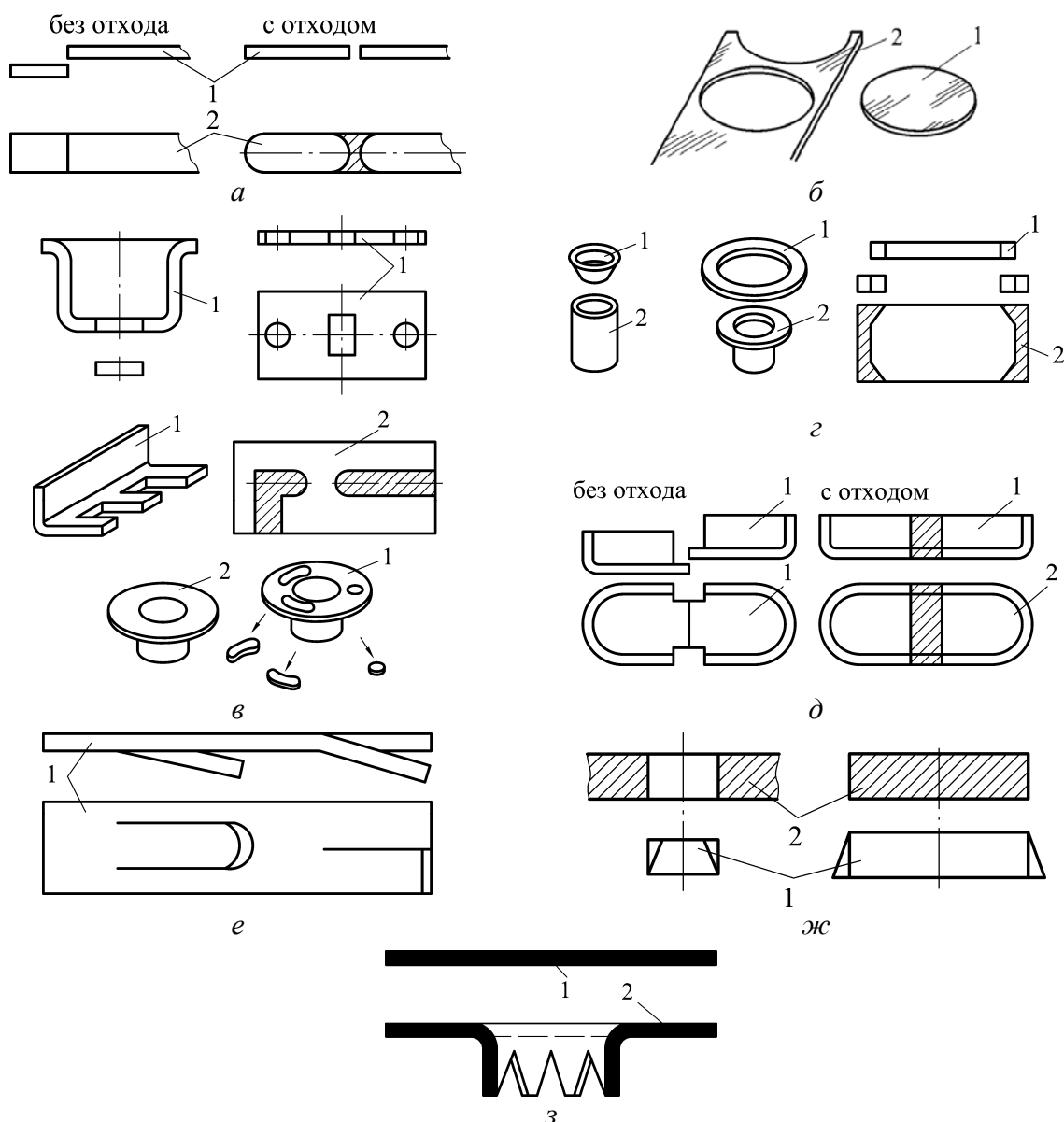


Рис. 2.67. Деталь (1) и исходная заготовка (2), полученная разделительной операцией ей листовой штамповки: а – отрезкой; б – вырубкой; в – пробивкой; г – обрезкой; д – разрезкой; е – надрезкой; ж – зачисткой; з – проколкой

пробивка – полное отделение металла внутри заготовки по замкнутому контуру, причем вырезанная часть является отходом, а оставшаяся часть – изделием;

обрезка – удаление неровного края или лишнего металла снаружи изделий;

разрезка – разделение заготовок на части по незамкнутому контуру;

надрезка – частичное отделение металла по незамкнутому контуру без удаления отходов;

зачистка – удаление технологических припусков с помощью штампа с образованием стружки для повышения точности размеров и уменьшения шероховатости поверхности штампованной заготовки;

проколка – образование в заготовке отверстия без удаления металла в отход.

Формоизменяющие операции. Формоизменяющими называют операции листовой штамповки, в результате которых изменяется форма заготовки путем пластического деформирования. К ним относятся ([рис. 2.68](#)):

гибка – образование или изменение углов между частями заготовки или придание ей криволинейной формы;

скручивание – поворот части заготовки вокруг продольной оси;

закатка – образование закругленных бортов на краях полой заготовки;

правка давлением (правка) – устранение искажений формы заготовки;

вытяжка – образование полой заготовки или изделий из плоской или полой исходной заготовки;

рельефная формовка – образование рельефа в листовой заготовке за счет местных растяжений без обусловленного изменения толщины металла;

отбортовка – образование борта по внутреннему и (или) наружному контуру заготовки;

раздача – увеличение размеров поперечного сечения части полой заготовки путем одновременного воздействия инструмента по всему периметру;

обжим в штампе – уменьшение размеров поперечного сечения части полой заготовки путем одновременного воздействия инструмента по всему ее периметру.

Прессовочные операции. К прессовочным операциям, осуществляемым из листового материала, относят чеканку, клеймение (маркировку) и разметку (кернение). Все эти операции основаны на перераспределении и перемещении части или всего объема металла заготовки в процессе штамповки. Они характеризуются общностью схемы напряженного состояния (неравномерное объемное сжатие).

Чеканкой называется штамповочная операция, при которой происходит изменение формы изделия, большей частью плоского, осуществляемое между верхней и нижней частями штампа. При этом материал изменяет свою толщину и вследствие перемещения заполняет все углубления на поверхности штампа. Чеканка в листовой штамповке применяется главным образом для изготовления монет, медалей, а также художественных изделий и предметов широкого потребления: часовых деталей, столовых приборов и др. ([рис. 2.69](#)). Чеканка применяется и в комбинации с другими операциями (вытяжкой, отбортовкой и т.д.).

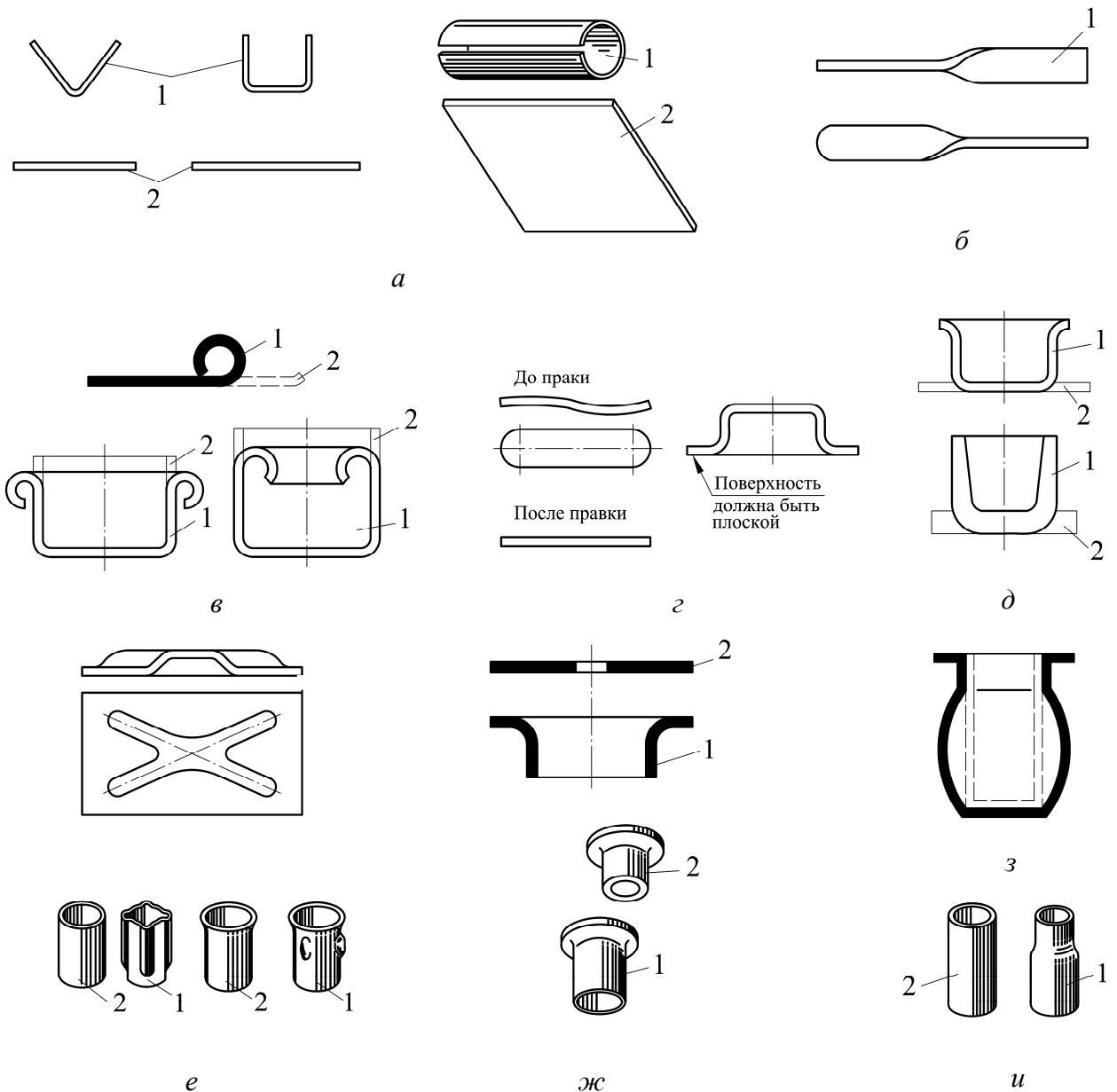
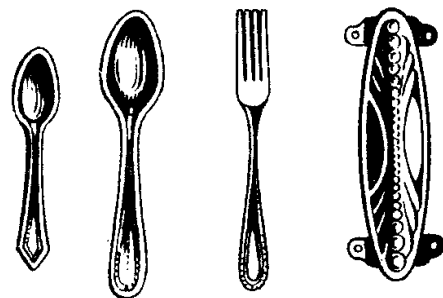


Рис. 2.68. Деталь (1) и исходная заготовка (2), полученная формоизменяющей операцией листовой штамповки: *а* – гибкой; *б* – скручиванием; *в* – закаткой; *г* – правкой; *д* – вытяжкой; *е* – рельефной формовкой; *ж* – отбортовкой; *з* – раздачей; *и* – обжимом в штампе

Рис. 2.69. Изделия, полученные чеканкой



Заготовки, поступающие на чеканку, с целью улучшения качества изделий должны подвергаться очистке травлением, галтовке в барабанах или очистке в пескоструйной камере. Достижимая точность размеров по толщине

при обычной чеканке – в пределах $\pm 0,1$ мм, а при повышенной – составляет $\pm 0,05$ мм. Размеры заготовки для чеканки определяются методом равенства объемов заготовки и готового изделия с учетом припуска на обрезку.

Операции *клеймения* (маркировки) аналогичны чеканке, но глубина распространения деформации в металл у них меньше, поэтому они требуют меньших удельных усилий. Клеймением наносят на поверхность деталей рельефные надписи, номера, обозначения и т.д.

Разметка, или кернение, в штампах применяется для нанесения лунок – центров под сверление мелких отверстий при обработке точных деталей в массовом и крупносерийном производстве. Разметка широко распространена в часовом производстве и в приборостроении. Достижимая точность разметки керновочным штампом составляет $\pm 0,02$ и $\pm 0,03$ мм. Для керновочных операций применяется такое же оборудование, как и для чеканки.

Штамповочные операции. Широкое распространение в листовой штамповке получили операции сборки различных деталей, особенно в приборостроении, точной механике, электро- и радиотехнике и в производстве изделий массового потребления.

Методы сборки листовых деталей штамповкой основаны на применении операций гибки, отбортовки, обжима и их комбинации. Большинство из них дает довольно прочное неразъемное соединение

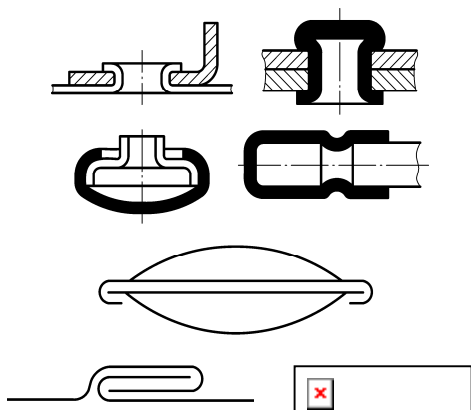


Рис. 2.70. Соединение листовых деталей штамповочными операциями

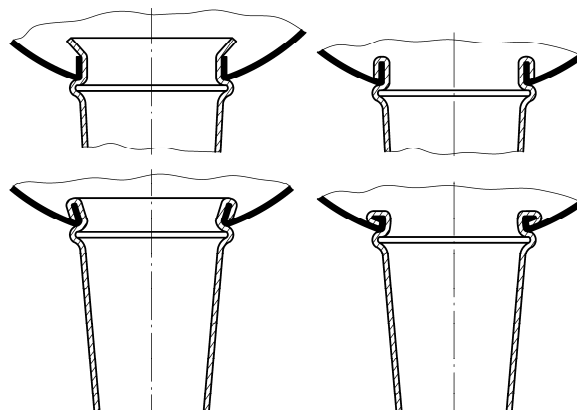


Рис. 2.71. Последовательность технологического процесса для соединения носика с корпусом алюминиевого чайника

Формы деталей и способы их соединения могут быть различные: соединения двух плоских, согнутых или вытянутых деталей между собой; соединение листовой детали со стержнем путем его расклепки или с точеной втулкой путем развальцовки и др. (рис. 2.70).

На рис. 2.71 показана последовательность технологического процесса соединения носика с корпусом алюминиевого чайника. Сборка носика с корпусом «в замок» осуществляется в четыре операции на одном и том же штампе со сменными насадками.

Иногда целесообразно изготавливать полые изделия, являющиеся телами вращения, из плоской заготовки путем обжатия на вращающейся вместе

с ней шайбе (оправке) токарно-давилочного станка соответствующим инструментом.

Оборудование для листовой штамповки

Производство деталей методами листовой штамповки выполняется в специализированных цехах. Оборудование листоштамповочных цехов можно условно разделить на две группы: основное (технологическое) и вспомогательное. *Основным* называется оборудование, на котором изготавливают детали (изделия). С помощью *вспомогательного* оборудования подготавливают листовой материал к штамповке, осуществляют перемещение его через рабочую зону и перерабатывают отходы.

Наиболее распространенный вид машины для листовой штамповки – *кривошипные прессы*, в которых кривошипно-шатунный механизм приводит в возвратно-поступательное движение ползун с верхним штампом. Для мелких и средних деталей в основном применяют прессы простого действия, которые имеют один ползун и предназначены для таких несложных операций, как вырубка, неглубокая вытяжка, гибка и т.д.

Прессы двойного действия, имеющие наружный и внутренний ползуны, используют для изготовления изделий с глубокой вытяжкой.

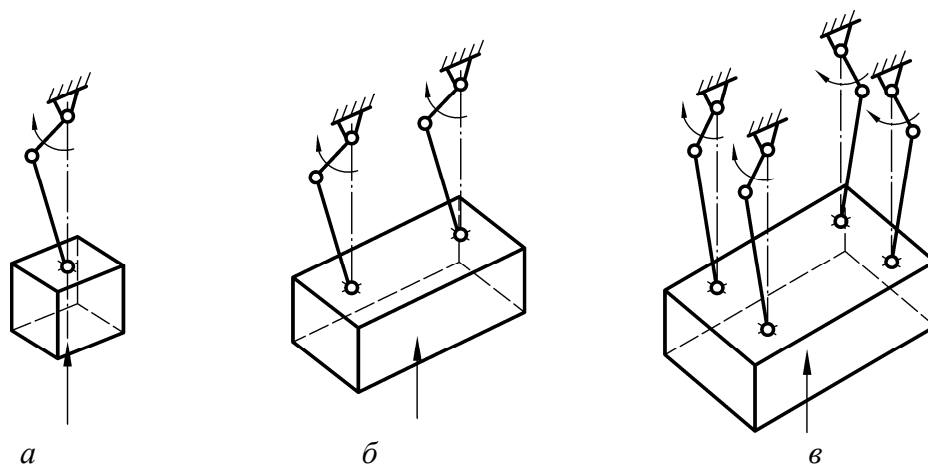


Рис. 2.72. Схемы одно- (а), двух- (б) и четырехкривошипных (в) механизмов

В зависимости от размеров штампуемых деталей прессы как простого, так и двойного действия могут быть одно-, двух- и четырехкривошипными (рис. 2.72).

Четырехкривошипные прессы предназначены для изготовления крупногабаритных изделий с глубокой вытяжкой и вырубкой по контуру сложной конфигурации.

Гидравлические прессы применяются обычно для глубокой вытяжки. Прессы простого действия используются для вытяжки деталей из тонкого листа в холодном состоянии, а прессы двойного действия – для изготовления крупногабаритных изделий из толстолистного металла с глубокой вытяжкой.

Для штамповки также применяются *листоштамповочные воздушные молоты*, но значительно реже, чем кривошипные и гидравлические прессы.

Автоматы листоштамповочные многопозиционные – наиболее высокопроизводительное оборудование, широко распространенное в промышленности. На них осуществляется многооперационная штамповка изделий из ленты и полосы, а также возможна работа и со штучными заготовками. Перенос заготовок по позициям осуществляется различными типами подач.

Для более широкого использования свойств листового металла при высоких скоростях деформирования в лабораториях обработки металлов давлением применяются *машины импульсного действия*: гидравлические, газовые, магнитные и взрывные.

В настоящее время в листовой штамповке широко используются средства механизации и автоматизации, автоматические линии и комплексы, оснащенные компьютерами и электронно-вычислительными машинами, что значительно повышает производительность, качество готовой продукции и общую культуру производства.

К вспомогательному оборудованию относятся кривошипные и гидравлические ножницы с наклонным ножом для разрезки заготовок и дисковые ножницы для продольной разрезки рулона на ленты; зигмашины, правильно-разматывающие и наматывающие машины, а также машины для переработки отходов – пакетировочные и брикетировочные прессы.

Инструмент для листовой штамповки

Основным инструментом для листовой штамповки является штамп, который состоит из рабочих элементов (пуансон и матрица) и ряда вспомогательных деталей. Одна часть штампа с пуансоном крепится к ползуну прессы, а другая часть штампа с матрицей закрепляется на столе. Точное совпадение осей матрицы и пуансона обеспечивают направляющие колонки, которые располагают обычно по диагонали штампа.

Названия штампов соответствуют названиям операций листовой штамповки. Например, штамп отрезной, штамп гибочный, штамп вытяжной и т.д.

По группам операций штампы подразделяются на разделительные и формоизменяющие.

В зависимости от количества производимых операций в штампе их подразделяют на штампы простого действия, выполняющие какую-либо одну операцию листовой штамповки, и комбинированные (многооперационные), которые по принципу работы могут быть последовательного и совмещенного действия ([рис. 2.73](#)). В штампах последовательного действия операции следуют одна за другой при последовательном перемещении заготовки от одного пуансона к другому. Например, при получении шайб в таком штампе вначале пробивается отверстие, а затем производится вырубка. В штампах совмещенного действия на одной позиции штампа за один ход ползуна выполняется несколько операций листовой штамповки. Например, при изготовле-

нии чашечки вначале производится вырезка кружка, затем при этом же ходе пуансона – вытяжка.

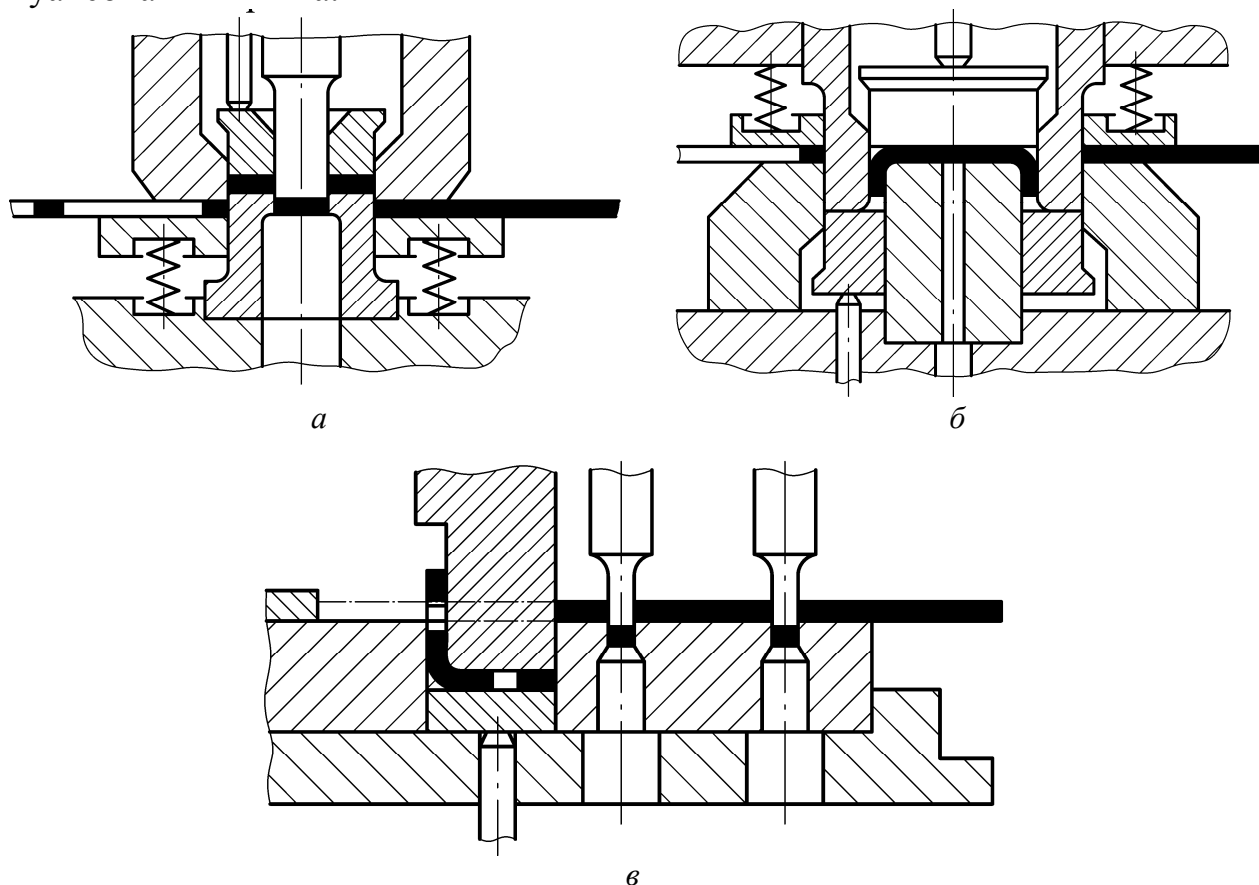


Рис. 2.73. Комбинированные штампы: *а* – совмещенный для вырубки и пробивки; *б* – совмещенный для вырубки и вытяжки; *в* – последовательного действия

В многооперационных штампах может выполняться до пяти операций и более. Такие штампы обеспечивают наибольшую производительность, их проще автоматизировать, а сами прессы занимают меньшую производственную площадь. Для изготовления штампов холодной штамповки обычно используют инструментальные стали марок У7-У12.

Технология листовой штамповки

Проектирование технологического процесса листовой штамповки сводится к установлению порядка операций с указанием режима и необходимого оборудования: 1) последовательность изготовления детали по операциям; 2) последовательность участков, на которых изготавливается деталь; 3) основное, необходимое и вспомогательное оборудования; 4) оснастка; 5) пооперационные нормы времени; 6) общие данные о детали (номер, количество на изделие, материал и пр.).

При составлении технологического процесса изготовления деталей из листового материала учитывают ряд факторов, влияющих на выбор варианта штамповки, а именно: конфигурацию и размеры детали; марку и толщину материала; точность изготовления и качество отделки поверхности детали;

объем производственного задания и размер отдельной партии; общую производственную обстановку (сроки подготовки производства; наличное оборудование, штампы и инструмент; мощность цехов или мастерских, изготавливающих штампы, и необходимый инструмент; квалификацию рабочих и ИТР цеха, предприятия).

Известно, что большинство штампуемых деталей из листового материала можно изготавливать несколькими способами: дифференцированным – отдельными операциями на отдельных штампах и комбинированным – совмещенным или последовательно действующим.

Анализируя при составлении технологического процесса значимость и удельный вес отдельных приведенных выше факторов, можно в каждом конкретном случае правильно выбрать тот или иной вариант штамповки.

Действительно, в зависимости от рода и толщины материала детали решают вопрос о ее штамповке в холодном или горячем состоянии. Объем производственного задания или партии и точность изготовления детали позволяют установить способы штамповки – дифференцированный или комбинированный. В серийном производстве крупные и грубые детали изготавливают на раздельных штампах; в мелкосерийном и опытном производстве детали штампуют упрощенными и универсальными штампами, применяют групповые методы и поэлементную штамповку. При крупносерийном и массовом производстве в зависимости от размеров деталей и требуемой точности их изготавливают на последовательно действующих или на совмещенных штампах.

В массовом производстве следует стремиться к автоматизации как отдельных операций, так и всего процесса в целом, созданию специализированных автоматических штамповочных линий и даже целых участков по комплексной автоматизации процесса изготовления изделия.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем отличие пробивки от вырубки?
2. Назовите операции листовой штамповки, в которых отделение материала происходит по замкнутому контуру.
3. В комбинации с какими операциями может выполняться чеканка?
4. В чем заключается отличие клеймения от чеканки?
5. В каком производстве чаще всего используется разметка?
6. На каких операциях листовой штамповки основаны методы сборки листовых деталей?
7. В чем заключается отличие прессов простого действия от прессов двойного действия?
8. Для чего используют четырехкривошипные прессы?
9. Какие виды штампов применяют для листовой штамповки?
10. В каких случаях в листовой штамповке используют нагрев заготовок?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время наблюдается дальнейшее развитие и совершенствование процессов литейного производства и обработки металлов давлением. Одним из приоритетных направлений при этом является сокращение потерь металла в процессе производства по сравнению с другими видами обработки металлов. Кроме того, важным является полное устранение ручного труда и обеспечение высокой экологичности производства. С этой целью современные цеха проектируют и строят высокомеханизированными и автоматизированными. Тенденция широкого внедрения автоматического управления с помощью ЭВМ является одной из основных в развитии литейного производства и обработки металлов давлением и требует широкого использования результатов научных исследований, создания математических моделей технологических процессов и их реализации в алгоритмах управления техническими системами.

При решении прикладных задач, заключающихся в проектировании нового и повышении производительности существующего оборудования, разработке режимов обработки, повышении качества продукции, создании математических моделей для автоматизированных систем управления технологическими процессами, используется не только теория литейного производства и обработки металлов давлением и современные методы экспериментальных исследований, но и смежные науки.

Авторы надеются, что изложенный в лекциях материал поможет будущим специалистам успешно решать задачи, связанные с литейным производством и обработкой металлов давлением.

В условиях экономической и хозяйственной самостоятельности предприятий образованность, компетентность и профессионализм – важнейшие качества современного специалиста, которые позволяют ему мыслить самостоятельно, творчески, свободно ориентироваться в непрерывно возникающих проблемах производства и грамотно принимать наиболее рациональные технические решения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Р а з д е л I

1. Непрерывное литье алюминиевых сплавов: справ. / В. И. Напалков, Г. В. Черепок, С. В. Махов, Ю. М. Черновол. – М. : Интермет Инжиниринг, 2005. – 512 с.
2. Горшков, И. Е. Литье слитков цветных металлов и сплавов / И. Е. Горшков. – 2-е изд., доп. и перераб. – М. : Гос. науч.-тех. изд-во лит. по черн. и цв. металлургии, 1952. – 416 с.
3. Титов, Н. Д. Технология литейного производства / Н. Д. Титов. – М. : Машиностроение, 1968. – 388 с.
4. Степанов, Ю. А. Технология литейного производства: Специальные виды литья : учеб. для вузов по специальности «Машины и технология литейного производства» / Ю. А. Степанов, Г. Ф. Баландин, В. А. Рыбкин; под ред. Ю. А. Степанова. – М. : Машиностроение, 1983. – 287 с.
5. Могилев, В. К. Справочник литейщика : справ. для профессионального обучения рабочих на производстве / В. К. Могилев, О. И. Лев. – М. : Машиностроение, 1988. – 272 с.
6. Трухов, А. П. Литейные сплавы и плавка : учеб. для студентов высш. учеб. заведений / А. П. Трухов, А. И. Маляров. – М. : Академия, 2005. – 336 с.
7. Леви, Л. И. Литейные сплавы / Л. И. Леви, С. К. Кантеник. – М. : Высш. шк., 1967. – 436 с.
8. Справочник по чугунному литью / под ред. Н. Г. Гиршовича. – М.–Л. : Машиностроение, 1978. – 758 с.
9. Леви, Л. И. Основы теории металлургических процессов и технология плавки литейных сплавов / Л. И. Леви, Л. М. Мариенбах. – М. : Машиностроение, 1970, – 495 с.
10. Воскобойников, В. Г. Общая металлургия : учеб. для вузов / В. Г. Воскобойников, В. А. Кудрин, А. М. Якушев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1985. – 480 с.
11. Сафронов, В. Я. Справочник по литейному оборудованию / В. Я. Сафронов. – М. : Машиностроение, 1985. – 320 с.
12. Аксенов, П. Н. Оборудование литейных цехов / П. Н. Аксенов. – М. : Машиностроение, 1977. – 510 с.
13. Технология литейного производства: Литье в песчаные формы : учеб. для студ. высш. учеб. заведений / А. П. Трухов, Ю. А. Сорокин, М. Ю. Ершов [и др.]; под ред. А. П. Трухова. – М. : Академия, 2005. – 528 с.
14. Гини, Э. Г. Технология литейного производства: Специальные виды литья : учеб. для студ. высш. учеб. заведений / Э. Г. Гини. – М. : Академия, 2005. – 350 с.
15. Глухов, В. В. Основы технологий отраслей национальной экономики : учеб. пособие / В. В. Глухов, Л. Б. Гущина. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2004. – Ч. I. – 466 с.

Р а з д е л II

1. Сторожев, М. В. Теория обработки металлов давлением / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. – М. : Машиностроение, 1977. – 423 с.
2. Грудев, А. П. Теория прокатки / А. П. Грудев. – М. : Metallurgia, 1988. – 240 с.
3. Суворов, И. К. Обработка металлов давлением / И. К. Суворов. – М. : Высш. шк., 1980. – 364 с.
4. Мастеров, В. А. Теория пластической деформации металлов давлением / В. А. Мастеров, В. С. Берковский. – М. : Metallurgia, 1989. – 400 с.
5. Грабарник, Л. М. Прессование цветных металлов и сплавов и сплавов / Л. М. Грабарник, А. А. Нагайцев. – М. : Metallurgia, 1991. – 342 с.
6. Ерманок, М. З. Волочение цветных металлов и сплавов / М. З. Ерманок, Л. С. Ватрушин. – М. : Metallurgia, 1988. – 288 с.
7. Семенов, Е. И. Технология и оборудованиековки и объемной штамповки / Е. И. Семенов, В. Г. Кондратенко, Н. И. Ляпунов. – М. : Машиностроение, 1978. – 310 с.
8. Зубцов, М. Е. Листовая штамповка. – Л. : Машиностроение, 1980. – 432 с.
9. Головин, В. А. Технология и оборудование холодной штамповки / В. А. Головин, Г. С. Ракошиц, А. Г. Навроцкий. – М. : Машиностроение, 1987. – 352 с.