

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Вакуумная и компрессорная техника»

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЗАГОТОВОК**

Электронный учебно-методический комплекс для обучающихся по  
программе высшего образования по специальностям  
1-36 20 04 «Вакуумная и компрессорная техника» и  
1-08 01 01 «Профессиональное обучение (машиностроение)»

Составители: Бабук В.В., Иващенко С.А.

**Минск БНТУ 2024**

### Рецензенты:

Е.Е. Петюшик, заместитель генерального директора по научной работе Государственного научно-производственного объединения порошковой металлургии, д.т.н., профессор;  
кафедра промышленной безопасности ГУО «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь» (протокол от 4 июля 2024 г. №12).

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) представляет собой систему учебных и методических материалов по дисциплине «Проектирование и изготовление заготовок». ЭУМК предназначен для обеспечения качественного учебно-методического оснащения учебного процесса, способствующего подготовке высококвалифицированных специалистов, обладающих знаниями по основам выбора наиболее рациональных методов получения заготовок, получаемых в литейных, кузнечно-прессовых, сварочных и иных производствах для конкретных производственных условий, по разработке рабочих чертежей заготовок с учетом требований, предъявляемых к качеству заготовок и технологичности их конструкций.

Электронный учебно-методический комплекс разработан в соответствии с Положением об учебно-методическом комплексе на уровне высшего образования, утвержденным постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 08.11.2022 N 427 и учебной программой дисциплины «Проектирование и изготовление заготовок» для специальностей 1-36 20 04 «Вакуумная и компрессорная техника» и 1-08 01 01 «Профессиональное обучение (машиностроение)».

Белорусский национальный технический университет  
пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь.  
Кафедра «Вакуумная и компрессорная техника»

Тел. (017) 3386769

© БНТУ, 2024

© В.В. Бабук, С.А. Иващенко, 2024

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

### **Общие сведения**

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) по учебной дисциплине «Проектирование и изготовление заготовок» разработан в соответствии учебной программой для учреждений высшего образования для специальностей 1-36 20 04 «Вакуумная и компрессорная техника» и 1-08 01 01 «Профессиональное обучение (машиностроение)».

*Цель создания ЭУМК* – обеспечить качественное учебно-методическое оснащение учебного процесса, способствующее подготовке высококвалифицированных специалистов, обладающих знаниями по основам выбора наиболее рациональных методов получения заготовок, получаемых в литейных, кузнечно-прессовых, сварочных и иных производствах для конкретных производственных условий, по разработке рабочих чертежей заготовок с учетом требований, предъявляемых к качеству заготовок и технологичности их конструкций.

Структура и содержание учебных материалов электронного УМК способствует системному освоению учебного материала и вовлечению обучающихся практически во все этапы учебного процесса: от разработки и принятия целей обучения до оценки (самооценки) образовательных результатов через самостоятельную учебную и исследовательскую работу.

### **Состав пособия**

Разработанный ЭУМК включает в себя теоретический и практический разделы, раздел контроля знаний и вспомогательный раздел.

Материалы теоретического раздела ЭУМК представлены электронным учебником, в котором раскрыты вопросы получения заготовок из металлических и неметаллических материалов.

Практический раздел ЭУМК содержит учебные материалы и методические указания для выполнения практических работ.

Раздел контроля знаний ЭУМК включает перечень вопросов для изучения учебного материала дисциплины.

Вспомогательный раздел содержит глоссарий и учебную программу дисциплины «Проектирование и изготовление заготовок», включающую перечень литературных источников, рекомендуемых для изучения дисциплины.

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

## Тема 1.1. Введение

### Выбор метода и способа получения заготовки

Необходимость экономии материальных ресурсов предъявляет высокие требования к рациональному выбору заготовок, к уровню их технологичности, в значительной мере определяющей затраты на технологическую подготовку производства, себестоимость, надежность и долговечность изделий.

Правильно выбрать способ получения заготовки – означает определить рациональный технологический процесс ее получения с учетом материала детали, требований к точности ее изготовления, технических условий, эксплуатационных характеристик и серийности выпуска.

Машиностроение располагает большим количеством способов получения деталей. Это многообразие, с одной стороны, позволяет существенно повысить эксплуатационные характеристики машин за счет использования свойств исходного материала, с другой – создает трудности при выборе рационального, экономичного способа получения детали.

Особенно важно правильно выбрать вид заготовки, назначить наиболее рациональный технологический процесс ее изготовления в условиях автоматизированного производства, когда размеры детали при механической обработке получаются «автоматически» на предварительно настроенных станках или станках с числовым программным управлением (ЧПУ). В этом случае недостаточные припуски так же вредны, как и излишние, а неравномерная твердость материала или большие уклоны на заготовке могут вызвать значительные колебания в допусках размеров готовой детали.

Поэтому очень важен экономически и технологически обоснованный выбор вида заготовки для данного производства.

Максимальное приближение геометрических форм и размеров заготовки к размерам и форме готовой детали – главная задача заготовительного производства.

Заданные конструктором геометрия, размеры и марка материала детали во многом определяют технологию изготовления. Таким образом, выбор вида заготовки происходит в процессе конструирования, так как при расчете деталей на прочность, износостойкость или при учете других показателей эксплуатационных характеристик конструктор исходит из физико-механических свойств применяемого материала с учетом влияния способа получения заготовки.

Факторы, влияющие на себестоимость производства в машиностроении, можно разделить на три группы:

- 1) **конструктивные факторы**, т.е. конструктивное решение самой детали, обеспечивающее приемлемость её для изготовления обработкой давлением, литьем, сваркой; выбор марки материала и технологических условий;
- 2) **производственные факторы**, т.е. характер и культура производства, технологическая оснащенность, организационные и технологические уровни производства;

3) **технологические факторы**, характеризующие способ формообразования заготовок, выбор самой заготовки, оборудования и технологического процесса получения детали.

То, насколько полно в заготовке учтено влияние факторов первой и второй групп, позволяет судить о технологичности заготовки.

Под **технологичностью заготовки** принято понимать, насколько данная заготовка соответствует требованиям производства и обеспечивает долговечность и надежность работы детали при эксплуатации.

Выпуск технологичной заготовки в заданных масштабах производства обеспечивает минимальные производственные затраты, себестоимость, трудоемкость и материалоемкость.

Третья группа факторов важна, когда детали могут быть получены одним или несколькими способами литья или обработки давлением, например, фланцы, тройники, шестерни. Однако при литье структура металла, а следовательно, и механические свойства, ниже, чем при обработке металлов давлением. Также, особенно при литье в кокиль или под давлением, выше вероятность возникновения литейных напряжений и наличия пористости.

При штамповке, создавая направленную структуру, можно увеличить эксплуатационные свойства детали. В то же время заданный параметр шероховатости поверхности и точность размеров могут быть обеспечены в обоих случаях.

Таким образом, при выборе способов получения заготовки в первую очередь следует учитывать основные факторы (себестоимость и требования к качеству), ориентироваться на то, что в конкретном случае является определяющим.

Оптимальное решение при выборе заготовок может быть найдено только при условии комплексного анализа влияния на себестоимость всех факторов, при обязательном условии положительного влияния способа получения заготовки на качество изделия.

В себестоимости изготовления детали значительную долю составляют затраты на материал (около 60 %). Поэтому пути снижения себестоимости целесообразно искать в снижении расхода материала.

### **Общие принципы выбора заготовки**

Наиболее широко для получения заготовок в машиностроении применяют следующие методы: литье, обработка металла давлением и сварка, а также комбинация этих методов.

Каждый из методов содержит большое число способов получения заготовок.

**Метод** – это группа технологических процессов, в основе которых лежит единый принцип формообразования.

**Литье** – получение заготовок путем заливки расплавленного металла заданного химического состава в литейную форму, полость которой имеет конфигурацию заготовки.

**Обработка давлением** – технологические процессы, которые основаны на пластическом формоизменении металла.

**Сварка** – технологический процесс получения неразъемных соединений из металлов и сплавов в результате образования атомно-молекулярных связей между частицами соединяемых заготовок.

При выборе метода необходимо ориентироваться в первую очередь на материал и требования к нему с точки зрения обеспечения служебных свойств изделия.

Особо ответственные детали, к которым предъявляются высокие требования по размеру зерна, направлению волокон, а также по уровню механических свойств, всегда следует изготавливать из заготовок, полученной обработкой давлением.

Выбор способа получения заготовки сложная задача. Способ получения заготовки должен быть экономичным, обеспечивающим высокое качество детали, производительным, нетрудоемким.

### **Основные факторы, влияющие на выбор способа получения заготовки**

**Характер производства.** Для мелкосерийного и единичного производства характерно использование в качестве заготовок горячекатаного проката, отливок, полученных в песчано-глинистых формах, поковок, полученных свободной ковкой.

Это обуславливает большие припуски, значительный объем последующей механической обработки, повышение трудоемкости.

В условиях крупносерийного и массового производств рентабельны способы получения заготовок: горячая объемная штамповка; литье в кокиль, под давлением, в оболочковые формы, по выплавляемым моделям. Применение этих способов позволяет значительно сократить припуски, снизить трудоемкость изготовления детали.

Повышение точности формообразующих процессов, выбор наиболее точных и прогрессивных способов получения заготовок на базе увеличения серийности производства является одним из важнейших резервов повышения технического уровня производства.

**Материалы и требования, предъявляемые к качеству детали.** Материалы должны обладать необходимым запасом определенных технологических свойств – ковкостью, штампуемостью, жидкотекучестью, свариваемостью, обрабатываемостью. Для деформируемых материалов необходимым технологическим свойством является технологическая пластичность. Особо жесткие требования по технологической пластичности предъявляются к сплавам, из которых детали получают холодной обработкой давлением – выдавливанием, вытяжкой, гибкой, формовкой.

Если металл обладает низкой жидкотекучестью, высокой склонностью к усадке, то не рекомендуется применять литье в кокиль, под давлением, так как из-за низкой податливости металлической формы могут возникнуть литейные напряжения, коробление отливки, трещины. Целесообразно применять литье в оболочковые формы и литье в песчано-глинистые формы.

Для ответственных, тяжело нагруженных деталей (валы, шестерни, зубчатые колеса), для которых предъявляются определенные требования к качеству и физико-механическим свойствам металла – целесообразно использовать поковки, так как в процессе деформирования создается мелкозернистая, направленная

волокнистая структура, значительно повышающая физико-механические свойства материала.

**Размеры, масса и конфигурация детали.** Удельная стоимость отливок и поковок растет с уменьшением их массы. Закономерность общая для всех способов получения заготовок и деталей, так как трудоемкость формообразования определяют общей площадью поверхностей, подлежащих обработке.

Размеры детали часто играют решающую роль. При литье по выплавляемым моделям, в кокиль, под давлением размеры отливки ограничены технологическими возможностями оборудования и инструмента.

**Качество поверхности заготовок, обеспечение заданной точности.** Использование точных способов обеспечивает достаточное качество поверхности и высокую точность заготовок.

Совершенствованиековки и штамповки обеспечивают параметры шероховатости и точность размеров, соответствующих механической обработке и даже финишных операций.

Калибровка, холодное выдавливание обеспечивают получение готовых деталей (заклепки, гайки, болты).

**Возможности имеющегося оборудования** учитывают при изготовлении заготовок способами центробежного литья, литья под давлением, горячей объемной штамповкой. Иногда это является определяющим фактором.

Например, наличие в кузнечном цехе ротационно-ковочных машин, механических прессов двойного действия или гидравлических многоступенчатых прессов позволяет получить ступенчатые заготовки с минимальными припусками для механической обработки.

Мощность кузнечно-штамповочного оборудования определяет номенклатуру изготовления деталей.

### **Место и роль курса «Проектирование и изготовление заготовок» в процессе инженерной подготовки студентов**

На крупных предприятиях вопросами получения заготовок занимаются специализированные подразделения – заготовительный цех или заготовительное производство, куда могут входить литейный цех, кузнечный цех, прессовый цех. В этих цехах работают специалисты узкого профиля, получившие соответствующую специальную подготовку, например, по специальности «Литейное производство», «Обработка металлов давлением» и т.д.

В условиях небольших предприятий и мастерских иметь узкого специалиста по заготовительному производству не целесообразно. В таких случаях выбор заготовки осуществляет технолог или мастер. От правильного выбора заготовки во многом зависит рациональное построение технологического процесса механической обработки и, как следствие, себестоимость готовой детали.

Стоимость готовой детали можно определить как сумму стоимости заготовки и механической обработки. Может оказаться, что применение более дешевого метода и способа получения заготовки приводит к значительному увеличению объема механической обработки. Из всего многообразия вариантов получения заготовок выбирают несколько наиболее приемлемых и производят оптимизацию. Оптимизация заключается в определении стоимости одной заготовки, полученной

различными методами и анализа влияния этой стоимости на общую стоимость детали с учетом ее механической обработки.

Знание основ курса «Проектирование и изготовление заготовок» позволяет студентам составить ясное представление о методах и способах получения заготовок; материалах для их изготовления; оборудовании и оснастке заготовительных производств и успешно применять эти знания в практической деятельности для реализации своих профессиональных возможностей.

## **Тема 1.2. Литейное производство. Материалы, применяемые при производстве отливок**

Литейным производством называется технологический процесс изготовления металлических заготовок (отливок) путем заливки жидкого металла в специально подготовленную форму. Форма заполняется металлом через систему каналов, называемых литниковой системой. При этом наружные очертания отливки определяются полостью формы, а внутренние образуются стержнями.

### **Требования, предъявляемые к литейным материалам**

Состав литейных материалов должен обеспечивать получение заданных физико-механических и эксплуатационных свойств детали. Литейные материалы должны обладать определенными технологическими свойствами, от которых зависит получение качественного литья – без раковин, трещин и других пороков.

Главными технологическими (литейными) свойствами являются жидкотекучесть, усадка и склонность к ликвации. К основным технологическим свойствам можно отнести хорошую свариваемость (для устранения брака), низкую склонность к поглощению газов и к образованию трещин. Литейные материалы должны легко обрабатываться режущим инструментом, отвечать требованиям экологии (быть не токсичными) и иметь минимальную себестоимость.

Удовлетворить всем требованиям, как правило, невозможно, поэтому при выборе литейных материалов определяют доминирующие.

### **Литейные свойства сплавов**

Получение качественных отливок без раковин, трещин и других дефектов зависит от литейных свойств сплавов, которые проявляются при заполнении формы, кристаллизации и охлаждении отливок в форме. К основным литейным свойствам сплавов относят: жидкотекучесть, усадку, ликвацию и газопоглощение.

**Жидкотекучесть** – способность металла заполнять литейную форму. При недостаточной жидкотекучести не вся форма заполняется металлом, деталь получается с недоливом и идет в брак.

Жидкотекучесть зависит от многих факторов: от температурного интервала кристаллизации, вязкости и поверхностного натяжения расплава, температуры заливки, свойств формы и т.д.

Металлы и сплавы, затвердевающие при постоянной температуре, обладают лучшей жидкотекучестью, чем сплавы, затвердевающие в интервале температур



(твердые растворы). Чем выше вязкость, тем меньше жидкотекучесть. С увеличением поверхностного натяжения жидкотекучесть понижается. С повышением температуры заливки расплавленного металла жидкотекучесть улучшается. Увеличение теплопроводности материала формы снижает жидкотекучесть. Например, песчаная форма отводит теплоту медленнее, и расплавленный металл заполняет ее лучше, чем металлическую форму. Наличие неметаллических включений снижает жидкотекучесть. Так же влияет химический состав сплава (с увеличением содержания серы, кислорода, хрома жидкотекучесть снижается; с увеличением содержания фосфора, кремния, алюминия, углерода жидкотекучесть увеличивается).

Жидкотекучесть определяют при помощи специальной технологической пробы – спирали, имеющей трапециевидное сечение площадью  $0,56 \text{ см}^2$ . Спираль формуют в земляной форме и заливают жидким металлом. Чем больше его жидкотекучесть, тем больший участок спирали залется металлом. Степень жидкотекучести зависит от физико-механических свойств металла (химического состава) и температуры в момент заливки.

**Усадка** – уменьшение размеров отливки при охлаждении. С усадкой связаны главные затруднения в литейном производстве – полость формы приходится делать больше по сравнению с чертежными размерами отливки на величину усадки.

Различают линейную усадку и объемную усадку. Линейная усадка определяет размерную точность полученных отливок, поэтому она учитывается при разработке технологии литья и изготовления модельной оснастки.

Линейная усадка составляет: для серого чугуна –  $0,8\text{--}1,3 \%$ ; для углеродистых сталей –  $2\text{--}2,4 \%$ ; для алюминиевых сплавов –  $0,9\text{--}1,45 \%$ ; для медных сплавов –  $1,4\text{--}2,3 \%$ .

С объемной усадкой связано образование пористости в отливке, появление усадочных раковин. Из-за усадки отливка оказывается в напряженном состоянии, что нередко приводит к ее короблению, а иногда и к разрушению.

Величину усадки не всегда удается установить сразу. На величину усадки оказывают влияние химический состав и температура заливаемого сплава. С повышением температуры заливки размеры усадки увеличиваются (чем больше интервал затвердевания сплава, тем больше его усадка).

Для предупреждения образования усадочных раковин устанавливают прибыли – дополнительные резервуары с расплавленным металлом, а также наружные или внутренние холодильники.

**Ликвация** – появление неоднородности по химическому составу в различных частях отливки. Ликвация развивается в период охлаждения отливки из-за различной растворимости отдельных компонентов сплава в его твердой и жидкой фазах. Кристаллы более тугоплавких компонентов располагаются у стенок формы, а легкоплавкие составляющие сплава сосредоточиваются в центре или в верхней части отливки. На ликвацию оказывают значительное влияние химический состав сплава и скорость охлаждения отливки.

Чем медленнее охлаждается отливка, тем сильнее ликвация. Крупные отливки более подвержены ликвации, чем мелкие. В тонкостенных отливках ликвация развита меньше. При сочетании в литой конструкции толстых и тонких стенок ликваты концентрируются в толстых частях отливок. Поэтому при конструировании литых деталей необходимо стремиться к равномерной толщине

стенок или конструировать по принципу направленного затвердевания, чтобы отливка затвердевала снизу вверх. В сталях и чугунах заметно ликвируют сера, фосфор и углерод.

Различают ликвацию *зональную*, когда различные части отливки имеют различный химический состав, и *дендритную*, когда химическая неоднородность наблюдается в каждом зерне.

**Газопоглощение** – способность литейных сплавов в расплавленном состоянии растворять водород, азот, кислород и другие газы. Степень растворимости газов зависит от состояния сплава: при плавлении возрастает и резко повышается при перегреве расплава. При затвердевании и последующем охлаждении растворимость газов уменьшается, в результате их выделения в отливке могут образоваться газовые раковины и поры.

Растворимость газов зависит от химического состава сплава, температуры заливки, вязкости сплава и свойств литейной формы.

## Литейные материалы

### 1. Чугуны

Чугун является наиболее распространенным материалом для получения фасонных отливок. Чугунные отливки составляют около 80 % всех отливок.

Широкое распространение чугунов получил благодаря хорошим технологическим свойствам и относительной дешевизне. Используют серые, ковкие, высокопрочные и легированные чугуны.

**Серый чугун** является самым дешевым из литейных материалов. В обычном сером чугуне графит располагается в виде пластинок. Эти пластинки размещаются между основной металлической массой и действуют как надрезы. По этой причине серый чугун с пластинчатым графитом обладает низкой пластичностью. Но наличие графита в чугуне придает ему меньшую чувствительность к внешним надрезам. Поэтому в чугунной отливке надрезы, углы, резкие переходы, неметаллические включения, газовые раковины, поры в очень малой степени понижают ее конструкционную прочность. Серый чугун обладает способностью рассеивать колебания при вибрационных нагрузках и, кроме того, отдельные марки серого чугуна имеют достаточно высокую механическую прочность.

Маркировка серого чугуна СЧ 15, СЧ 38 (предел прочности при растяжении). Химический состав чугунов стандартом не регламентируется. Это объясняется тем, что механические свойства чугунов зависят от многих факторов – условий заливки, скорости охлаждения, толщины стенок и т.д.

Серый чугун обладает хорошей жидкотекучестью, сравнительно небольшой усадкой ~ 1%.

**Ковкий чугун** получается при длительном отжиге (томлении) отливок из белого чугуна. Изначально выплавляют чугун такого химического состава, чтобы при затвердевании в земляной форме он получился белым (с перлитно-цементитной структурой). Белый чугун вследствие присутствия в нем цементита обладает высокой твердостью (400–500 НВ), хрупок и практически не поддается обработке резанием. Поэтому белый чугун имеет ограниченное применение.

Белый чугун применяется для деталей дробильного оборудования (щеки дробилок, бронь шаровых мельниц, мелющие шары), деталей шламовых насосов,

лопастей шнеков, землесосных снарядов и т.д. Детали, работающие в условиях усиленного износа и повышенных нагрузок, изготавливают из отбеленного чугуна. Микроструктура отливок состоит из наружного слоя белого чугуна, обеспечивающего высокое сопротивление износу, и сердцевины – серого чугуна, обеспечивающего вязкость и прочность отливки. Примеры таких отливок – прокатные валки, крановые и конвейерные колеса.

Белый чугун, применяемый для отливок, обладает в сравнении с серым чугуном более низкими литейными свойствами: пониженной жидкотекучестью, большей усадкой (линейная усадка 1,7%, объемная усадка 5,1%), большей склонностью к образованию трещин.

Из белого чугуна обычным образом получают отливки, которые затем подвергают отжигу с целью разложения цементита и получения необходимой конечной структуры. При отжиге белого чугуна цементит  $Fe_3C$  разлагается с образованием феррита и углерода отжига, имеющего хлопьевидную форму. При этой форме углерода чугун обладает повышенной прочностью при растяжении и высоким сопротивлением ударным нагрузкам. Отжиг на ковкий чугун – очень длительная операция (до 100–120 часов).

Ковкий чугун по своим механическим свойствам занимает промежуточное положение между серым чугуном и сталью. Он имеет высокие антикоррозионные свойства и хорошо работает в среде сырого воздуха, топочных газов и воды. Его химическая стойкость выше стойкости углеродистых сталей.

Ковкий чугун маркируется буквами КЧ и цифрами (КЧ 35-10, КЧ 37-12). Первые две цифры – предел прочности при растяжении; вторые – относительное удлинение в процентах.

Название «ковкий чугун» условно. Оно указывает лишь на то, что в сравнении с серым чугуном этот материал более пластичен. В действительности ковкий чугун никогда ковке не подвергался.

**Высокопрочный чугун** получают присадкой в жидкий чугун небольших добавок некоторых щелочных или щелочноземельных металлов. Чаще для этой цели применяют магний в количестве 0,03–0,07%. По содержанию остальных элементов высокопрочный чугун не отличается от серого. Под воздействием магния графит в процессе кристаллизации принимает шаровидную форму. Шаровидный графит значительно меньше ослабляет металлическую основу, что обеспечивает высокие механические свойства чугуна. Высокопрочный чугун обладает хорошим сопротивлением износу и высокими антифрикционными свойствами.

Высокопрочный чугун маркируется буквами ВЧ и цифрами (ВЧ 50-1,5; ВЧ 45-5). Первая цифра – среднее значение предела прочности при растяжении; вторая – относительное удлинение в процентах.

## 2. Стали

Детали, к которым предъявляют повышенные требования в отношении прочности при растяжении, пластичности и ударной вязкости, изготавливают из стали. При выборе стали следует учитывать требования, предъявляемые к детали в процессе эксплуатации. Стальные отливки изготавливать более сложно и трудоемко по сравнению с изготовлением отливок из серого чугуна.

Жидкотекучесть углеродистой стали в среднем в два раза меньше жидкотекучести серых чугунов. Низкая жидкотекучесть стали объясняется относительно высокими значениями вязкости и поверхностного натяжения при температурах разлива.

Жидкотекучесть стали в значительной мере определяется содержанием в ней углерода. По мере повышения содержания углерода жидкотекучесть возрастает.

Усадка стали выше, чем усадка чугуна и составляет 1,5–2,5%.

Стальные отливки можно классифицировать химическому составу и назначению.

**По химическому составу** стальные отливки подразделяют на четыре группы:

- 1) из нелегированной (углеродистой) стали:
  - низкоуглеродистая сталь (0,09-0,2%С) (15Л, 20Л);
  - среднеуглеродистая сталь (0,2-0,45%С) (25Л, 35Л);
  - высокоуглеродистая сталь (более 0,45%С) (45Л, 55Л)
- 2) из низколегированной стали (суммарное содержание легирующих элементов ~ 2,5%);
- 3) из среднелегированной стали с содержанием легирующих элементов 2,5 – 10%;
- 4) из высоколегированной стали с содержанием легирующих элементов более 10%.

**По назначению** стальные отливки подразделяют на две группы:

- отливки из конструкционной стали (в основном углеродистые и низколегированные сплавы), основными характеристиками которых являются механические свойства;
- отливки из сталей со специальными физическими, химическими, физико-механическими и другими свойствами (жаропрочные, жаростойкие, коррозионно-стойкие, износостойкие, кавитационно-стойкие и др.). Определяющими характеристиками этих отливок являются их специальные свойства.

### **3. Медные сплавы**

Отливки из медных сплавов применяют во всех отраслях промышленности для изготовления арматуры, подшипников, зубчатых колес, втулок и других деталей, работающих в условиях трения скольжения. Медные сплавы значительно дороже стали и чугуна, однако благодаря своим антифрикционным и антикоррозионным свойствам широко применяются в промышленности.

Чистая медь редко применяется для изготовления деталей, вследствие низких механических свойств. Поэтому применяют сплавы на основе меди – бронзы и латуни.

**Бронзы** делятся на оловянные (сплав меди с оловом) и безоловянные (сплавы меди с алюминием, железом, марганцем, никелем и др.). Бронзы обладают хорошей жидкотекучестью, прочностью, твердостью, стойкостью против коррозии. Усадка составляет около 1,5%.

Бр. ОЦС 6-6-3 (бронза оловянная, олово – 6%, цинк – 6%, свинец – 3%).

Бр. АЖМц 10-3-1,5 (бронза безоловянная, алюминий – 10%, железо – 3%, марганец – 1,5%).

**Латуни** представляют собой сплавы меди с цинком, в которых могут содержаться также и другие элементы (кремний, алюминий, железо, марганец, свинец и др.).

Латуни, применяемые в машиностроении, разделяются на простые и специальные. Простые латуни (сплав меди с цинком) применяются редко.

Наиболее широко применяются специальные латуни. Добавка к простым латуням олова, алюминия, никеля, марганца, железа, свинца и др. элементов придает им повышенную прочность, твердость, обрабатываемость резанием и хорошие литейные свойства.

ЛАЖМц 66-6-3-2 (латунь с содержанием меди – 66%, алюминия – 6%, железа – 3%, марганца – 2%, остальное – цинк – 23%).

ЛКС 80-3-3 (латунь с содержанием меди – 80%, кремний – 3%, свинец – 3%, остальное – цинк – 14%).

#### **4. Алюминиевые сплавы**

Алюминиевые сплавы обладают высокой прочностью, коррозионной устойчивостью, теплопроводностью, хорошими литейными свойствами, сравнительно малой усадкой (~1%), малой склонностью к образованию трещин.

Применяемые в промышленности литейные алюминиевые сплавы можно разделить по химическому составу на пять групп: алюминий – кремний; алюминий – магний; алюминий – медь; алюминий – медь – кремний; сложные алюминиевые сплавы.

Сплавы алюминий – кремний (силумины) АЛ2, АЛ3, АЛ4, АЛ5, АЛ9

Все алюминиевые сплавы склонны к газопоглощению, что приводит к образованию в отливках раковин и газовой пористости.

#### **5. Магниевые сплавы**

Магниевые сплавы обладают высокими механическими свойствами, но их литейные свойства невысоки. Сплавы системы магний – алюминий – цинк – марганец применяют в приборостроении, в авиационной промышленности, в текстильном машиностроении.

Сплавы на магниевой основе имеют невысокую плотность, высокую прочность, хорошо обрабатываются резанием и хорошо воспринимают ударные нагрузки. Магниевые сплавы обладают химической стойкостью по отношению к щелочам, керосину, бензину и минеральным маслам. Наиболее часто для отливок применяют магниевые сплавы МЛ1, МЛ2, МЛ3, МЛ4, МЛ5, МЛ6.

### **Тема 1.3. Заготовки, получаемые литьем в песчано-глинистые формы**

Литье в песчано-глинистые формы является самым распространенным способом изготовления отливок. Изготавливают отливки из чугуна, стали, цветных металлов массой от нескольких грамм до сотен тонн.

Технологический процесс этого вида литья состоит из нескольких этапов: изготовление моделей и стержневых ящиков, приготовление формовочных и стержневых смесей, изготовление форм и стержней, сборка форм, получение литейного сплава, заливка форм, выбивка отливок из форм, обрубка и очистка отливок, контроль качества отливок.

Изготовление стержневых ящиков и моделей производится в модельном цехе, все остальные операции выполняются в литейном цехе.

**Литейная форма** (рис.1) обычно состоит из верхней и нижней полуформ, которые изготавливаются в опоках – приспособлениях для удержания формовочной смеси. Полуформы ориентируют с помощью штырей, которые вставляют в отверстия ручек опок.

Для образования полостей отверстий или иных сложных контуров в формы устанавливают литейные стержни, которые фиксируют посредством выступов, входящих в соответствующие впадины формы (знаки).

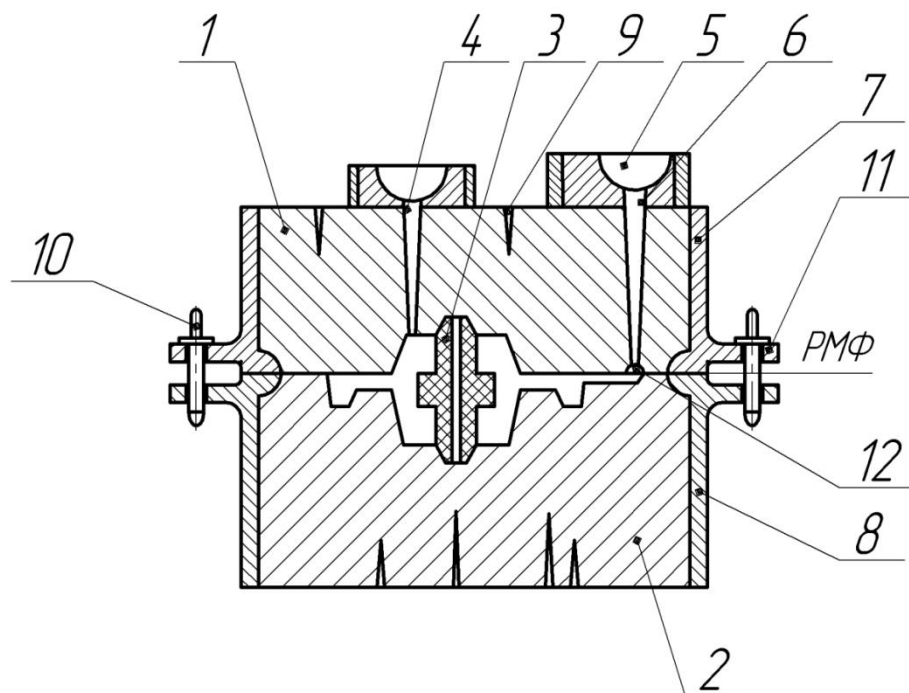


Рис. 1. Литейная форма:

1 – верхняя полуформа; 2 – нижняя полуформа; 3 – литейный стержень; 4 – выпор;  
5 – литниковая чаша; 6 – стояк; 7 – верхняя опока; 8 – нижняя опока; 9 – вентиляционный канал;  
10 – центрирующий штырь; 11 – ручка опоки; 12 – шлакоуловитель

Литейную форму заливают расплавленным металлом через литниковую систему.

**Литниковая система** – совокупность каналов и резервуаров, по которым расплав поступает из разливочного ковша в полость формы.

Основными элементами литниковой системы являются:

- **литниковая чаша**, которая служит для приема расплавленного металла и подачи его в форму;
- **стояк** – вертикальный или наклонный канал для подачи металла из литниковой чаши в рабочую полость или к другим элементам;
- **шлакоуловитель**, канал, с помощью которого удерживается шлак и другие неметаллические примеси;
- **питатель** – один или несколько каналов, через которые расплавленный металл подводится в полость литейной формы.

Для вывода газов, контроля заполнения формы расплавленным металлом и питания отливки при ее затвердевании служат **прибыли** или **выпор**. Для вывода газов предназначены и вентиляционные каналы.

По способу подвода расплава в рабочую полость формы литниковые системы делятся на нижнюю, верхнюю и боковую (рис.2).

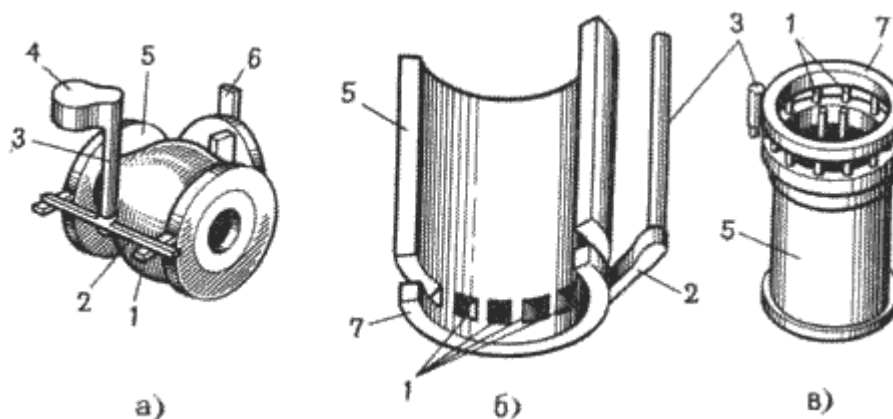


Рис. 2. Литниковая система:

а) боковая; б) нижняя; в) верхняя

1 – питатель; 2 – шлакоуловитель; 3 – стояк;

4 – литниковая чаша; 5 – отливка; 6 – выпор; 7 – коллектор

**Нижняя литниковая система** широко используется для литья сплавов, легко окисляющихся и насыщающихся газами (алюминий), обеспечивает спокойный подвод расплава к рабочей полости формы и постепенное заполнение ее поступающим снизу, без открытой струи металлом. При этом усложняется конструкция литниковой системы, увеличивается расход металла на нее, создается неблагоприятное распределение температур в залитой форме ввиду сильного разогрева ее нижней части.

Возможно образование усадочных дефектов и внутренних напряжений. При такой литниковой системе ограничена возможность получения высоких тонкостенных отливок. Нижний подвод через большое количество питателей часто используется при изготовлении сложных по форме крупных отливок из чугуна.

**Верхнюю литниковую систему** применяют для невысоких (в положении заливки) отливок, небольшой массы и несложной формы, изготовленных из сплавов не склонных к сильному окислению в расплавленном состоянии (чугуны, углеродистые конструкционные стали, латуни).

Достоинствами системы являются: малый расход металла; конструкция проста и легко выполнима при изготовлении форм; подача расплава сверху обеспечивает благоприятное распределение температуры в залитой форме (температура увеличивается от нижней части к верхней), а, следовательно, и благоприятные условия для направленной кристаллизации и питания отливки.

Недостатки: падающая сверху струя расплавленного металла может размыть песчаную форму, вызывая засоры; при разбрызгивании расплава возникает опасность его окисления и замешивания воздуха в поток с образованием оксидных включений; затрудняется улавливание шлака.

Иногда при подводе металла снизу и сверху используют массивные коллекторы.

**Боковую литниковую систему** применяют при получении отливок из различных сплавов, малых и средних по массе деталей, плоскость симметрии которых совпадает с плоскостью разреза формы. Подвод металла осуществляется

в среднюю часть отливки (по разьему формы). Боковая система является промежуточной между верхней и нижней и, следовательно, сочетает в себе некоторые их достоинства и недостатки.

## Формовочные и стержневые материалы

Для приготовления формовочных смесей используются природные и искусственные материалы.

**Песок** – основной компонент формовочных и стержневых смесей.

Обычно используется кварцевый или цирконовый песок из кремнезема.

**Глина** является связующим веществом, обеспечивающим прочность и пластичность, обладающим термической устойчивостью. Широко применяют бентонитовые или каолиновые глины.

Для предотвращения пригара и улучшения качества поверхности отливок используют противопригарные материалы: для сырых форм – припылы; для сухих форм – краски.

В качестве припылов используют: для чугунных отливок – смесь оксида магния, древесного угля, порошкообразного графита; для стальных отливок – смесь оксида магния и огнеупорной глины, пылевидный кварц.

Противопригарные краски представляют собой водные суспензии этих материалов с добавками связующих.

Формовочные смеси должны обладать рядом свойств:

- прочность – способность смеси обеспечивать сохранность формы без разрушения при изготовлении и эксплуатации;
- поверхностная прочность (осыпаемость) – сопротивление истирающему действию струи металла при заливке;
- пластичность – способность воспринимать очертание модели и сохранять полученную форму;
- податливость – способность смеси сокращаться в объеме под действием усадки сплава;
- текучесть – способность смеси обтекать модели при формовке, заполнять полость стержневого ящика;
- термохимическая устойчивость или непригарность – способность выдерживать высокую температуру сплава без оплавления или химического с ним взаимодействия;
- негигроскопичность – способность после сушки не поглощать влагу из воздуха;
- долговечность – способность сохранять свои свойства при многократном использовании.

По характеру использования различают облицовочные, наполнительные и единые смеси.

**Облицовочная смесь** – используется для изготовления рабочего слоя формы. Содержит повышенное количество исходных формовочных материалов и имеет высокие физико- механические свойства.

**Наполнительная смесь** – используется для наполнения формы после нанесения на модель облицовочной смеси. Приготавливается путем переработки оборотной смеси с малым количеством исходных формовочных материалов.



Облицовочная и наполнительная смеси необходимы для изготовления крупных и сложных отливок.

**Единая смесь** – применяется одновременно в качестве облицовочной и наполнительной. Используют при машинной формовке и на автоматических линиях в серийном и массовом производстве. Изготавливается из наиболее огнеупорных песков и глин с наибольшей связующей способностью для обеспечения долговечности.

### Приготовление формовочных и стержневых смесей

Сначала подготавливают песок, глину и другие исходные материалы. Песок сушат и просеивают. Глину сушат, размельчают, размалывают в шаровых мельницах или бегунах и просеивают. Аналогично получают угольный порошок.

Подготавливают оборотную смесь. Оборотную смесь после выбивки из опок разминают на гладких валках, очищают от металлических частиц в магнитном сепараторе и просеивают.

Приготовление формовочной смеси включает несколько операций: перемешивание компонентов смеси, увлажнение и разрыхление.

Важнейшей операцией в процессе приготовления смеси является перемешивание, обеспечивающее равномерное распределение всех компонентов в объеме смеси и обволакивание зерен песка тонкой пленкой связующего. Выполнение этих условий при перемешивании обеспечивает высокие технологические свойства смеси.

Для приготовления **формовочных** и **стержневых** смесей используют литейные смесители каткового, лопастного и шнекового типов. Наиболее распространенными смесителями являются смешивающие литейные бегуны с вертикально или горизонтально вращающимися катками, сдвоенные бегуны и центробежные смешивающие литейные бегуны.

Песок, глину, воду и другие составляющие загружают при помощи дозатора, перемешивание осуществляется под действием катков и плужков, подающих смесь под катки.

Смешивающие литейные бегуны (рис.3) представляют собой неподвижную чашу с двумя гладкими катками, не касающимися ее дна и вращающимися вокруг вертикальной оси. Одновременно катки вращаются и вокруг своей горизонтальной оси вследствие трения о смесь, подаваемую в чашу. Смесь направляется под катки плужками. Готовая смесь выбрасывается через разгрузочное окно в дне чаши, которое открывается и закрывается с помощью пневмоцилиндров и тяги. Такие бегуны являются смесителями периодического действия. Песок, вода и глина загружаются в бегуны дозаторами. Продолжительность перемешивания порции смеси зависит от ее назначения и состава и составляет 2– 10 мин. Смешивающие бегуны обеспечивают высокое качество перемешивания формовочных и стержневых смесей вследствие активного перетирающего действия катков. Недостатком их является невысокая производительность, ввиду чего они используются только в цехах с небольшим объемом производства.

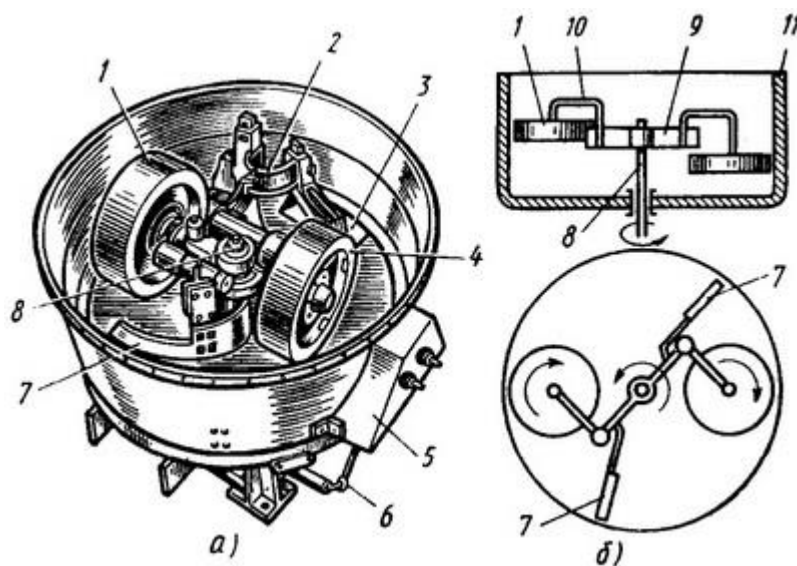


Рис. 3. Смешивающие бегуны:

*a* – с вертикальными катками; *б* – центробежные  
 1,4 – катки; 2,7 – плужки; 3 – окно в дне чаши; 5 – кожух; 6 – тяга;  
 8 – вертикальный вал; 9 – рычаг; 10 – кривошип; 11 – чаша

В современных автоматизированных цехах применяют смесители непрерывного действия, в которых загрузка, перемешивание и выгрузка готовой смеси ведутся одновременно и непрерывно. К смесителям непрерывного действия, используемым для приготовления больших объемов единых и наполнительных смесей, относятся высокопроизводительные центробежные (или маятниковые) смешивающие литейные бегуны с катками, вращающимися в горизонтальной плоскости. Ободы катков и чаша в них облицованы резиной, что позволяет повысить скорость качения катков и увеличить производительность их в 3–5 раз по сравнению со смешивающими бегунами с вертикально вращающимися катками. Наличие вентилятора позволяет дополнительно охлаждать смесь и обеспыливать ее. В центробежном смесителе плужки со значительной скоростью отбрасывают смесь на борт чаши, к которому она прижимается и движется под действием центробежных сил. Во время этого движения происходит перемешивание, перетирание отдельных слоев смеси катками. Продолжительность перемешивания единой смеси составляет 2–4 мин.

Широкое применение находят и непрерывно действующие сдвоенные литейные бегуны, имеющие две пары вертикальных катков и две сообщающиеся между собой чаши (рис.4). Загрузка исходных составляющих смеси производится непрерывно в чашу, а выдача готовой смеси происходит также непрерывно из чаши через окно в ее борту.

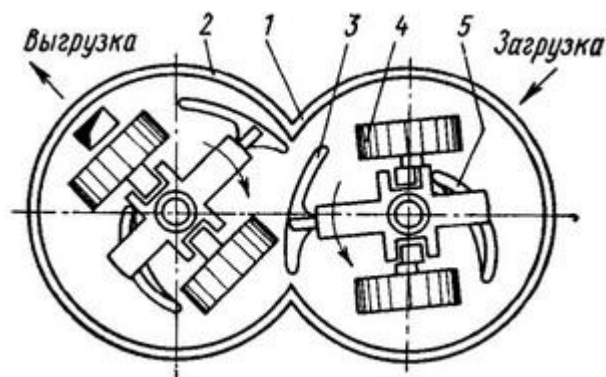


Рис. 4. Схема каткового смесителя непрерывного действия:  
1, 2 – смежные чаши; 3, 5 – плужки; 4 – катки

Приготовленные песчано-глинистые смеси передаются из смешивающих литейных бегунов в бункеры-отстойники, где смесь выдерживается 2–3 часа с целью выравнивания влажности и стабилизации свойств по всему объему (образования водных оболочек вокруг глинистых частиц). Затем уплотненную от вылеживания смесь дополнительно разрыхляют, пропуская ее через специальные установки – литейные разрыхлители, лопастные аэраторы и дисковые дезинтеграторы. Разрыхленная смесь направляется в формовочное отделение конвейером к расходным бункерам.

Стержневые смеси соответствуют условиям технологического процесса изготовления литейных стержней, которые испытывают тепловые и механические воздействия. Они должны иметь более высокие огнеупорность, газопроницаемость, податливость, легко выбиваться из отливки.

**Огнеупорность** – способность смеси и формы сопротивляться растяжению или расплавлению под действием температуры расплавленного металла.

**Газопроницаемость** – способность смеси пропускать через себя газы (песок способствует ее повышению).

В зависимости от способа изготовления стержневой смеси разделяют: на смеси с отверждением стержней тепловой сушкой в нагреваемой оснастке; жидкие самотвердеющие; жидкие холоднотвердеющие смеси на синтетических смолах; жидкостекольные смеси, отверждаемые углекислым газом.

Приготовление стержневых смесей осуществляется перемешиванием компонентов в течение 5–12 минут с последующим выстаиванием в бункерах.

В современном литейном производстве изготовление смесей автоматизированно.

### Модельно-опочный комплект

**Модельный комплект** – приспособления, включающие литейную модель, модели литниковой системы, стержневые ящики, модельные плиты, контрольные и сборочные шаблоны.

**Литейная модель** – приспособление, с помощью которого в литейной форме получают отпечаток, соответствующий конфигурации и размерам отливки. Размеры модели больше размеров отливки на величину линейной усадки сплава. В зависимости от конфигурации и размеров модель может быть цельной

(неразъемной) или разъемной, состоящей из двух или нескольких частей. В большинстве случаев модель выполняется из двух частей – верхней и нижней, разделенных по линии разъема. Конструкция модели должна обеспечивать извлечение ее из формы без разрушения отпечатка. Для этого вертикальным поверхностям моделей или отдельным их частям придают литейные (конструктивные) уклоны в соответствии с направлением разъема формы.

В индивидуальном и мелкосерийном производстве модели изготавливают обычно деревянными из ольхи, сосны, бука, клена, липы. Деревянные модели обычно изготавливают из заготовок, полученных склеиванием нескольких кусков дерева, причем с таким расположением волокон, чтобы модель как можно меньше коробилась и не изменяла своих размеров.

Для предохранения деревянных моделей от влаги (из атмосферы или из сырой формовочной смеси) их окрашивают масляной краской и покрывают лаком.

Достоинства деревянных моделей – дешевизна, простота изготовления, малый вес. Недостаток – недолговечность.

В серийном и массовом производстве для изготовления большого количества мелких и средних отливок применяются металлические модели. Металлические модели характеризуются большей долговечностью, точностью, меньшими формовочными уклонами и чистой рабочей поверхностью, что обеспечивает получение более точных отливок. Металлические модели изготавливаются из алюминиевых сплавов (легкие, не окисляются, хорошо обрабатываются) и иногда из серого чугуна марок СЧ 15, СЧ 18, СЧ 21. Модели из серого чугуна обладают высокой прочностью, хорошей обрабатываемостью и сравнительно дешевы. Однако они сложны в ремонте, а материал склонен к коррозии. Для уменьшения массы модели делают пустотелыми с ребрами жесткости.

Модели из пластмасс устойчивы к действию влаги при эксплуатации и хранении, не подвергаются короблению, имеют малую массу.

Металлические и пластмассовые модели в течение длительного срока службы сохраняют точность размеров, способствуют получению четкой конфигурации отливки, прочны и долговечны. Однако стоимость изготовления металлических и пластмассовых моделей в 3–5 раз превышает стоимость изготовления деревянных, поэтому их применение должно быть обосновано экономическим расчетом.

По конструкции, которая обуславливается удобством формовки, модели подразделяют на неразъемные и разъемные (рис. 5). Неразъемные модели применяют при получении не сложных по конфигурации отливок. Разъемные модели 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 типа «ласточкин хвост».

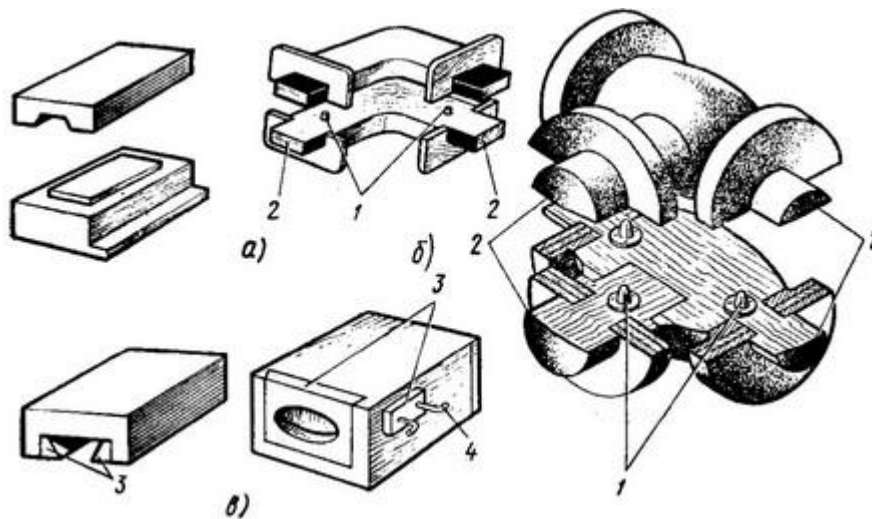


Рис. 5. Типы моделей:

*a* – неразъемные; *б* – разъемные; *в* – с отъемными частями  
 1 – шипы; 2 – знаки; 3 – отъемные части; 4 – гвозди

Точное соединение частей разъемных моделей осуществляется с помощью деревянных шипов или металлических дюбелей.

В большинстве моделей предусматриваются дополнительные (по отношению к конфигурации отливки) части, называемые **знаками**, которые образуют в литейной форме базы (гнезда) для простановки стержней.

Для легкого извлечения из полуформы боковые поверхности моделей снабжают уклонами. Различают два вида уклонов в моделях – конструктивные и формовочные. Первые предусматривает конструктор при проектировании машины и ее деталей, а вторые – технолог-литейщик при разработке технологического процесса получения отливки. Удобство извлечения модели из полуформы при ручной формовке достигается с помощью металлических приспособлений, закрепляемых на модели, которые называют подъемами (рис. 6).

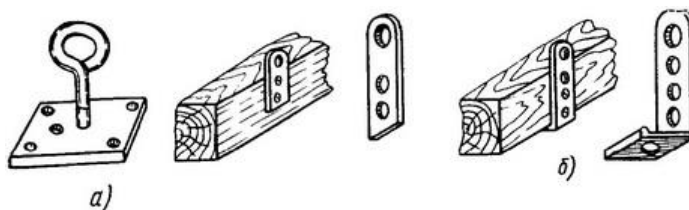


Рис. 6. Подъемы в моделях:

*a* – пластинчатый; *б* - полосовые

**Стержневой ящик** – формообразующее изделие, имеющее рабочую полость для получения в ней из стержневой смеси литейного стержня нужных размеров и очертаний. Обеспечивают равномерное уплотнение смеси и быстрое извлечение стержня. Изготавливают из тех же материалов, что и модели. Могут быть разъемными и неразъемными (вытряхными), а иногда с нагревателями.

Изготовление стержней может осуществляться вручную и на специальных стержневых машинах.

Ручное изготовление стержней используют в условиях единичного и мелкосерийного производства. Особенности процесса изготовления стержня во

многим определяются конструкцией стержневого ящика, которая зависит, прежде всего, от конфигурации и размеров стержня, а также числа изготавливаемых отливок.

В неразъемных вытряхных ящиках получают простые по конфигурации массивные стержни (рис. 7). После очистки ящик покрывают разделительным составом, заполняют его стержневой смесью, устанавливают каркасы, после чего уплотняют смесь ручными или пневматическими трамбовками. После уплотнения счищают излишек смеси, делают вентиляционные каналы и накладывают сушильную плиту. Затем ящик с плитой поворачивают на  $180^\circ$ , обстукивают его деревянной киянкой для отделения стержня от стенок и снимают. Остающийся на плите готовый стержень направляют в сушильную печь. Более сложные по конфигурации стержни могут быть изготовлены в вытряхных ящиках с вкладышами.

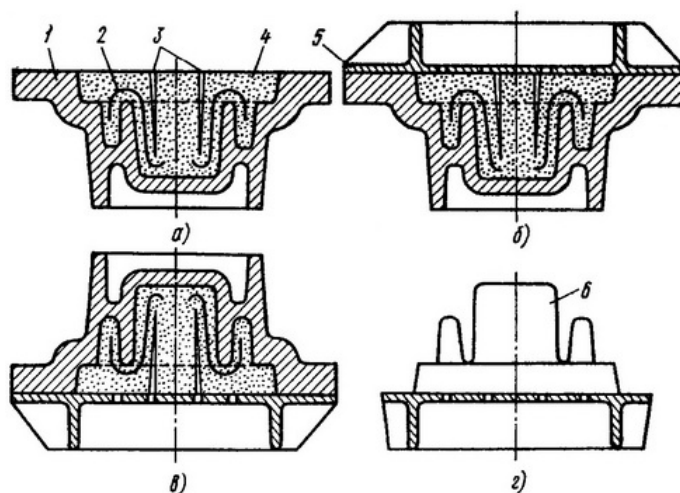


Рис. 7. Изготовление стержня в неразъемном вытряхном ящике:

- a* – уплотнение смеси и выполнение вентиляционных каналов; *б* – установка сушильной плиты;  
*в* – поворот ящика с плитой на  $180^\circ$ ; *г* – съем стержневого ящика  
 1 – стержневой ящик; 2 – каркас; 3 – вентиляционные каналы;  
 4 – стержневая смесь; 5 – сушильная плита; 6 – стержень

При изготовлении по разъемному ящику (рис. 8) стержень либо набивают в собранном ящике через открытую знаковую часть, либо отдельно формуют половины ящика, засыпая в них стержневую смесь и уплотняя ее трамбовкой. При формовке в стержень устанавливают каркас и в обеих половинах стержня прорезают вентиляционные каналы. Поверхности разъема стержня смазывают клеем и обе половины ящика соединяют. Затем ящик обстукивают и снимают верхнюю половину. На стержень накладывают фасонную сушильную плиту и вместе с ней поворачивают на  $180^\circ$ , после чего снимают нижнюю половину ящика. Готовый стержень вместе с плитой направляют в сушильную печь.

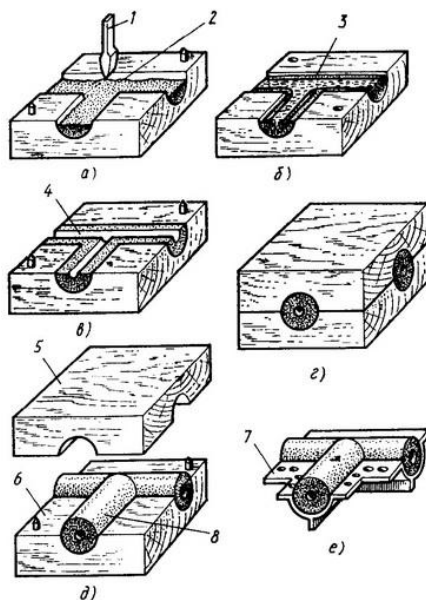


Рис. 8. Изготовление стержня в разъемном ящике:

- а* – засыпка и уплотнение стержневой смеси в каждой из половин стержневого ящика;  
*б* – установка каркаса; *в* – устройство вентиляционных каналов;  
*г* – соединение половин ящика и склеивание стержня,  
*д* – снятие верхней половины ящика; *е* – готовый стержень на сушильной плите  
 1 – ручная трамбовка; 2 – стержневая смесь; 3 – каркас; 4 – вентиляционные каналы; 5 – верхняя половина ящика; 6 – нижняя половина ящика; 7 – сушильная плита; 8 – стержень

Соединение половин стержня выполняют и без склеивания путем подачи в одну из половин ящика избыточного количества смеси и уплотнения ее при соединении заполненных смесью половинок ящика. В ряде случаев склеивание производят после сушки половин стержня.

При изготовлении стержней из пластичных жидко-стекольных смесей набивку производят, как указано выше. Мелкие стержни выполняют целиком из песчано-жидкостекольной смеси; в крупных стержнях ее используют как облицовочную. Стержни приобретают прочность в процессе химического отверждения при продувке их углекислым газом ( $\text{CO}_2$ ) через наколы в плоскости разреза или специальные трубки, вводимые внутрь стержня, а также в атмосфере  $\text{CO}_2$ , создаваемой в сушильном шкафу, под зонтом-колпаком или в стержневом ящике с двойными стенками. Длительность процесса химического отверждения в зависимости от размеров стержня составляет от 0,5 до 3 мин. Процесс отверждения осуществляется в стержневом ящике, что повышает размерную точность отливок.

При серийном и массовом характере производства литья в целях улучшения качества и снижения трудоемкости широко применяется изготовление стержней на машинах.

Стержни можно изготавливать почти на любой формовочной машине, однако заводы, изготавливающие литейное оборудование, выпускают специальные стержневые машины, отличающиеся высокой производительностью.

Наиболее современными способами изготовления мелких и средних стержней разной сложности являются пескодувный и пескострельный.

Пескодувные и пескострельные машины обладают высокой производительностью и находят применение при крупносерийном и массовом характере производства.

**Модельные плиты** формируют разъем литейной формы, на них закрепляют части модели и элементы литниковой системы.

Модельные плиты используют для изготовления опочных и безопочных полуформ. Они могут быть односторонними и двухсторонними, наборными и цельнолитыми. На односторонних плитах модели располагают только на одной верхней стороне, которую называют рабочей. На двухсторонних плитах обе стороны являются рабочими и на них располагают половины моделей. Двухсторонние плиты применяют только при безопочной формовке. Наборная плита состоит из плиты и прикрепленных к ней нескольких частей модели и других деталей. Цельнолитую модельную плиту изготавливают заодно с половиной модели.

Для машинной формовки в условиях единичного и мелкосерийного производства, когда требуется быстрая смена модели на формовочных машинах, применяют координатные модельные плиты (рис. 9) и плиты со сменными вкладышами (металлическая рамка плюс металлические или деревянные вкладыши)

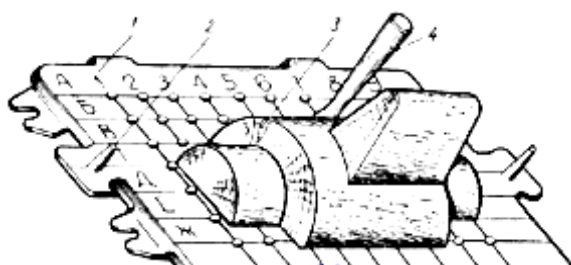


Рис.9. Координатная модельная плита:

1 – плита; 2 – штырь; 3 – верхняя половина модели детали; 4 – модель стояка

На рабочей стороне координатной модельной плиты нанесена сетка прямых линий, в точках пересечения которых просверливают отверстия, каждое из которых имеет свой шифр. У каждого штифта полумодели проставлен шифр отверстия в модельной плите, в которое он должен быть вставлен. Это позволяет быстро произвести на машине замену одних полумоделей другими.

На плитах со сменными вкладышами вкладыши вставляют в гнездо модельной плиты и крепят болтами или защелками.

Возможно использование плит с координатным крестом. Монтаж модели по кресту выполняют с помощью взаимно перпендикулярных планок плиты полукруглого сечения. Планки входят в соответствующие пазы на модели и точно фиксируют ее. Модель к плите крепят одним болтом, расположенным в центре креста.

Модельные плиты снабжают специальными лапками или приливами для крепления к столу машины.

## **Ручная формовка в опоках**

Технологический процесс изготовления отливок в разовых формах наиболее широко распространен в литейном производстве. Изготовление отливки начинается с подготовки модельно-опочной оснастки, изготовления и доводки моделей, модельных плит и щитков, стержневых ящиков, сушильных плит,



шаблонов для проверки размеров стержней, кондукторов и шаблонов для проверки правильности установки стержней в форме, опоки, штырей и т.д.

Процесс изготовления литейных форм называется **формовкой**. В литейном производстве применяется ручная и машинная формовка. Ручная формовка используется в единичном и мелкосерийном производстве. Формовка в опоках отличается большим разнообразием приемов, позволяющих обеспечить минимальные затраты труда и расходы на очистку при заданной серийности отливок.

**Формовка в двух опоках по неразъемной модели.** Неразъемные модели просты и дешевы в изготовлении. Для формовки нижней полуформы модель отливки и опоку устанавливают на модельную плиту (рис. 10) так, чтобы расстояние между стенкой опоки и моделью было не менее 25 мм. Модель припыливают лycopодием или серебристым графитом, чтобы предотвратить прилипание к ней формовочной смеси. Модель покрывают сначала слоем просеиваемой через сито облицовочной смеси толщиной 15–20 мм для мелких и 30–40 мм для крупных отливок. Затем оставшийся объем опоки заполняют наполнительной смесью в несколько приемов слоями толщиной 50–70 мм и уплотняют их ручной формовочной набойкой, а верхний слой – башмаком трамбовки. Излишек смеси очищают линейкой вровень с кромками опоки, образуя поверхность, называемую контрладом, и накалывают на ней вентиляционной иглой вентиляционные каналы, не доходящие до модели на 10–15 мм. Готовую нижнюю полуформу вместе с заформованной в ней моделью поворачивают на 180° и устанавливают на нее по центрирующим штырям верхнюю опоку. Плоскость разъема (лад) присыпают мелким разделительным песком с целью предотвращения слипания формовочной смеси нижней и верхней полуформ. После этого в верхней опоке устанавливают модели элементов литниковой системы (коллектора, стояка и выпора), насеивают слой облицовочной смеси так, чтобы он закрыл модель, после чего весь объем верхней опоки заполняют наполнительной формовочной смесью и уплотняют ее. Излишек смеси срезают, делают вентиляционные каналы, прорезают литниковую чашу и извлекают модель стояка и выпора.

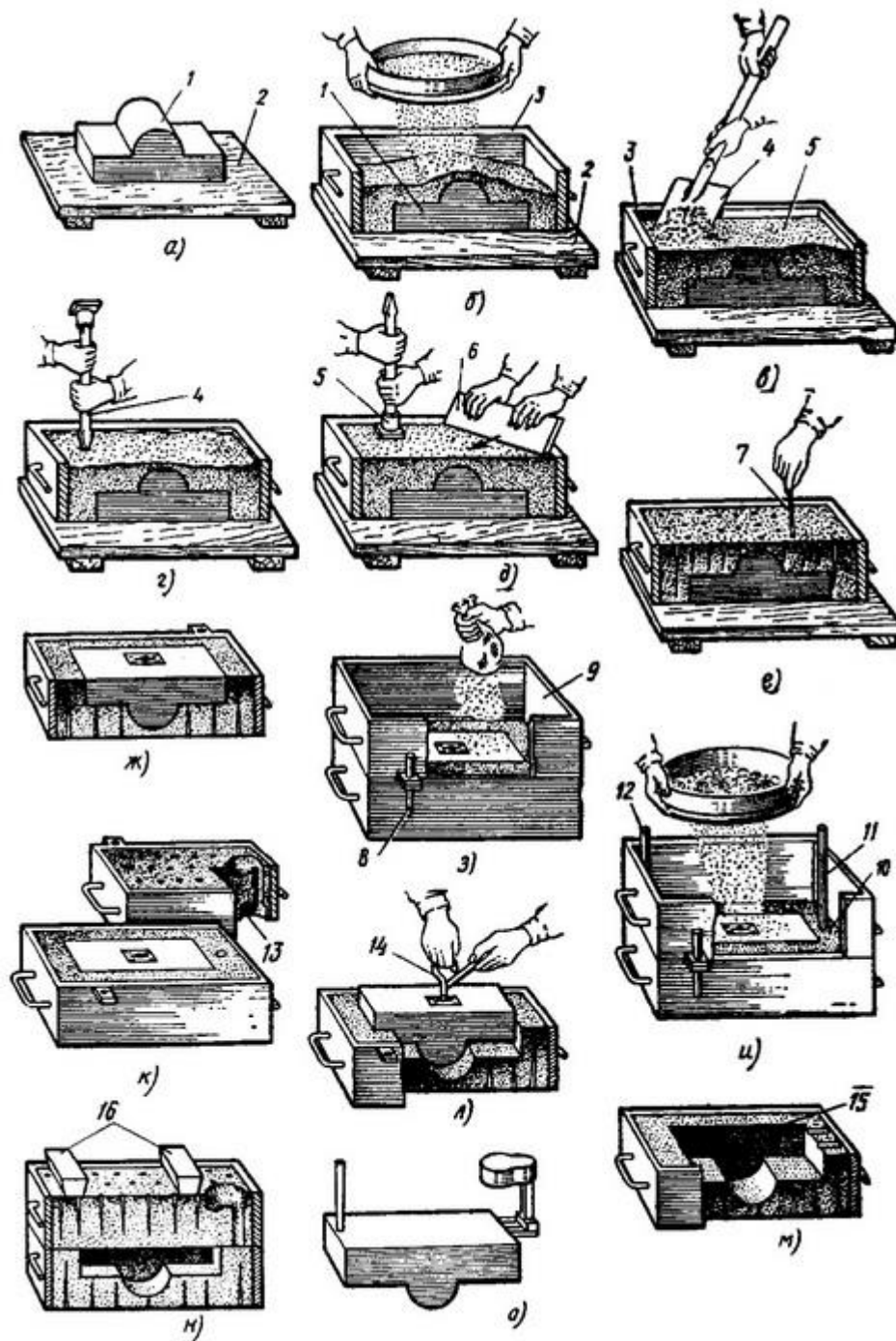


Рис. 10. Последовательность выполнения технологических операций формовки в двух опоках по неразъемной модели:

- 1 – модель отливки; 2 – подмодельная плита; 3 – опока; 4 – формовочная набойка; 5 – трамбовка; 6 – линейка; 7 – вентиляционная игла; центрирующий штырь, 9 – верхняя опока; 10 – коллектор; 11 – стояк; 12 – выпор; 13 – верхняя полуформа; 14 – подъем; 15 – рабочая полость формы; 16 – груз.

Готовую верхнюю полуформу снимают, поворачивают ладом вверх и осматривают. Затем специальным подъемом извлекают модель, слегка расталкивая ее для облегчения выема. Форму осматривают, исправляют поврежденные места специальным формовочным инструментом (гладилками, ланцетами). При изготовлении чугунных отливок поверхность рабочей полости формы, предназначенной для заливки «по-сырому», присыпают древесноугольным порошком или каменноугольной пылью. Формы, предназначенные для заливки

«по-сухому», окрашивают сразу после сушки для улучшения качества поверхности отливок. Затем собирают полуформы по центрирующим штырям, после чего производят заливку.

Жидкий металл при заполнении формы давит на стенки формы, в результате чего верхняя опока может подняться, и тогда по плоскости разъема образуется зазор, через который металл может вытекать из формы. Для предупреждения этого верхнюю полуформу крепят к нижней скобами, а иногда ставят на верхнюю опоку груз.

**Формовка по разъемной модели.** Формовка по разъемной модели является наиболее распространенной для изготовления различных по конфигурации отливок. Обычно применяют модели с горизонтальной плоскостью разъема, совпадающей с плоскостью разъема формы.

Примером формовки отливки с внутренней полостью может служить процесс получения формы для пустотелой втулки (рис. 11).

Нижнюю половину разъемной модели устанавливают на модельную плиту плоскостью разъема и описанным выше способом производят формовку в нижней опоке.

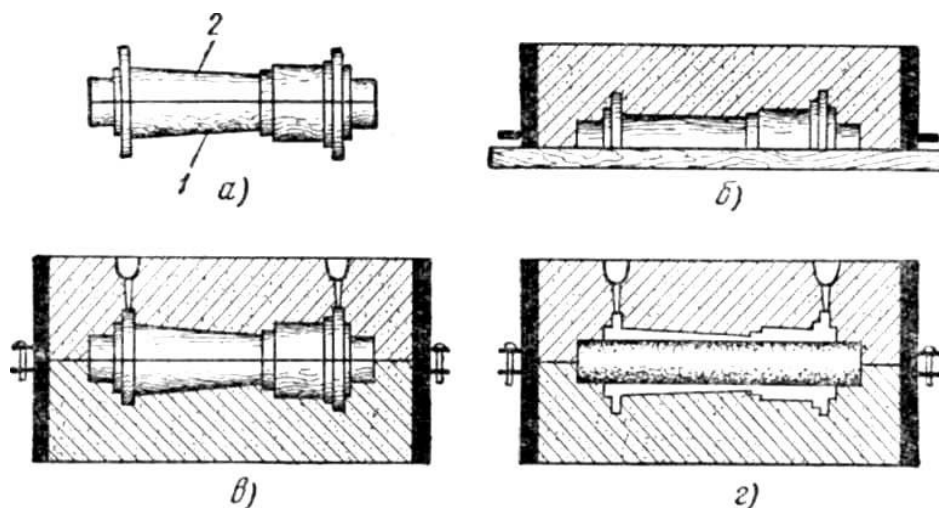


Рис. 11. Схема формовки пустотелой втулки:  
а – модель втулки; б – формовка в нижней опоке;  
в – формовка в верхней опоке; г – собранная форма со стержнем  
1 – нижняя половина модели; 2 – верхняя половина модели

Перевернув нижнюю опоку и сняв модельную плиту, на заформованную половину модели накладывают ее вторую половину, а затем формируют верхнюю опоку. При этом устанавливают модели литникового стояка и выпора для образования соответствующих каналов. После разъема опок, выполнения каналов питателя и шлакоуловителя и извлечения из формовочной смеси обеих половин модели в готовую форму помещают стержень для образования в отливке внутренней полости.

Отлитая втулка после ее извлечения из формы и литниковая система показаны на рис. 12.

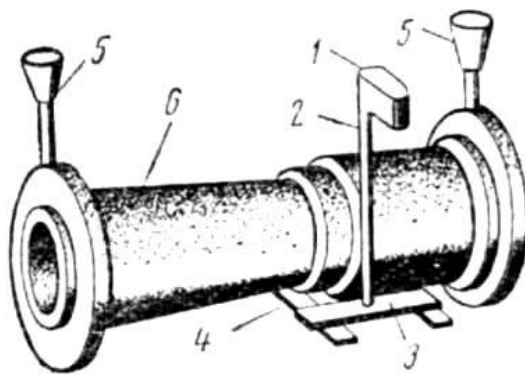


Рис. 12. Отлитая втулка после извлечения из формы:  
 1 – литниковая чаша; 2 – литниковый стояк; 3 – шлакоуловитель;  
 4 – питатель, 5 – выпоры; 6 – отливка

## Механизация и автоматизация при изготовлении литейных форм

Машинная формовка применяется в массовом и крупносерийном производстве. Машинная формовка во много раз увеличивает производительность труда, облегчает условия работы. По характеру уплотнения смеси различают несколько способов машинной формовки: прессованием, встряхиванием, пескометным способом.

Уплотнение прессованием может осуществляться по различным схемам, выбор которой зависит от размеров и формы модели, равномерности уплотнения и других условий (рис. 13).

В машинах с *верхним прессованием* уплотняющее давление действует сверху.

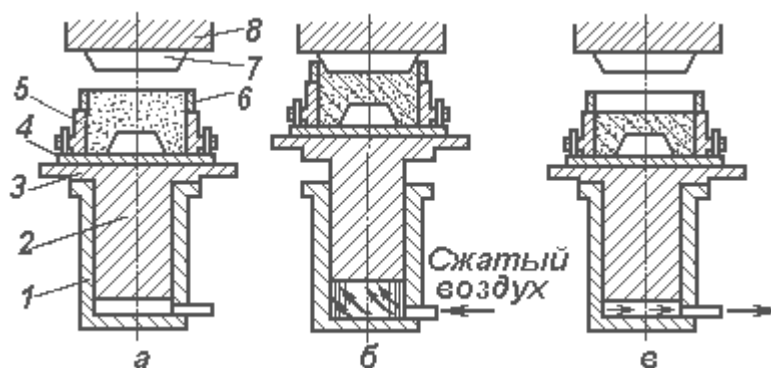


Рис. 13. Схема машинной формовки прессованием:  
 1 – цилиндр; 2 – прессовый поршень; 3 – стол; 4 – модельная плита;  
 5 – опока; 6 – наполнительная рамка; 7 – колодка; 8 – траверса

Сжатый воздух подается в нижнюю часть цилиндра, при этом прессовый поршень и стол с прикрепленной к нему модельной плитой поднимаются. Колодка, закрепленная на траверсе, входит внутрь наполнительной рамки и уплотняет формовочную смесь в опоке. Плотность формовочной смеси уменьшается по мере удаления от прессовой колодки из-за трения смеси о стенки опоки. Поэтому прессование используют для уплотнения смеси в опоках высотой не более 200–250 мм.

У машин с *нижним прессованием* формовочная смесь уплотняется самой моделью и модельной плитой.

Уплотнение *встряхиванием* производится на специальных встряхивающих машинах и позволяет уплотнять высокие, сложной конфигурации формы (рис. 14).

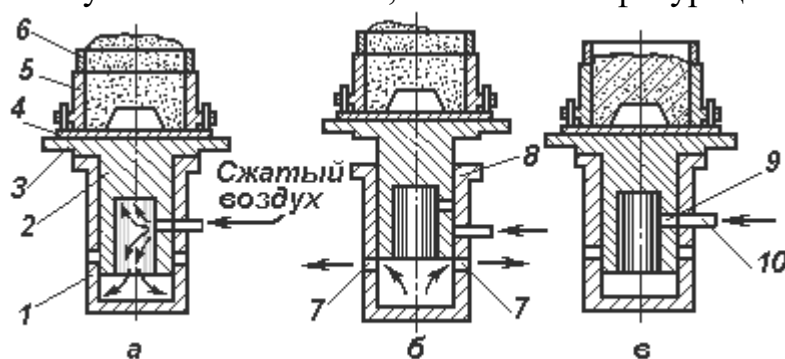


Рис. 14. Схема машинной формовки встряхиванием:

- 1 – цилиндр; 2 – встряхивающий поршень; 3 – стол; 4 – модельная плита;
- 5 – опока; 6 – наполнительная рамка; 7 – выхлопное окно; 8 – торец цилиндра;
- 9 – канал встряхивающего поршня; 10 – впускное отверстие

Сжатый воздух подается в нижнюю часть цилиндра, при этом встряхивающий поршень поднимается и перекрывает впускное отверстие, а нижняя его кромка открывает выхлопные окна. Воздух выходит в атмосферу, давление под поршнем снижается, и стол с укрепленной на нем модельной плитой падает, ударяясь о торец цилиндра. Скорость стола и модельной плиты снижается до нуля, а формовочная смесь в опоке и наполнительной рамке продолжает двигаться вниз по инерции и поэтому уплотняется. Когда канал встряхивающего поршня окажется против впускного отверстия, сжатый воздух снова войдет в полость цилиндра. Это повлечет новый подъем стола и новый удар его о торец цилиндра.

Встряхивающий стол совершает 120–200 ударов в минуту. При этом способе слои формовочной смеси будут иметь наибольшую плотность у модельной плиты. Встряхиванием уплотняют формы высотой до 800 мм. Для уплотнения верхних слоев формы встряхивание совмещают с прессованием.

Для уплотнения смеси при получении крупных отливок применяются пескометы (рис. 15). Рабочий орган пескомета – метательная головка – выбрасывает порции формовочной смеси на рабочую поверхность модельной плиты.

В стальном кожухе метательной головки вращается закрепленный на валу электродвигателя ротор с ковшем. Формовочная смесь подается в головку непрерывно ленточным конвейером через окно в задней стенке кожуха. При вращении ковша со скоростью 1000–1200 мин<sup>-1</sup>, формовочная смесь собирается в пакеты и центробежной силой выбрасывается через выходное отверстие в опоку. Попадая на модель и модельную плиту, смесь за счет кинетической энергии равномерно уплотняется по высоте опоки.

Метательная головка может перемещаться над опокой, управление работой пескомета автоматизировано. Пескомет – высокопроизводительная машина, его применяют для уплотнения крупных литейных форм.

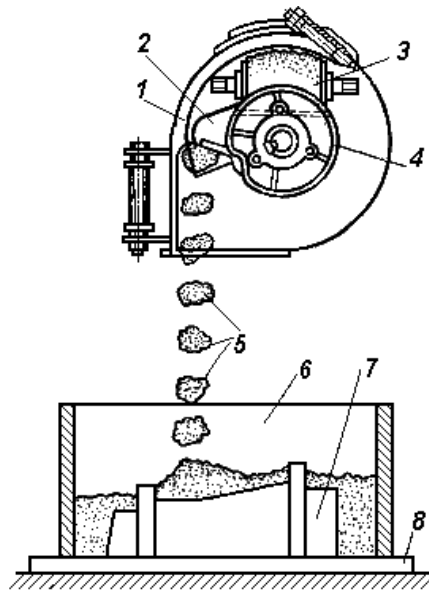


Рис. 15. Схема уплотнения форм пескометом:  
 1 — кожух; 2 — ковш; 3 — ленточный конвейер; 4 — ротор;  
 5 — формовочная смесь; 6 — опока; 7 — модель; 8 — модельная плита

Механизация и автоматизация процессов литья в песчано-глинистые формы заменяет ручной труд машинным, повышает производительность труда, улучшает качество отливок. Для изготовления литейных форм используют различные высокопроизводительные автоматические машины и автоматические линии.

Например, при изготовлении мелких (от 0,1 до 3 кг) отливок широко используют автоматические линии для безопочной формовки (рис. 16). Формовочная смесь из бункера сжатым воздухом перемещается в полость между поворотной плитой и подвижной модельной плитой. Уплотняется формовочная смесь в результате перемещения модельной плиты штоком. После уплотнения формовочной смеси поворотная модельная плита отодвигается специальным устройством. Модель извлекается и поднимается вверх, а готовая часть формы штоком передвигается и плотно прижимается к ранее изготовленным. Шток с подвижной плитой возвращается в исходное положение.

После этого все операции по изготовлению литейных форм повторяются. Производительность такой автоматической установки до 240 форм в час.

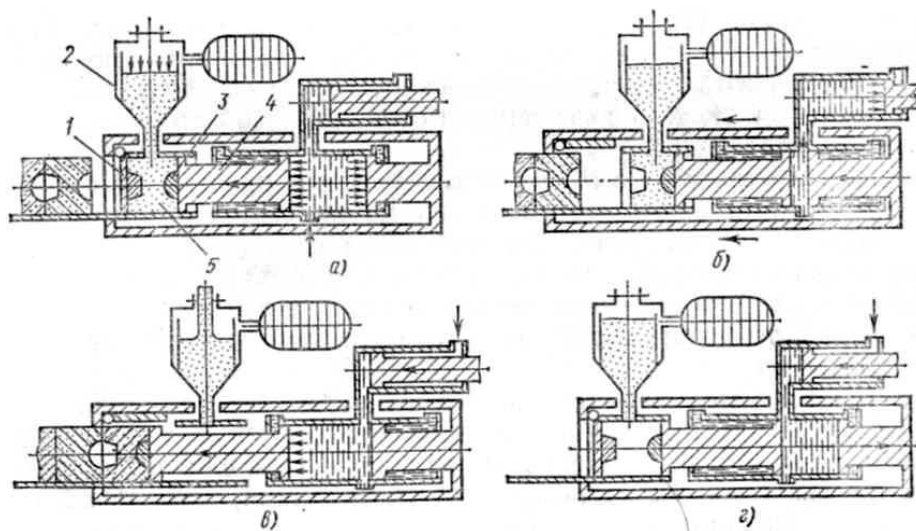


Рис. 16. Схема работы автоматической линии для безопасной формовки:  
*a* - вдув смеси и прессование; *б* - протяжка левой полумодели;  
*в* - проталкивание формы вперед; *г* - возврат прессовой плиты и закрывание камеры  
 1 – поворотная плита; 2 – бункер; 3 – модельная плита;  
 4 – шток; 5 – готовая часть формы

## Тема 1.4. Заготовки, получаемые специальными видами литья

### Литье в оболочковые формы

Литье в оболочковые формы – процесс получения отливок из расплавленного металла в формах, изготовленных по горячей модельной оснастке из специальных песчано-смоляных смесей.

Этот способ был запатентован в 40-х годах 20 века в Германии И. Кронингом (отсюда распространенное за рубежом название «кронинг-процесс»).

Традиционно этот способ относили к специальным видам литья, так как он требует использования для изготовления форм нагреваемой модельной оснастки, но, по существу, данный способ входит в группу методов литья в разовые разъемные формы из дисперсных материалов.

Оболочковые разъемные формы обычно изготавливают из сыпучих песчаных смесей с органическими связующими. В качестве связующего чаще всего используют фенолформальдегидные смолы (СФ-12, СФ-15 и др.) с добавкой уротропина в количестве 8–12% от содержания смолы. Расход смолы в смеси составляет 4–5 % массы огнеупорной основы – кварцевого песка или другого огнеупорного зернистого материала.

Оболочковая форма состоит из двух полуформ с горизонтальной или вертикальной плоскостью разъема.

Процесс изготовления оболочек из песчано-смоляной термореактивной смеси включает в себя следующие операции:

- нагрев модельной оснастки;
- нанесение на поверхность оснастки разделительного покрытия;
- нанесение на модельную оснастку песчано-смоляной смеси;
- формирование и затвердевание оболочки;

– съем готовой полуформы с модельной оснастки.

Методы изготовления оболочек различаются в основном способом нанесения песчано-смоляной смеси на модельную оснастку. Наиболее распространен способ свободной засыпки модельной оснастки смесью из поворотного бункера.

При изготовлении верхней оболочковой полуформы металлическую модельную плиту (рис.17) с моделью отливки и литниковой системой нагревают до 200–300°C электронагревателями или газовыми горелками и наносят на нее тонкий слой разделительного покрытия. В качестве покрытия используют раствор синтетического термостойкого каучука в бензине.

Формовочную смесь из бункера насыпают на модельную плиту и выдерживают 10–30 секунд. Под действием теплоты, исходящей от модельной плиты, термореактивная смола в приграничном слое расплавляется, склеивает песчинки и отвердевает с образованием песчано-смоляной оболочки толщиной 5–20 мм. Время выдержки обуславливает толщину прогретого слоя смеси до температуры плавления связующего, частичной его полимеризации и, соответственно, толщину формирующейся оболочки. Плиту вместе с бункером переворачивают на 180° для удаления лишней непрогретой части смеси. После того, как смесь ссыпалась в бункер, плиту с полутвердой оболочкой снимают с бункера и помещают в печь, где при температуре 300–400°C ее выдерживают 1–4 мин. для окончательного затвердевания оболочки. При этом смола полимеризуется и переходит в твердое необратимое состояние.

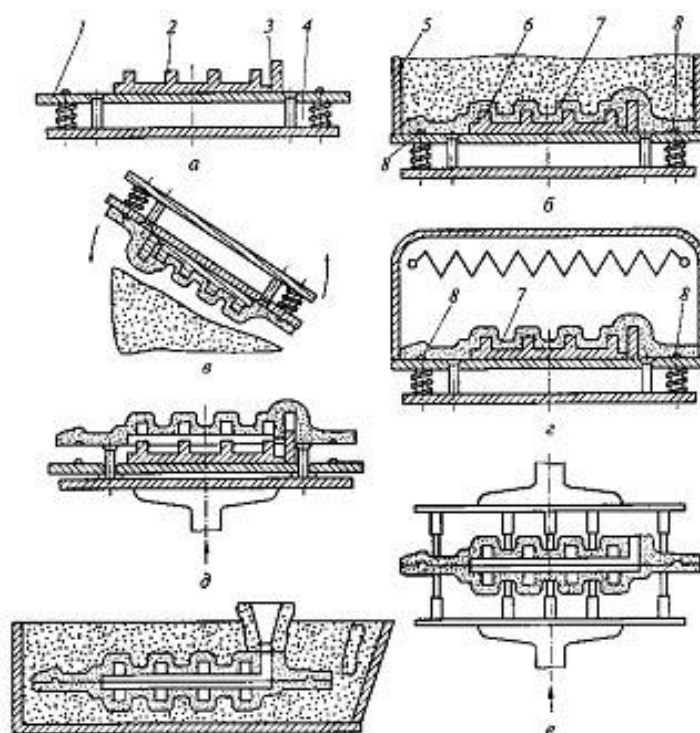


Рис. 17. Схема технологического процесса изготовления оболочковых форм:  
а – подготовка модельной оснастки; б – засыпка модельной плиты смесью;  
в – удаление излишков смеси; г – окончательное затвердевание оболочки в печи;  
д – съем оболочковой полуформы с модельной плиты;  
е – склеивание оболочковых 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



После извлечения оснастки из печи твердую прочную оболочковую полуформу снимают с модельной плиты толкателями.

Аналогичным образом изготавливают нижнюю полуформу.

При сборке в нижнюю полуформу устанавливают стержни (при необходимости) и склеивают оболочки по разьему на специальных многоштыревых прессах. Для склеивания оболочковых полуформ используют жидкие или порошкообразные клеи на основе терморезистивных смол. Центрируются полуформы за счет выступов и впадин на разьеме, оформленных при изготовлении оболочек соответствующими элементами модельной оснастки.

К форме с горизонтальной плоскостью разьема приклеивают оболочку с полостью литниковой чаши. При вертикальной плоскости разьема формы в этом нет необходимости, так как все элементы литниковой системы располагаются в плоскости разьема основных оболочек.

Перед заливкой собранные оболочковые формы помещают в опоки и засыпают чугунной дробью. Засыпка увеличивает прочность формы, препятствуя ее деформации при заливке. Кроме того, чугунная дробь быстрее отводит теплоту от формы, предотвращая тем самым быстрый ее нагрев до температур разложения связующего, сопровождающийся потерей прочности оболочки.

Существуют варианты нанесения песчано-смоляной смеси на модельную плиту свободной засыпкой с вибрацией, пескодувным способом и др.

В оболочковых формах можно получать отливки массой до 50 кг с толщиной стенки 3–15 мм практически из любых материалов – чугуна, углеродистой и легированной стали, цветных сплавов.

Литье в оболочковые формы обеспечивает высокую геометрическую точность отливок, малую шероховатость поверхностей, снижает расход формовочных материалов (высокая прочность оболочек позволяет изготавливать формы тонкостенными) и является высокопроизводительным процессом.

Недостатками способа в современных условиях являются:

- необходимость изготовления форм в горячей оснастке;
- трудоемкость изготовления модельной оснастки, работающей при температурах до 300°C;
- недостаточная термостойкость связующего для изготовления крупных или массивных отливок из чугуна и стали;
- повышенное выделение вредных веществ вследствие термического разложения смоляного связующего.

### **Литье по выплавляемым моделям**

Литье по выплавляемым моделям представляет собой способ получения отливок в многослойных оболочковых неразъемных разовых формах. Формы изготавливают с использованием выплавляемых, выжигаемых и растворяемых моделей однократного применения. Применение этого способа обеспечивает возможность изготовления из любых литейных сплавов фасонных отливок, в том числе тонкостенных и сложных по конфигурации.

Модели отливок изготавливают преимущественно с применением металлической пресс-формы. Для изготовления моделей используют

воскообразные сплавы, в состав которых могут входить парафин, воск, стеарин, церезин, жирные кислоты и различные воскоподобные материалы с температурой плавления 60–100°C. Воскообразные модельные составы обычно запрессовывают в полость пресс-формы в жидком или пастообразном состоянии. Состав хорошо заполняет полость пресс-формы и дает четкий отпечаток. После затвердевания модельного состава пресс-форма раскрывается и модель выталкивается в холодную воду.

Затем модели собирают в модельные блоки с общей литниковой системой припаиванием, приклеиванием или механическим креплением. В один блок объединяют от 2 до 100 моделей.

Последовательность подготовительных и основных производственных операций современного промышленного процесса литья по выплавляемым моделям представлена на рис. 18.

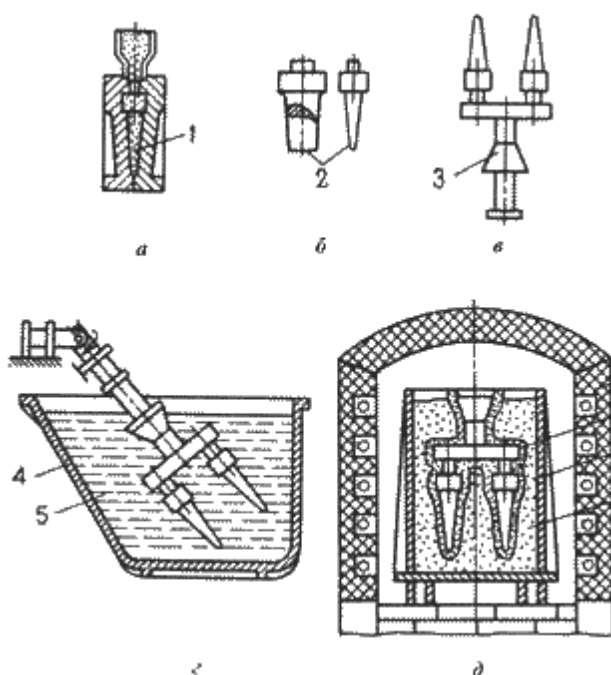


Рис. 18. Технологические операции процесса литья по выплавляемым моделям:  
 1 – пресс-форма; 2 – модели; 3 – модельный блок;  
 4 – емкость; 5 – огнеупорная суспензия

Формы изготавливают многократным погружением модельного блока в огнеупорную суспензию с последующей обсыпкой кварцевым песком. Затем модельные блоки сушат на воздухе или в среде аммиака. Обычно наносят 3–5 слоев огнеупорного покрытия с последующей сушкой каждого слоя.

Модели из форм удаляют, погружая в горячую воду или с помощью нагретого пара. После удаления модельного состава тонкостенные литейные формы устанавливают в опоке, засыпают кварцевым песком, а затем прокалывают в печи в течение 6–8 часов при температуре 850–950°C для удаления остатков модельного состава и испарения воды.

Заливку форм по выплавляемым моделям производят сразу же после прокалики в нагретом состоянии, что обеспечивает хорошее заполнение форм. Заливка может быть свободной, под действием центробежных сил, в вакууме и т.д.

После затвердевания залитого металла и охлаждения отливок форма разрушается, отливки отделяют от литников механическими методами, направляют на химическую очистку, промывают и подвергают термической обработке.

Литье по выплавляемым моделям обеспечивает получение точных и сложных отливок из различных сплавов массой 0,02–15 кг с толщиной стенки 0,5–5 мм.

Преимущества литья по выплавляемым моделям по сравнению с литьем в песчано-глинистые разовые формы заключаются в следующем:

- отсутствие разъема формы, что обеспечивает повышенную точность размеров и массы отливок;
- уменьшение параметров шероховатости поверхности и существенное улучшение внешнего товарного вида отливок;
- улучшение заполняемости форм из-за их предварительного подогрева;
- улучшение условий затвердевания отливок в силу более медленного охлаждения;
- сокращение в несколько раз объема переработки и транспортирования формовочных материалов;
- уменьшение объема механической обработки отливок.

Основные недостатки метода литья по выплавляемым моделям:

- относительно высокая стоимость формовочных материалов;
- сложность модельной оснастки;
- повышенное выделение вредных химических веществ в ходе термического удаления модельного вещества.

Литье по выплавляемым моделям можно использовать в условиях единичного (опытного), серийного и массового производства. Экономические показатели этого способа, рациональность его применения зависят от номенклатуры отливок. Наиболее целесообразно получать этим способом мелкие, но сложные по конфигурации отливки, а также крупные отливки, к которым предъявляются высокие требования по точности размеров и качеству литой поверхности, отливки из труднообрабатываемых сплавов.

### **Литье в металлические формы (кокили)**

Литье в кокиль является одним из наиболее широко применяемых видов литья в настоящее время. Из-за автоматизации технологического процесса, литье в кокиль становится наиболее экономически выгодным при изготовлении больших партий отливок.

Кокиль (франц. coquille, буквально – раковина, скорлупа), металлическая литейная форма, которая заполняется расплавом под действием гравитационных сил. В отличие от разовой песчаной формы кокиль может быть использован многократно. Таким образом, сущность литья в кокили состоит в применении металлических материалов для изготовления многократно используемых литейных форм, металлические части которых составляют их основу и формируют конфигурацию и свойства отливки. Кокили делают из чугуна и стали, иногда из других сплавов. Подобные типы кокилей выдерживают до разрушения от 100 до 10 000 заливок в зависимости от массы заливаемого сплава и его свойств.

Экономически целесообразно применять кокили в серийном и массовом производстве.

Кокиль (рис.19) обычно состоит из двух полуформ, плиты и вставок.

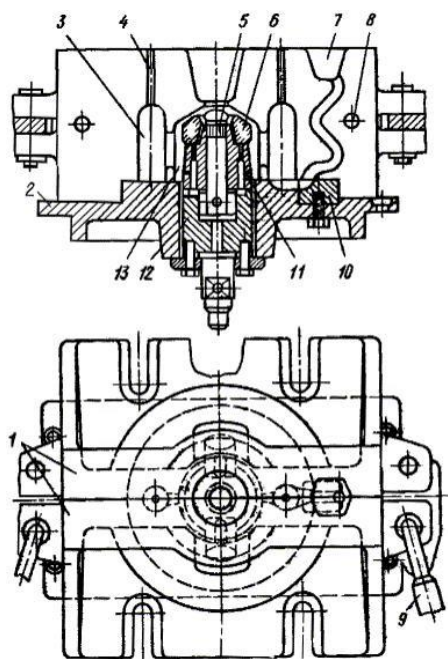


Рис. 19. Конструктивные элементы кокиля

- 1 – полуформы; 2 – плита; 3 – прибыль; 4 – вентиляционный выпор; 5 – пробка;  
6 – песчаный стержень; 7 – литниковая система; 8 – центрирующий штырь;  
9 – замок; 10 – вставка; 11 – металлический стержень;  
12 – вентиляционный канал; 13 – рабочая полость кокиля

Полуформы взаимно центрируются штырями, и перед заливкой их соединяют замками. Размеры рабочей полости кокиля больше размеров отливки на величину усадки сплава. Полости и отверстия в отливке могут быть выполнены металлическими или песчаными стержнями, извлекаемыми из отливки после ее затвердевания и охлаждения до заданной температуры. Расплав заливают в кокиль через литниковую систему, выполненную в его стенках, а питание массивных узлов отливки осуществляется из прибылей (питающих выпоров). При заполнении кокиля расплавом воздух и газы удаляются из его рабочей полости через вентиляционные выпоры, пробки, каналы, образующие вентиляционную систему кокиля. Основные элементы кокиля – полуформы, плиты, вставки, стержни т. д. - обычно изготавливают из чугуна или стали.

**Основные операции технологического процесса.** Перед заливкой расплава новый кокиль готовят к работе: поверхность рабочей полости и разъем тщательно очищают от следов загрязнений, ржавчины, масла; проверяют легкость перемещения подвижных частей, точность их центрирования, надежность крепления. Затем на поверхность рабочей полости и металлических стержней наносят слой огнеупорного покрытия облицовки и краски. Кокиль покрывают облицовочным слоем 0,1–2,0 мм один – два раза в смену и краской после каждой заливки.

Облицовочный слой изготавливают из одного или двух огнеупорных материалов: кварцевой муки, молотого шамота, графита, огнеупорной глины, мела,

талька и других и связующего материала (жидкое стекло, сульфитный щелок, патока и т. д.).

Краски изготавливают из материалов, выделяющих газ в период заливки формы материалом. Наиболее часто применяют ацетиленовую копоть, мазут, керосин, растительное масло, окись цинка и др. Формы покрывают краской после каждой заливки.

Состав облицовок и красок зависит в основном от заливаемого сплава, а их толщина - от требуемой скорости охлаждения отливки: чем толще слой огнеупорного покрытия, тем медленнее охлаждается отливка. Вместе с тем слой огнеупорного покрытия предохраняет рабочую поверхность формы от резкого повышения ее температуры при заливке, расплавлении и схватывании с металлом отливки. Таким образом, облицовки и краски выполняют две функции: защищают поверхность кокиля от резкого нагрева и схватывания с отливкой и позволяют регулировать скорость охлаждения отливки, а значит, и процессы ее затвердевания, влияющие на свойства металла отливки. Перед нанесением огнеупорного покрытия кокиль нагревают газовыми горелками или электрическими нагревателями до температуры 150–180°C. Краски наносят на кокиль обычно в виде водной суспензии через пульверизатор. Капли водной суспензии, попадая на поверхность нагретого кокиля, испаряются, а огнеупорная составляющая ровным слоем покрывает поверхность.

После нанесения огнеупорного покрытия кокиль нагревают до рабочей температуры, зависящей в основном от состава заливаемого сплава, толщины стенки отливки, ее размеров, требуемых свойств. Обычно температура нагрева кокиля перед заливкой 200–350°C. Затем в кокиль устанавливают песчаные или керамические стержни, если таковые необходимы для получения отливки; половины кокиля соединяют и скрепляют специальными зажимами, а при установке кокиля на кокильной машине с помощью ее механизма запираения, после чего заливают расплав в кокиль. Часто в процессе затвердевания и охлаждения отливки, после того как отливка приобретет достаточную прочность, металлические стержни «подрывают», т.е. частично извлекают из отливки до ее извлечения из кокиля. Это делают для того, чтобы уменьшить обжатие усаживающейся отливкой металлического стержня и обеспечить его извлечение из отливки. После охлаждения отливки до заданной температуры кокиль раскрывают, окончательно извлекают металлический стержень и удаляют отливку из кокиля. Из отливки выбивают песчаный стержень, обрезают литники, прибыли, выпоры, контролируют качество отливки. Затем цикл повторяется.

Литье в кокиль следует отнести к трудо- и материалосберегающим, малооперационным и малоотходным технологическим процессам, улучшающим условия труда в литейных цехах и уменьшающим вредное воздействие на окружающую среду. Манипуляторные операции достаточно просты и кратковременны, а лимитирующей по продолжительности операцией является охлаждение отливки в форме до заданной температуры. Практически все операции могут быть выполнены механизмами машины или автоматической установки, что является существенным преимуществом способа, и, конечно, самое главное – исключается трудоемкий и материалоемкий процесс повторного изготовления формы: кокиль используется многократно.

По сравнению с песчано-глинистой формой кокиль обладает значительно большей теплопроводностью, теплоемкостью, прочностью. Он практически газонепроницаем и газотворность его минимальна. Эти свойства материала кокиля обуславливают рассмотренные ниже особенности его взаимодействия с металлом отливки.

1. Высокая эффективность теплового взаимодействия между отливкой и формой. Расплав и затвердевающая отливка охлаждаются в кокиле быстрее, чем в песчаной форме, т.е. при одинаковых гидростатическом напоре и температуре заливаемого расплава заполняемость кокиля обычно хуже, чем песчаной формы. Это осложняет получение в кокилях отливок из сплавов с пониженной жидкотекучестью и ограничивает минимальную толщину стенок и размеры отливок. Вместе с тем повышенная скорость охлаждения способствует получению плотных отливок с мелкозернистой структурой, что повышает прочность и пластичность металла отливок. Однако в отливках из чугуна, получаемых в кокилях, вследствие особенностей кристаллизации часто образуется отбеленный поверхностный слой, отрицательно влияющий на свойства чугуна: снижается ударная вязкость, резко возрастает твердость в поверхностном слое, что затрудняет обработку резанием таких отливок и приводит к необходимости подвергать их термической обработке (длительному отжигу, достигающему до 100 часов) для устранения отбела.

2. Кокиль практически неподатлив и более интенсивно препятствует усадке отливки, что затрудняет извлечение ее из формы и может вызвать появление внутренних напряжений, коробление и трещины в отливке.

Однако размеры рабочей полости кокиля могут быть выполнены значительно точнее, чем песчаной формы. При литье в кокиль отсутствуют погрешности, вызываемые упругими и остаточными деформациями песчаной формы, снижающими точность ее рабочей полости и соответственно отливки. Поэтому отливки в кокилях получаются более точными. Точность отливок в кокилях обычно соответствует 12–15 квалитетам, что обеспечивает возможность уменьшения припусков на обработку резанием.

3. 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, и соответствует  $Rz = 80–8$  мкм, но может быть и меньше.

4. Кокиль практически газонепроницаем, но и газотворность его минимальна и определяется в основном составами огнеупорных покрытий, наносимых на поверхность рабочей полости. Однако газовые раковины в кокильных отливках - явление не редкое. Причины их появления различны, но в любом случае расположение отливки в форме, способ подвода расплава и вентиляционная система должны обеспечивать удаление воздуха и газов из кокиля при заливке.

К преимуществам литья в кокиль можно отнести:

- повышение производительности труда в 2–3 раза в результате исключения трудоемких операций смесеприготовления, формовки, очистки отливок от пригара;

- повышение качества отливки, обусловленное использованием металлической формы, повышение стабильности показателей качества: механических свойств, структуры, плотности, шероховатости, точности размеров отливок;
- механизация и автоматизация процесса изготовления отливки, обусловленная многократностью использования кокиля;
- улучшение условий труда, меньшее загрязнение окружающей среды.

Недостатки литья в кокиль:

- высокая стоимость кокиля, сложность и трудоемкость его изготовления;
- ограниченная стойкость кокиля, измеряемая числом годных отливок, которые можно получить в данном кокиле. От стойкости кокиля зависит экономическая эффективность процесса;
- сложность получения отливок с поднутрениями, для выполнения которых необходимо усложнять конструкцию формы;
- неподатливый кокиль приводит к появлению в отливках напряжений, а иногда к трещинам.

Конструкции кокилей чрезвычайно разнообразны (рис. 20 и 21). Кокили для простых отливок изготавливают из двух частей, соответствующих верхней и нижней опокам при литье в песчаные формы. Для сложных отливок форму изготавливают из нескольких разъемных частей, каждая из которых образует часть отливки. Поверхность разъема форм определяется конструкцией отливки.

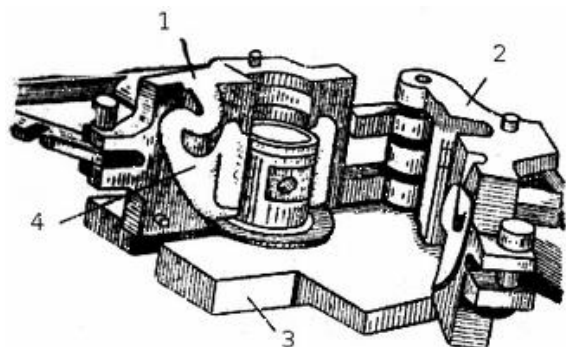


Рис. 20. Кокиль для отливки  
алюминиевого поршня:  
1, 2 – полуформы; 3 – плита;  
4 – литниковая система

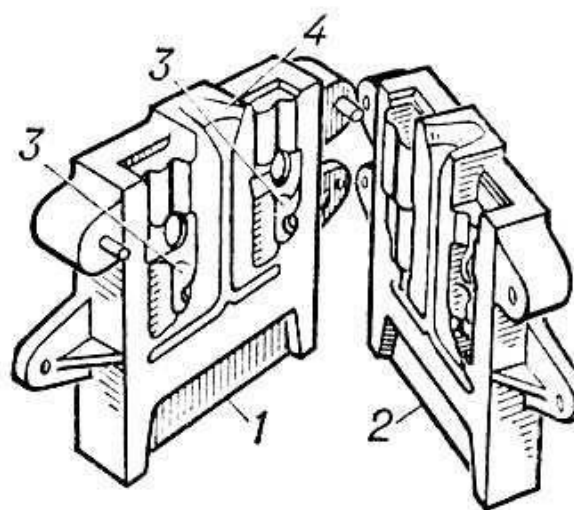


Рис. 21. Кокиль для получения  
чугунной отливки:  
1, 2 – полуформы; 3 – литейные стержни;  
4 – литниковая система

### Литье под давлением

Литьем под давлением получают отливки в металлических формах (пресс-формах), при этом заливку металла в форму и формование отливки осуществляют под давлением.

Отливки получают на машинах литья под давлением с холодной или горячей камерой прессования. В машинах с холодной камерой прессования камеры прессования располагаются горизонтально, либо вертикально.

На машинах с холодной камерой прессования (рис. 22) расплавленный металл заливают в камеру прессования. Затем металл плунжером под давлением 40–100 МПа, подается в полость пресс-формы, состоящей из неподвижной и подвижной полуформ. Внутреннюю полость в отливке получают стержнем. После затвердевания отливки пресс-форма раскрывается, стержень извлекается, и отливка выталкивателями удаляется из рабочей полости пресс-формы.

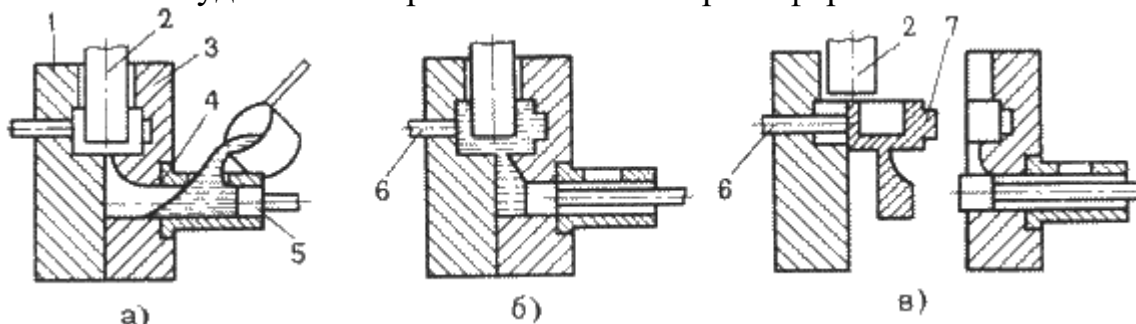


Рис.22. Технологические операции изготовления отливок на машинах с холодной камерой прессования:

- 1 – подвижная полуформа; 2 – стержень; 3 – неподвижная полуформа;  
4 – камера прессования; 5 – плунжер; 6 – выталкиватель; 7 – отливка

Перед заливкой пресс-форму нагревают до 120–320°C. После удаления отливки рабочую поверхность пресс-формы обдувают воздухом и смазывают специальными материалами для предупреждения приваривания отливки. Воздух и газы удаляются через каналы, расположенные в плоскости разъема пресс-формы или вакуумированием рабочей полости перед заливкой металла. Такие машины применяют для изготовления отливок из медных, алюминиевых, магниевых и цинковых сплавов массой до 45 кг.

На машинах с горячей камерой прессования (рис. 23) камера прессования расположена в обогреваемом тигле с расплавленным металлом. При верхнем положении плунжера металл через отверстие заполняет камеру прессования. При движении плунжера вниз отверстие перекрывается, сплав под давлением 10–30 МПа заполняет полость пресс-формы. После затвердевания отливки плунжер возвращается в исходное положение, остатки расплавленного металла сливаются в камеру прессования, а отливка удаляется из пресс-формы выталкивателями.

Получают отливки из цинковых и магниевых сплавов массой от нескольких граммов до 25 кг.

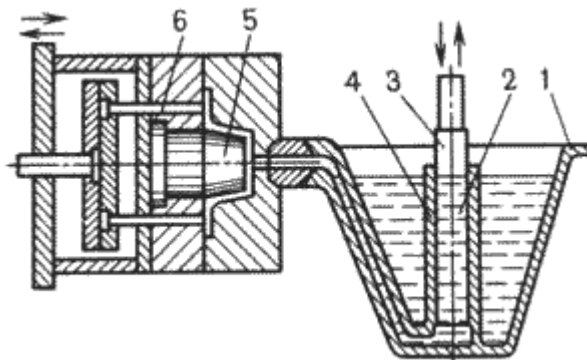


Рис.23. Схема изготовления отливки на машинах с горячей камерой прессования:

- 1 – тигель; 2 – камера прессования; 3 – плунжер;  
4 – всасывающее отверстие; 5 – пресс-форма; 6 – выталкиватель



При литье под давлением температура заливки сплава выбирается на 10– 20°С выше температуры плавления.

Литье под давлением является высокопроизводительным процессом. Его используют в массовом и крупносерийном производствах для получения точных, в том числе тонкостенных отливок с минимальными припусками на механическую обработку или без механической обработки.

Недостатки: высокая стоимость пресс-формы и оборудования, ограниченность габаритных размеров и массы отливок, наличие воздушной пористости в массивных частях отливки.

### **Центробежное литье**

Центробежное литье – перспективный способ производства фасонных изделий с формой тел вращения преимущественно при крупносерийном их изготовлении. Этим способом литья получают водопроводные и канализационные трубы, заготовки гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания, облицовки судовых валов, корпуса сушильных цилиндров бумагоделательных машин, труба для энергетического машиностроения и другие изделия ответственного назначения.

Центробежное литьё по сравнению с литьем в разовые формы имеет следующие преимущества. Производительность труда при работе на центробежной машине увеличивается в несколько раз, отпадает потребность в площадях для формовки, смесях, связующих материалах для стержней, а также в оборудовании для сушки форм и стержней.

Процесс центробежного литья может быть полностью механизирован или автоматизирован, что уменьшает потери от брака и сокращает потребность в высококвалифицированной рабочей силе.

Центробежные отливки отличаются повышенными механическими свойствами литого металла. При этом значительные технико-экономические преимущества центробежного литья достигаются вследствие экономии металла, энергоносителей и продолжительности производственного цикла.

Однако, центробежное литье имеет и недостатки:

- необходимы специальные машины;
- формы должны быть повышенной прочности и герметичности;
- необходимо строгое дозирование металла для получения нужного размера отверстия отливки;
- усиливается ликвация компонентов сплавов по плотности. Сама отливка может иметь только форму тела вращения.

Особенность центробежного литья состоит в том, что металл заливают во вращающуюся форму, чаще всего металлическую. Формирование отливки осуществляется под действием центробежных сил, что обеспечивает высокую плотность и механические свойства отливок (рис. 24).

Металлические формы изложницы изготавливают из чугуна и стали. Толщина изложницы в 1,5–2 раза больше толщины отливки. Перед работой изложницы нагревают до 200°С. В процессе литья изложницы снаружи охлаждают водой или воздухом. На рабочую поверхность изложницы наносят теплозащитные покрытия для увеличения срока их службы.

Ось вращения формы может быть горизонтальной, вертикальной, наклонной или перемещающейся в пространстве в процессе получения отливки.

При получении отливок на машинах с вращением формы вокруг вертикальной оси металл из ковша заливают во вращающуюся форму, укрепленную на шпинделе, который вращается от электродвигателя.

Под действием центробежных сил металл прижимается к боковой стенке изложницы. Литейная форма вращается до полного затвердевания отливки. После остановки формы отливка извлекается.

Отливки имеют разностенность по высоте – более толстое сечение в нижней части. Применяют для получения отливок небольшой высоты – коротких втулок, колец, фланцев.

При получении отливок типа тел вращения большой длины (трубы, втулки) на машинах с горизонтальной осью вращения изложницу устанавливают на опорные ролики и закрывают кожухом. Изложница приводится в движение электродвигателем. Расплавленный металл из ковша заливают через желоб, который в процессе заливки металла перемещается, что обеспечивает получение равностенной отливки. Для образования раструба трубы используют песчаный или оболочковый стержень. После затвердевания металла готовую отливку извлекают специальным приспособлением.

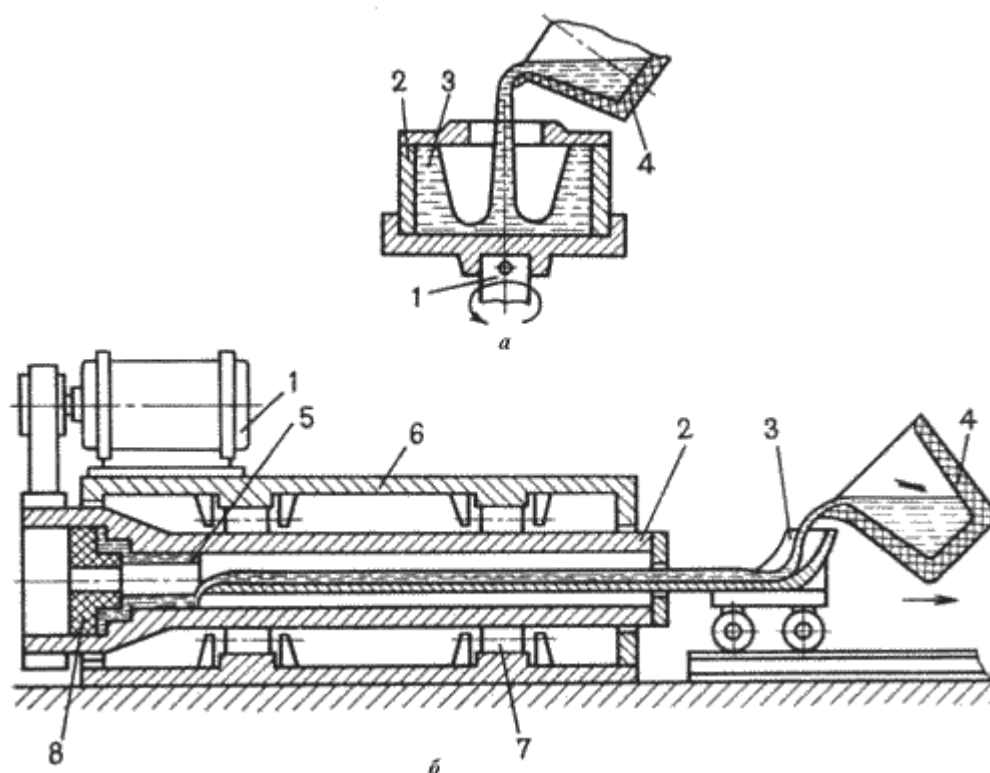


Рис. 24. Схемы получения отливок центробежным литьем:

- а* – с вертикальной осью вращения: 1 – шпиндель; 2 – изложница; 3 – отливка; 4 – ковш  
*б* – с горизонтальной осью вращения: 1 – электродвигатель; 2 – изложница;  
 3 – желоб; 4 – ковш; 5 – отливка; 6 – кожух; 7 – опорные ролики; 8 – стержень

Центробежным литьем изготавливают отливки из чугуна, стали, сплавов титана, алюминия, магния и цинка (трубы, втулки, кольца, подшипники качения, бандажные железные вагоны).

Масса отливок от нескольких килограммов до 45 тонн. Толщина стенок от нескольких миллиметров до 350 мм. Центробежным литьем можно получить

тонкостенные отливки из сплавов с низкой жидкотекучестью, что невозможно сделать при других способах литья.

Недостаток: наличие усадочной пористости, ликватов и неметаллических включений на внутренних поверхностях; возможность появления дефектов в виде продольных и поперечных трещин, газовых пузырей.

Преимущества – получение внутренних полостей трубных заготовок без применения стержней, экономия сплава за счет отсутствия литниковой системы, возможность получения двухслойных заготовок, что достигается поочередной заливкой в форму различных сплавов (сталь – чугун, чугун – бронза).

### Другие способы литья

**Электрошлаковое литье (ЭШЛ).** Это способ получения фасонных отливок в водоохлаждаемой металлической литейной форме – кристаллизаторе, основанный на применении электрошлакового переплава расходуемого электрода. Отливку получают переплавом электродов из металла требуемого химического состава. Источником теплоты при ЭШЛ является шлаковая ванна, нагреваемая проходящим через нее электрическим током (рис. 25).

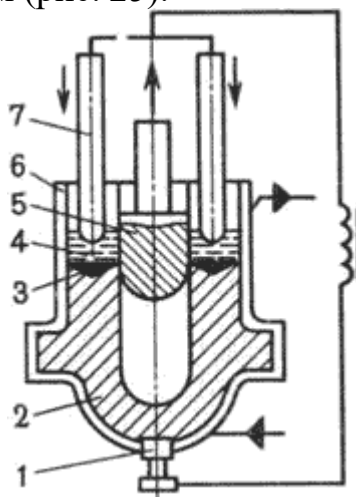


Рис. 25. Схема получения отливки электрошлаковым литьем:  
1 – затравка; 2 – отливка; 3 – металлическая ванна; 4 – шлаковая ванна;  
5 – металлический стержень; 6 – кристаллизатор; 7 – электроды

В начале процесса в водоохлаждаемый медный кристаллизатор заливают предварительно расплавленный шлак (фторид кальция или смесь на его основе), обладающий высоким электросопротивлением. Электрический ток подводится к переплавляемым электродам и затравке в нижней части кристаллизатора. Шлаковая ванна обладает малой электропроводностью. При прохождении через нее электрического тока выделяется большое количество тепла, что позволяет нагреть шлаковую ванну до 1700°С и выше. При этом погруженные в нее концы электродов оплавляются. Капли расплавленного металла проходят через шлаковую ванну, собираются в зоне кристаллизации, образуя под слоем шлака ванну металлического расплава.

Расплавленный шлак способствует удалению кислорода, снижению содержания серы и неметаллических включений, поэтому получают отливки с высокими механическими и эксплуатационными свойствами.

Металлическая ванна непрерывно пополняется в верхней части расплавом от плавящихся электродов и последовательно затвердевает в нижней части вследствие отвода теплоты через стенки кристаллизатора. При получении отливки электроды по мере их оплавления и затвердевания отливки постепенно опускаются вниз. Для образования полости в отливке используют водоохлаждаемый металлический стержень, перемещающийся вверх.

Таким образом, суть процесса электрошлакового литья заключается в том, что приготовление расплава (плавка) совмещено по месту и времени с заполнением литейной формы. Поэтому при ЭШЛ отпадает необходимость в плавильных печах, приготовлении формовочных и стержневых смесей, формовке, литниковых системах и прибылях.

**Непрерывное литье.** Жидкий металл, поступающий из тигля, быстро затвердевает в водоохлаждаемом кристаллизаторе и образует непрерывную заготовку, которую вытягивают с определенной скоростью тянущими роликами и разрезают дисковой пилой на куски (рис. 26).

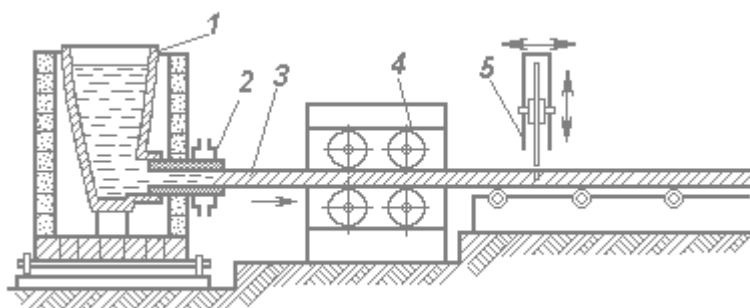


Рис. 26. Схема установки непрерывного литья:  
1 – тигель; 2 – кристаллизатор; 3 – отливка; 4 – ролики; 5 – дисковая пила

Этим способом получают отливки с параллельными образующими из чугуна, медных, алюминиевых и других сплавов (рис. 27).

Преимущество: благодаря направленному затвердеванию сплава отливки не имеют неметаллических включений, усадочных раковин и пористости.

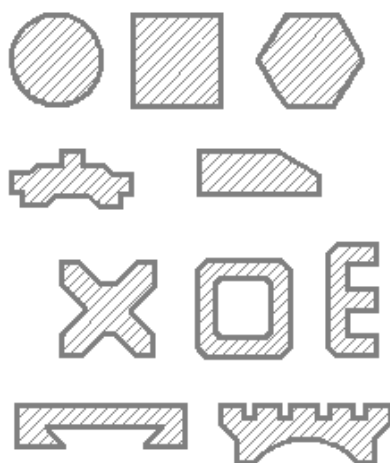


Рис. 27. Образцы отливок, полученных непрерывным литьем

**Литье выжиманием** (рис. 28) применяют для получения тонкостенных крупногабаритных отливок типа панелей размерами до 1000–2500 мм с толщиной стенки 2–5 мм из алюминиевых и магниевых сплавов. При повороте подвижной полуформы, залитый между полуформами жидкий металл заполняет полость формы, его излишек выжимается в приемный ковш. Приведенная на схеме установка имеет угловое перемещение подвижной полуформы. Существуют также установки с плоскопараллельным перемещением подвижной полуформы; те и другие автоматизированы.

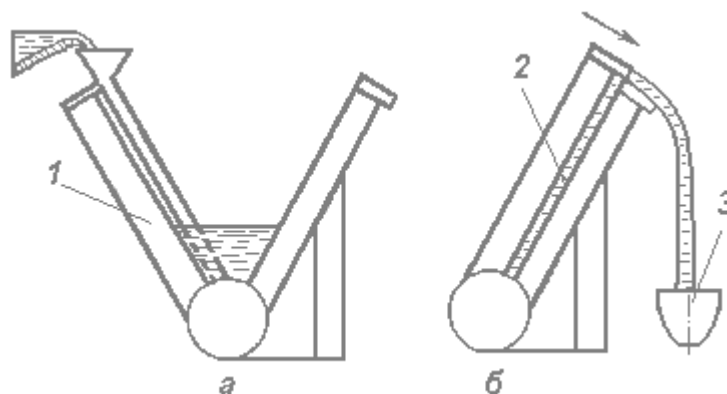


Рис. 28. Схема литья выжиманием:  
1 – подвижная полуформа; 2 – полость формы; 3 – приемный ковш

**Литье вакуумным всасыванием** (рис. 29). Водоохлаждаемая литейная форма, опирающаяся на керамический поплавок, заполняется расплавленным металлом из раздаточной печи за счет разрежения, создаваемого в форме вакуумным насосом. Во время непродолжительной выдержки формируется отливка. Затем полость формы соединяется с атмосферой, и незатвердевший металл сливается обратно в печь.

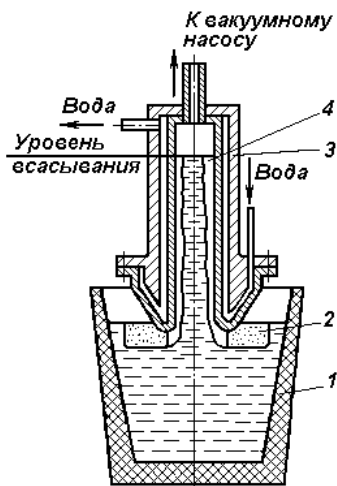


Рис. 29. Схема литья вакуумным всасыванием:  
1 – раздаточная печь; 2 – керамический поплавок; 3 – литейная форма; 4 – отливка

Способ применяется для получения втулок, вкладышей подшипников скольжения и других отливок простой формы из дорогих и дефицитных бронз и латуней.

Преимущество - получение качественных отливок без расхода металла на литники и прибыли.

**Литье «намораживанием»** (рис. 30). Суть способа в том, что образование отливки происходит в результате последовательного затвердевания металла – его «намораживания» на затравку.

На поверхность жидкого металла помещают керамический поплавок с отверстием, соответствующим сечению отливки. В мениск выступающего из отверстия металла вводят затравку. При ее подъеме из отверстия поплавка за счет сил поверхностного натяжения постепенно вытягивается жидкий металл, затвердевающий («намораживающийся») и образующий отливку. Скорость вытягивания изделия должна быть точно согласована со скоростью охлаждения и затвердевания металла

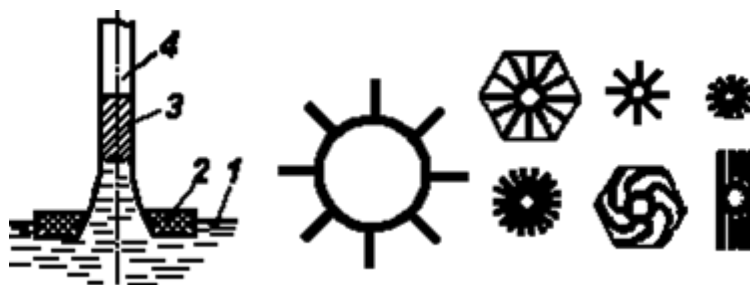


Рис. 30. Схема литья намораживанием и примеры сечений отливок:  
1 – расплавленный металл; 2 – керамический поплавок; 3 – отливка; 4 – затравка

Способ применяется для получения лент шириной 100 мм и более, труб с внутренними и наружными ребрами и других изделий сложного профиля из алюминиевых сплавов.

**Жидкая прокатка** – это совмещенный способ литья и прокатки (рис. 31).

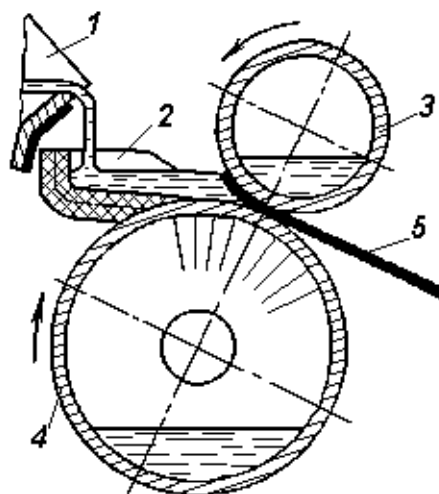


Рис. 31. Схема жидкой прокатки:  
1 – ковш; 2 – приемник; 3, 4 – валки; 5 – отливка

Жидкий металл наливают из ковша в приемник, из которого он поступает на поверхность охлаждаемых валков, вращающихся навстречу друг другу. В зазоре между валками происходит кристаллизация металла. Затвердевший металл в пластичном состоянии выжимается из зазора в виде ленты.

Так получают ленты и листы шириной до 750 мм и толщиной 0,7–2,5 мм из алюминия, чугуна и других сплавов.

**Жидкая штамповка** (рис. 32) занимает промежуточное положение между литьем и горячей объемной штамповкой. Порцию жидкого металла заливают в металлическую форму (матрицу), в которую затем опускается металлический пуансон, выдавливающий металл и заставляющий его заполнить все полости формы. В результате между формой и пуансоном образуется отливка.

Способ пригоден для сплавов на медной, алюминиевой, магниевой и цинковой основе. Отливки приобретают высокую плотность и механические свойства благодаря интенсивному теплоотводу и горячему деформированию литой структуры в процессе кристаллизации.

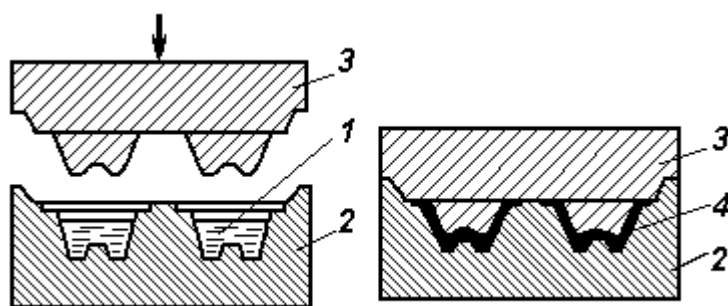


Рис. 32. Схема жидкой штамповки:

1 – расплавленный металл; 2 – матрица; 3 – пуансон; 4 – отливка

**Вакуумно-пленочная формовка.** Способ вакуумно-пленочной формовки впервые был применен в Японии в 1976 году для получения различных художественных отливок из алюминиевых и медных сплавов.

В процессе производства используется специальная вакуумная форма с вытяжной камерой и с отверстиями для откачки воздуха.

На металлическую модельную плиту прикрепляют модели будущей отливки. Модели и модельная плита имеют сквозные отверстия небольшого диаметра. Плиту с моделями устанавливают на вакуумную коробчатую камеру (ресивер), которая с помощью патрубков присоединяется к вакуумному насосу (рис. 33). Модельную плиту накрывают полимерной пленкой толщиной 0,1 мм, нагретой до пластического состояния радиационным или конвективным способом. При использовании первого способа применяют газовый или электрический нагрев, при втором – обдув горячим воздухом. При вакуумной формовке преимущественно применяются пленки из полиэтилена, полипропилена, полистирола и поливинилацетата.

После создания разрежения в вакуумной камере пленка плотно облепает модель и плиту.

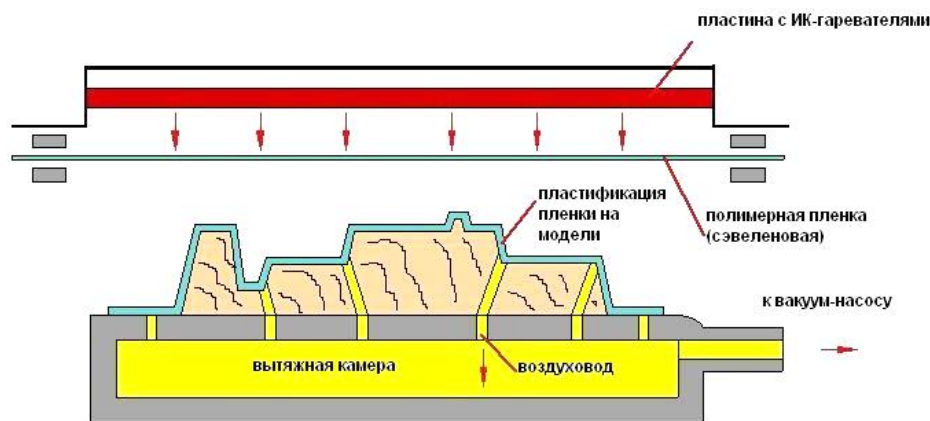


Рис. 33. Схема нанесения пленки на модель

Затем на плиту устанавливают коробчатую опоку, внутренние стенки которой имеют отверстия, а сама опока с помощью патрубка тоже соединена с вакуумным насосом. Модельная плита снабжена вибрирующим устройством. В опоку насыпают сухой песок и уплотняют его вибрацией. Затем выравнивают верхнюю поверхность полуформы, удаляя линейкой излишек песка, до получения ровного контрлада. Верхний контрлад покрывают не нагретой пленкой и создают вакуум. Песок, находящийся в коробчатой опоке, снизу и сверху оказывается плотно сжат пленкой (рис. 34).

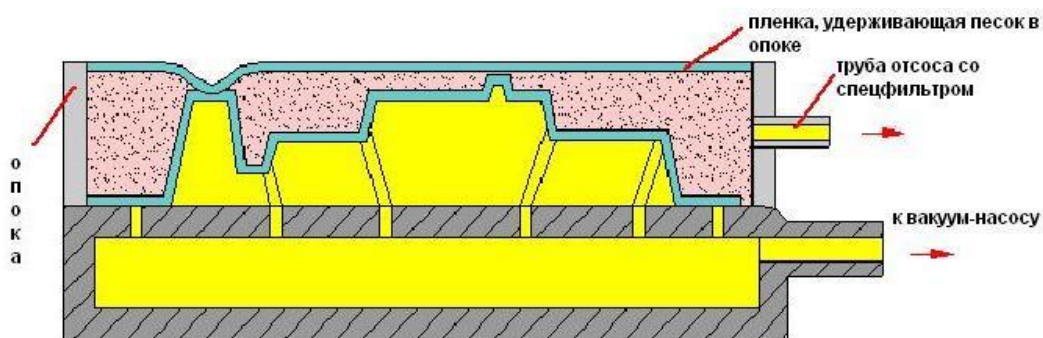


Рис. 34. Формовка полуформы

Затем, не выключая насоса, создающего вакуум в верхней опоке, сбрасывают вакуум в вакуумной камере (ресивере), снимают верхнюю опоку с модельной оснастки и приступают к формовке второй полуформы аналогичным способом.

В форму устанавливают литейные стержни и окрашивают огнеупорной краской поверхность формы, оформляющую поверхность изделия. В качестве огнеупорных покрытий используют графит, тальк, циркон, каолин и алюминиевую пудру, растворенных в метаноле, этаноле, изопропаноле, т. е. в растворителях, не вступающих в химическое взаимодействие с пленкой. Вода в качестве растворителя не используется, поскольку она не смачивает пленку. При применении изопропанола требуются повышенные требования к технике безопасности.

Нижнюю и верхнюю части опоки совмещают и производят заливку формы. При заливке обе полуформы находятся под вакуумом (рис. 35).



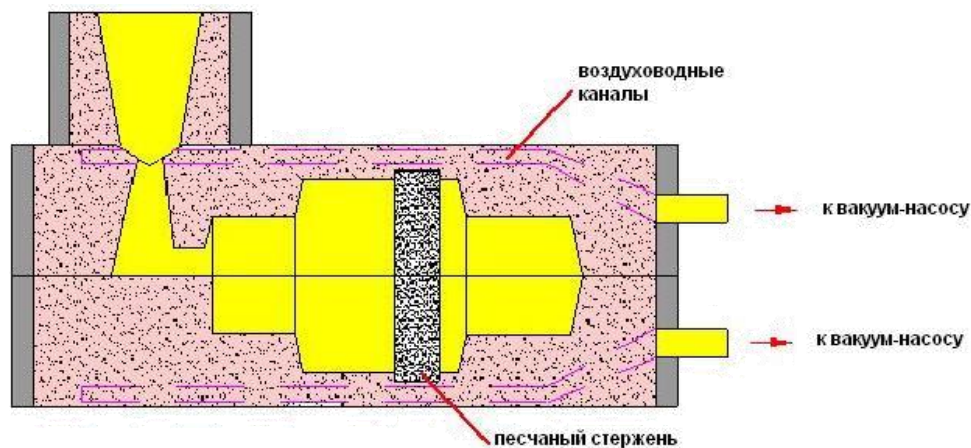


Рис. 35. Собранная форма

Работа вакуумного насоса продолжается вплоть до полного затвердевания изделия. После этого прекращается откачка воздуха из формы. Когда давление внутри формы начнет приближаться к атмосферному, нижняя и верхняя части формы автоматически распадутся.

Основное технологическое оборудование для вакуумно-пленочной формовки показано на рис. 36.

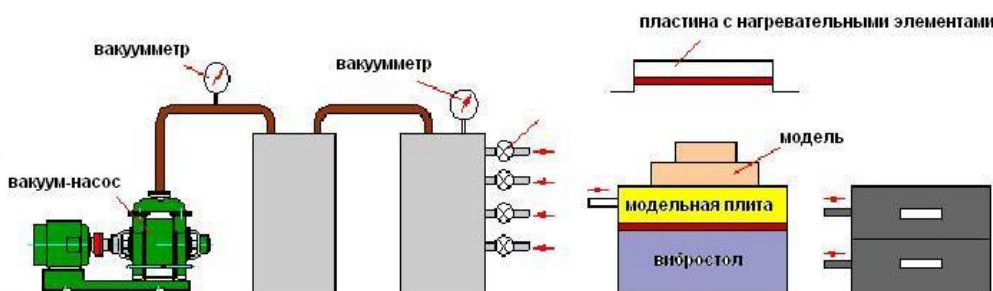


Рис. 36 Схема участка вакуумно-пленочной формовки

Процесс вакуумно-пленочной формовки имеет некоторые преимущества по сравнению с другими литейными процессами, при которых металл заливают в разовые формы:

- отсутствует формовочная смесь (применяется сухой песок);
- исключается сложное формовочное оборудование и наряду с ним смесеприготовительное отделение. Повторное использование отработанного формовочного материала составляет приблизительно 95% и выше;
- исключается применение связующих материалов и упрощается операция выбивки и очистки отливок;
- в качестве моделей можно использовать художественное изделие, лишенное формовочных уклонов, галтелей, положительных углов и т. д., поскольку пленка, участвующая в формообразовании, повторяет практически любой профиль художественного изделия.

Помимо перечисленных преимуществ, процесс вакуумно-пленочной формовки имеет и недостатки. К ним относятся:

- низкая производительность процесса (5–6 отливок в час);

- требуется высокая технологическая дисциплина при производстве отливок;
- применение вакуумного оборудования требует специалистов высокой квалификации;
- вакуумная откачка литейной формы требует применения специальных фильтров;
- операция нагрева пленки до 100°С выдвигает ряд требований к деформации пленочных материалов, приводящей к образованию пригара и попаданию в отливку включений песка.

## Тема 1.5. Завершающие операции литейного производства

### Выбивка отливок из формы.

#### Обрубка, очистка и термообработка отливок

После заливки формы расплавом отливка охлаждается и затвердевает. Затвердевшая отливка должна определенное время охлаждаться в форме, т.к. прочность сплава при высокой температуре мала и отливка может разрушиться при выбивке её из формы. Кроме того, охлаждение отливки на воздухе не желательно из-за появления остаточных напряжений, коробления и даже трещин.

Процесс *выбивки* отливки заключается в том, что затвердевшую и охлажденную до заданной температуры отливку извлекают из формы. При этом форму и стержни разрушают. Выбивка относится к числу наиболее трудоёмких и тяжелых операций литейного производства, т.к. из формы выделяется большое количество тепла, газов и пыли. В механизированном производстве для выбивки отливок используют механические (эксцентриковые или инерционные) решётки. Они наиболее экономичны. Кроме того, уровень их шума сравнительно невысок.

Остатки стержней после выбивки отливки из формы удаляют на вибрационных машинах, в гидравлических камерах и электрогидравлических установках.

Выбитая из опоки формовочная смесь проваливается сквозь решетку и по конвейеру передвигается к месту её переработки, а отливки поступают в очистное отделение.

В литейных цехах крупносерийного и массового производств операции выбивки отливок из форм и стержней из отливок, а также транспортирование отливок в очистное отделение механизированы и автоматизированы.

После выбивки из формы отливки предварительно осматривают. Отливки с явным браком откладывают и отправляют на переплавку. Остальные отливки поступают на обработку и очистку.

**Обрубка** отливок заключается в отделении от неё прибыли, выпоров, литников и в удалении заливок по месту сопряжения полуформ или в области стержневых знаков. Обрубку производят с помощью пневматических рубильных молотков, снабженных зубилами, ленточных или дисковых пил, абразивных кругов, а также дуговой, газовой и анодно-механической резки. В крупносерийном и массовом производствах для обработки мелких и средних отливок используют прессы.

#### Очистка отливок

После выбивки отливок из формы на их поверхности остается пригоревшая формовочная смесь и заусенцы, которые очищают в обрубном отделении цеха. Очистку отливок производят следующими способами: дробеметной или дробеструйной обработкой, в галтовочных барабанах, травлением.

**Дробеметная очистка.** Среди струйных методов очистки наибольшее распространение имеет дробеметный метод. Сущность дробеметной очистки состоит в направлении на очищаемую поверхность отливки струи дроби, разогнанной в дробеметном аппарате до скорости 40–80 м/с. Дробеметный аппарат (рис. 37) имеет следующие основные узлы: шпиндель 3, ротор 5, загрузочную воронку 9, распределительную коробку 4 и кожух 7.

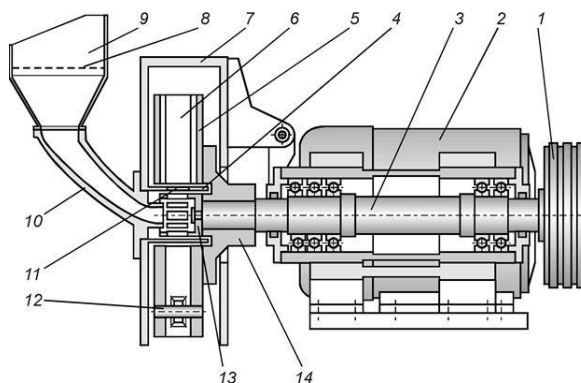


Рис. 37. – Дробеметный аппарат

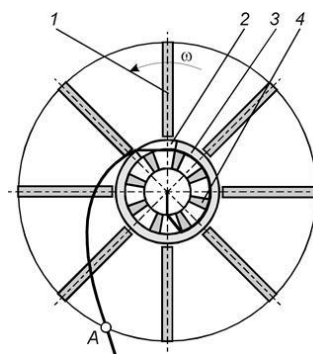


Рис. 38. – Траектория движения дроби

Шпиндель предназначен для передачи вращательного движения от электродвигателя 2 к ротору 5 через клиноременную передачу 1. Ротор служит для придания дроби необходимой скорости и состоит из двух дисков, радиально расположенных лопастей 6 и крыльчатки (импеллера) 13. Распределительная коробка соединена с кожухом головки и имеет окно 11, положение которого можно изменить при повороте коробки и таким образом изменить направление струи дроби при вылете из аппарата. Загрузочная воронка служит для подачи дроби из сепаратора в полость крыльчатки. Кожух предотвращает вылет дроби во внешнюю среду.

При работе аппарата дробь самотеком поступает в крыльчатку по подающему рукаву 10, разгоняется лопастями крыльчатки и под действием центробежной силы выбрасывается через окно распределительной коробки. Траектория движения дроби в аппарате показана жирной линией (рис. 38). Дробь подается в отверстие крыльчатки нагнетателя 4 и попадает между его лопатками, которые выбрасывают дробь в отверстие 2 направляющей втулки 3. Дробь подхватывается внутренним краем лопатки 1, получает во время движения по ним высокую скорость и направляется в зону очистки.

Несмотря на ограниченную стойкость рабочих лопаток, дробеметный способ очистки имеет следующие преимущества перед другими способами:

- производительность его в 5–7 раз выше, чем при дробеструйной очистке при меньшем расходе энергии;

- имеется возможность регулирования скорости вылета абразивного материала из дробеметного аппарата путем изменения частоты вращения рабочего колеса;
- меньшая, чем при дробеструйной очистке, запыленность рабочего места.

Недостатком дробеметной очистки следует считать затрудненность очистки отливок сложной конфигурации.

**Дробеструйная очистка.** Очистку проводят в дробеструйных установках, в которых отливки находятся на движущейся бесконечной ленте (рис. 39,а). При перемещении ленты отливка многократно переворачивается. Очистка осуществляется металлической дробью диаметром от 0,5 до 3 мм, разгоняемой струей сжатого воздуха до скорости 40–60 м/с. Этот способ применяется для очистки малых и средних отливок весом до 6–10 кг.

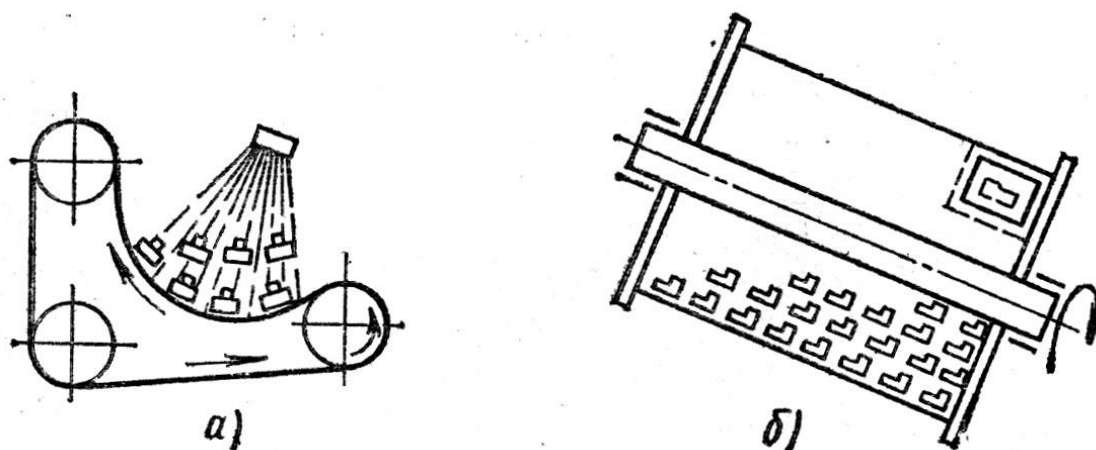


Рис. 39. Схемы очистки отливок  
а – в дробеструйной установке; б – в галтовочном барабане

**Галтовка** – способ очистки заготовок во вращающемся барабане с наклонной осью вращения (рис. 39,б). В барабан вместе с отливками загружают чугунные чушки, звездочки, абразивный бой. При вращении барабана отливки ударяются друг о друга и о загрузочный материал, благодаря чему происходит сбивание остатков формовочной смеси. Продолжительность очистки загруженной партии заготовок составляет 4 – 4,5 часа при частоте вращения барабана 20 – 60 мин<sup>-1</sup>. Очистка в барабанах применяется для отливок малой массы, так как при очистке тяжелых отливок неизбежно образование на их поверхностях забоин.

**Травление** заключается в воздействии кислоты на металл. Травление достаточно широко применяют для очистки отливок из алюминиевых, титановых, медных и магниевых сплавов.

### Термическая обработка отливок

Термическая обработка отливок проводится для снижения остаточных напряжений, стабилизации размеров, снижения твердости, повышения механических свойств, улучшения обрабатываемости резанием. Вид

термообработки определяется маркой сплава, конструкцией отливки и предъявляемыми к ней техническими требованиями.

Различные виды *отжига* проводят для уменьшения остаточных напряжений, снижения твердости, улучшения структуры и обработки резанием чугуновых и стальных отливок. Недостаток отжига – большая продолжительность (от 3 до 10 часов).

*Нормализация* применяется для уменьшения остаточных напряжений и улучшения механических свойств стальных отливок.

*Улучшение* – комплексная термическая обработка, включающая в себя *закалку* и последующий *высокотемпературный отпуск*. Повышает прочность и твердость стальных отливок, улучшает обрабатываемость резанием.

## Дефекты отливок и их исправление

Отливки подвергают контролю для определения их соответствия требованиям стандартов и технических условий. Проверяют химический состав сплава, структуру, размеры и геометрию отливок, механические свойства, устанавливают отсутствие поверхностных и внутренних дефектов.

Дефекты можно разделить на две группы: неисправимые и исправимые. Неисправимые дефекты, обычно крупные по размерам, исправить невозможно или невыгодно. В этом случае отливку считают негодной для использования и переводят в разряд окончательного брака. Исправимые дефекты, обычно мелкие, экономически целесообразно подвергать исправлению.

## Основные виды дефектов отливок

*Газовые раковины* – открытые или закрытые пустоты с чистой и гладкой поверхностью закругленной формы, созданные воздухом или газами, выделяющимися из расплавленного металла при его затвердевании или из материалов формы. Образуются из-за повышенной влажности формы, плохой ее вентиляции, низкой температуры и насыщенности газами металла, недостаточной раскисленности расплава.

*Шлаковые (или песчаные) раковины* – открытые (иногда закрытые) полости в теле отливки, частично или полностью заполненные шлаком (или формовочной смесью). Образуются в результате разрушения отдельных частей формы из-за низкой прочности, слабого уплотнения формы, смыва формовочной смеси расплавом при неправильном его подводе.

*Усадочные раковины* – открытые или закрытые полости в теле отливки с неровной «рваной» внутренней поверхностью и грубокристаллическим строением. Образуются в утолщенных местах отливки из-за неправильной ее конструкции или в результате слишком высокой температуры заливки, а также из-за неправильной установки прибылей.

*Усадочная пористость* – скопление мелких пустот (пор) неправильной формы, которые образовались в отливке в результате объемной усадки при отсутствии доступа жидкого металла. Она характерна для сплавов с широким интервалом кристаллизации.

**Трещины** – сквозные и несквозные разрывы тела отливки.

Холодные трещины имеют небольшую ширину и значительную длину. Они образуются при низких температурах и имеют светлую неокисленную поверхность. Причиной образования холодных трещин является усадка сплава, приводящая к значительным внутренним напряжениям.

Горячие трещины имеют значительную ширину и небольшую протяженность. Они образуются при высоких температурах и имеют темную окисленную поверхность. Причинами образования трещин являются недостаточная податливость стержней и отдельных частей формы, ранняя выбивка отливки из формы, повышенная усадка.

**Заливы** – тонкие, различные по величине и форме и не предусмотренные чертежом выступы на отливке. Они чаще всего образуются на месте разъема формы и вдоль стержневых знаков.

Причины образования заливок – недостаточная нагрузка форм при заливке, наличие зазоров между знаками стержней и контурами полости формы и т.д.

**Недоливки** – получение в форме отливок с неполным контуром. Образуются при низкой температуре заливки и чрезмерной длительности заливки; при недостаточных размерах питателей литниковой системы; при скоплении газов, препятствующих заполнению формы.

**Спаи** – сквозные или поверхностные щели с закругленными краями в теле отливок. Получаются в результате перерыва струи, низкой температуры или неправильной конструкции литниковой системы.

**Перекокс** – несоответствие конфигурации отливки чертежу из-за смещения одной части отливки относительно другой. Перекокс является следствием неправильного центрирования опок при чрезмерном износе штырей, несоответствия знаковых частей стержня на модели и в стержневом ящике, неправильной установки стержня.

**Разностенность** возникает в результате неправильной установки или смещения стержней при заливке формы в случае непрочного их крепления.

**Коробление** – искажение размеров и конфигурации отливки вследствие ее изгиба в целом или частично. Возникает вследствие недостаточной податливости формы и стержней при усадке отливки в процессе затвердевания, а также в результате больших внутренних напряжений вследствие неравномерного затвердевания отдельных частей отливки. Во избежание коробления необходимо добиваться меньшей разностенности отливки, а для охлаждения массивных частей применять холодильники.

## Способы исправления дефектов

Дефекты отливок исправляют, если это технически возможно и экономически целесообразно. Наиболее распространенными способами исправления дефектов являются правка, заварка и пропитка.

**Правкой** исправляют коробление отливок. Для этого на отливку оказывают механическое воздействие – ее пластически деформируют на прессах или молотками и восстанавливают требуемую геометрию.

Поверхностные дефекты на необрабатываемых поверхностях (раковины, сквозные отверстия, трещины) исправляют *дуговой* и *газовой сваркой*. Перед сваркой дефектное место отливки разделяют – придают сечению завариваемого места V-образную форму. Дуговой сваркой без подогрева исправляют дефекты чугунных отливок. Наплавка металла однослойная или многослойная. Для этого применяют стальные, медно-стальные и медно-никелевые электроды.

Дуговую и газовую сварку с подогревом применяют для исправления дефектов стенок отливок, испытывающих динамические нагрузки. Отливки перед сваркой нагревают (чугунные до 550–700 °С, алюминиевые и магниевые до 350 – 400 °С), чтобы избежать значительных термических напряжений. Для исключения окисления поверхности используют флюсы или защитные газы. Объем дефекта заполняют наплавляемым металлом, близким по химическому составу к материалу отливки. Наплавляемый металл поддерживают некоторое время в жидком состоянии в целях выравнивания химического состава и удаления неметаллических включений. После сварки отливку или дефектное место вновь нагревают до первоначальной температуры и затем медленно охлаждают для устранения сварочных напряжений. Дефекты механически обработанных стальных отливок исправляют *пайкой*. Для пайки применяют твердые припои Cu-Ni, Cu-Ag.

*Пропитку* применяют для устранения пористости. Для пропитки широко используют бакелитовый лак, натуральную олифу, жидкое стекло и этилсиликат. Пропитку лаками проводят в специальных баках при температуре 150–200°С под давлением 0,5–0,6 МПа. Жидким стеклом отливки пропитывают при температуре 85–95°С. Перед пропиткой отливки, чтобы очистить их от масла, промывают в тетрахлориде углерода и подвергают вакуумированию. Длительность пропитки определяется толщиной стенок, размерами пор и свойствами пропитываемого материала. Для отверждения пропитываемого материала отливки нагревают и выдерживают в течение определенного времени.

Для устранения течи отливки из цветных металлов пропитывают бакелитовым лаком.

Незначительные поверхностные дефекты исправляют *заделкой* замазками или мастиками. Перед заполнением мастикой дефектные места очищают от грязи, обезжиривают и сушат. После заполнения исправленное место заглаживают, обдувают сжатым воздухом и грунтуют. Применяют замазки из наполнителя (каменной муки, цемента, металлической стружки), связующего (жидкого стекла, эпоксидной смолы) и отвердителя.

После исправления дефектов отливки вновь подвергают контролю. Перед сдачей на склад чугунные отливки грунтуют или окрашивают, отливки из магниевых сплавов подвергают специальной химической обработке для получения защитной оксидной пленки.

## Контроль качества отливок

Основными способами оценки качества отливок являются: внешний осмотр, контроль размеров, контроль механических свойств, контроль структуры, контроль на герметичность. Поверхностные дефекты отливок в виде трещин, пор и раковин, пригаров выявляют различными методами. Видимые дефекты обнаруживают внешним осмотром после извлечения отливки из формы или после очистки.

Невидимые поверхностные дефекты определяют с помощью люминесцентного контроля, магнитной или цветовой дефектоскопии, ультразвуковой дефектоскопии, радиографическими методами.

**Контроль отливок внешним осмотром** производится в два приема: первый предварительный контроль до очистки и термообработки, второй – после окончательной очистки.

**Контроль размеров.** Геометрические размеры отливок контролируют по литейному чертежу с помощью шаблонов, контрольных приспособлений и в отдельных случаях по разметке на плите.

**Контроль механических свойств** отливок из серого чугуна производят на изгиб, растяжение, стрелу прогиба, твердость и иногда на сжатие. Отливки из ковкого чугуна испытывают на растяжение, удлинение, твердость и в некоторых случаях на ударную вязкость. Для испытаний отливают специальные образцы-свидетели.

Стальные отливки испытывают на растяжение, удлинение, сжатие и твердость.

Отливки из цветных сплавов испытывают на растяжение, удлинение и твердость.

**Контроль структуры отливок** производят по излому, макро- и микроструктуре. Структура металла устанавливается по характеру излома технологических образцов (макроскопический анализ) или рассмотрением под металлографическим микроскопом при увеличении от 100 до 500 раз специально изготовленных образцов-шлифов.

Контроль отливок на герметичность производится гидравлическим испытанием – гидропробой. При гидравлическом испытании отверстия полости отливки закрывают заглушками. В качестве жидкости применяется вода. Давление назначается в зависимости от условий работы детали. Наружная поверхность отливки должна быть сухой, иначе обнаружить следы течи невозможно.

При воздушном испытании поверхность отливки покрывают мыльным раствором. В случае не герметичности на поверхности отливки появляются пузыри, указывающие место течи.

**При люминесцентном методе** на поверхность отливки наносят слой раствора, способного светиться в ультрафиолетовых лучах. Раствор затекает в тонкие трещины поры и раковины. Раствор смывают и после сушки на поверхность наносят тонкоизмельченный силикагель, способный впитывать флюоресцирующий раствор, оставшийся в углублениях и трещинах. Отливку устанавливают под источник ультрафиолетового света и по яркому свечению порошка определяют место и размеры поверхностных дефектов.

**Магнитная дефектоскопия.** В машиностроении широко применяются магнитные методы контроля для выявления волосовин, трещин, шлаковых включений, газовых пузырей и других дефектов, расположенных на незначительной глубине или частично выходящих на поверхность.

Магнитная дефектоскопия позволяет производить сплошную проверку качества ответственных отливок вместо выборочной, связанной с разрезкой деталей. Способ основан на том, что в намагниченном изделии магнитный поток частично рассеивается при встрече препятствий типа трещин, неметаллических включений и др.



Предварительно намагниченную отливку помещают между полюсами электромагнита или в магнитном поле соленоида, по которому пропускают электрический ток. Если такую катушку передвигать вдоль намагниченной отливки, то при встрече ее с каким-либо дефектом изменяется направление магнитного потока и в витках катушки возникает э.д.с. индукции, величина которой измеряется показаниями гальванометра.

Второй способ обнаружения дефектов состоит в том, что намагниченную отливку покрывают сухим порошком (метод порошка) или смачивают магнитной эмульсией (метод эмульсии). Мелкие отливки иногда помещают в ванну с магнитной эмульсией. Нанесенный на поверхность отливки порошок собирается в месте расположения скрытого порока и выявляет, таким образом, границы порока (трещины и др. дефекты).

**Ультразвуковая дефектоскопия.** Выявление внутренних дефектов в деталях с помощью ультразвука основано на свойстве ультразвуковых волн отражаться от границы двух сред – металла и воздуха. Пропуская через деталь ультразвук, и улавливая его отражение от внутренних трещин или раковин, можно по направлению и силе отраженного ультразвука определить место, протяженность и глубину этих дефектов. Для обнаружения дефекта необходимо, чтобы его поперечные размеры были не меньше длины ультразвуковой волны. Метод ультразвукового контроля отливок позволяет обнаружить глубинные дефекты по специально подготовленной поверхности отливки. Для контроля необработанных поверхностей отливок могут применяться специальные эластичные наконечники, наполненные водой или маслом, однако точность контроля при этом снижается.

**Метод цветовой дефектоскопии** состоит в погружении отливок на 5–10 минут в красную краску, которая проникает в трещины и поры. После удаления краски с поверхности отливки на нее наносят тонкий слой белой краски. После подсушки в местах расположения трещин и пор на белом фоне проявляются их следы в виде красных линий и точек. Чем глубже и крупнее дефекты, тем ярче и больше их красные следы. После контроля белую краску смывают растворителем.

При использовании **радиографических методов** (рентгеноскопия, гамма-дефектоскопия) на отливки воздействуют рентгеновским или гамма-излучением и получают негативные снимки. Дефекты отливок (шлаковые включения, газовые и усадочные раковины, поры, трещины) в меньшей степени поглощают интенсивность лучей, чем металл, поэтому на пленке дефекты появляются в виде темных пятен. С помощью этих методов выявляют наличие дефекта, размеры и глубину его залегания. Современные промышленные рентгеновские установки просвечивают стальные отливки с толщиной стенок до 100 мм, отливки из меди и ее сплавов – до 60 мм и литые детали из алюминия и его сплавов – до 300–400 мм. Глубина просвечивания зависит от мощности установки.

Просвечивание гамма-лучами позволяет обнаруживать внутренние пороки в отливках с толщиной стенок более 15 мм.

### **Технологичность конструкций литых деталей**

Конструкция литой детали должна обеспечивать высокий уровень механических и эксплуатационных характеристик при заданной массе, конфигурации, точности размеров и шероховатости поверхности.

При проектировании отливки должны учитываться литейные свойства сплавов, а также технологии изготовления модельного комплекта, литейной формы, стержней, очистка и обрубка отливок, а также их дальнейшая обработка. Необходимо стремиться к уменьшению массы отливки и упрощению ее конфигурации. Минимальную толщину необрабатываемых стенок отливки определяют в зависимости от габаритного размера (для стальных отливок 8–12 мм, для чугунных отливок 3–8 мм). Толщина внутренних стенок и ребер принимается на 20 % меньше толщины наружных стенок.

Получение отливок без усадочных дефектов достигается при равномерной толщине стенок, т.е. если отсутствуют термические узлы – большое скопление металла в отдельных местах. Равномерность толщины стенки и скопление металла определяют диаметром вписанных окружностей (рис. 40,а,б).

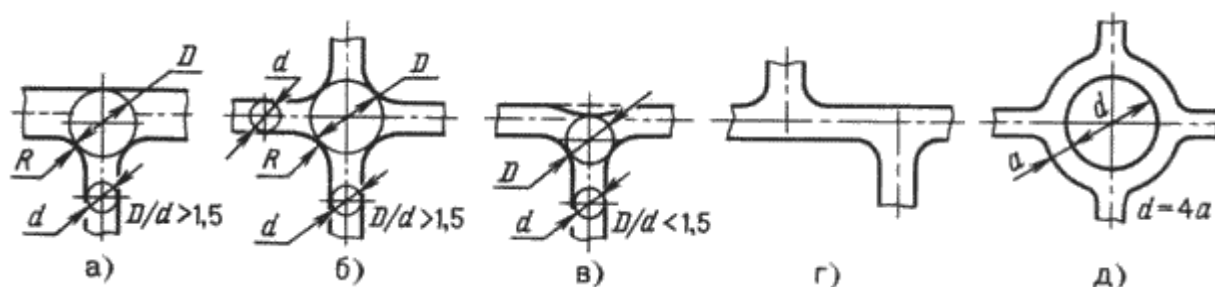


Рис.40. Устранение местного скопления металла в стенках отливки

Желательно, чтобы соотношение диаметров вписанных окружностей в близко расположенных сечениях не превышало 1,5. Это достигается уменьшением радиуса галтели с помощью углублений в стенках отливки (рис.40,в), смещением одной стенки (рис. 40,г), при возможности предусматривается отверстие (рис. 40,д).

Отливки, затвердевающие одновременно должны иметь равномерную толщину стенок с плавными переходами (рис. 41,а). Такой принцип конструирования применяется для мелких и средних тонкостенных отливок из чугуна и других сплавов.

При направленном затвердевании (рис. 41,б) верхние сечения отливок питаются от прибылей 1. Верхние сечения служат прибылью для нижних сечений. Принцип направленного затвердевания применяется для деталей с повышенными требованиями к герметичности отливок.

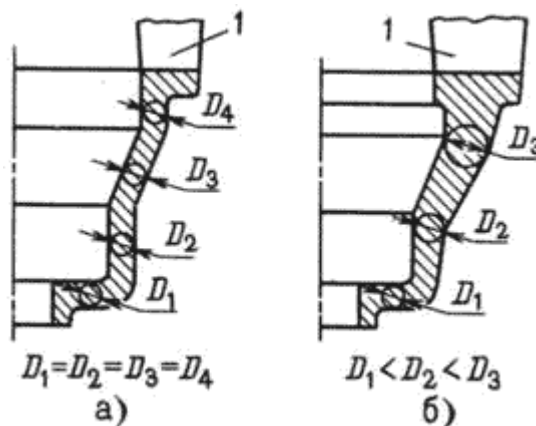


Рис.41. Конструкции литых деталей, обеспечивающих одновременное (а) и направленное (б) затвердевание отливок

Для снижения литейных напряжений необходимо обеспечить свободную усадку элементов отливки.

Коробление отливок, возникающее из-за недостаточной жесткости конструкции, можно устранить путем установки ребер жесткости.

Внешние контуры отливок должны представлять собой сочетание простых геометрических тел с преобладанием плоских прямолинейных поверхностей с плавными переходами (рис.42).

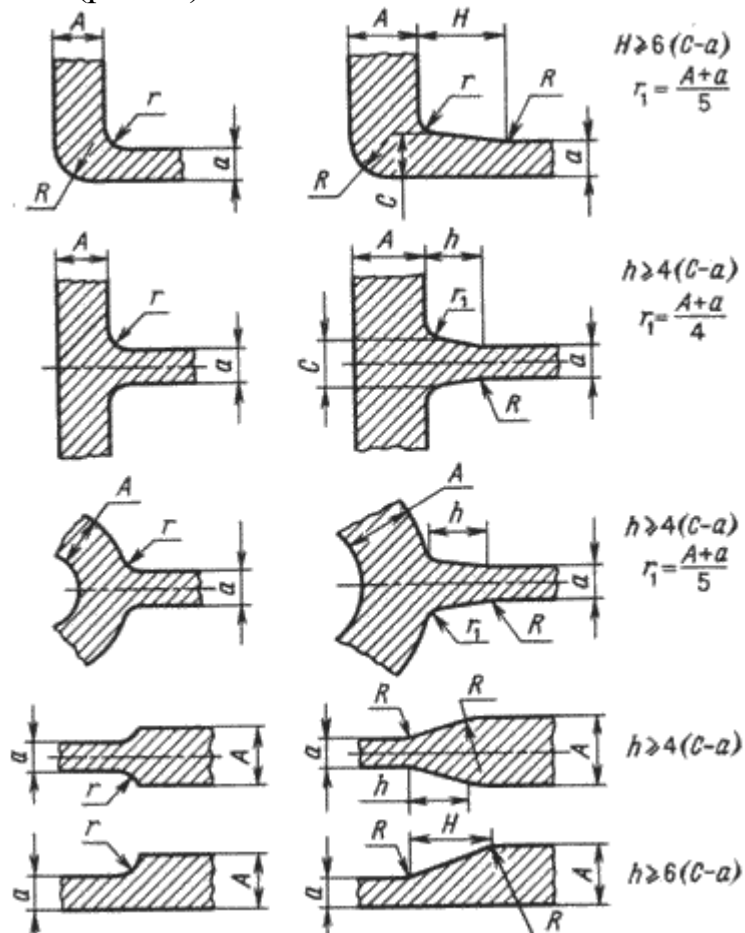


Рис. 42. Рекомендуемые переходы от стенки к стенке в литых деталях

При конструировании отливки стремятся к уменьшению габаритных размеров и особенно высоты литой детали. Это облегчает изготовление модельного комплекта, а также процессы формовки, сборки форм и очистки отливок. При этом отливка должна иметь один плоский разъем и располагаться по возможности в одной полуформе.

Бобышки, приливы и другие выступающие части необходимо конструировать так, чтобы не затруднять извлечение модели из формы. Следует избегать применения в моделях отъемных частей или стержней, которые усложняют процесс формовки.

Внутренние полости сложных отливок необходимо изготавливать с минимальным числом стержней.

В конструкции детали следует избегать пазов и узких полостей, при выполнении которых возможно образование песчаных раковин, из-за разрушения стержней потоком расплавленного металла. Размеры получаемых в отливке отверстий главным образом определяются видом литья, применяемым литейным

сплавом и типом отверстий (глухое или сквозное). Глухое отверстие получить в отливке всегда труднее, чем сквозное. Диаметр литого отверстия и его глубина находятся между собой в прямой зависимости (чем меньше глубина отверстия, тем меньшего диаметра можно получить отверстие литьем).

### **Основные положения к выбору способа литья**

При выборе способа литья для получения заготовки в первую очередь должен быть рассмотрен вопрос экономии металла. Металлоемкость можно снизить конструктивными и технологическими мероприятиями. Часто закладывается неоправданно большой запас прочности деталей, работающих при незначительных нагрузках. За счет изменения конструкции, образования выемок, изменения толщины стенок, применения коробчатых или тавровых сечений можно достичь значительной экономии металла. При анализе требований, предъявляемых в процессе эксплуатации, возможна замена дорогостоящих материалов.

При выборе способа получения отливки необходимо оценить все положительные и отрицательные стороны возможных технологических процессов, провести сравнительный анализ.

При сравнении различных способов литья необходимо учитывать различные факторы:

- **технологические свойства сплава.** При пониженной жидкотекучести и при высокой склонности к усадке нежелательно применять литье в металлические формы (литье в кокиль, литье под давлением), так как возможно образование трещин из-за низкой податливости формы;
- **возможности способов** для получения отливок без дефектов литейного происхождения и для обеспечения равномерной мелкозернистой структуры, высоких механических свойств, заданную точность размеров и шероховатость поверхности;
- **технологичность конструкции** детали применительно к каждому рассматриваемому способу. Сложные по конфигурации отливки получают литьем под давлением, по выплавляемым моделям, в песчаных формах. Литьем в кокиль получают отливки с простой наружной конфигурацией, а центробежным литьем – отливки типа тел вращения. Тонкостенные отливки получают литьем по выплавляемым моделям и литьем под давлением. Специальные способы литья применяют для получения мелких и средних отливок. При литье в песчаные формы габариты и масса отливок не ограничены. Специальные способы литья целесообразно применять в крупносерийном и массовом производствах.

Кроме того необходимо учитывать возможности имеющегося оборудования, уровень литейной технологии и технологии механической обработки.

Наиболее точным показателем, определяющим эффективность применения того или иного способа, является себестоимость.

## **Тема 2.1. Способы получения заготовок обработкой давлением**

Обработкой давлением называются процессы получения заготовок или деталей машин силовым воздействием инструмента на исходную заготовку из исходного материала.

Пластическое деформирование при обработке давлением, состоящее в преобразовании заготовки простой формы в деталь более сложной формы того же объема, относится к малоотходной технологии.

В процессе пластического деформирования изменяется структура металла и повышаются его механические свойства. Поэтому наиболее тяжело нагруженные детали машин изготавливают обработкой давлением.

Обработка давлением позволяет получать детали или их полуфабрикаты в виде заготовок, близких по форме к готовым деталям, с большой производительностью и малыми отходами. Металл подвергается пластической деформации как в холодном, так и в горячем состоянии.

Обработкой давлением получают не только заданную форму и размеры, но и обеспечивают требуемое качество металла, надежность работы изделия.

Высокая производительность обработки давлением, низкая себестоимость и высокое качество продукции привели к широкому применению этих процессов.

### **Классификация процессов обработки давлением**

Пластическое деформирование в обработке металлов давлением осуществляется при различных схемах напряженного и деформированного состояний, при этом исходная заготовка может быть объемным телом, прутком, листом.

По назначению процессы обработки металлов давлением группируют следующим образом:

– для получения изделий постоянного поперечного сечения по длине (прутков, проволоки, лент, листов), применяемых в строительных конструкциях или в качестве заготовок для последующего изготовления деталей – прокатка, волочение, прессование;

– для получения деталей или заготовок, имеющих формы и размеры, приближенные к размерам и формам готовых деталей, требующих механической обработки для придания им окончательных размеров и заданного качества поверхности – ковка, штамповка.

Характерным для современной обработки давлением является качественное изменение технологических процессов, которое происходит по следующим направлениям:

- комплексная механизация и автоматизация технологических процессов;
- интенсификация процессов штамповки, которая реализуется путем увеличения быстроходности машин и создания непрерывных технологических процессов;
- разработка способов штамповки без припусков или с минимальными припусками на механическую обработку (изотермическая штамповка, штамповка в разъемных матрицах, безоблойная штамповка);
- обработка давлением металлов в состоянии сверхпластичности и разработка способов и режимов обработки малопластичных труднодеформируемых сплавов;

- совершенствование устройств для малоокислительного и безокислительного нагрева заготовок (нагрев в контролируемой атмосфере, использование защитных смазок и т.д.).

Обработка металлов давлением, несмотря на давность ее применения, является прогрессивным методом. Он обеспечивает снижение расхода металла, повышение производительности труда, сокращение времени на последующую обработку резанием и поднимает рентабельность производства в целом.

В настоящее время обработка металлов давлением развивается по пути снижения и частичного вытеснения обработки со снятием стружки. Способы обработки давлением позволяют в ряде случаев получить не только полуфабрикаты (заготовки), но и готовые детали с высокой точностью и низкой шероховатостью.

Например, – прокаткой изготавливают фольгу в виде лент толщиной 2–5 мкм; волочением получают проволоку толщиной в несколько мкм;

– листовой штамповкой получают готовые детали, непосредственно поступающие на сборку;

– освоен процесс накатки зубьев шестерен, не требующих дальнейшей механической обработки.

Обработке давлением подвергаются как черные, так и цветные металлы и сплавы.

Из черных сплавов давлением обрабатываются углеродистые и легированные (конструкционные и инструментальные) стали, из цветных – бронзы, латуни, алюминий, дуралюмины и др.

### Технологические свойства

При выборе металла или сплава для изготовления изделия различными способами обработки давлением учитывается способность материала к данному методу обработки.

**Ковкость** – свойство металла изменять свою форму под действием ударов или давления, не разрушаясь.

Степень ковкости зависит от многих параметров. Наиболее существенным из них является пластичность, характеризующая способность материала деформироваться без разрушения. Чем выше пластичность материала, тем большую степень суммарного обжатия он выдерживает.

В условиях обработки металлов давлением на пластичность влияют многие факторы: состав и структура деформируемого металла, характер напряженного состояния при деформации, неравномерность деформации, скорость деформации, температура деформации и др. Изменяя те или иные факторы, можно изменять пластичность.

**Пластичность** находится в прямой зависимости от химического состава материала. С повышением содержания углерода в стали пластичность падает. Большое влияние оказывают элементы, входящие в состав сплава как примеси. Олово, сурьма, свинец, сера не растворяются в металле и, располагаясь по границам зерен, ослабляют связи между ними. Температура плавления этих элементов низкая, при нагреве под горячую деформацию они плавятся, что приводит к потере пластичности.

Пластичность зависит от структурного состояния металла, особенно при горячей деформации. Неоднородность микроструктуры снижает пластичность.

Мелкозернистые металлы пластичнее крупнозернистых. Металл слитков менее пластичен, чем металл прокатанной или ковальной заготовки, так как литая структура имеет резкую неоднородность зерен, включения и другие дефекты.

### **Влияние горячей обработки давлением на структуру и механические свойства металла**

Горячая обработка давлением весьма существенно влияет на макро- и микроструктуру металла. В особенности резко это влияние сказывается на литом металле.

Стальной слиток (рис.43) вследствие неоднородности по структуре и химическому составу, а также из-за наличия пор, газовых пузырей и иных дефектов не может быть непосредственно использован для изготовления деталей машин. Для устранения дефектов слитки подвергаются горячей обработке давлением – прокатке или ковке.

При ковке (прокатке) литого металла первичные кристаллы (дендриты) дробятся и вытягиваются в направлении наибольшей деформации. Одновременно вытягиваются и примеси, расположенные на границах зерен и дендритов. В результате протекания процессов рекристаллизации деформированный металл приобретает равноосную мелкую структуру. Так образуется волокнистая структура (рис. 44).

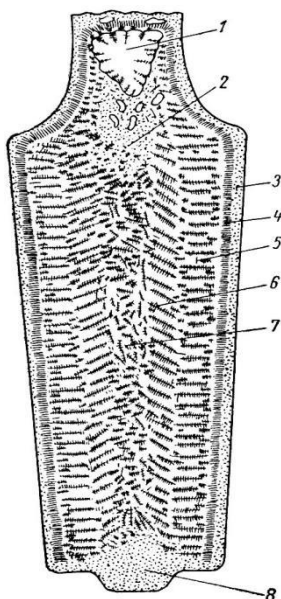


Рис. 43 Схема строения стального слитка  
1 – усадочная раковина;  
2 – усадочная рыхлость;  
3,8 – зоны плотного зернистого строения;  
4,5 – зоны мелких и крупных столбчатых кристаллов; 6 – зона крупных дендритов; 7 – зона средних и крупных дендритов, различно ориентированных

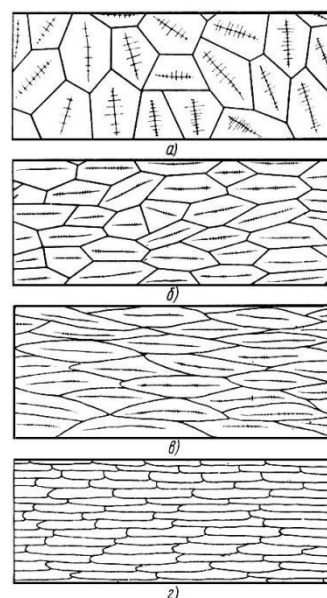


Рис.44. Схема перехода литой дендритной структуры в волокнистую

При горячей деформации происходит также заваривание пузырей, трещин, пор, и металл несколько уплотняется, происходит некоторое выравнивание химического состава. В результате горячей обработки давлением металл становится более прочным и пластичным. Однако вследствие образования

волокнистой макроструктуры металл приобретает анизотропию (различие свойств по разным направлениям). Характеристики пластичности (в особенности ударная вязкость) вдоль волокон выше, чем поперек волокон.

В связи с анизотропией механических свойств металла после горячего его деформирования при разработке технологических процессов изготовления деталей рекомендуется учитывать направление волокна в зависимости от условий их работы. Волокна должны или огибать контур детали, или совпадать с направлением максимальных нормальных напряжений, возникающих в детали во время ее работы. Кроме того волокна по возможности не должны перерезаться.

Наиболее благоприятным является случай изготовления шестерен из проката, подвергнутого осадке вдоль волокон (рис. 45). Следует отметить, несмотря на наличие в прокате волокнистой макроструктуры, в его осевой зоне может сохраниться ликвация. Поэтому, если производить деформацию поперек направления волокна, осевая зона может быть выведена наружу и оказаться в области зубьев шестерни. Зубья шестерни, изготовленные по такой технологии, будут подвергаться быстрому износу и даже поломке. Для избегания этого явления при изготовлении поковок типа тел вращения с рабочим участком в области обода, рекомендуется производить деформацию в направлении волокна.

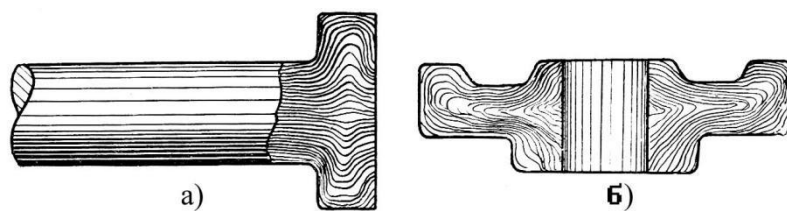


Рис.45. Макроструктура поковок  
а – поковка с фланцем; б – поковка шестерни

**Основными схемами деформирования** объемной заготовки являются:

- сжатие между плоскостями инструмента – ковка (свободная ковка);
- ротационное обжатие вращающимися валками – прокатка;
- вдавливание металла в полость инструмента (ковка в штампах) – горячая объемная штамповка;
- выдавливание металла из полости инструмента – прессование;
- вытягивание металла из полости инструмента – волочение.

## Тема 2.2. Заготовки, получаемые свободной ковкой

Свободная ковка – процесс горячей обработки металлов давлением, при котором с помощью воздействия бойков или универсального подкладного инструмента нагретая заготовка подвергается пластической деформации, постепенно приобретая требуемую форму, заданные размеры и свойства. При деформировании под воздействием давления металл свободно течет в направлениях, не ограниченных рабочими поверхностями инструмента.



Свободную ковку подразделяют на ручную и машинную. При ручной ковке нагретую заготовку помещают на наковальню и ударами молотка или кувалды ей придают нужную форму, используя, как правило, подкладной инструмент (обжимки, подбойки и т.д.). Этот видковки на предприятиях применяют только при изготовлении мелких поковок массой не более 8 кг при ремонтных работах. Процесс ручнойковки малопроизводителен и требует высокой квалификации рабочего.

При машинной ковке для деформации заготовки применяют ковочные молоты и ковочные гидравлические прессы. Ковку выполняют на плоских или профильных бойках с применением различного универсального инструмента. При ковке на молоте деформация заготовки происходит за счет кинетической энергии падающих частей молота, при ковке на прессе – под воздействием давления прессы. Свободная ковка мелких поковок производится на пневматических молотах с массой падающих частей от 50 до 1000 кг, ковка средних поковок – на паровоздушных ковочных молотах с массой падающих частей до 5 т, тяжелых поковок – на гидравлических ковочных прессах.

Свободная ковка является экономически выгодной в условиях единичного и мелкосерийного производства, а также при изготовлении заготовок большой массы для деталей крупных машин.

### Основные операции свободнойковки

**Осадка** – уменьшение высоты заготовки при увеличении площади ее поперечного сечения. Осадка способствует лучшему разрушению литой дендритной структуры металла слитка, а в сталях карбидного класса способствует лучшему измельчению карбидов и более равномерному их распределению. Осадка в сочетании с последующими операциямиковки значительно уменьшает неоднородность механических свойств (анизотропию) металлаковки в продольном и поперечном направлениях.

В результате действия сил трения на контактных поверхностях бойка и заготовки форма боковой поверхностиковки при осадке получается бочкообразной (рис. 46). Этому так же способствует быстрое охлаждение торцов заготовки при контакте с более холодными бойками. Для уменьшения бочкообразностиковки бойки подогревают.

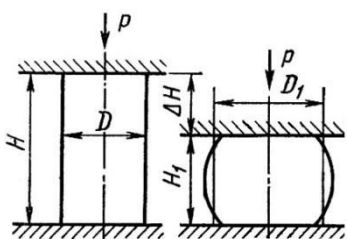


Рис. 46. Схема осадки

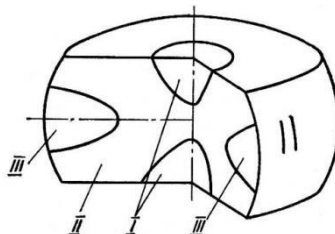


Рис. 47. Зоны деформации в осаженой заготовке

Для выполнения осадки и снижения усилия деформации заготовку равномерно нагревают до ковочной температуры (70–80% температуры плавления). Осадить успешно можно заготовку, высота которой не превышает трех диаметров, т.е.  $H \leq 3D$

3D. Обычно высоту выбирают равной  $2,5 D$ . Большие отношения могут привести к продольному изгибу заготовки и необходимости ее выравнивания. Торцы осаживаемой заготовки должны быть по возможности ровными, параллельными друг другу и перпендикулярными ее оси.

В объеме осаживаемой поковки можно выделить три характерные зоны (рис. 47).

Зона *I*, прилегающая к торцам заготовки, включает области «затрудненной деформации».

Зона *II* характеризуется наиболее интенсивной деформацией. Эта зона располагается в осевом сечении заготовки и выходит частично на торцовые и боковые поверхности поковки.

Зона *III* выходит на боковые поверхности поковки. Здесь интенсивность деформаций больше, чем в зоне *I*, и меньше, чем в зоне *II*. В зоне *III* возникают растягивающие напряжения, которые могут быть причиной образования трещин и ограничивают наибольшую степень деформации при осадке.

В зависимости от свойств материала предельно допустимая степень деформации может колебаться в достаточно широких пределах.

Основными видами брака при осадке являются:

- трещины, которые могут образовываться из-за неравномерного нагрева заготовки и пониженной пластичности металла;
- зажимы – не выправленные, закованные складки, возникающие в результате продольного изгиба заготовки.

Иногда при осадке наблюдается образование двойной бочки и рюмкообразной бочки (рис. 48).

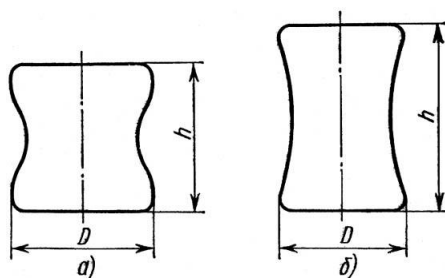


Рис. 48. Формы заготовок при осадке

Первая получается при осадке высоких заготовок, т.е. когда отношение высоты к диаметру заготовки превышает  $2,5$ . Вторая возникает при осадке на молоте с недостаточной массой падающих частей. В этом случае деформация не успевает распространиться от торцевых контактных поверхностей к центру заготовки.

При изготовлении поволоков крупных зубчатых колес или иных дисков с бобышками применяют осадку в подкладных кольцах и высадку.

Осадку в подкладных кольцах (рис. 49) используют, когда высота бобышек сравнительно небольшая и отковать их невозможно или затруднительно.

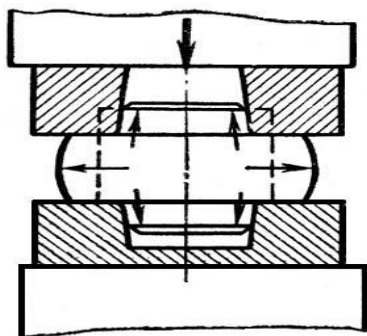


Рис.49. Осадка в подкладных кольцах

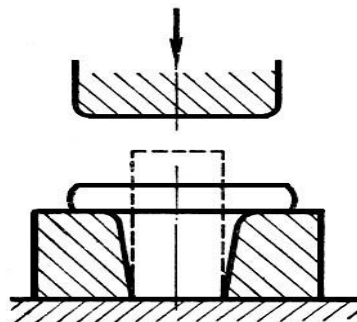


Рис. 50. Схема высадки

Для улучшения удаления поковки в кольцах делают уклоны от  $1^{\circ}30'$  до  $7^{\circ}$ . Наружный диаметр колец должен быть больше диаметра поковки.

Если осадке подвергают не всю заготовку (рис. 50), а только часть ее (конец или середину), то операция носит название высадки.

**Протяжка** – удлинение заготовки или ее части за счет уменьшения площади поперечного сечения. Она осуществляется последовательными обжатиями отдельных участков заготовки. Обжатия участков производятся в определенном порядке. При каждом ударе молота или нажатии прессы часть заготовки, находящаяся между бойками, увеличивается в длину при одновременном уменьшении высоты и увеличении ширины. Простейшая схема протяжки – без кантовки за один проход (рис. 51).

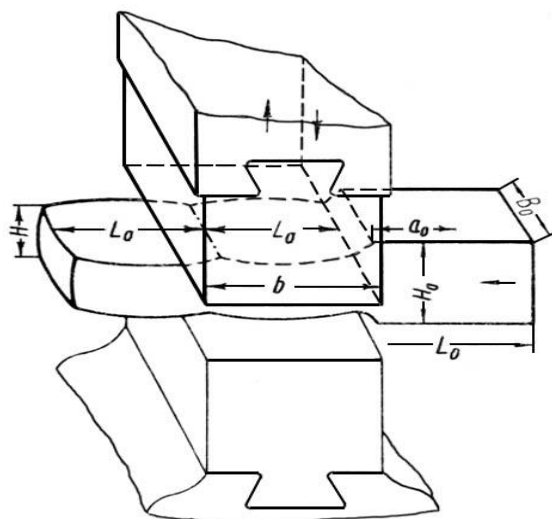


Рис. 51. Схема протяжки

Заготовка прямоугольного сечения с размерами  $L_0$ ,  $H_0$ ,  $B_0$  продвигается вдоль бойков при каждом обжатии на величину подачи  $a_0$ , меньшую, чем ширина бойка  $b$ . За одно обжатие заготовка должна осаживаться не более чем на 30–35% стороны квадрата исходной заготовки (или ее диаметра). Величина подачи для получения гладкой поверхности должна быть равной 0,4–0,75 ширины бойка. Протяжка может производиться с помощью плоских, фасонных или вырезных

бойков. Чем уже боек, тем больше удлинение заготовки и меньше уширение. По сравнению с плоскими бойками протяжка в вырезных бойках обеспечивает более гладкую поверхность и более точные размеры поковок без опасности возникновения внутренних осевых трещин. При большой разнице в величинах сечений исходной заготовки и поковки из-за ограниченной величины обжатия осуществить протяжку в одной паре вырезных бойков невозможно. В этом случае протяжку выполняют в двух и более парах таких бойков.

Рассмотренная выше схема однопроходной протяжки значительно усложняется при ведении процесса протяжки с кантовкой заготовки на  $90^\circ$ . При ковке с кантовкой места зон затрудненных деформаций и бокового бочкообразования чередуются, что несколько уменьшает неравномерность деформации.

**Протяжка на оправке** (рис. 52) является разновидностью операции протяжки. Протяжке в длину на круглоконической оправке подвергаются предварительно прошитые круглые заготовки. В процессе протяжки заготовка значительно удлиняется и уменьшается по наружному диаметру, тогда как внутренний диаметр заготовки остается практически равным исходному.

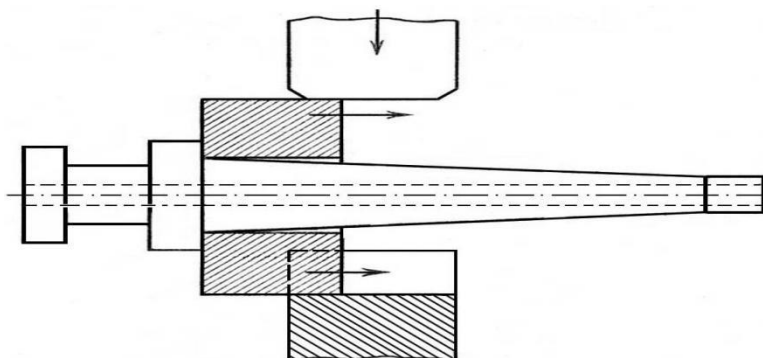


Рис. 52. Схема протяжки на оправке

Ковка полой заготовки, надетой на оправку, ведется с кантовкой по кругу. Ковка начинается со стороны более толстого конца оправки кольцевыми участками при вращательном движении заготовки вместе с оправкой. Затем следует продольная подача и обрабатывается следующий участок. При обжатии каждого участка металл заготовки, упираясь в бурт оправки, течет, как бы стекая с оправки.

Оправки имеют отверстия для охлаждения водой, упорный бурт и небольшой уклон (1 : 100) для облегчения удаления поковки. При протяжке на оправке используют плоские, вырезные и комбинированные (верхний плоский, нижний вырезной) бойки.

**Прошивка** – получение отверстия в заготовке за счет вытеснения материала. Основным инструментом при прошивке является сплошной конический или полый цилиндрический прошивень. Внедрение сплошного прошивня в заготовку

сопровождается изменением ее формы: металл вытесняется в стороны и заготовка приобретает небольшую бочкообразность.

Прошивку сплошным прошивнем применяют для получения отверстий, площадь которых не превышает 25 – 36% площади торца заготовки.

Осаженную заготовку (рис. 53,а) устанавливают на нижний боек или на плиту, а сверху по центру конусом вниз устанавливают прошивень и слегка вдавливают его в металл заготовки. Затем прошивень вынимают. В образовавшееся углубление засыпают толченый уголь или графит для уменьшения трения и предохранения прошивня от приваривания к металлу заготовки.

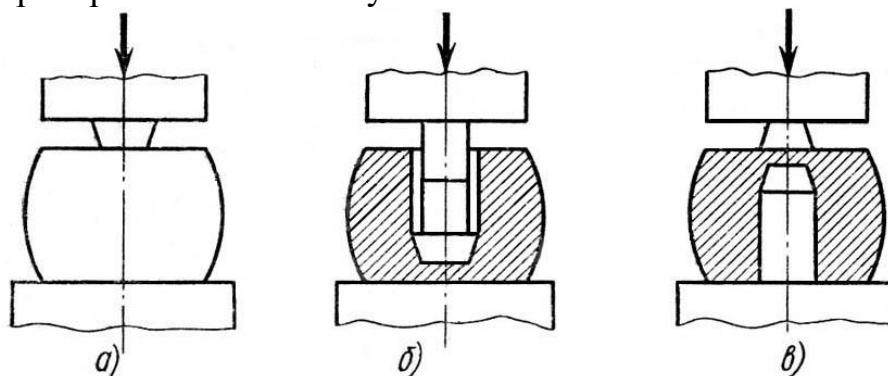


Рис. 53. Прошивка сплошным прошивнем с надставками

В углубление вновь устанавливают прошивень и вдавливают его в заготовку. Дальнейшее заглабление прошивня осуществляют при помощи коротких цилиндрических надставок (рис. 53,б). Когда толщина перемычки под прошивнем составит 0,8–0,9 высоты поковки, ее кантуют, вынимают надставки и прорезным прошивнем пробивают отверстие (рис. 53,в). Вместе с отходом (выдрой) из отверстия удаляется конический прошивень.

Прошивка полым прошивнем применяется для получения полых поковок, когда необходимо удалить менее качественную сердцевину слитка. При прошивке полым прошивнем можно получить отверстия относительно больших диаметров (200 – 500 мм) без осадки заготовки.

При использовании полых прошивней применяются те же приемы, что и при использовании сплошных. Вначале в заготовку вдавливается прошивень (рис. 54,а), а затем с помощью полых надставок добиваются глубокой прошивки (рис. 54,б). Когда толщина перемычки под прошивнем достигает предельной величины, заготовку переставляют на подкладное кольцо и пробивают оставшуюся перемычку (рис. 54,в). Выдра грибовидной формы удаляется в отход.

Масса выдры может составлять 10–15% массы слитка. Использование полого прошивня по сравнению со сплошным значительно снижает необходимое усилие прошивки.

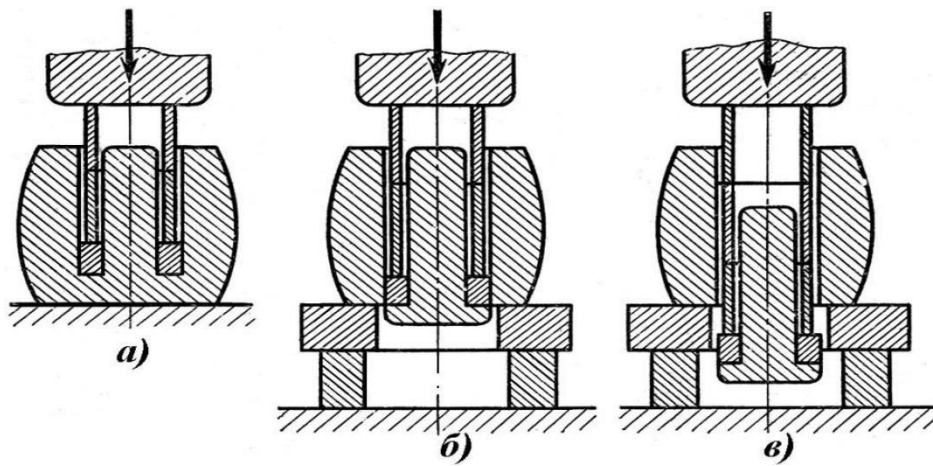


Рис. 54. Схема пробивки полым прошивнем

**Пробивка** – операция образования в заготовке сплошного отверстия с удалением материала в отход путем сдвига (среза). Применяется для образования отверстий в низких заготовках, у которых отношение диаметра к высоте составляет от  $\frac{1}{3}$  до  $\frac{1}{4}$ . При пробивке форма заготовки практически не искажается, а отверстие получается правильной формы и не требует последующей калибровки.

Пробивку выполняют на подкладном кольце (рис. 55), диаметр отверстия которого несколько больше диаметра пробиваемого отверстия. Зазор между прошивнем и подкладным кольцом должен составлять 0,1 высоты пробиваемой заготовки.

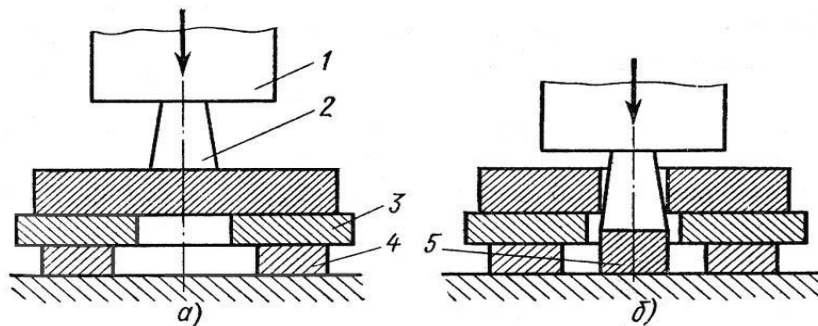


Рис. 55. Пробивка отверстия на подкладном кольце  
 а) – положение перед пробивкой; б) – положение после пробивки.  
 1 – верхний боек, 2 – сплошной прошивень, 3 – подкладное кольцо,  
 4 – подставка, 5 – выдра.

При пробивке и прошивке могут возникать различные дефекты:

- **утяжина**, т.е. сильно затянутые края отверстия, получается, когда пробивают толстую заготовку;
- **смещение отверстия** от вертикальной оси заготовки вследствие неравномерного нагрева и непараллельности торцов;
- **заусенцы** по краям отверстия при увеличенном зазоре между прошивнем и подкладным кольцом;

– *рванины и трещины* при недостаточной температуре нагрева металла заготовки.

**Раскатка** – увеличение диаметров (наружного и внутреннего) прошивой заготовки за счет уменьшения толщины ее стенки. Применяется при изготовлении поковок типа колец, бандажей, фланцев, зубчатых венцов, различных обечаек и других деталей, имеющих стенки небольшой толщины по сравнению с диаметром отверстия.

Для осуществления раскатки (рис. 56) прошивая заготовка 4 подвешивается с оправкой 2 на стойки 1.

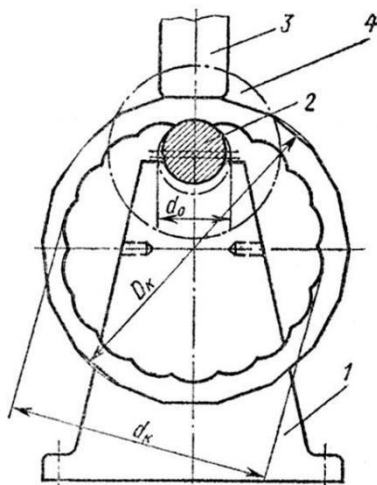


Рис. 56. Схема раскатки

Обжатие стенки кольцевой заготовки происходит между верхним плоским бойком 3 и круглой или овальной оправкой 2.

При вращательном движении после каждого обжатия диаметр заготовки постепенно увеличивается до диаметра  $D_k$ , незначительно увеличивается и ширина, стенка заготовки при этом становится тоньше. Трудность расчета операции раскатки заключается в том, что необходимо точно получить три параметра – диаметр, толщину и ширину кольца. Для получения заданных размеров поковки требуется правильно рассчитать размеры прошивой заготовки (осадку перед прошивкой и диаметр отверстия).

**Разгонка** – увеличение ширины заготовки за счет уменьшения ее толщины. Операция разгонки предназначена для местного уширения заготовки без увеличения ее длины. Чаще всего разгонке подлежит часть заготовки (рис. 57), которая предварительно обжимается плоским бойком, а затем при помощи специального подкладного инструмента – раскатки (рис. 58), металл разгоняется в ширину.

Обычно разгонке подвергаются относительно низкие заготовки, поэтому разгоночный инструмент применяется для обжатия только одной стороны заготовки. После разгонки деформированный участок подвергается обработке плоскими бойками для сглаживания выступов между соседними обжатиями.

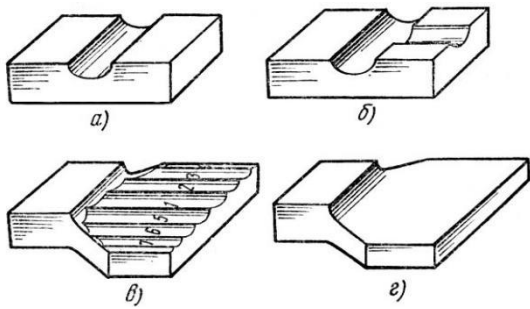


Рис. 57. Схема разгонки

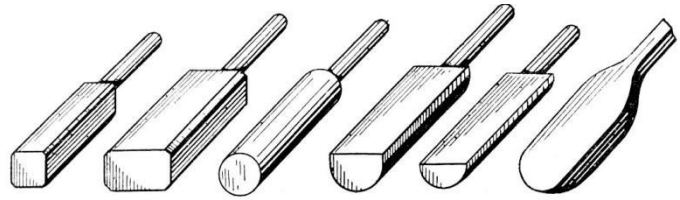


Рис. 58. Раскатки

**Передача** – смещение одной части заготовки относительно другой при сохранении параллельности осей или плоскостей частей заготовки (рис. 59). В результате передачи ось заготовки становится ступенчатой.

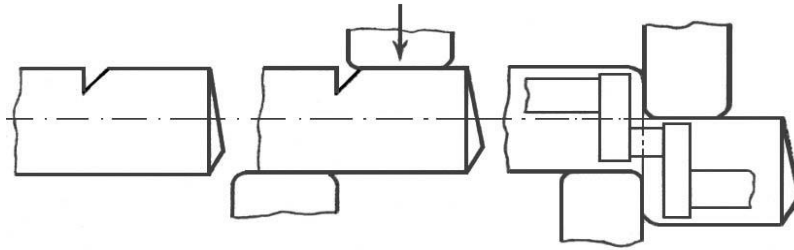


Рис. 59 Схема операции передачи металла

Если передача осуществляется на прессе с подвижным столом, то сдвигают нижний боек относительно верхнего. При работе на молоте на нижний боек под заготовку помещают плоскую раскатку или специальную подкладку.

**Гибка** – образование или изменение углов между частями поковки, а также придание ей криволинейной формы. Операция гибки при ковке на молотах и прессах совершается между подкладными опорами. Эта операция не требует больших усилий и обычно совершается при пониженной температуре (850–950°C). Форма поперечного сечения заготовки в зоне изгиба искажается (рис. 60).

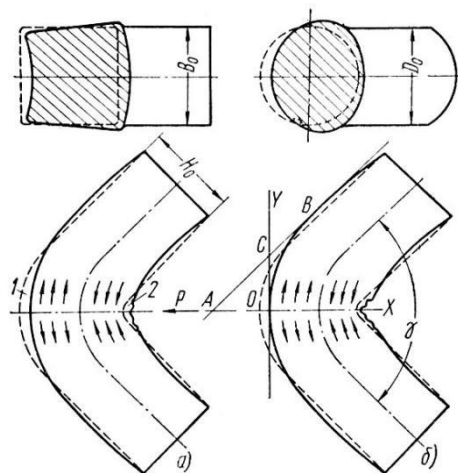


Рис. 60. Искажение профиля заготовки при гибке

Круглое сечение заготовки превращается в овальное, квадратное – в трапециевидальное. Слои металла, находящиеся во внешней зоне 1 изгибаемой заготовки, испытывают напряжения и деформации растяжения, в связи с чем, в



растянутой зоне образуется утяжина, а в некоторых случаях может появиться трещина. Во внутренней зоне 2 волокна металла испытывают напряжения и деформации сжатия, поэтому здесь могут образовываться складки.

После изгиба заготовки обычно необходима операция правки для восстановления профиля поперечного сечения.

### Основной технологический инструмент для машиннойковки

**Бойки** – основной инструмент, применяемый при ковке на молотах и прессах (рис. 61). Бойки предназначены для выполнения главным образом протяжки, а также осадки, прошивки, гибки и других операцийковки. Нижний боек неподвижен и выполняет роль опоры. Через верхний подвижный боек передается рабочее усилие машины.

Универсальные бойки имеют плоскую рабочую поверхность. На них выполняют протяжку сплошных поковок прямоугольного, квадратного и круглого сечений. Для протяжки поковок круглого сечения используют различные комплекты бойков (рис. 62). Чем более закрытую форму выреза образуют бойки, тем интенсивнее происходит процесс протяжки, однако усилие протяжки при этом значительно возрастает.

В бойках с углом выреза по  $90^\circ$  можно выполнять протяжку заготовок прямоугольного сечения. Угол при вершине в вырезных бойках может быть равен  $120^\circ$ .

Недостатком полукруглых и фасонных бойков является то, что в них нельзя отковать поковки с резко отличающимися размерами по диаметру. Для получения подобных поковок бойки приходится менять.

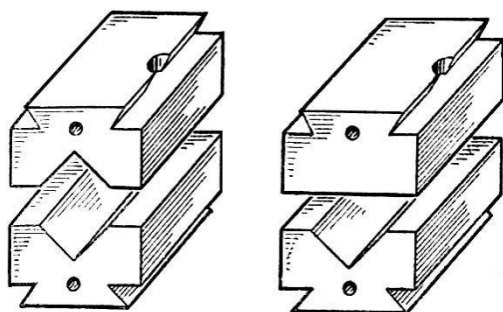


Рис. 61. Бойки

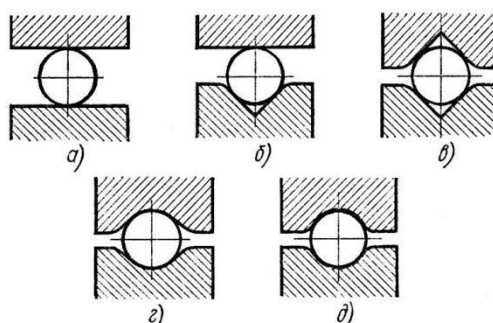


Рис. 62. Формы рабочих поверхностей бойков

- a* – верхний и нижний плоские;
- б* – верхний плоский, нижний вырезной;
- в* - верхний и нижний вырезные;
- г* - верхний и нижний фасонные;
- д* - верхний и нижний профильные

Рабочие поверхности плоских бойков и соприкасающиеся поверхности вырезных и фасонных бойков должны быть строго горизонтальными и плотно прилегать друг к другу. На рабочих поверхностях бойков вмятины и выбоины не допускаются. Кромки рабочих поверхностей должны быть скруглены.

Размеры бойков зависят от мощности ковочного оборудования. С возрастанием массы падающих частей молота или усилия прессы увеличивается ширина бойков.

**Осадочные плиты** применяют только при работе на прессах (рис. 63). Для осадки сплошных поковок из крупных слитков используют сферические плиты. Нижняя плита имеет центральное отверстие, в котором располагается оттянутый хвостовик заготовки. Сферическая форма плит способствует повышению устойчивости заготовки в процессе осадки, но увеличивает бочкообразование.

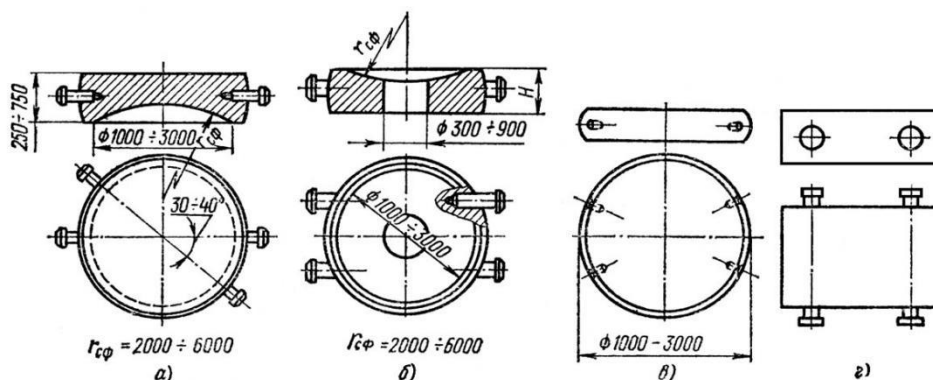


Рис. 63. Осадочные плиты  
 а – верхняя сферическая; б – нижняя сферическая;  
 в – верхняя плоская; з – нижняя плоская

При изготовлении средних и мелких поковок осадку выполняют на плоских плитах, которые могут иметь в плане круглую или прямоугольную форму.

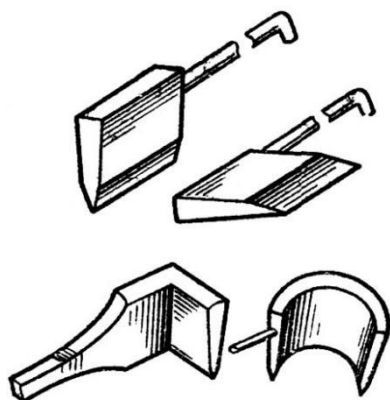


Рис. 64. Топоры

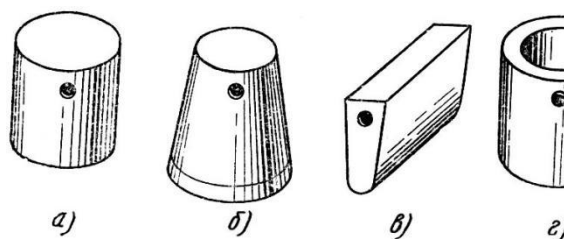


Рис. 65 Прошивни  
 а – цилиндрический; б – конический;  
 в – клиновидный; з - полый

Кроме бойков и осадочных плит для осуществления операцийковки применяются **топоры** (рис. 64), **прошивни** (рис. 65), **раскатки**, **оправки** и **обжимки**.

### Оборудование дляковки

Оборудование дляковки предназначено для получения изделий (поковок) пластическим деформированием. Основное оборудование дляковки можно разделить на две группы: ковочные молоты и гидравлические ковочные прессы.

**Ковочные молоты.** Принцип действия ковочного молота основан на том, что энергия необходимая для деформирования металла передается с помощью удара. Молот состоит из следующих основных частей:

- станина с фундаментной плитой;
- падающие части с верхним бойком;
- шабот – крупная стальная отливка, на которой закреплен нижний боек. Масса шабота обычно в 10–15 раз больше массы падающих частей.

По роду привода молоты делятся на пневматические, паровоздушные, гидравлические и механические.

По принципу действия молоты подразделяются на молоты простого действия и молоты двойного действия. У молотов простого действия энергия удара создается за счет свободного падения подвижных частей. Подъем подвижных частей осуществляется паром, сжатым воздухом или иным энергоносителем. В современном кузнечном производстве молоты простого действия применяются весьма ограниченно.

У молотов двойного действия энергия удара создается за счет свободного падения подвижных частей и дополнительного воздействия на них пара с целью увеличения силы удара. Пар, действующий на подвижные части сверху, увеличивает энергию падающих частей при рабочем ходе почти вдвое. Молоты двойного действия позволяют регулировать скорость подвижных частей за счет изменения количества или давления подаваемого в цилиндр пара.

Наиболее широко применяются паровоздушные и пневматические молоты. К недостаткам молотов следует отнести низкий к.п.д., составляющий иногда 3–4%, и создаваемые ими значительные вибрационные нагрузки.

**Гидравлические ковочные прессы.** В них передача энергии рабочему органу осуществляется при помощи жидкости, находящейся под высоким давлением. Возникающие в процессе работы прессы силы замыкаются в станине и на фундамент не передаются. Фундаменты гидропрессов значительно дешевле молотовых.

Недостатком гидропрессов является их тихоходность и сложность в эксплуатации из-за наличия жидкости под высоким давлением.

**Паровоздушные ковочные молоты** приводятся в действие паром под давлением 700–900 кПа, или сжатым воздухом под давлением до 700 кПа. В зависимости от конструкции станины паровоздушные ковочные молоты подразделяются на одностоечные и двухстоечные.

Двухстоечные ковочные молоты (рис. 66) используют для изготовления средних и относительно крупных поковок. Широко применяют двухстоечные паровоздушные молоты с массой падающих частей от 0,5 до 5 т.

Органы управления ковочными паровоздушными молотами обеспечивают следующие циклы работы:

- последовательные удары – требуются при протяжке заготовки;
- единичные удары – требуются при осадке или обжатии заготовки;
- прижим – требуется при перехвате поковки, скручивании, гибке.

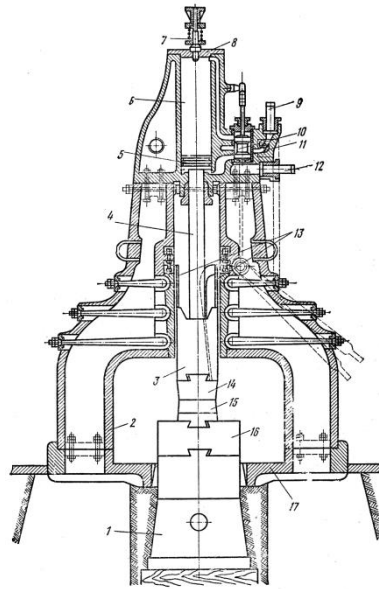


Рис. 66. Паровоздушный двухстоечный ковочный молот двойного действия со станиной арочного типа:

1 – шабот, 2 – стойка станины, 3 – баба, 4 – шток, 5 – поршень, 6 – цилиндр, 7 – предохранитель, 8 – крышка цилиндра, 9 – труба свежего пара, 10 – золотник, 11 – дроссель, 12 – обратная труба, 13 – направляющие, 14 – верхний боек, 15 – нижний боек, 16 – подушка, 17 – фундаментная плита

Молоты арочного типа бывают с массой падающих частей от 1 до 5 т, мостового типа – от 2 до 8 т при числе ударов бойка от 31 до 63 в минуту.

В *пневматических молотах* для передачи движения от привода к падающим частям (бабе) используется упругая рабочая среда. Наибольшее распространение получили пневматические двухцилиндровые одностоечные молоты двойного действия.

Пневматический молот (рис. 67) представляет собой агрегат, состоящий из трех отдельных механизмов: привода, компрессора и собственно молота.

От электромотора 15 через ременную передачу 14 приводится во вращение кривошипный вал 16, который через шатун 13 приводит в движение поршень 9 компрессора. При ходе поршня вверх сжатый воздух из верхней части цилиндра по каналу 8 через распределительный кран 11 поступает в рабочий цилиндр 6, давит на дно поршня, изготовленного заодно с бабой 5, заставляя его двигаться вниз. При ходе поршня компрессора вниз воздух через кран 12 и канал 7 поступает в рабочий цилиндр и поднимает поршень с бабой вверх.

Верхний боек 4 крепится к бабе, нижний боек 3 – к промежуточной подушке 2, установленной на шаботе 1.

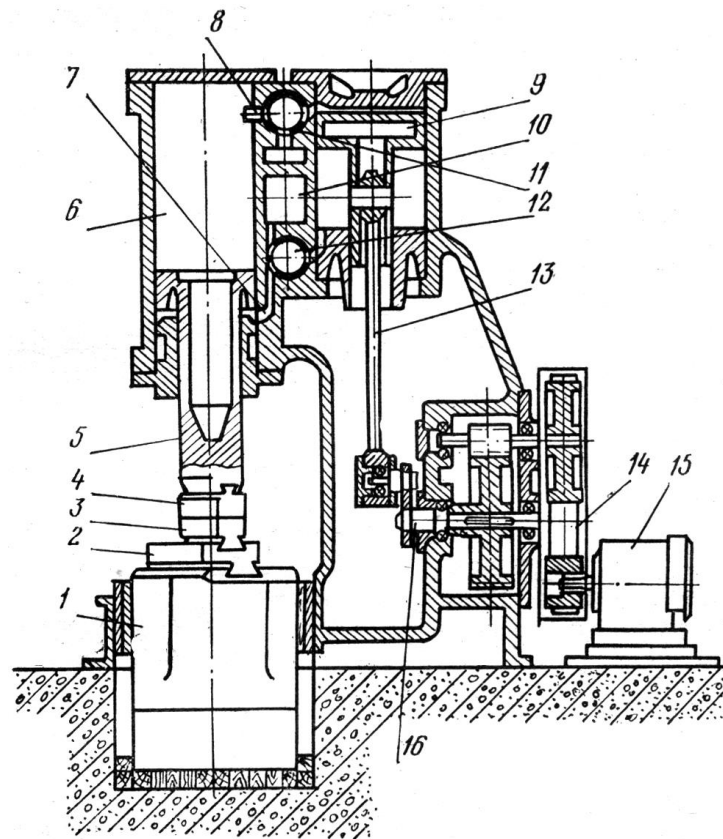


Рис. 67. Пневматический двухцилиндровый одностоечный ковочный молот двойного действия

Пневматические молоты предназначены для изготовления мелких и средних поковок. Эти молоты обладают большой быстроходностью (до 225 ударов в минуту) и относительно большим к.п.д. (в среднем 35%). Промышленностью выпускаются пневматические молоты с массой падающих частей от 50 до 1000 кг. С большей массой падающих частей такие молоты не изготавливают, так как они становятся очень громоздкими и неэкономичными.

**Гидравлический ковочный пресс** является частью гидропрессовой установки, в которую входят также устройство, питающее пресс жидкостью высокого давления, устройства для наполнения гидросистемы жидкостью, устройства для управления прессом. Все части гидропрессовой установки должны находиться в помещении, где всегда поддерживается положительная температура.

Рабочая жидкость для гидравлических ковочных прессов должна быть огнестойкой. В качестве рабочей жидкости в ковочных прессах используют водную эмульсию. Однако поскольку в состав такой жидкости входит масло, presses оснащаются устройствами, предотвращающими попадание масла в нагретую зону пресса.

Гидравлические presses развивают усилие от 500 т (5 МН) до 15000 т (150 МН). На presses с усилием 1000 т могут коваться слитки массой около 8 т, а на presses с усилием 10000 т – слитки массой около 250 т.

На рис. 68 показана схема устройства гидравлического ковочного пресса с насосно-аккумуляторным приводом.

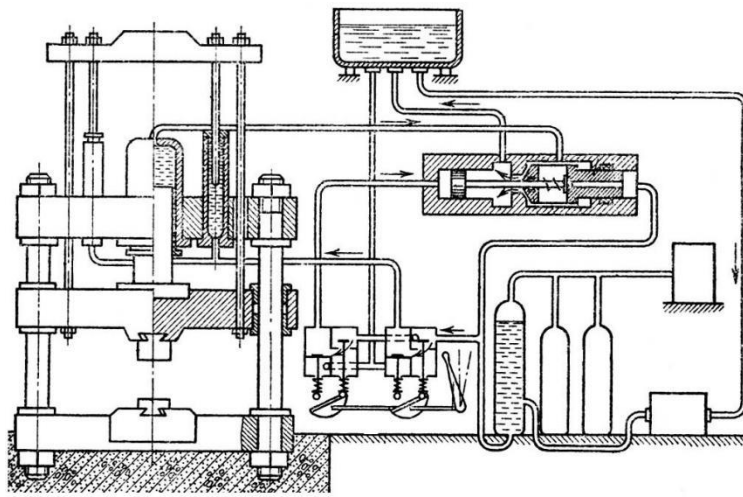


Рис. 68. Схема устройства гидравлического ковочного прессы с насосно-аккумуляторным приводом

Работа прессы осуществляется посредством попеременного впуска воды высокого давления ( $20\text{--}30 \text{ МН/м}^2$ ) в рабочий и подъемные цилиндры. Управление прессом производится машинистом с помощью клапанного распределителя.

### Тема 2.3. Заготовки, получаемые горячей объемной штамповкой

Горячая объемная штамповка (ГОШ) является одним из способов обработки металлов давлением, при котором свободное течение металла ограничивается поверхностями полостей штампа. Металл заполняет полость (ручей) штампа, имеющую форму изделия – поковки.

Горячая объемная штамповка находит широкое применение в современном машиностроении, поскольку дает возможность изготовить поковку с высокими механическими свойствами и по конфигурации очень близкой к готовой детали. Более 20% заготовок деталей машин изготавливается методом горячей объемной штамповки.

Штамповкой можно изготавливать поковки весом до 400–500 кг, а в отдельных случаях до 2 т. При применении штамповочных гидравлических прессов вес поковок может достигать 5 т.

Штамповочный инструмент – штамп имеет значительную стоимость и пригоден для изготовления поковки определенной конфигурации. Поэтому штамповка становится рентабельной только в условиях массового и крупносерийного производства.

Преимущества горячей объемной штамповки выявляются при технико-экономическом сравнении различных видов обработки металлов давлением.

По сравнению со свободной ковкой штамповка имеет ряд преимуществ:

- высокая производительность, во много раз превышающая производительность свободнойковки;
- однородность и точность получаемых поковок – допуски при горячей объемной штамповке в 3 – 4 раза меньше, чем при свободной ковке;
- возможность получения заготовок сложной конфигурации.

Исходным материалом для горячей объемной штамповки являются сортовой прокат, прессованные прутки, литая заготовка, в крупносерийном производстве – периодический прокат, что обеспечивает сокращение подготовительных операций.

### Формообразование при горячей объемной штамповке

Основная операция ГОШ может быть выполнена за один или несколько переходов. При каждом переходе формообразование осуществляется специальной рабочей полостью штампа – *ручьем* (*гравюрой*). Переходы и ручки делятся на две группы: заготовительные и штамповочные. Схема технологического процесса получения сложной заготовки в нескольких ручьях представлена на рис. 69.

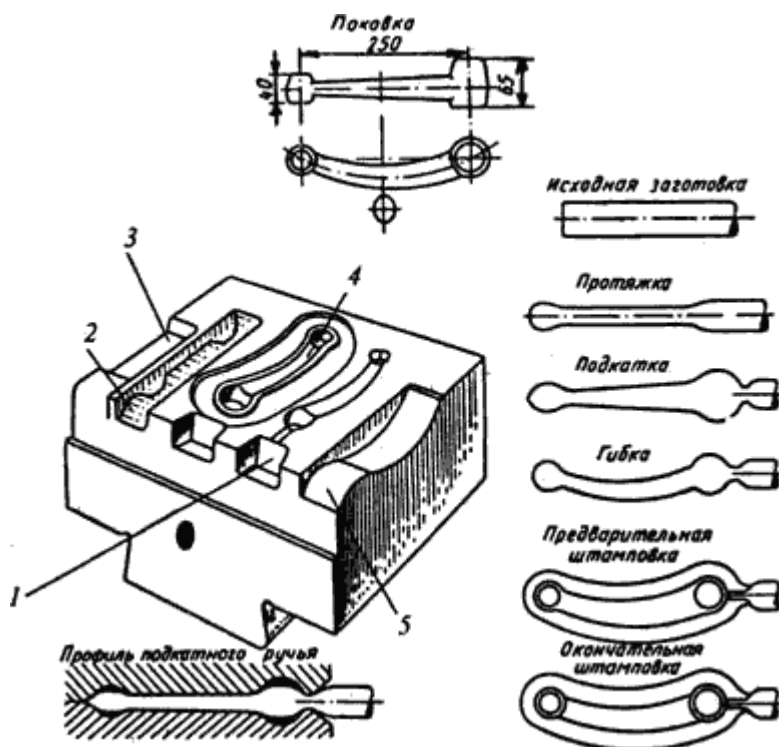


Рис. 69. Стадии получения сложной поковки в нескольких ручьях  
 1 – черновой ручей; 2 – подкатной ручей; 3 – протяжной ручей;  
 4 – чистовой ручей, 5 – гибочный ручей

**Заготовительные ручки** предназначены для фасонирования в штампах.

**Фасонирование** – перераспределение металла заготовки с целью придания ей формы, обеспечивающей последующую штамповку с малым отходом металла.

К заготовительным ручьям относятся протяжной, подкатной, гибочный и пережимной, а также площадка для осадки.

**Протяжной ручей** предназначен для увеличения длины отдельных участков заготовки за счет уменьшения площади их поперечного сечения, выполняемого воздействием частых слабых ударов с кантованием заготовки.

**Подкатной ручей** служит для местного увеличения сечения заготовки (набора металла) за счет уменьшения сечения рядом лежащих участков, то есть для распределения объема металла вдоль оси заготовки в соответствии с

распределением его в поковке. Переход осуществляется за несколько ударов с кантованием.

**Пережимной ручей** предназначен для уменьшения вертикального размера заготовки в местах, требующих уширения. Выполняется за 1–3 удара.

**Гибочный ручей** применяют только при штамповке поковок, имеющих изогнутую ось. Служит для придания заготовке формы поковки в плоскости разреза. Из гибочного ручья в следующий ручей заготовку передают с поворотом на  $90^\circ$ .

При штамповке поковок, имеющих в плане форму окружности или близкую к ней, часто применяют осадку исходной заготовки до требуемых размеров по высоте и диаметру. Для этого на плоскости штампа предусматривают **площадку для осадки**.

**Штамповочные ручьи** предназначены для получения готовой поковки. К штамповочным ручьям относятся черновой (предварительный) и чистовой (окончательный).

**Черновой ручей** предназначен для максимального приближения формы заготовки к форме поковки сложной конфигурации. Глубина ручья несколько больше, а поперечные размеры меньше, чем у чистового ручья (чтобы заготовка свободно укладывалась в чистовой ручей). Радиусы скругления и уклоны увеличиваются. В открытых штампах черновой ручей не имеет облойной канавки. Применяется для снижения износа чистового ручья, но может отсутствовать.

**Чистовой ручей** служит для получения готовой поковки, имеет размеры «горячей поковки», то есть больше, чем у холодной поковки, на величину усадки. В открытых штампах по периметру ручья предусмотрена облойная канавка, для приема избыточного металла. Чистовой ручей расположен в центре штампа, так как в нем возникают наибольшие усилия при штамповке.

Технологический процесс ГОШ отличается значительным разнообразием и определяется выбором самого изделия и применяемым оборудованием.

Технологический процесс зависит от формы поковки. По форме в плане поковки делятся на две группы: диски и поковки удлиненной формы.

К первой группе относятся круглые или квадратные поковки, имеющие сравнительно небольшую длину: шестерни, диски, фланцы, ступицы, крышки и др. Штамповка таких поковок производится осадкой в торец исходной заготовки с применением только штамповочных переходов.

Ко второй группе относятся поковки удлиненной формы: валы, рычаги, шатуны и др. Штамповка таких поковок производится протяжкой исходной заготовки (плашмя). Перед окончательной штамповкой таких поковок в штамповочных ручьях требуется фасонирование исходной заготовки в заготовительных ручьях штампа, свободной ковкой или на ковочных вальцах.

Так как характер течения металла в процессе штамповки определяется типом штампа, то этот признак можно считать основным для классификации способов штамповки. В зависимости от типа штампа выделяют штамповку в открытых и закрытых штампах.

**Штамповка в открытых штампах** (рис. 70) характеризуется переменным зазором между подвижной и неподвижной частями штампа. В этот зазор вытекает часть металла – облой, который закрывает выход из полости штампа и заставляет остальной металл заполнить всю полость.



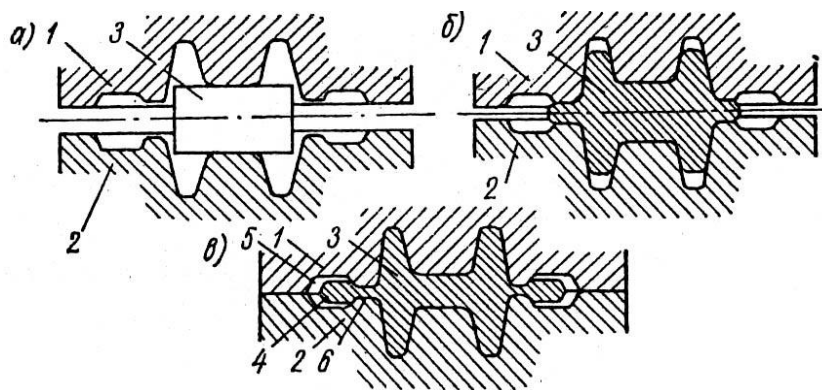


Рис. 70. Схема образования облоя в открытых штампах

В первоначальный момент (рис. 70,а) заготовка 3 зажата между верхним 1 и нижним 2 штампами. Далее металл заготовки 3 начинает затекать в углубления штампа и в зазор между штампами (рис. 70,б). При смыкании половинок штампа (рис. 70,в) происходит заполнение его полости и выдавливание избытка металла в виде облоя 4 в заусенечную канавку 5.

Заполнение полости открытого штампа возможно лишь при достаточном сопротивлении течению металла в облой, что достигается за счет уменьшения зазора между половинками штампа и охлаждения металла на участке мостика 6. Таким образом, в процессе штамповки заусенец служит как бы замыкающим кольцом, препятствующим вытеканию металла в зазор между штампами, пока не произошло заполнение формы. С этого момента в заусенечную канавку вытесняется только излишек металла. Заусенец после штамповки удаляют при помощи обрезных штампов, устанавливаемых на обрезных кривошипных прессах.

**Штамповка в закрытых штампах** (рис. 71) характеризуется тем, что полость штампа в процесс деформирования остается закрытой. Зазор между подвижной и неподвижной частями штампа постоянный и небольшой, образование в нем облоя не предусмотрено.

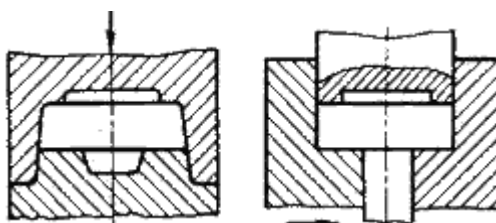


Рис. 71. Схемы штамповки в закрытых штампах

Устройство таких штампов зависит от типа машины, на которой штампуют. Например, нижняя половина штампа может иметь полость, а верхняя – выступ (на прессах), или верхняя – полость, а нижняя – выступ (на молотах). Закрытый штамп может иметь две взаимно перпендикулярные плоскости разреза

При штамповке в закрытых штампах необходимо строго соблюдать равенство объемов заготовки и поковки, иначе при недостатке металла не заполняются углы полости штампа, а при избытке размер поковки по высоте будет больше требуемого. Следовательно, для резки исходных заготовок должны применяться

способы, обеспечивающие достаточно высокую точность, например, резка дисковыми или ленточными пилами.

Существенное преимущество штамповки в закрытых штампах – уменьшение расхода металла из-за отсутствия облоя. Поковки имеют более благоприятную структуру, так как волокна обтекают контур поковки, а не перерезаются в месте выхода металла в облой. Металл деформируется в условиях всестороннего неравномерного сжатия при больших сжимающих напряжениях, это позволяет получать большие степени деформации и штамповать малопластичные сплавы.

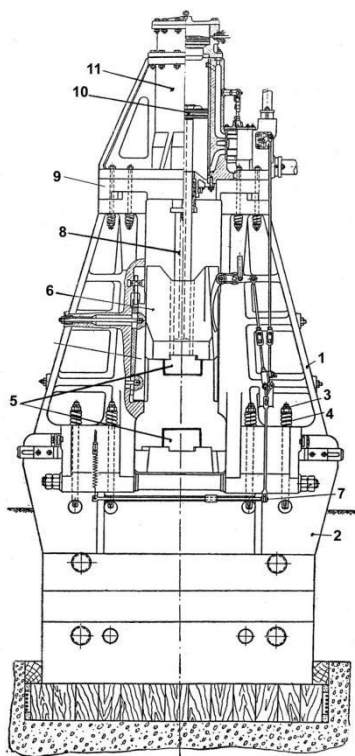
### Оборудование для горячей объемной штамповки

Горячая объемная штамповка производится на различных машинах, к числу которых относятся штамповочные молоты, кривошипные горячештамповочные прессы, горизонтально-ковочные машины, гидравлические и фрикционные прессы, ротационно-ковочные машины, ковочные валцы и др.

В современных кузнечно-штамповочных цехах штамповка на молотах занимает ведущее место по числу выпускаемых поковок.

Основными видами штамповочных молотов являются паровоздушные и приводные фрикционные. **Паровоздушные молоты** (рис. 72) относятся к молотам двойного действия, поскольку процесс штамповки производится как за счет работы падающих частей, так и за счет работы сжатого воздуха или пара. Приводные фрикционные молоты относятся к молотам простого действия, так как деформация металла при штамповке производится только за счет работы падающих частей.

К достоинству молотов относится возможность деформировать заготовки быстро и многократно в каждом ручье, что обеспечивает большие суммарные деформации. Это особенно важно при заполнении значительных выступов в поковке. Многократные обжатия позволяют осуществлять чрезвычайно энергоемкие операции.



Все штамповочные молоты имеют двухстоечную станину, причем в отличие от ковочных молотов стойки станины устанавливаются непосредственно на шаботе. Штамповочные молоты всегда имеют усиленные регулируемые направляющие для движения бабы. Непосредственная установка станины на шаботе, а также усиленные регулируемые направляющие бабы обеспечивают необходимую при штамповке точность соударения штампов.

Шабот молота 2 представляет собой массивную стальную отливку, которая свободно устанавливается в неглубокий колодец фундамента на подушку из дубовых брусьев и закрепляется такими же брусьями с боков. К шаботу 2 прикрепляются болтами 3 с пружинами 4 литые стойки 1, которые вверху смыкаются стальной плитой 9. На плите укрепляется цилиндр молота 11. Падающие части молота включают: стальной поршень 10, шток 8 и стальную кованую бабу 6 с верхним штампом 5. Управление молотом осуществляется педалью 7, на которую штамповщик нажимает для нанесения удара. Баба молота скользит по призматическим направляющим, укрепленным на стойках 1.

Молот может совершать различные циклы: качание бабы, единичные удары различной силы, а также прижим штампов. Сила удара зависит от степени нажатия на педаль и от положения бабы в момент нажатия на педаль. При работе в заготовительных ручьях штампа штамповщик производит частые и слабые удары, а при работе в штамповочных ручьях – редкие и сильные. При медленно нажатой педали баба будет опущена вниз, что соответствует циклу прижима штампов.

В зависимости от веса падающих частей молот может совершать 60–80 ударов в минуту. Паровоздушные молоты применяются главным образом при многоручьевой штамповке и строятся с весом падающих частей 16–30 т.

Эксплуатационный коэффициент полезного действия молота, работающего на паре, составляет около 2%, при работе на сжатом воздухе – около 4–5%.

Основным недостатком этих молотов помимо их невысокого к.п.д., является сильное сотрясение почвы, вследствие которого преждевременно разрушаются здания. Наличие у молотов громоздких фундаментов вызывает необходимость проведения сложных строительных работ при их установке.

**На кривошипных горячештамповочных прессах (КГШП)** можно производить почти все виды работ, включая многоручьевую штамповку и изготавливать поковки различной конфигурации с массой до 100 кг. Применение этих прессов по сравнению с молотами дает следующие важные преимущества:

- отсутствие сотрясения почвы;
- меньшие фундаменты;
- более высокий эксплуатационный к.п.д. пресса (6–8%);
- более высокую производительность (в 1,5–3 раза превышает производительность молота);
- большую точность поковок (особенно по высоте поковки);
- меньшие штамповочные уклоны (2–3°) вследствие наличия выталкивателей в штампе;
- меньший удельный расход энергии;
- возможность использования штамповщиков более низкой квалификации;
- лучшие возможности механизации и автоматизации штамповочных работ.

Кривошипный пресс представляет собой кузнечно-штамповочную машину, у которой рабочий орган – ползун, несущий инструмент, приводится в возвратно-поступательное движение при помощи кривошипно-шатунного механизма (рис. 73).

Кривошипные прессы, предназначенные для горячей штамповки, отличаются высокой жесткостью конструкции в целях снижения упругих деформаций, усиленными направляющими для обеспечения точности движения ползуна и наличием выталкивателей в столе и ползуне, обеспечивающих возможность автоматически извлекать поковку из штампа.

Для горячей штамповки применяют кривошипные горячештамповочные прессы с усилием от 630 до 10000 т.

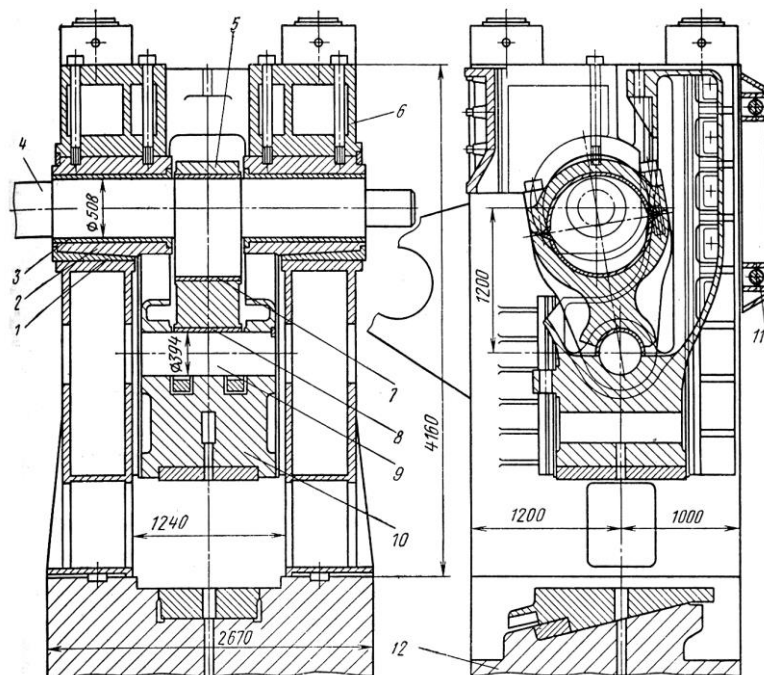


Рис. 73. Схема кривошипного горячештамповочного прессы

Горячая штамповка на **горизонтально-ковочных машинах (ГКМ)**, являясь одним из высокопроизводительных и экономичных способов, имеет широкое применение в производстве поволоков различной конфигурации. На ГКМ можно штамповать поволоки шестерен, клапанов, болтов, гаек, колец, втулок, фланцев, валиков с уступами и т.п. Кроме этого, на ГКМ могут производиться заготовительные операции для последующей штамповки на других машинах.

Горизонтально-ковочные машины представляют собой механический пресс, расположенный в горизонтальной плоскости (рис. 74).

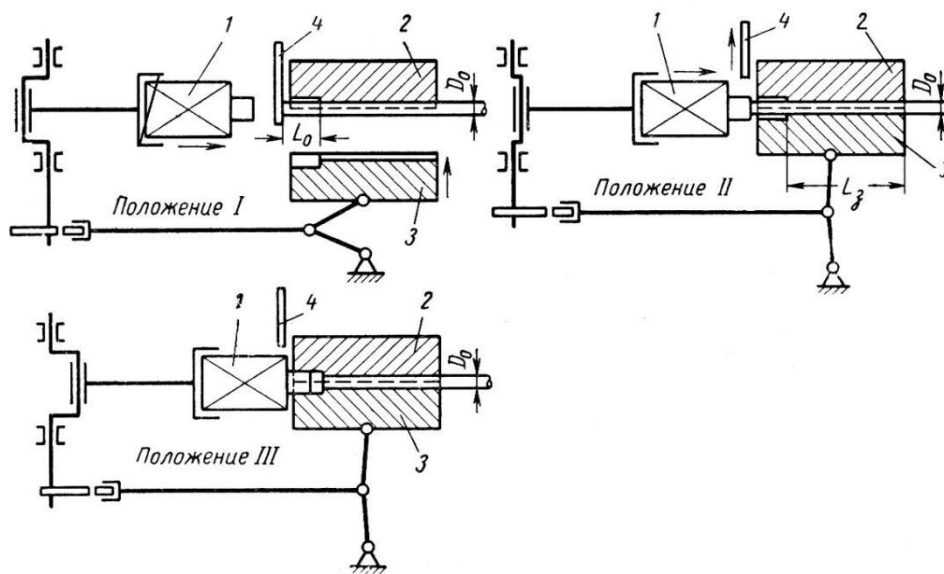


Рис. 74. Схема штамповки на горизонтально-ковочных машинах

Кроме главного деформирующего ползуна имеется ползун, осуществляющий смыкание и размыкание блока матриц, движение которого перпендикулярно движению главного ползуна. В отличие от штампов, молотовых и прессовых, штампы для ГКМ имеют два взаимно перпендикулярных разъема и могут быть открытыми и закрытыми. Основной разъем проходит между пуансоном, который закреплен в блоке 1 пуансонов, и матрицей, расположенной в блоках матриц: неподвижном 2 и подвижном 3. В начале процесса пуансон и обе половины матрицы находятся в разомкнутом состоянии (положение I). Пруток металла диаметром  $D_0$  вкладывается в неподвижную часть матрицы до упора 4, положение которого отрегулировано так, что в полости матрицы оказывается участок прутка необходимой длины  $L_0$ . Затем включают машину на рабочий ход. При этом подвижные части штампов приходят в движение в следующем порядке: прежде всего в рабочее положение становится подвижная часть матрицы, находящаяся в блоке 3 (положение II). Это обеспечивает плотный зажим прутка на длине  $L_3$ , после чего упор 4 отходит, а пуансон приходит в соприкосновение с прутком металла. При дальнейшем движении пуансона производится высадка свободной длины  $L_0$  прутка; при этом заготовка приобретает форму полости ручья (положение III).

При обратном ходе машины из полости матрицы удаляется пуансон с блоком 1, затем отходит блок 3 с частью матрицы, после чего становится в исходное положение упор 4 и штамповщик может вынуть из ручья прутки с высаженным концом. Такой порядок передвижения частей инструмента обеспечивается кривошипной системой главного хода и кулачковой системой бокового хода машины.

Поковки, получаемые на ГКМ, обычно имеют форму тел вращения. Припуски и допускаемые отклонения размеров поковок, штампуемых на ГКМ, определяют по ГОСТ 7505-89.

Штамповка на ГКМ применяется в условиях крупносерийного и массового производства. Исходной заготовкой для штамповки на ГКМ является прокат в виде мерных заготовок или прутков, чаще круглого сечения и реже квадратного. От прутка на ГКМ штампуют поковки типа колец, причем процесс в большинстве случаев осуществляется без перемычки и заусенца, в отличие от штамповки

подобных поковок на молотах и прессах, требующей разделки прутка на штучные заготовки и введения операций обрезки облоя и пробивки отверстий.

Поковки, изготавливаемые на ГКМ, по форме могут быть отнесены к двум основным группам:

- поковки типа стержня сплошного сечения с одним или несколькими утолщениями по его длине;
- поковки типа колец и втулок со сквозными отверстиями.

При штамповке деформируемая часть заготовки размещается в ручье и может быть подвергнута осадке, прошивке и более сложной деформации. Зажатая матрицами часть прутка при этом остается недеформированной. Утолщение может быть получено как на концах прутка, так и в средней части заготовки. Возможна штамповка поковок с несколькими утолщениями. При этом в утолщениях, расположенных на концах прутка, могут быть прошиты глухие отверстия. При пробивке сквозных отверстий недеформируемая часть исходного прутка не зажимается, и пробивка обычно совмещается с отделением поковки от последнего. Таким образом, штамповка поковок со сквозными отверстиями является как бы заключительным этапом штамповки поковок типа стержня с концевым утолщением.

Штамповка на ГКМ имеет целый ряд преимуществ:

- возможность штамповки в закрытых штампах (без облоя);
- возможность штамповки без штамповочных уклонов, что сокращает припуски и допуски на поковку;
- возможность обеспечения в поковке наиболее благоприятного направления волокон макроструктуры, придающего ей наибольшую прочность;
- высокая производительность, достигающая 400–900 поковок в час;
- возможность полной автоматизации технологического процесса штамповки.

При работе на ГКМ могут быть осуществлены следующие основные операции:

- осадка в торец и высадка середины заготовки;
- глубокая прошивка с раздачей металла в стороны;
- сквозная прошивка отверстий;
- гибка;
- отрезка отштампованной поковки от прутковой заготовки.

Технологический процесс штамповки на горизонтально-ковочных машинах существенно отличается от процесса, осуществляемого на молотах и прессах. При многоручьевой штамповке на ГКМ наиболее часто применяют наборные, формовочные, прошивные и пробивные переходы.

Наборные переходы, являясь заготовительными, служат для увеличения толщины деформируемой части заготовки перед последующей формовкой и прошивкой. Осуществляются они высадкой, так же как и формовка, придающая утолщенной части поковки требуемую фасонную форму (рис.75 ).

Формовку и прошивку обычно производят одновременно, при этом пробивку сквозных отверстий в поковках, как правило, совмещают с отделением последних от прутка.

Кроме указанных переходов, при штамповке на ГКМ осуществляют обрезку облоя, отрезку негодного под штамповку конца прутка, пережим прутка на

меньшее сечение, гибку, штамповку выдавливанием и другие специальные переходы.

Штамповка на ГКМ ведется в основном высадкой, т.е. направление действующих усилий параллельно оси заготовки; в операциях формообразования имеет место увеличение площади поперечного сечения исходной заготовки и сокращение ее начальной длины (рис. 75).

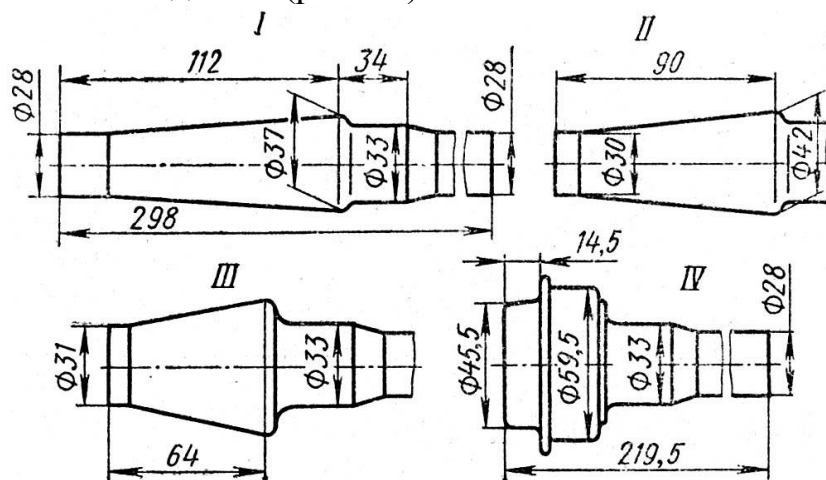


Рис. 75. Набор металла (I-III) и высадка головки заготовки детали (IV)

Обычно штамповка осуществляется за несколько переходов (в нескольких ручьях) с одного нагрева, причем объем заготовки во всех ручьях остается неизменным. Полости для формообразования поковки могут быть одновременно и в матрице, и в пуансоне или только в пуансоне и реже только в матрице.

Поковки могут быть получены как на универсальных, так и на автоматизированных ГКМ.

Проектирование технологического процесса штамповки на ГКМ начинается, прежде всего, с выбора диаметра исходного прутка. Поскольку при работе на этих машинах операция вытяжки не производится, то площадь поперечного сечения прутка должна быть не больше минимальной площади поперечного сечения поковки. При штамповке поволоков типа клапанов, болтов, валиков с шестернями, полуосей автомобилей и подобных им диаметр прутка выбирается равным диаметру детали. Для поволоков с отверстиями диаметр прутка может приниматься равным диаметру отверстия, больше или меньше его.

### Примеры характерных работ на ГКМ

**Штамповка шарнирной стойки** (рис. 76) осуществляется из мерной заготовки в пять переходов.

Головку штампуют с облоем и его обрезкой на этой же ковочной машине. Окончательная форма головки образуется методом глубокой прошивки. Отходом являются облой и выдра. Штамповку ведут на универсальной ГКМ; перекладку заготовки осуществляют с помощью специальных клещей.

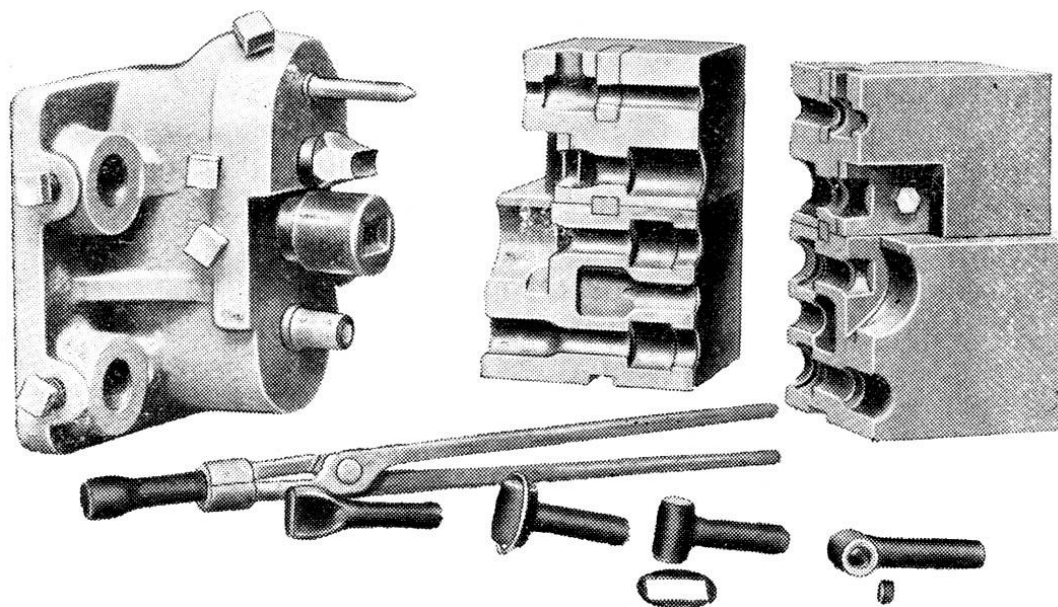


Рис. 76. Штамповка шарнирной стойки

**Штамповка шестерни заднего хода** трактора (рис. 77) осуществляется с использованием набора металла на конце прутка в подвижных (скользящих) матрицах, прошивки сквозного отверстия и пережима исходного прутка, что позволяет штамповать эту сложную поковку в три перехода. Диаметр прутка принимается равным 90 мм по наименьшему наружному диаметру поковки с учетом использования объема металла, вытесняемого из отверстия.

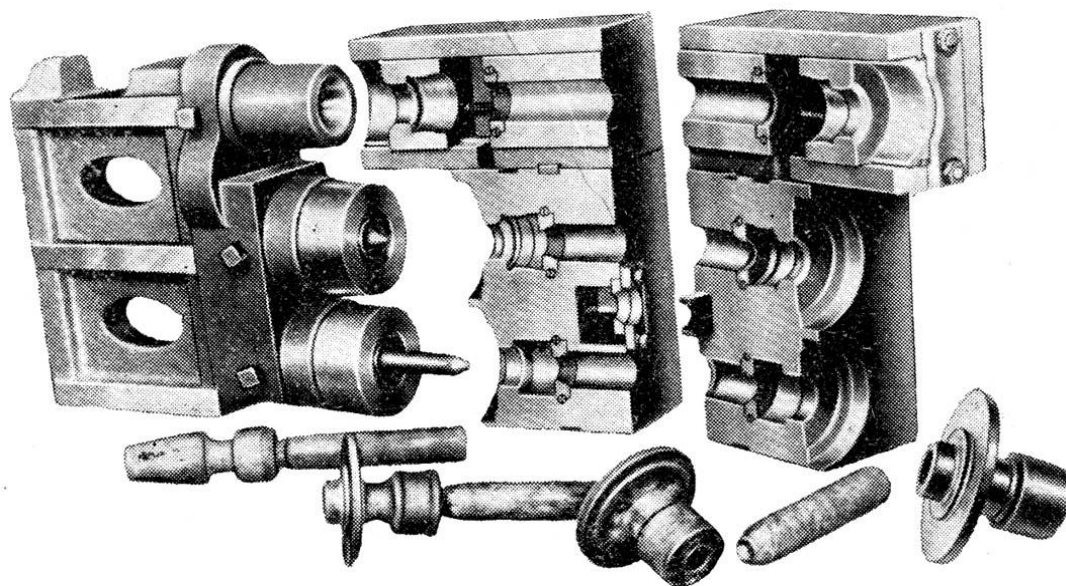


Рис. 77. Штамповка шестерни заднего хода трактора

В первом ручье производится: пережим прутка до диаметра отверстия втулки, набор металла в скользящей части штампа для утолщенного конца втулки и набор металла для фланца в пуансоне. Диаметры набираемой заготовки меньше окончательных за счет вытеснения металла в последующих переходах при изготовлении отверстия. Во втором ручье оформляется фланец и намечается отверстие. В третьем – прошивается отверстие, и за счет вытесняемого при этом



металла придаются окончательные размеры наружным диаметрам втулки. Поковка отделяется от прутка в процессе прошивки. Пережатая часть прутка не пригодна для последующих штамповок. Она отрезается специальным ножом, закрепленным в зажимных матрицах.

**Поковка шарнира** (рис. 78) штампуется из мерной заготовки в один нагрев, с вытеснением металла и обрезкой облоя.

Первый переход – набор металла для головки – производится в среднем ручье штампа в конусной плоскости пуансона, второй – осадка головки наметка отверстия – во втором ручье, и третий – окончательное оформление пустотелой головки методом прошивки – в нижнем ручье. Затем заготовку поворачивают, и четвертый переход – штамповка шарообразной головки – производится во втором от верха ручье, после чего в верхнем ручье обрезается кольцевой облой.

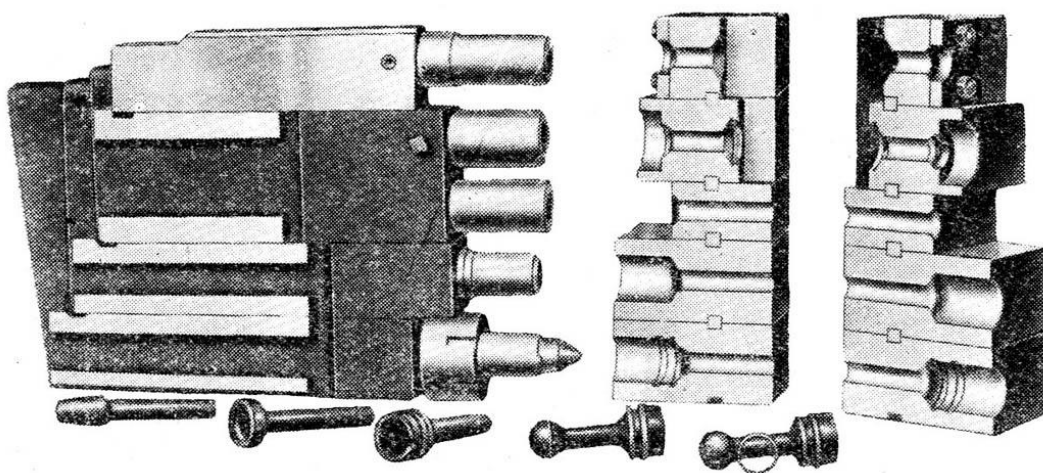


Рис. 78. Штамповка шарнира

### Технологический процесс горячей объемной штамповки

Технологический процесс изготовления поковки включает следующие операции: отрезка проката на мерные заготовки, нагрев, штамповка, обрезка облоя и пробивка пленок, правка, термическая обработка, очистка поковок от окалины, калибровка, контроль готовых поковок.

Перед штамповкой заготовки должны быть нагреты равномерно по всему объему до заданной температуры. При нагреве должны быть минимальными окалинообразование (окисление) и обезуглероживание поверхности заготовки. Используются электроконтактные установки, в которых заготовка, зажата медными контактами, нагревается при пропускании по ней тока; индукционные установки, в которых заготовка нагревается вихревыми токами; газовые печи, с безокислительным нагревом заготовок в защитной атмосфере.

Штамповку осуществляют в открытых и закрытых штампах. В открытых штампах получают поковки удлиненной и осесимметричной формы. В закрытых штампах – преимущественно осесимметричные поковки, в том числе из малопластичных материалов. Поковки простой формы штампуют в штампах с

одной полостью. Сложные поковки с резкими изменениями сечений по длине, с изогнутой осью и т.п. штампуют в многоручьевых штампах.

После штамповки в открытых штампах производят обрезку облоя и пробивку пленок в специальных штампах, устанавливаемых на кривошипных прессах (рис. 79).

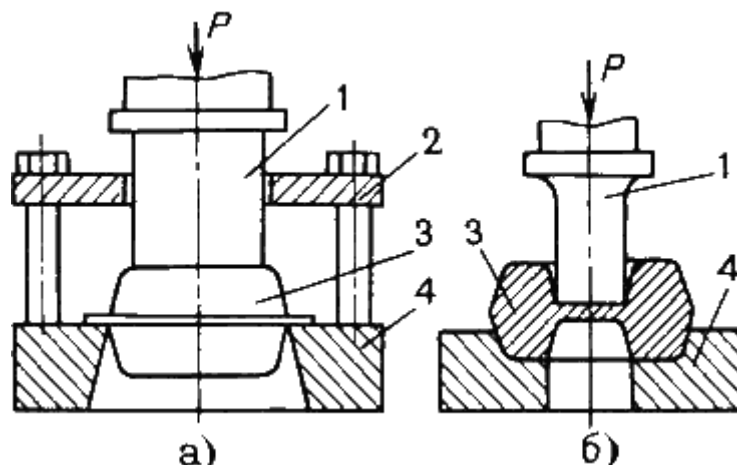


Рис. 79. Схемы обрезки облоя (а) и пробивки пленок (б)

Правку штампованных поковок выполняют для устранения искривления осей и искажения поперечных сечений, возникающих при затрудненном извлечении поковок из штампа, после обрезания облоя, после термической обработки. Крупные поковки и поковки из высокоуглеродистых и высоколегированных сталей правят в горячем состоянии либо в чистовом ручье штампа сразу после обрезки облоя, либо на обрезном прессе (обрезной штамп совмещается с правочным штампом), либо на отдельной машине. Мелкие поковки правят на винтовых прессах в холодном состоянии после термической обработки.

Термическую обработку применяют для получения требуемых механических свойств поковок и облегчения их обработки резанием. Отжиг снимает в поковках из высокоуглеродистых и легированных сталей остаточные напряжения, измельчает зерно, снижает твердость, повышает пластичность и вязкость. Нормализацию применяют для устранения крупнозернистой структуры в поковках из сталей с содержанием углерода до 0,4%.

Очистку поковок от окалины производят для облегчения контроля поверхности поковок, уменьшения износа металлорежущего инструмента и правильной установки заготовки на металлорежущих станках. На дробеструйных установках окалину с поковок, перемещающихся по ленте конвейера, сбивают потоком быстро летящей дроби диаметром 1–2 мм. В галтовочных барабанах окалина удаляется благодаря ударам поковок друг о друга и о металлические звездочки, закладываемые во вращающийся барабан.

Калибровка поковок повышает точность размеров всей поковки или отдельных ее участков. В результате этого последующая механическая обработка устраняется полностью или ограничивается только шлифованием. Различают плоскостную и объемную калибровку. Плоскостная калибровка служит для получения точных вертикальных размеров на одном или нескольких участках поковки. Объемной калибровкой повышают точность размеров поковки в разных направлениях и улучшают качество ее поверхности. Калибруют в штампах с ручьями, соответствующими конфигурации поковки.

## Ротационные способы изготовления поковок

В основе этих способов лежит процесс ротационного обжатия при вращении инструмента или заготовки. При обкатывании инструментом заготовки очаг деформации имеет локальный характер и постоянно перемещается по заготовке, вследствие чего усилие, действующее на инструмент, меньше чем при штамповке. Это позволяет изготавливать поковки большой массы (заготовка вагонных осей) с большой точностью, так как упругие деформации при меньших усилиях меньше.

**Штамповка на ковочных вальцах** напоминает продольную прокатку. На двух валках закрепляют секторные штампы, имеющие соответствующие ручки (рис. 80,а).

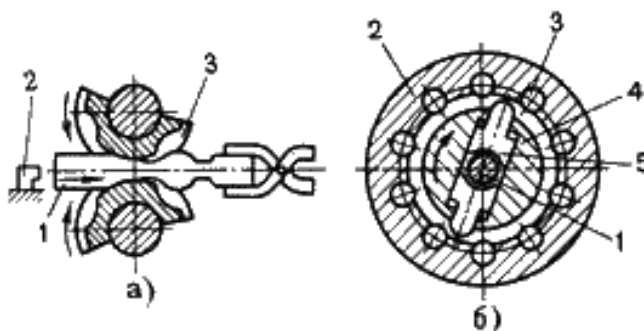


Рис. 80. Схемы действия ковочных вальцов (а), ротационно-ковочной машины (б)

Нагретую заготовку 1 подают до упора 2 в момент, когда секторные штампы 3 расходятся. При повороте валков происходит захват заготовки и обжатие ее по форме полости. Одновременно с обжатием заготовка выталкивается в сторону подачи.

На вальцах изготавливают поковки типа звеньев цепей, рычагов, гаечных ключей и т.п., а также осуществляют фасонирование заготовок. Исходное сечение заготовки принимают равным максимальному сечению поковки, так как при вальцовке происходит главным образом протяжка.

**Штамповка на ротационно-ковочных машинах** подобна операции протяжки и заключается в местном обжатии заготовки по периметру (рис. 80,б). Заготовку 1 в виде прутка или трубы помещают в отверстие между бойками 5, находящимися в шпинделе 4 машины. Бойки могут свободно скользить в радиально расположенных пазах шпинделя. При вращении шпинделя ролики 3, помещенные в обойме 2, толкают бойки, которые наносят удары по заготовке. В исходное положение бойки возвращаются под действием центробежных сил. В машинах этого типа получают поковки, имеющие форму тел вращения. Существуют машины, у которых вместо шпинделя с бойками вращается обойма с роликами; в этом случае для возвратного движения ползунов служат пружины. В таких машинах получают поковки квадратного, прямоугольного и других сечений.

## Штамповка жидкого металла

Штамповка жидкого металла является одним из прогрессивных технологических процессов, позволяющих получать плотные заготовки с уменьшенными пропусками на механическую обработку, с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Технологический процесс штамповки жидкого металла объединяет в себе процессы литья и горячей объемной штамповки.

Процесс заключается в том, что расплав, залитый в матрицу пресс-формы, уплотняют пуансоном, закрепленным на ползуне гидравлического пресса, до окончания затвердевания.

Сопряжение пуансона и матрицы образует закрытую фасонную полость. Наружные контуры заготовки получают разъемной формой, если деталь имеет наружные выступы, или неразъемной формой – при отсутствии выступов. Внутренние полости образуются внедрением пуансона в жидкий металл.

После извлечения из пресс-формы заготовку подвергают различным видам обработки или используют без последующей обработки.

Под действием высокого давления и быстрого охлаждения газы, растворенные в расплаве, остаются в твердом растворе. Все усадочные пустоты заполняются незатвердевшим расплавом, в результате чего заготовки получаются плотными, с мелкокристаллическим строением, что позволяет изготавливать детали, работающие под гидравлическим давлением.

Этим способом можно получить сложные заготовки с различными фасонными приливами на наружной поверхности, значительно выходящими за пределы основных габаритных размеров детали. В заготовках могут быть получены отверстия, расположенные не только вдоль движения пуансона, но и в перпендикулярном направлении.

Возможно запрессовывать в заготовки металлическую и неметаллическую арматуру.

Процесс используется для получения фасонных заготовок из чистых металлов и сплавов на основе магния, алюминия, меди, цинка, а также из черных металлов.

## Тема 2.4. Заготовки из сортового и специального проката

**Прокатка** – это наиболее распространенный способ обработки пластическим деформированием. Прокатке подвергают до 90 % всей выплавляемой стали и большую часть цветных металлов. Способ зародился в XVIII веке и, претерпев значительное развитие, достиг высокого совершенства.

Сущность процесса состоит в том, что заготовка обжимается (сдавливается), проходя в зазор между вращающимися валками, при этом, она уменьшается в своем поперечном сечении и увеличивается в длину. Форма поперечного сечения называется профилем.

Процесс прокатки обеспечивается силами трения между вращающимся инструментом и заготовкой, благодаря которым заготовка перемещается в зазоре между валками, одновременно деформируясь. В момент захвата металла со стороны каждого валка на металл действуют две силы: нормальная сила  $N$  и касательная сила трения  $T$  (рис. 81).

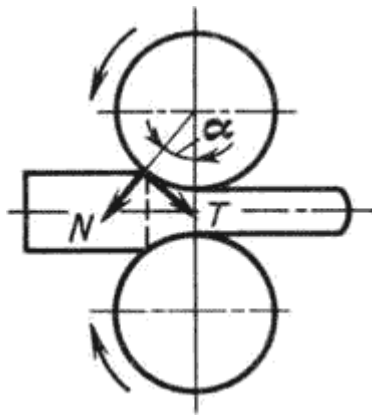


Рис. 81. Схема сил, действующих при прокатке

Угол  $\alpha$  – угол захвата, дуга, по которой валок соприкасается с прокатываемым металлом – дуга захвата, а объем металла между дугами захвата – очаг деформации.

Возможность осуществления прокатки определяется условием захвата металла валками или соотношением  $T' > N'$ ,

где  $T'$  – втягивающая сила (проекция силы трения  $T$  на горизонтальную ось);

$N'$  – выталкивающая сила (проекция нормальной реакции валков  $N$  на горизонтальную ось).

При этом условии результирующая сила будет направлена в сторону движения металла. Таким образом, для захвата металла валками необходимо, чтобы коэффициент трения между валками и заготовкой был больше тангенса угла захвата.

Коэффициент трения можно увеличить применением насечки на валках.

Площадь поперечного сечения заготовки при прокатке всегда уменьшается. Поэтому для определения деформации (особенно когда обжатие по сечению различно) используют показатель, называемый **вытяжкой** (коэффициентом вытяжки  $\mu$ ).

$$\mu = l_1 / l_0 = F_0 / F_1,$$

где:  $l_0, F_0$  – первоначальные длина и площадь поперечного сечения,  $l_1, F_1$  – те же величины после прокатки.

Вытяжка обычно составляет 1,1–1,6 за проход, но может быть и больше.

### Способы прокатки

Когда требуется высокая прочность и пластичность, применяют заготовки из сортового или специального проката. В процессе прокатки литые заготовки подвергают многократному обжатию в валках прокатных станов, в результате чего повышается плотность материала за счет «залечивания» литейных дефектов, пористости, микротрещин. Это придает заготовкам из проката высокую прочность и герметичность при небольшой их толщине.

Существуют три основных способа прокатки, имеющих определенное отличие по характеру выполнения деформации: продольная, поперечная, поперечно – винтовая (рис. 82).

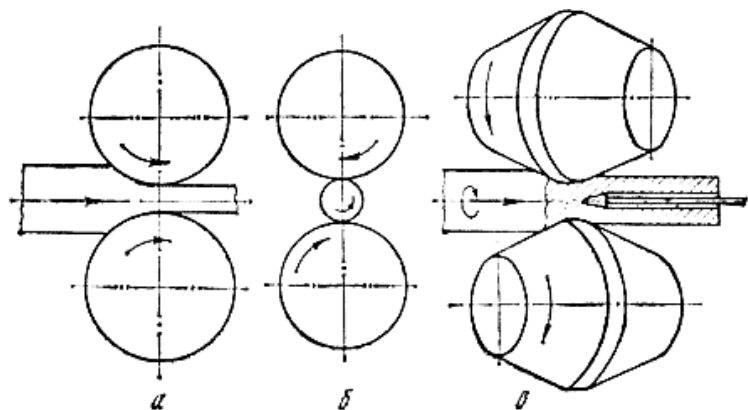


Рис. 82. Схемы основных видов прокатки:  
а – продольная; б – поперечная; в – поперечно – винтовая

При **продольной** прокатке деформация осуществляется между вращающимися в разные стороны валками (рис. 82,а). Заготовка втягивается в зазор между валками за счет сил трения. Этим способом изготавливается весь листовой и профильный прокат.

**Поперечная прокатка** (рис. 82,б). Оси прокатных валков и обрабатываемого тела параллельны или пересекаются под небольшим углом. Оба валка вращаются в одном направлении, а заготовка круглого сечения – в противоположном.

В процессе поперечной прокатки обрабатываемое тело удерживается в валках с помощью специального приспособления. Обжатие заготовки по диаметру и придание ей требуемой формы сечения обеспечивается профилировкой валков и изменением расстояния между ними. Данным способом производят специальные периодические профили, изделия представляющие тела вращения – шары, оси, шестерни.

**Поперечно – винтовая прокатка** (рис. 82,в). Валки вращаются в одну сторону и установлены под углом друг другу. Прокатываемый металл получает кроме вращательного еще и поступательное движение. В результате сложения этих движений каждая точка заготовки движется по винтовой линии. Применяется для получения пустотелых трубных заготовок.

В качестве инструмента для прокатки применяют *валки прокатные*, конструкция которых представлена на рис. 83. В зависимости от прокатываемого профиля валки могут быть гладкими (рис. 83,а), применяемыми для прокатки листов, лент и т.п. и калиброванными (ручьевыми) (рис. 83,б) для получения сортового проката.

**Ручей** – профиль на боковой поверхности валка. Промежутки между ручьями называются **буртами**. Совокупность двух ручьев образует полость, называемую **калибром**, каждая пара валков образует несколько калибров. Система последовательно расположенных калибров, обеспечивающая получение требуемого профиля заданных размеров называется **калибровкой**.

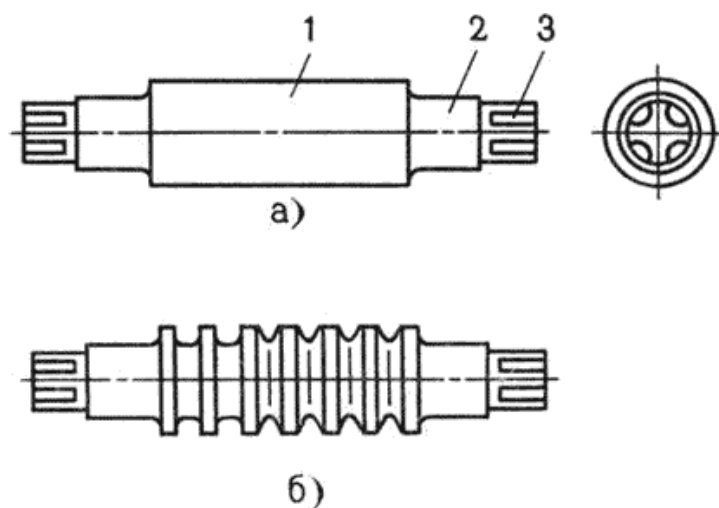


Рис. 83. Прокатные валки: а – гладкий ; б – калиброванный

Валки состоят из рабочей части – бочки 1, шеек 2 и тrefы 3.

Шейки валков вращаются в подшипниках, которые, у одного из валков, могут перемещаться специальным нажимным механизмом для изменения расстояния между валками и регулирования взаимного расположения осей.

Трефа предназначена для соединения валка с муфтой или шпинделем.

Для установки валков используются роликовые подшипники с низким коэффициентом трения,  $f = 0,003-0,005$ , что обеспечивает большой срок службы.

### Поперечно-клиновья прокатка

Значительное сокращение расхода металла может быть достигнуто при переходе на прогрессивные технологические процессы изготовления заготовок, размеры которых максимально приближены к размерам готовых деталей. Сокращение припусков на механическую обработку непосредственно связано с повышением точности заготовок и уменьшением толщины дефектного поверхностного слоя. Технология малоотходного производства способствует интенсификации механической обработки, т.к. в ряде случаев могут быть исключены черновые операции, которые заменяются чистовой обработкой с высокими режимами резания.

К процессам кузнечно-штамповочного производства, определяющим резкое сокращение расхода металла и повышение производительности относится поперечно-клиновья прокатка. Производительность станов поперечно-клиновья прокатки составляет 360–900 шт./ч, экономия металла при этом составляет 10–15% по сравнению с объемной штамповкой на молотах и прессах. Более высокая точность процесса позволяет уменьшить припуски на обработку резанием с 2,0–2,5 до 1,0–1,5 мм, а в ряде случаев заменить точение силовым шлифованием.

Известно несколько схем поперечно-клиновья прокатки: двухвалковья, трехвалковья, валково-сегментная, двухсегментная, с двумя подвижными плитами, с подвижной и неподвижной плитами (рис. 84).

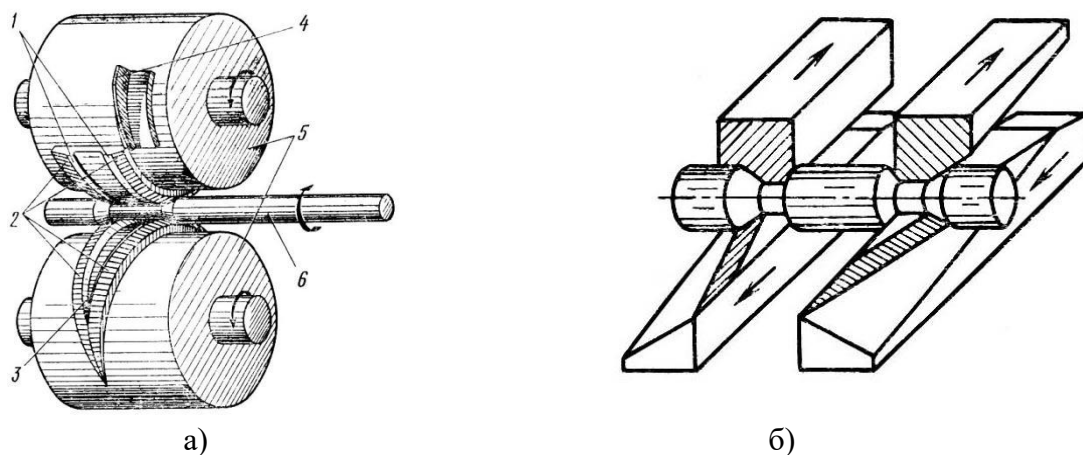


Рис. 84. Схемы поперечно-клиновой прокатки  
 а) прокатка валками; б) прокатка плоскими плашками

1 – калибрующие поверхности инструмента; 2 – рабочие поверхности;  
 3 – формирующие участки; 4 – отрезной нож; 5 – валки; 6 – прокатываемый пруток

В двухвалковых станах (рис. 84,а) заготовка удерживается направляющими или центрами. За счет трения заготовки в направляющих отдельные ее участки могут исказить свою форму, что снижает точность изделия. Использование центров приводит к перерасходу металла, поскольку зацентрированные участки, как правило, подлежат последующей отрезке. Достоинством валковых станов является возможность прокатки изделий из прутка, что наиболее эффективно при изготовлении коротких заготовок. Валковые станы также успешно используются при прокатке несимметричных деталей, так как при этом отпадает необходимость в выравнивании условий прокатки в различных частях заготовки.

Станы с двумя подвижными плитами и с подвижной и неподвижной плитами (рис. 84,б) отличаются простотой изготовления и ремонта сложного и высокоточного инструмента, что обеспечивает высокую точность изделий и простоту отладки новых технологических процессов. Кроме того, перемещением одной из плит и изменением положения инструмента на ней имеется возможность регулировать диаметральные и линейные размеры и тем самым повысить точность прокатанных деталей. К недостаткам данной схемы следует отнести невозможность прокатки от прутка.

При поперечно-клиновой прокатке для изготовления каждого типоразмера детали необходим индивидуальный инструмент, стоимость которого относительно высока. В связи с этим процесс оказывается рентабельным только в условиях крупносерийного и массового производства. Клиновой деформирующий инструмент изготавливается цельным или составным, в основном, из штамповых сталей 3Х2В8, 4Х5МФС, 4Х3ВМФ, 4Х4М2ВФС, 7Х3, 5ХНТ. Для наиболее ответственных и быстроизнашивающихся составных частей инструмента применяются быстрорежущие стали Р18, Р12, Р9, Р6М3, Р6М5. Клиновой инструмент подвергают термообработке, (как правило, объемной закалке с последующим отпуском) или химико-термической обработке (азотированию).

Методом поперечно-клиновой прокатки могут обрабатываться практически все конструкционные, ряд инструментальных сталей, а также цветных и



жаропрочных материалов. Исключение составляют малопластичные сплавы, которые плохо поддаются обработке давлением.

Основными точностными характеристиками процесса поперечно-клиновой прокатки являются припуски и допуски на поверхности прокатанного изделия. Припуск характеризует избыток массы прокатанного изделия по сравнению с готовой деталью, допуск – стабильность процесса прокатки.

Инструментом для осуществления процесса плоской поперечно-клиновой прокатки (рис. 85) служат плоские клинообразные элементы, которые устанавливаются на подвижную плиту. Инструмент для получения цилиндрических поверхностей на прокатываемой детали имеет участок захвата заготовки *A*, участок прокатки и калибровки *B*, участок выхода *B*.

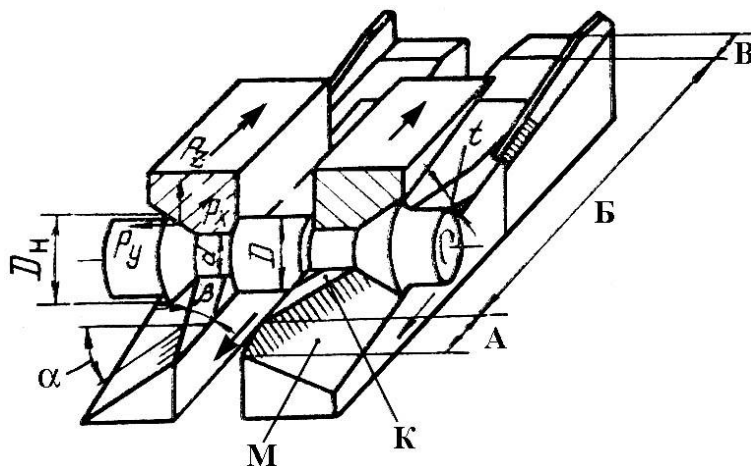


Рис. 85. Типовой инструмент плоской поперечно-клиновой прокатки

На участке *A* происходит внедрение клина в заготовку и образование на ней кольцевой канавки. Эта канавка затем расширяется благодаря воздействию наклонной боковой грани *M*. На калибрующем мостике *K* происходит калибровка деформируемого металла по мере его выхода с наклонной грани на калибрующую плоскость мостика. Участок *B* обеспечивает плавный выход заготовки из контакта с клиньями без образования вмятин на прокатываемых участках.

Предварительно нагретая до 600–1200°C штучная заготовка укладывается поперек заходной части неподвижного профильного инструмента. Подвижный инструмент с аналогичным профилем, перемещаясь параллельно неподвижному, внедряется в заготовку, вызывая ее вращение. Оба инструмента имеют боковые наклонные грани, которые заставляют перемещаться часть металла по направлению к торцам, тем самым удлиняя заготовку. Оставшаяся часть металла прокатывается между инструментами, приобретая их негативный профиль. На заключительной стадии прокатки, установленными по обе стороны инструмента ножами отрезают избытки металла от окончательно оформленного изделия. Готовое изделие удаляют из зоны обработки, а подвижный инструмент возвращают в исходное положение. Цикл обработки составляет 3–4 с.

Интенсивность формоизменения при прокатке характеризуется степенью обжатия  $\delta = D/d$ , где  $D$  – диаметр исходной заготовки;  $d$  – диаметр заготовки после прокатки в рассматриваемом сечении.

Основными технологическими параметрами клинового инструмента при прокатке цилиндрических участков являются углы наклона боковой грани  $\alpha$  и заострения  $\beta$ . С увеличением угла  $\alpha$  уменьшается требуемое усилие прокатки. Угол  $\beta$  определяет скорость распространения деформации вдоль оси заготовки, длину инструмента, максимально достигаемую степень обжатия. От правильного выбора этих углов зависит устойчивость процесса прокатки.

В процессе прокатки под воздействием контактных напряжений в заготовке возникают усилия деформации: сжимающее усилие  $P_z$ , усилие прокатки  $P_x$ , осевое растягивающее усилие  $P_y$ .

Значение величины сжимающего усилия  $P_z$  необходимо при проектировании станов для поперечно-клиновой прокатки, т.к. жесткость стана должна быть такой, чтобы величина упругих деформаций его станины, возникающих в процессе прокатки, была значительно меньше величин допусков на размеры прокатываемых изделий. Усилие прокатки  $P_x$  определяет мощность привода прокатного стана. Осевое растягивающее усилие  $P_y$  характеризует величину растягивающих напряжений, возникающих в прокатываемой заготовке, значение которых не должно превышать предела текучести обрабатываемого материала во избежание растяжения или разрыва стержня.

Нахождение величин составляющих усилия деформации и оптимального соотношения между ними определяет как саму возможность осуществления процесса поперечно-клиновой прокатки, так и требования, предъявляемые к соответствующим прокатным станам.

При изготовлении заготовок деталей типа ступенчатых валов применяют способы прямой, параллельной и обратной поперечно-клиновой прокатки (рис. 86).

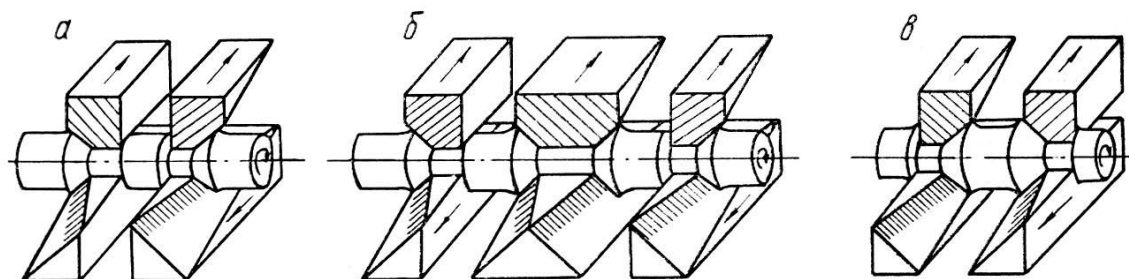


Рис. 86. Способы плоской поперечно-клиновой прокатки

**Способ прямой прокатки** (рис. 86,а) обеспечивает получение ступенчатых изделий с ровными торцами требуемой формы и резкими перепадами сечений при больших степенях обжатия ( $\delta > 2$ ). В процессе деформации исходная заготовка раскатывается наклонными боковыми гранями и обжимается калибрующими поверхностями инструмента с уменьшением диаметра и увеличением ее длины. При формообразовании ступенчатого изделия очаги деформации перемещаются от средней части заготовки вдоль оси к торцам.

**Способ параллельной прокатки** (рис. 86,б) позволяет увеличить производительность процесса и в 2–3 раза сократить длину инструмента. При параллельной прокатке заготовку одновременно деформируют восемь, двенадцать и более клиньями. Повышение производительности достигается за

счет увеличения количества очагов деформации, одновременно участвующих в процессе формообразования изделия.

**Способ обратной прокатки** (рис. 86,в) сопровождается набором металла с образованием ступени с диаметром, большим диаметра исходной заготовки. Как и при прямой прокатке, в заготовку вначале вдавливаются острые грани заходной части клиньев, образуя кольцевую канавку. Однако при обратной прокатке расширение канавки идет от концевых участков заготовки к центру, и центральная ее часть находится под воздействием осевых сжимающих напряжений. При определенной степени обжатия осевые сжимающие напряжения превышают предел текучести материала заготовки, и ее центральная часть начинает осаживаться, увеличиваясь в диаметре.

Прокатка клиньями может осуществляться как открытых, так и закрытых калибрах. Наиболее простой и распространенной является прокатка цилиндрических участков в открытых калибрах. Перепады диаметров могут быть значительными, допускается четырехкратное их уменьшение.

При закрытой прокатке торцы деформируемой заготовки заключены между стенками ручья, которые препятствуют свободному удлинению заготовки. Прокатка в закрытых калибрах применяется для получения на прокатываемой детали участков, имеющих форму сферы, конуса, а иногда и цилиндра.

### **Технологический процесс прокатки**

Исходным продуктом для прокатки могут служить квадратные, прямоугольные или многогранные слитки, прессованные плиты или кованные заготовки.

Процесс прокатки осуществляется как в холодном, так и горячем состоянии. Начинается в горячем состоянии и проводится до определенной толщины заготовки. Тонкостенные изделия в окончательной форме получают, как правило, в холодном виде (с уменьшением сечения увеличивается теплоотдача, поэтому горячая обработка затруднена).

Основными технологическими операциями прокатного производства являются подготовка исходного металла, нагрев, прокатка и отделка проката.

**Подготовка исходных металлов** включает удаление различных поверхностных дефектов (трещин, царапин, закатов), что увеличивает выход готового проката.

**Нагрев** слитков и заготовок обеспечивает высокую пластичность, высокое качество готового проката и получение требуемой структуры. Необходимо строгое соблюдение режимов нагрева.

Основное требование при нагреве: равномерный прогрев слитка или заготовки по сечению и длине до соответствующей температуры за минимальное время с наименьшей потерей металла в окалину и экономным расходом топлива.

Температуры начала и конца горячей деформации определяются в зависимости от температур плавления и рекристаллизации. Прокатка большинства марок углеродистой стали начинается при температуре 1200–1150 °С, а заканчивается при температуре 950–900°С.

Существенное значение имеет режим охлаждения. Быстрое и неравномерное охлаждение приводит к образованию трещин и короблению.

При прокатке контролируется температура начала и конца процесса, режим обжатия, настройка валков в результате наблюдения за размерами и формой проката. Для контроля состояния поверхности проката регулярно отбирают пробы.

**Отделка проката** включает резку на мерные длины, правку, удаление поверхностных дефектов и т.п. Готовый прокат подвергают конечному контролю.

Процесс прокатки осуществляют на специальных прокатных станах.

**Прокатный стан** – комплекс машин для деформирования металла во вращающихся валках и выполнения вспомогательных операций (транспортирование, нагрев, термическая обработка, контроль и т.д.).

Оборудование для деформирования металла называется основным и располагается на главной линии прокатного стана (линии рабочих клетей).

Главная линия прокатного стана состоит из рабочей клетки и линии привода, включающей двигатель, редуктор, шестеренную клетку, муфты, шпиндели. Схема главной линии прокатного стана представлена на рис. 87.

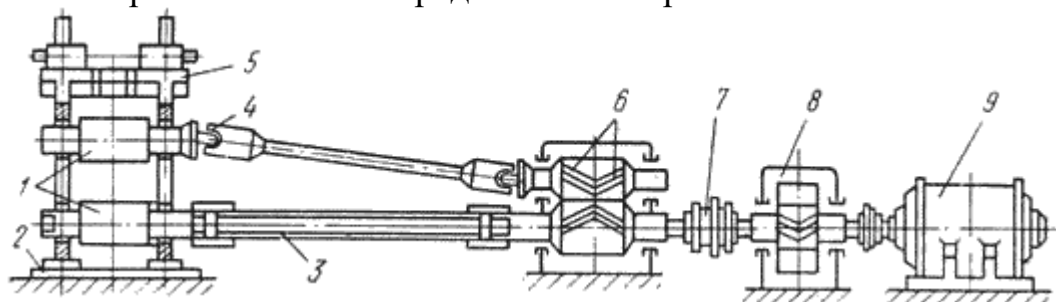


Рис. 87. Схема главной линии прокатного стана

1 – прокатные валки; 2 – плита; 3 – трезовый шпиндель; 4 – универсальный шпиндель; 5 – рабочая клетка; 6 – шестеренная клетка; 7 – муфта; 8 – редуктор; 9 – двигатель

Прокатные валки установлены в рабочей клетке, которая воспринимает давление прокатки. Определяющей характеристикой рабочей клетки являются размеры прокатных валков: диаметр (для сортового проката) или длина (для листового проката). В зависимости от числа и расположения валков в рабочей клетке различают прокатные станы: двухвалковые (дуо-стан), трехвалковые (трио-стан), четырехвалковые (кварто-стан) и универсальные.

**Нагрев металла** осуществляют в пламенных и электрических печах. По распределению температуры печи могут быть камерные и методические. В камерных печах периодического нагрева температура одинакова по всему рабочему пространству. В методических печах температура рабочего пространства постоянно повышается от места загрузки заготовок до места их выгрузки. Металл нагревается постепенно, методически. Печи характеризуются высокой производительностью. Применяются в прокатных и кузнечно-штамповочных цехах для нагрева слитков из цветных металлов. Крупные слитки перед прокаткой нагревают в нагревательных колодцах – разновидности камерных пламенных печей.

В качестве **транспортных устройств** в прокатном производстве используют:

- **слитковозы** и различного вида тележки для подачи слитков и заготовок от нагревательных устройств к прокатному стану;

- **рольганги** – основное транспортное средство прокатных цехов (транспортеры с последовательно установленными вращающимися роликами обеспечивают продольное перемещение металла; при косом расположении роликов возникает возможность поперечного движения прокатываемого металла);
- **манипуляторы**, предназначенные для правильной подачи прокатываемого металла в калибр;
- **кантователи**, предназначенные для поворота заготовки вокруг горизонтальной оси.

## Правка проката

Изделия, полученные прокаткой, часто требуют правки. Иногда правку выполняют в горячем состоянии, например, при производстве толстых листов. Но обычно в холодном состоянии, так как последующее охлаждение после горячей правки может вызвать дополнительное изменение формы.

Процесс правки заключается в однократном или многократном пластическом изгибе искривленных участков полосы, каждый раз в обратном направлении.

Правку можно выполнять и растяжением полосы, если напряжения растяжения будут превышать предел текучести материала.

Роликоправильные машины с параллельно расположенными роликами предназначены для правки листа и сортового проката (рис. 88).

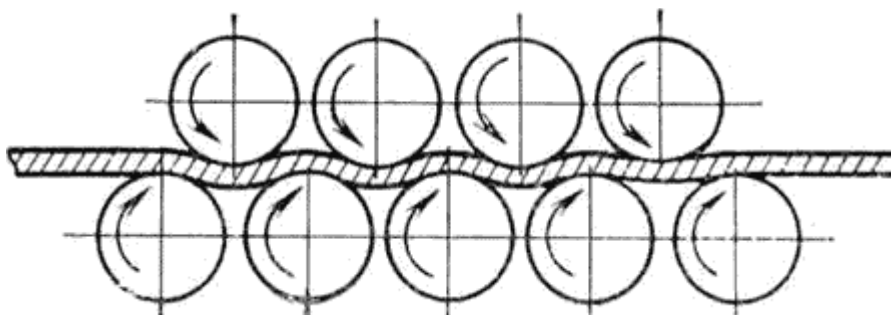


Рис. 88. Схема правки проката на роликоправильных машинах с параллельно расположенными роликами

Процесс правки заключается в прохождении полосы между двумя рядами последовательно расположенных роликов, установленных в шахматном порядке таким образом, что при движении полосы, ее искривление устраняется. Диаметр роликов 25–370 мм, шаг 30–400 мм, количество роликов: для тонких листов 19–29, для толстых – 7–9.

Правильные машины с косо расположенными гиперболидальными роликами предназначены для правки труб и круглых прутков (рис. 89).

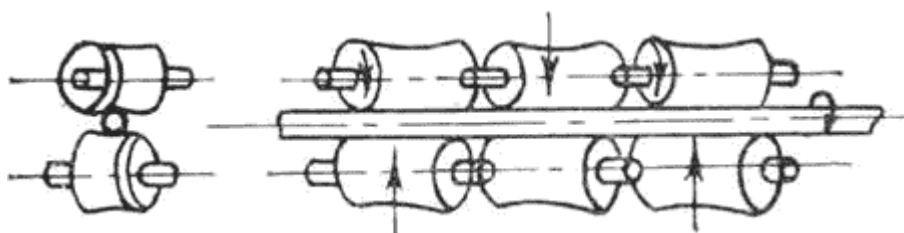


Рис. 89. Схема правки проката на машинах с косо расположенными гиперболоидальными роликами

Ролики выполняют в виде однополостного гиперboloида и располагают под некоторым углом друг к другу. Выправляемый металл, кроме поступательного движения, совершает вращательное, что вызывает многократные перегибы полосы роликами и обеспечивает осесимметричную правку.

Растяжные правильные машины используют для правки тонких листов (менее 0,3 мм), трудно поддающихся правке на роликотправильных машинах.

### Разрезка и заготовительная обработка проката

Способ резки исходных прутков выбирают, исходя из марки сплава, серийности производства, требований, предъявляемых к качеству торцов отрезаемых заготовок, и точности их размеров. В кузнечном производстве применяют следующие способы предварительной резки заготовок на мерные длины: резка зубчатыми пилами, ломка на хладноломах, анодно-механическая, отрезка на пресс-ножницах и в штампах на прессах, кислородная и плазменная резка, отрубка на установках взрывного действия и др.

**Отрезку заготовок на пилах** из-за невысокой производительности применяют в единичном и мелкосерийном производстве, особенно для резки цветных металлов и сплавов. Резка, осуществляемая зубчатыми пилами – дисковыми, ленточными и ножовочными, обеспечивает получение высококачественного разреза, перпендикулярность торцов к оси заготовки и достаточно высокую точность по длине. К достоинствам резки пилами относятся также отсутствие упрочнения металла в зоне торцов, возможность отрезки коротких заготовок, а также универсальность, т.е. возможность разделки прутков различных профилей (круг, квадрат, двутавр, швеллер и т.д.) без смены инструмента, а также осуществлять разрезку этих профилей, собранных пакетами.

К недостаткам следует отнести низкую производительность, низкую стойкость режущего инструмента, отход металла в стружку, определяемый толщиной пилы, а также сильный шум при работе и загрязнение рабочего места мелкой стружкой.

**Ломка прутков** на мерные заготовки может выполняться в холодном состоянии на хладноломах по схеме, представленной на рис. 90.

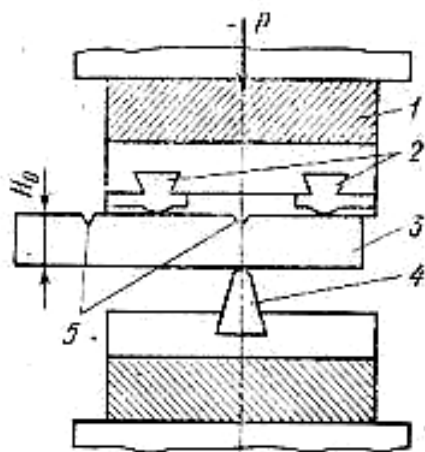


Рис. 90. Схема ломки проката на хладноломах

Предварительно надрезанная в местах излома 5, заготовка 3 устанавливается на ломатель 4 и под действием усилия ползуна 1 хладнолома опоры 2 переламинает заготовку. Под действием усилия  $P$  вблизи надреза возникают значительные растягивающие напряжения, обеспечивающие ломку заготовки без пластической деформации и ее изгиба. Глубина надреза принимается равной 3–8% от высоты заготовки. При надрезе газовым резаком ширина надреза должна быть не более 5–7 мм. Если надрез выполняют на механической пиле, то ширина надреза соответствует толщине пилы.

Производительность хладноломов зависит от типа применяемого оборудования. Чаще всего этим оборудованием являются быстроходные кривошипные прессы. Производительность их составляет несколько тысяч мерных заготовок в смену. Хладноломы применяют для ломки заготовок крупного сечения (от 50 до 250 мм) из легированных и углеродистых сталей, например из стали ШХ15. Возможность быстрого регулирования расстояния между опорами 2 позволяет применять хладноломы как в массовом так и в мелкосерийном производстве. Длина мерных заготовок при ломке должна быть более  $1,2D$ , где  $D$  - диаметр или сторона квадрата заготовки. Расстояние между опорами  $L = 1,5-2D$ , пуансон и опоры должны иметь закругление радиусом  $R = 12-15$  мм.

К достоинствам хладнолома относятся высокая производительность, простота конструкции, небольшое усилие ломки и возможность контроля качества металла по характеру излома.

При работе на хладноломе необходимо строго соблюдать правила техники безопасности, так как заготовка иногда отлетает после ломки с большой скоростью.

**Анодно-механическая резка.** Схема установки для анодно-механической резки представлена на рис. 91. Разрезаемая заготовка 3 крепится в опоре 4 станка. Опора подключается к аноду источника чаще всего постоянного тока. В качестве инструмента используют металлический диск 1 толщиной от 0,5 до 2,5 мм, изготовленный из низкоуглеродистой стали (0,8кп, 10, 20 и др.). Этот диск играет роль электрода, его подключают к отрицательному полюсу источника тока. Дыску дают вращательное  $v$  и поступательное  $S_n$  движение в направлении заготовки. Процесс резки ведут в среде электролита, который подают в зону резки через сопло 2. Электролитом служит водный раствор жидкого стекла (силиката натрия  $Na_2SiO_3$ ). Иногда в электролит добавляют соли различных кислот.

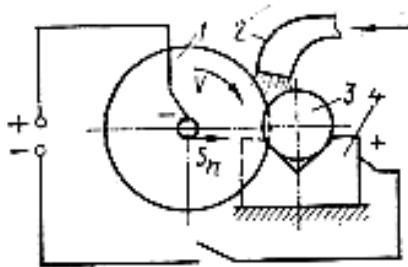


Рис. 91. Схема анодно-механической резки

При резке в зоне обработки между заготовкой и инструментом происходят электротермические и электрохимические процессы. При прохождении постоянного электрического тока через электролит на поверхности анода (заготовки) происходят химические реакции, а образующиеся на поверхности химические соединения в виде отходов переходят в раствор и удаляются механическим способом. Рассмотренное явление называется анодным растворением при электролизе. Помимо процесса анодного растворения при рассматриваемом способе резки в зоне контакта заготовки с инструментом происходит также процесс электроэрозии – разрушения электродов из токопроводящих материалов при пропускании между ними электрического тока. Кроме того, при пропускании электрического тока металл заготовки в месте контакта с инструментом нагревается благодаря импульсным дуговым разрядам, размягчается или даже расплавляется и удаляется из зоны резки механическим способом за счет относительного движения заготовки и инструмента.

При анодно-механической резке окружная скорость вращения режущего диска составляет 15–25 м/с. Подача диска осуществляется автоматически так, чтобы постоянно выдерживался определенный зазор между диском и разрезаемым металлом. Износ инструмента составляет от 15 до 25% от объема прорезанного слоя металла. Время отрезки зависит от диаметра разрезаемой заготовки. Так, заготовка диаметром 40 мм отрезается за 1,5 мин, диаметром 100 мм за 5,5 мин.

**Резка на пресс-ножницах** представляет собой наиболее дешевый и высокопроизводительный способ резки прутков на мерные заготовки в массовом и реже, в мелкосерийном производстве. Сущность этого способа состоит в следующем (рис. 92). Разрезанную заготовку 2 по рольгангу 1 продвигают до упора 5. Прижим 3 с большим усилием  $P_{np}$  прижимает заготовку к нижнему неподвижному ножу 6, закрепленному на станине пресса.

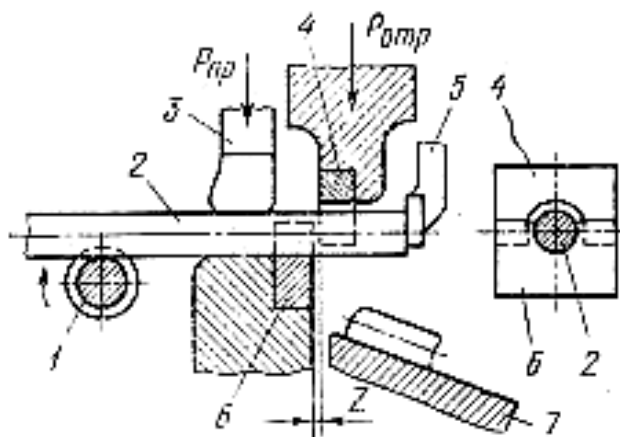


Рис. 92. Схема резки на пресс-ножницах

После этого установленный на ползуне пресса верхний нож 4 при своем движении вниз с усилием  $P_{отр}$  осуществляет отрезку от прутка мерной заготовки. В процессе отрезки сначала ножи пластически внедряются в заготовку. В местах контакта с режущими кромками ножей возникают скалывающиеся встречные трещины и, когда трещины сливаются, происходит скалывание металла. Заготовка



отделяется от прутка и падает на наклонный лоток 7, по которому соскальзывает в сборную тару. В течение всего процесса отрезки прижим удерживает заготовку от перемещения и предотвращает ее опрокидывание от воздействия усилия отрезки.

На качество отрезки влияет правильность выбора зазора  $Z$  между ножами, который зависит от размеров сечения заготовки и составляет 2–4% диаметра прутка или его толщины. Недостатком отрезки на ножницах является кривизна получаемого торца заготовки. При неправильном выборе зазора между ножами помимо большой кривизны торца могут возникнуть дефекты в виде вырывов металла, затянутых заусенцев, глубоких трещин и др.

Форма и размеры режущих кромок ножей выбираются по форме сечения разрезаемых прутков: для резки квадратных прутков используют ножи, образующие в рабочем положении профиль в форме квадрата, для круглых заготовок – в форме круга. Ножи изготавливают из стали марок 5ХН, 5ХНМ, 5ХГМ, 4ХС, У10 и др. После термообработки они должны иметь твердость HRC 47–52.

Отрезка заготовок из углеродистых сталей малых и средних сечений (до 50 мм) осуществляется чаще всего в холодном состоянии. Углеродистые стали больших сечений (свыше 50 мм) – с нагревом до температуры 400–550°C. Отрезка заготовок из легированных и высокоуглеродистых сталей в холодном состоянии связана с опасностью возникновения недопустимых трещин на торцах. Поэтому эти стали перед отрезкой обязательно нагревают до температуры 500–650°C.

Отрезка на пресс-ножницах наибольшее применение нашла в массовом производстве для изготовления заготовок под открытую штамповку. Отрезку заготовок из прутков небольшого сечения (до 30–40 мм) часто выполняют с помощью штампов, установленных на кривошипных прессах. Схема отрезки в штампах аналогична отрезке заготовок на пресс-ножницах. Нижний нож крепится в нижней плите штампа, верхний – в верхней подвижной его плите. Верхняя плита перемещается относительно нижней по направляющим колонкам штампа, что обеспечивает точное взаимное смещение ножей и стабильность зазора между ними. Отрезанные в штампах заготовки имеют более правильные торцы, чем заготовки, отрезанные на ножницах. Отрезные штампы также целесообразно применять в массовом и крупносерийном производстве. Допуски на длину заготовок, отрезаемых в штампах, меньше, чем при отрезке на пресс-ножницах, но для заготовок длиной до 300 мм величины допусков примерно равны для обоих указанных способов.

**Рубка на копрах взрывного действия.** Для разделения прутков и слитков применяют установки взрывного действия – горизонтальные бесфундаментные копры (рис. 93).

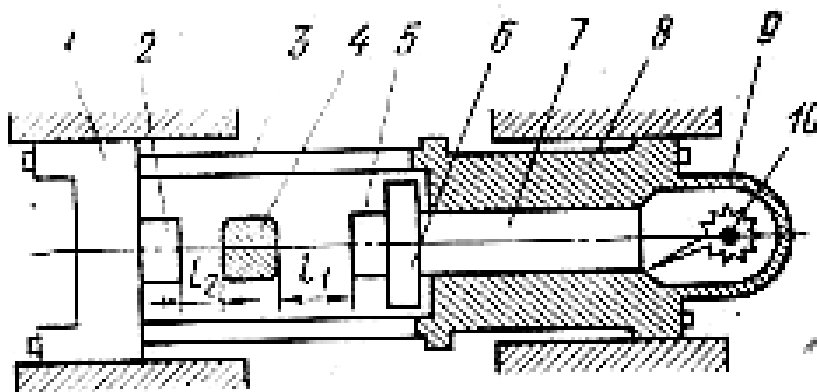


Рис. 93. Схема рубки на копрах взрывного действия

Установка состоит из рамы 3, шабота 1 с ножом 2, копра 6 с ножом 5 и штоком 7, перемещающимся в цилиндре 8, имеющим взрывную камеру 9 с зарядом 10. Разрубаемая заготовка 4 устанавливается на определенном расстоянии  $l_1$  и  $l_2$  между ножами. В момент взрыва заряда 10 газы приводят в встречное движение шток с ножом 5 и раму с шаботом и ножом 2. Скорость внедрения ножей в заготовку составляет 30–35 м/с, время рубки  $\leq 0,01$  с. Копер применяют для рубки заготовок сечением до 200 × 200 мм. Он обеспечивает практически безотходную разделку заготовок.

**Резка абразивными кругами** находит применение при разделке на заготовки круглого проката диаметром до 200 мм, труб диаметром до 600 мм и иных профилей, в том числе из труднообрабатываемых материалов. Абразивные круги диаметром от 300 до 600 мм и толщиной 0,5–4 мм изготавливают из электрокорунда или карбидов кремния на вулканитовой либо на бакелитовой связке. Окружная скорость круга составляет 30–100 м/с. Абразивную резку выполняют на станках с ручной подачей круга, а также на полуавтоматах и автоматах. Способ более экономичен, чем резка зубчатыми пилами и резка на токарно-отрезных станках. Его недостатками являются подгорание торца отрезаемой заготовки, значительный шум и выделение пыли при работе, быстрое изнашивание кругов и достаточно большая ширина пропила (1% от диаметра круга).

**Газопламенная (кислородная) резка** смесью ацетилена и кислорода осуществляется за счет сжигания металла в струе кислорода, которая одновременно служит для удаления продуктов сгорания. Этот способ резки применяют в мелкосерийном производстве для разделки низко- и среднеуглеродистых сталей, а также низколегированных сталей и титановых сплавов при толщине заготовки до 200 мм. Кислородную резку выполняют вручную различными резаками с комплектом сменных мундштуков для пламени различной мощности, а также на переносных и стационарных машинах с программным управлением.

Для разделки высоколегированных тугоплавких сталей, медных и алюминиевых сплавов с большой теплопроводностью в зону резки дополнительно подают флюс – железный порошок, при сгорании которого в этой зоне повышается температура. Образующиеся при этом шлаки разжижаются и легко удаляются кислородной струей.

Недостатком кислородной резки наряду со значительными потерями сгорающего металла является то, что в заготовках (особенно из высокоуглеродистых сталей) остается зона термического влияния глубиной 0,5–3 мм. В этой зоне происходит закалка и существенно повышается твердость металла, что затрудняет его дальнейшую обработку. Для предотвращения данного явления необходимо применять подогрев металла перед разрезкой и замедленное охлаждение после нее. К недостаткам этого способа резки следует отнести также большой расход кислорода и загазованность рабочих помещений.

**Плазменно-дуговая резка** осуществляется струей плазмы, получаемой в плазмотронах. Электрическая дуга в канале плазмотрона сжимается давлением газа

(азота, аргона, водорода или их смесей) и выходит в виде струи плазмы – сильно ионизированного газа с температурой 10000–30000°C. Механизм перемещения плазмотрона в процессе резки управляется системой ЧПУ.

Плазменная резка более экономична, чем резка на пилах. Глубина зоны термического влияния не превышает 0,8 мм. Этот способ можно применять для разделки любых металлов толщиной до 300 мм. Он особенно эффективен при резке тугоплавких высокопрочных сталей и сплавов, а также медных и алюминиевых сплавов с большой теплопроводностью.

## Тема 2.5. Заготовки, получаемые прессованием и волочением

### Прессование

Это вид обработки давлением, при котором металл выдавливается из замкнутой полости через отверстие в матрице, соответствующее сечению прессуемого профиля.

Это современный способ получения различных профильных заготовок: прутков диаметром 3–250 мм, труб диаметром 20–400 мм с толщиной стенки 1,5–15 мм, профилей сложного сечения сплошных и полых с площадью поперечного сечения до 500 см<sup>2</sup>.

Впервые метод был применен в 1913 году для получения прутков и труб из оловянисто-свинцовых сплавов. В настоящее время в качестве исходной заготовки используют слитки или прокат из углеродистых и легированных сталей, а также из цветных металлов и сплавов на их основе (медь, алюминий, магний, титан, цинк, никель, цирконий, уран, торий).

Технологический процесс прессования включает следующие операции:

- подготовка заготовки к прессованию (разрезка, предварительное обтачивание на станке, так как качество поверхности заготовки оказывает влияние на качество и точность профиля);
- нагрев заготовки с последующей очисткой от окалины;
- укладка заготовки в контейнер;
- непосредственно процесс прессования;
- отделка изделия (отделение пресс-остатка, разрезка).

Прессование производится на гидравлических прессах с вертикальным или горизонтальным расположением плунжера, мощностью до 10 000 т.

Применяются два метода прессования: *прямой* и *обратный* (рис. 94)

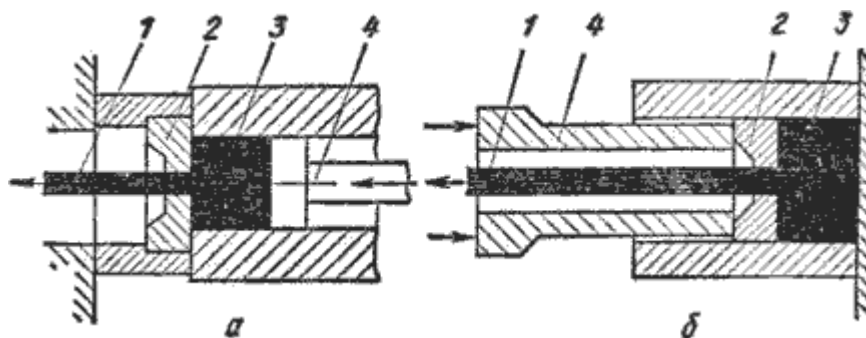


Рис. 94. Схема прессования прутка прямым (а) и обратным (б) методом

1 – готовый пруток; 2 – матрица; 3 – заготовка; 4 - пуансон

При прямом прессовании движение пуансона прессы и истечение металла через отверстие матрицы происходят в одном направлении. При прямом прессовании требуется прикладывать значительно большее усилие, так как часть его затрачивается на преодоление трения при перемещении металла заготовки внутри контейнера. Пресс-остаток составляет 18–20% от массы заготовки (в некоторых случаях 30–40%). Однако процесс характеризуется более высоким качеством поверхности и схема прессования более простая.

При обратном прессовании заготовку закладывают в глухой контейнер, и она при прессовании остается неподвижной, а истечение металла из отверстия матрицы, которая крепится на конце полого пуансона, происходит в направлении, обратном движению пуансона с матрицей. Обратное прессование требует меньших усилий, пресс-остаток составляет 5–6%. Однако меньшая деформация приводит к тому, что прессованный пруток сохраняет следы структуры литого металла. Конструктивная схема более сложная.

При прессовании металл подвергается всестороннему неравномерному сжатию и имеет очень высокую пластичность.

К основным преимуществам процесса относятся:

- возможность обработки металлов, которые из-за низкой пластичности другими методами обработать невозможно;
- возможность получения практически любого профиля поперечного сечения;
- получение широкого сортамента изделий на одном и том же прессовом оборудовании с заменой только матрицы;
- высокая производительность, до 2–3 м/мин.

Недостатки процесса:

- повышенный расход металла на единицу изделия из-за потерь в виде пресс-остатка;
- появление в некоторых случаях заметной неравномерности механических свойств по длине и поперечному сечению изделия;
- высокая стоимость и низкая стойкость прессового инструмента;
- высокая энергоемкость.

## Волочение

Сущность процесса волочения заключается в протягивании заготовок через сужающееся отверстие (фильеру) в инструменте, называемом *волокой*. Конфигурация отверстия определяет форму получаемого профиля. Схема волочения представлена на рис.95.

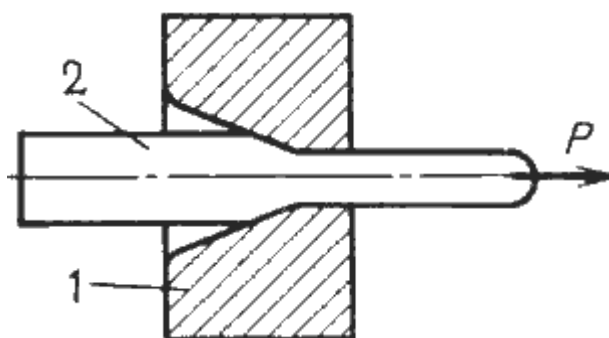


Рис. 95. Схема волочения

Волочением получают проволоку диаметром 0,002–4 мм, прутки и профили фасонного сечения, тонкостенные трубы, в том числе и капиллярные. Волочение применяют также для калибровки сечения и повышения качества поверхности обрабатываемых изделий. Волочение чаще выполняют при комнатной температуре, когда пластическую деформацию сопровождает наклеп, это используют для повышения механических характеристик металла, например, предел прочности возрастает в 1,5–2 раза.

Исходным материалом может быть горячекатаный пруток, сортовой прокат, проволока, трубы. Волочением обрабатывают стали различного химического состава, цветные металлы и сплавы, в том числе и драгоценные.

Основной инструмент при волочении – волоки различной конструкции. **Волока** работает в сложных условиях: большое напряжение сочетается с износом при протягивании, поэтому их изготавливают из твердых сплавов. Для получения особо точных профилей волоки изготавливают из алмаза. Конструкция инструмента представлена на рис. 96.

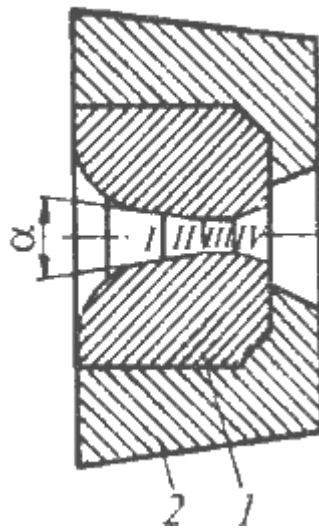


Рис. 96. Общий вид волоки

Волока 1 закрепляется в обойме 2. Волоки имеют сложную конфигурацию, ее составными частями являются:

- заборная часть I, включающая входной конус и смазочную часть;
- деформирующая часть II с углом в вершине  $\alpha$  ( $6-18^{\circ}$  для прутков и  $10-24^{\circ}$  для труб);
- цилиндрический калибрующий поясок III длиной 0,4–1 мм;
- выходной конус IV.

Технологический процесс волочения включает операции:

- предварительный отжиг заготовок для получения мелкозернистой структуры металла и повышения его пластичности;
- травление заготовок в подогретом растворе серной кислоты для удаления окалины с последующей промывкой. После удаления окалины на

поверхность наносят подсмазочный слой путем омеднения, фосфатирования, известкования (к слою хорошо прилипает смазка и коэффициент трения значительно снижается);

- волочение: заготовку последовательно протягивают через ряд постепенно уменьшающихся отверстий;
- отжиг для устранения наклепа: после 70–85% обжатия для стали и 99% обжатия для цветных металлов ;
- отделка готовой продукции (обрезка концов, правка, резка на мерные длины и др.)

Технологический процесс волочения осуществляется на специальных волочильных станах.

В зависимости от типа тянущего устройства различают станы: с прямолинейным движением протягиваемого металла (цепной, реечный); с наматыванием обрабатываемого металла на барабан (барабанный). Станы барабанного типа обычно применяются для получения проволоки. Число барабанов может достигать до двадцати. Скорость волочения достигает 50 м/мин.

Процесс волочения характеризуется параметрами: коэффициентом вытяжки и степенью деформации.

Коэффициент вытяжки определяется отношением конечной и начальной длины или начальной и конечной площади поперечного сечения:

Обычно за один проход коэффициент вытяжки не превышает 1,3, а степень деформации 30%. При необходимости получить большую величину деформации производят многократное волочение.

## **Тема 2.6. Заготовки, получаемые холодной штамповкой**

Холодная штамповка производится в штампах без нагрева заготовок и сопровождается деформационным упрочнением металла.

Холодная штамповка является одним из наиболее прогрессивных методов получения высококачественных заготовок небольших и точных из стали и цветных металлов. Она обеспечивает достаточно высокую точность и малую шероховатость поверхности при малых отходах металла и низкой трудоемкости и себестоимости изготовления изделий. Возможность осуществления холодной штамповки и качество заготовок определяются качеством исходного материала. Большое значение имеет подготовка поверхности заготовок: удаление окалины, загрязнений и поверхностных дефектов.

Процессы холодной штамповки часто выполняют за несколько технологических переходов, постепенно приближая форму и размеры заготовок к форме и размерам готовых изделий и осуществляя промежуточный отжиг для снятия наклепа и восстановления пластических свойств металла. В зависимости от характера деформирования и конструкции штампов холодную штамповку делят на объемную и листовую.

### **Объемная холодная штамповка**

Холодную объемную штамповку выполняют на прессах или специальных холодноштамповочных автоматах. Основными ее разновидностями являются: высадка, выдавливание, объемная формовка, чеканка.

**Высадка** – образование на заготовке местных утолщений требуемой формы в результате осадки ее конца (рис. 97).

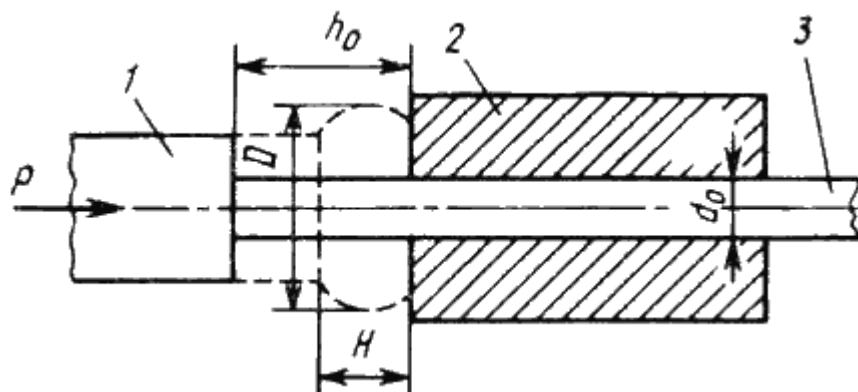


Рис. 97. Схема высадки

Заготовкой обычно служит холодноотянутый материал в виде проволоки или прутка из черных или цветных металлов. Высадкой изготавливают стандартные и специальные крепежные изделия, кулачки, валы-шестерни, детали электронной аппаратуры, электрические контакты и т.д.

Длина высаживаемой части  $h_0$  рассчитывается с учетом объема требуемого утолщения. Расчет числа переходов производится в основном по соотношению длины высаживаемой части  $h_0$  к диаметру заготовки  $d_0$ , которое характеризует устойчивость к продольному изгибу. При большом количестве переходов происходит упрочнение металла, поэтому требуется отжиг.

Последовательность переходов изготовления деталей показана на рис. 98: а) – за три перехода; б) – за пять переходов.

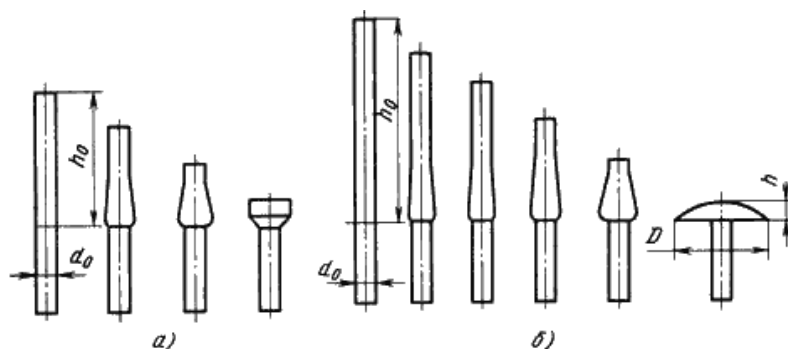


Рис. 98. Последовательность переходов изготовления детали

Высадка осуществляется на прессах, горизонтально-ковочных машинах, автоматических линиях, оснащенных холодновысадочными пресс-автоматами.

**Выдавливание** – формообразование сплошных или полых изделий, благодаря пластическому течению металла из замкнутого объема через отверстия соответствующей формы.

Особенностью процесса является образование в очаге деформации схемы трехосного неравномерного сжатия, повышающего технологическую пластичность материала.

Различают прямое, обратное, боковое и комбинированное выдавливание (рис. 99).

При **прямом** выдавливании металл течет из матрицы 2 в направлении, совпадающем с направлением движения пуансона 1 (рис. 99,а и 99,б). Этим способом можно получить детали типа стержня с утолщением, трубки с фланцем, стакана с фланцем.

При **обратном** выдавливании металл течет в направлении, противоположном направлению движения пуансона, в кольцевой зазор между пуансоном и матрицей для получения полых деталей с дном (рис. 99,в) или в полый пуансон для получения деталей типа стержня с фланцем (рис. 99,г).

При **боковом** выдавливании металл течет в боковые отверстия матрицы под углом к направлению движения пуансона (рис. 99,ж). Таким образом, можно получить детали типа тройников, крестовин и т.п. Для обеспечения удаления заготовок из штампа матрицу выполняют состоящей из двух половин с плоскостью разъема, проходящей через осевые линии исходной заготовки и получаемого отрезка.

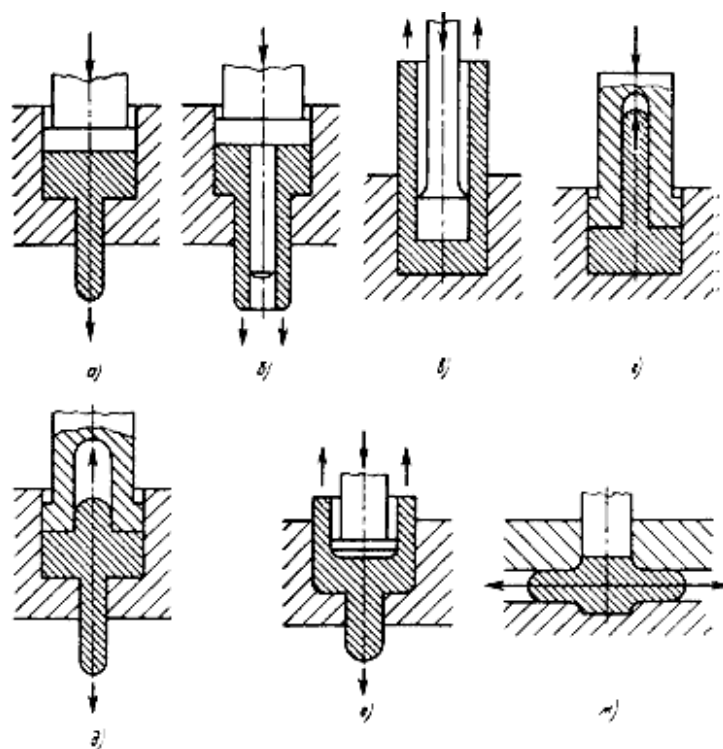


Рис. 99. Схемы выдавливания:

а, б – прямого; в, г – обратного; д, е – комбинированного; ж - бокового

При **комбинированном** выдавливании металл течет по нескольким направлениям (рис. 99,д и 99,е). Возможны сочетания различных схем.

Заготовки для выдавливания отрезают от прутков или вырубают из листа. Размер заготовок рассчитывают с учетом потерь на последующую обработку. Форма заготовки и ее размеры для полых деталей без фланца соответствуют



наружным размерам детали; для деталей с фланцем – диаметру фланца; для деталей стержневого типа – размерам головки.

Выдавливание можно осуществлять и в горячем состоянии.

**Объемная формовка** – формообразование изделий путем заполнения металлом полости штампа.

Схемы объемной формовки представлены на рис. 100.

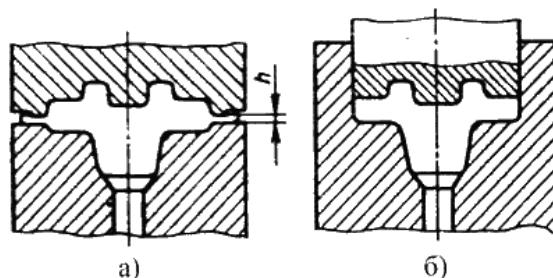


Рис. 100. Схемы объемной формовки:  
а – в открытых штампах; б – в закрытых штампах

Объемная формовка производится в открытых штампах, где излишки металла вытекают в специальную полость для образования облоя (рис. 100,а), и в закрытых штампах, где облой не образуется (рис. 100,б). Формовку в закрытых штампах применяют реже из-за большой сложности и стоимости получения заготовок точного объема, необходимости использования более мощного оборудования и меньшей стойкости штампов. В закрытых штампах получают в основном детали из цветных металлов.

Объемной формовкой изготавливают пространственные детали сложных форм, сплошные и с отверстиями. Холодная объемная формовка требует значительных удельных усилий вследствие высокого сопротивления металла деформированию в условиях холодной деформации и упрочнения металла в процессе деформации. Упрочнение сопровождается снижением пластичности металла. Для облегчения процесса деформирования формование детали расчленяется на переходы, между которыми заготовку подвергают рекристаллизационному отжигу. Каждый переход осуществляют в специальном штампе, а между переходами обрезают облой для уменьшения усилия деформирования и повышения точности размеров деталей.

Заготовкой служит полоса или пруток, причем процесс штамповки может осуществляться непосредственно в полосе или прутке или из штучных заготовок.

В качестве оборудования используют прессы, однопозиционные и многопозиционные автоматы.

**Чеканка** – образование рельефных изображений на деформируемом материале. Чеканка осуществляется в закрытых штампах на чеканочных фрикционных и гидравлических прессах.

При холодной штамповке коэффициент использования материала достигает 95 %. При холодном деформировании формируется благоприятная ориентированная волокнистая структура металла, что придает деталям высокую усталостную прочность при динамических нагрузках. Это позволяет получать конструкции с меньшими размерами и металлоемкостью, чем у конструкций, полученных обработкой резанием, не снижая при этом их надежность. Но для холодной

объемной штамповки требуется дорогостоящий специальный инструмент, что делает целесообразным ее применение только в массовом и крупносерийном производствах.

## Листовая штамповка

*Листовая штамповка* – один из видов холодной обработки давлением, при котором листовая материал деформируется в холодном или подогретом состоянии.

Листовой штамповкой изготавливают разнообразные плоские и пространственные детали – от мелких, массой от долей грамма и размерами в доли миллиметра (секундная стрелка часов), до средних (металлическая посуда, крышки, кронштейны) и крупных (облицовочные детали автомобилей).

Толщина заготовки при листовой штамповке обычно не более 10 мм, но иногда может превышать 20 мм, в этом случае штамповка осуществляется с предварительным подогревом до ковочных температур.

При листовой штамповке используют: низкоуглеродистые стали, пластичные легированные стали, цветные металлы и сплавы на их основе, драгоценные металлы, а также неметаллические материалы: органическое стекло, фетр, целлулоид, текстолит, войлок и др.

Листовую штамповку широко применяют в различных отраслях промышленности, особенно, автомобилестроении, ракетостроении, самолетостроении, приборостроении, электротехнической промышленности.

Основные преимущества листовой штамповки:

- возможность изготовления прочных легких и жестких тонкостенных деталей простой и сложной формы, получить которые другими способами невозможно или затруднительно;
- высокие точность размеров и качество поверхности, позволяющие до минимума сократить механическую обработку;
- сравнительная простота механизации и автоматизации процессов штамповки, обеспечивающая высокую производительность (3000–4000 деталей в смену с одной машины);
- хорошая приспособляемость к масштабам производства, при которой листовая штамповка может быть экономически выгодна как в массовом, так и в мелкосерийном производствах.

Холодная листовая штамповка заключается в выполнении в определенной последовательности разделительных и формоизменяющих операций, посредством которых исходным заготовкам придают форму и размеры детали.

*Операцией листовой штамповки* называется процесс пластической деформации, обеспечивающий характерное изменение формы определенного участка заготовки.

Различают *разделительные* операции, в которых этап пластического деформирования обязательно завершается разрушением, и *формообразующие* операции, в которых заготовка не должна разрушаться в процессе деформирования. При проектировании технологического процесса изготовления деталей листовой штамповкой основной задачей является выбор наиболее рациональных операций и последовательности их применения, позволяющих

получить детали с заданными эксплуатационными свойствами при минимальной себестоимости и хороших условиях труда.

Все операции выполняются при помощи специальных инструментов – штампов, которые имеют различные конструкции в зависимости от назначения. Штампы состоят из рабочих элементов – матрицы и пуансона, и вспомогательных частей – прижимов, направляющих, ограничителей и т.д. Пуансон вдавливается в деформируемый металл или охватывается им, а матрица охватывает изменяющую форму заготовку и пуансон.

### Операции листовой штамповки

**Разделительные операции** предназначены или для получения заготовки из листа или ленты, или для отделения одной части заготовки от другой. Операции могут выполняться по замкнутому или по незамкнутому контуру.

Отделение одной части заготовки от другой осуществляется относительным смещением этих частей в направлении, перпендикулярном к плоскости заготовки. Это смещение вначале характеризуется пластическим деформированием, а завершается разрушением.

**Отрезка** – отделение части заготовки по незамкнутому контуру на специальных машинах – ножницах или в штампах.

Обычно ее применяют как заготовительную операции для разделения листов на полосы и заготовки нужных размеров.

Основные типы ножниц представлены на рис. 101.

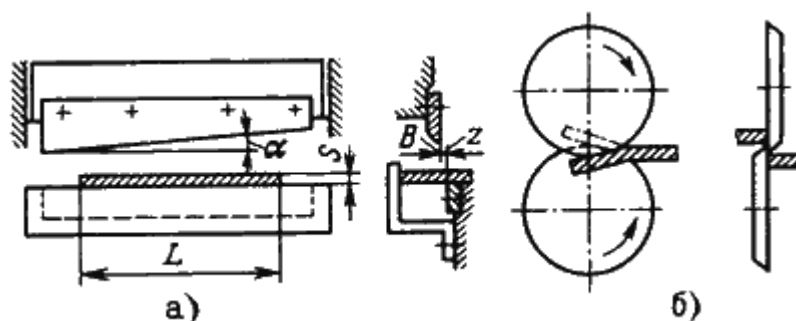


Рис. 101. Схемы действия ножниц: а – гильотинных; б – дисковых

Ножницы с поступательным движением режущих кромок ножа могут быть с параллельными ножами, для резки узких полос, с одним наклонным ножом – гильотинные (рис.101,а). Режущие кромки в гильотинных ножницах наклонены друг к другу под углом  $1-5^{\circ}$  для уменьшения усилия резания. Лист подают до упора, определяющего ширину отрезаемой полосы  $B$ . Длина отрезаемой полосы  $L$  не должна превышать длины ножей.

Ножницы с вращательным движением режущих кромок – дисковые (рис.101,б). Длина отрезаемой заготовки не ограничена инструментом. Вращение дисковых ножей обеспечивает не только разделение, но и подачу заготовки под действием сил трения. Режущие кромки ножей заходят одна за другую, это обеспечивает прямолинейность линии отрезки. Для обеспечения захвата и подачи

заготовки диаметр ножей должен быть в 30–70 раз больше толщины заготовки, увеличиваясь с уменьшением коэффициента трения.

**Вырубка и пробивка** – отделение металла по замкнутому контуру в штампе. При вырубке и пробивке характер деформирования заготовки одинаков. Эти операции отличаются только назначением. Вырубкой оформляют наружный контур детали, а пробивкой – внутренний контур (изготовление отверстий).

Вырубку и пробивку осуществляют металлическими пуансоном и матрицей. Пуансон вдавливают часть заготовки в отверстие матрицы. Схема процессов вырубki и пробивки представлена на рис. 102.

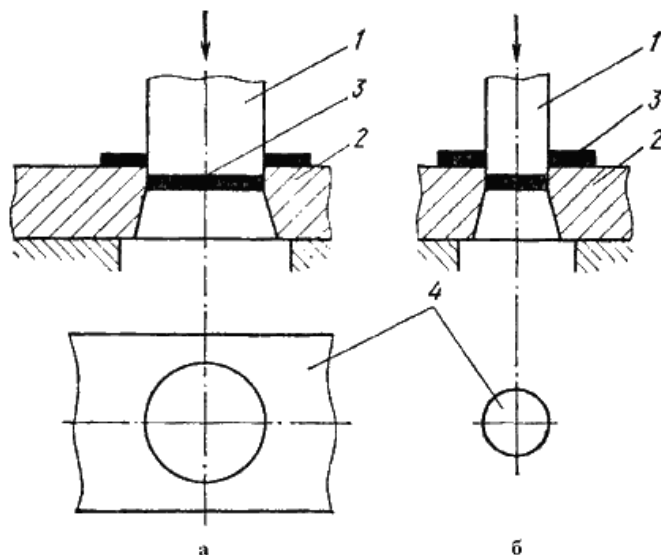


Рис. 102. Схема процессов вырубki (а) и пробивки (б)  
1 – пуансон, 2 – матрица, 3 – изделие, 4 – отход

Основным технологическим параметром операций является радиальный зазор между пуансоном и матрицей. Величину зазора назначают в зависимости от толщины заготовки и механических свойств. Он приблизительно составляет 0,05–0,1 толщины заготовки.

Уменьшение усилия резания достигается выполнением скоса на матрице при вырубке, на пуансоне – при пробивке.

При штамповке мало- и среднегабаритных деталей из одной листовой заготовки вырубают несколько плоских заготовок для штамповки. Между смежными контурами вырубаемых заготовок оставляют перемычки шириной, примерно равной толщине заготовки. В отдельных случаях смежные заготовки вырубают без перемычек (экономия металла при ухудшении качества среза и снижении стойкости инструмента). Расположение контуров смежных вырубаемых заготовок на листовом материале называется **раскром**. Часть заготовки, оставшаяся после вырубki – **высечкой**.

Высечка составляет основной отход при листовой штамповке. Тип раскром следует выбирать из условия уменьшения отхода металла в высечку (рис. 103).

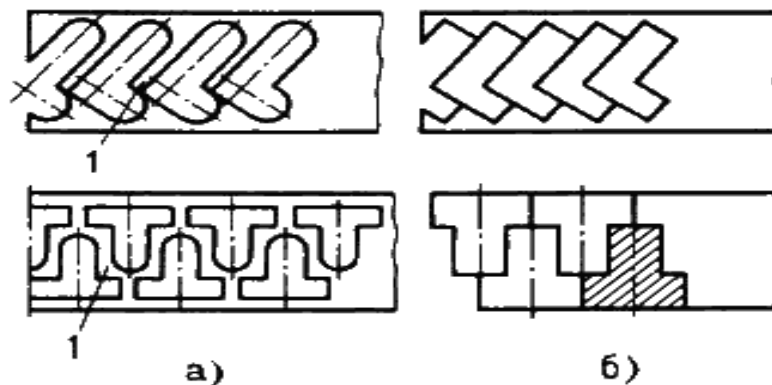


Рис.103. Примеры раскроя материала с перемычками (а) и без перемычек (б)

Экономия металла может быть получена: уменьшением расхода металла на перемычки, применением безотходного и малоотходного раскроя, повышением точности расчета размеров заготовки и уменьшением припусков на обрезку.

### Формообразующие операции листовой штамповки

При формообразующих операциях стремятся получить заданную величину деформации, чтобы заготовка приобрела требуемую форму.

Основные формообразующие операции: гибка, вытяжка, отбортовка, обжим, раздача, рельефная формовка. Схемы формообразующих операций представлены на рис. 104.

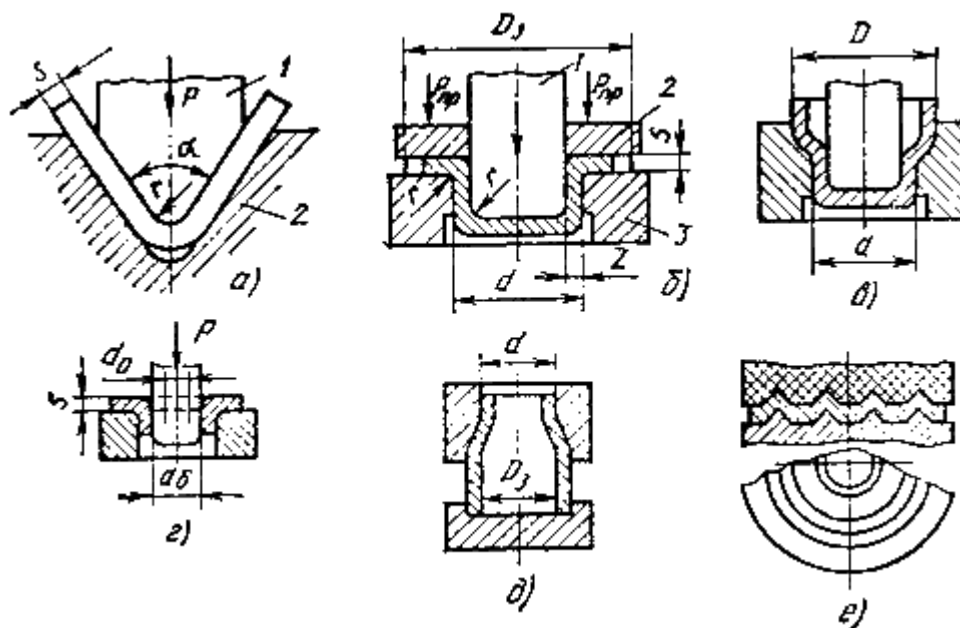


Рис. 104. Формообразующие операции листовой штамповки

**Гибка** – образование угла между частями заготовки или придание заготовке криволинейной формы.

При гибке пластически деформируется только участок заготовки в зоне контакта с пуансоном 1 (рис. 104,а): наружные слои заготовки растягиваются, а внутренние – сжимаются. Деформация растяжения наружных слоев и сжатия

внутренних увеличивается с уменьшением радиуса скругления рабочего торца пуансона, при этом возрастает вероятность образования трещин. Поэтому минимальный радиус пуансона ограничивается величиной в пределах  $(0,1-2,0)$  от толщины заготовки, в зависимости от механических свойств материала.

При снятии нагрузки растянутые слои заготовки упруго сжимаются, а сжатые – растягиваются, что приводит к изменению угла гибки, т.е. к пружинению детали. Это следует учитывать или уменьшением угла инструмента на величину пружинения, или применением в конце рабочего хода дополнительного усилия.

Гибку производят в штампах, а также вращающимися фигурными роликами, играющими роль матрицы, на профилегибочных станах.

**Вытяжка** – образование полого изделия из плоской или полый заготовки (рис.104,б).

Вырубленную заготовку диаметром  $D_3$  и толщиной  $S$  укладывают на плоскость матрицы 3. Пуансон 1 надавливает на заготовку и она, смещаясь в отверстие матрицы, образует стенки вытянутой детали диаметром  $d$ .

При вытяжке возможна потеря устойчивости фланца и образование складок. Их предотвращают прижимом 2 фланца заготовки к матрице с определенным усилием  $P_{пр}$ .

Высокие детали малого диаметра получают за несколько операций вытяжки с постепенным уменьшением диаметра  $D$  полуфабриката и увеличением его высоты (рис. 104,в).

Опасность разрушения заготовок устраняют применением смазочных материалов для уменьшения сил трения между поверхностями заготовок и инструмента. При вытяжке зазор между матрицей и пуансоном составляет  $(1-1,3)$  толщины листа.

**Отбортовка** – получение борта диаметром  $d_0$  путем вдавливания центральной части заготовки с предварительно пробитым отверстием  $d_0$  в матрицу (рис.104,г).

Отбортовку применяют для изготовления кольцевых деталей с фланцами и для образования уступов в деталях для нарезания резьбы, сварки, а также для увеличения жесткости конструкции при малой массе.

Выделяется отбортовка наружного контура – образование невысоких бортов по наружному криволинейному краю заготовки.

**Обжим** – уменьшение периметра поперечного сечения концевой части полый заготовки. Производится заталкиванием заготовки в сужающуюся полость матрицы (рис. 104,д). За один переход можно получить  $d = (0.7-0.8)D_3$ . Для большего формоизменения выполняют несколько последовательных операций обжима.

**Раздача** – увеличение периметра поперечного сечения концевой части полый заготовки коническим пуансоном; это операция противоположная обжиму.

**Рельефная формовка** – местное деформирование заготовки с целью образования рельефа в результате уменьшения толщины заготовки (рис. 104,е).

Формовкой получают конструкционные выступы и впадины, ребра жесткости, лабиринтные уплотнения.

Штампы для листовой штамповки делятся по технологическому признаку в зависимости от выполняемой операции: вырубные, гибочные, вытяжные и т.д. В зависимости от числа выполняемых операций различают одно- и многооперационные штампы. Многооперационные штампы бывают

последовательного действия, в которых операции выполняются последовательно при перемещении заготовки по нескольким рабочим позициям штампа, и совмещенного действия, в которых операции выполняются на одной позиции, например, одновременно вырубка и пробивка, вырубка и вытяжка и т.д.

В настоящее время применяют специальные конструкции штампов, в которых металлические пуансоны или матрицы отсутствуют, и давление на материал осуществляется при помощи резины, жидкости или сжатого воздуха (рис.105). При этом резина или жидкость легко удаляются из штампованной детали, а матрица должна быть разъемной.

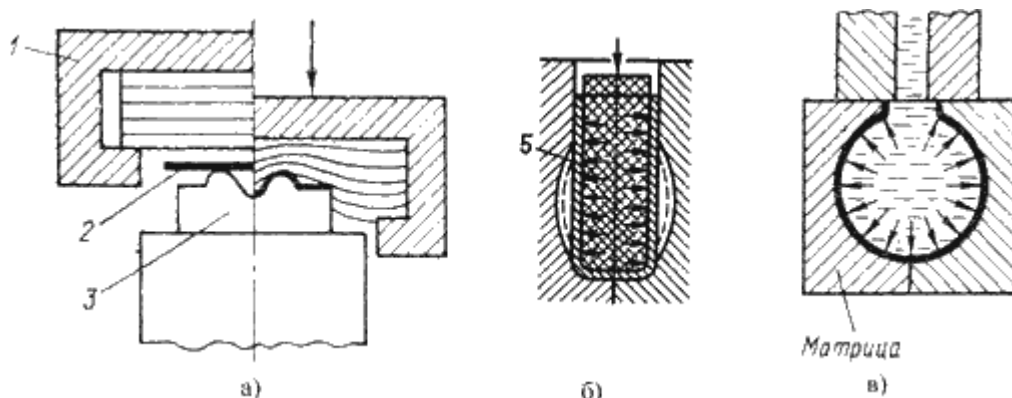


Рис. 105. Схемы листовой штамповки при помощи эластичной среды и жидкости

При изготовлении небольших по глубине изделий пуансон заменяет резиновая подушка (рис.105,а). С помощью резины можно осуществлять все операции: вырубку, гибку, вытяжку, формовку. Матрица 3 крепится к столу, а резиновая подушка, помещенная в стальную обойму 1, крепится к ходовой части прессы (толщина заготовки от 2 до 1,5 мм).

Резиновые пуансоны цилиндрической формы применяются при вытяжке изделий сложной формы, при необходимости увеличения диаметральных размеров средней части цилиндрических полуфабрикатов (рис.105,б).

При гидравлической вытяжке (рис.105,в) полые детали цилиндрической, конической, сферической или другой формы получают надавливанием на заготовку жидкостью или жидкостью, заключенной в эластичную оболочку.

### Высокоскоростные методы штамповки

Особенностью таких методов является высокая скорость деформирования в соответствии с высокими скоростями преобразования энергии. Кратковременное приложение больших усилий разгоняет заготовку до скоростей 150 м/с. Последующее ее деформирование происходит за счет накопленной в период разгона кинетической энергии. Основными разновидностями высокоскоростной листовой штамповки являются: штамповка взрывом, электрогидравлическая и электромагнитная штамповка (рис.106).

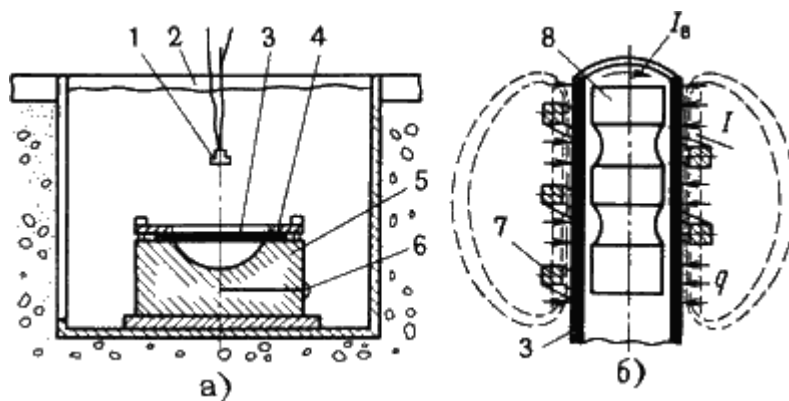


Рис. 106. а) - штамповка взрывом; б) – электромагнитная штамповка

**Штамповка взрывом** осуществляется в бассейнах, наполненных водой (рис.106,а). Заготовку 3, зажатую между матрицей 5 и прижимом 4 опускают в бассейн с водой 2. Полость матрицы под заготовкой вакуумируется при помощи вакуумной линии 6. Заряд с детонатором 1 подвешивают в воде над заготовкой. Взрыв образует волну высокого давления, которая, достигая заготовки, вызывает ее разгон. Процесс штамповки длится тысячные доли секунды, а скорости перемещения заготовки соизмеримы со скоростями распространения пластических деформаций в металле. При штамповке взрывом не требуется дорогостоящего прессового оборудования, конструкция штампа крайне проста.

Аналогичным образом осуществляют **электрогидравлическую штамповку**. Ударная волна, разгоняющая заготовку, возникает при кратковременном электрическом разряде в жидкости. Мощный искровой разряд подобен взрыву. В результате разряда в жидкости возникает ударная волна, которая, дойдя до заготовки, оказывает на нее сильное воздействие и деформирует ее по матрице.

При **электромагнитной штамповке** (рис.106,б) электрическая энергия преобразуется в механическую за счет импульсного разряда батареи конденсаторов через соленоид 7, вокруг которого при этом возникает мгновенное магнитное поле высокой мощности, наводящее вихревые токи в трубчатой токопроводящей заготовке 3. Взаимодействие магнитных полей вихревых токов  $I_e$  с магнитным полем индуктора создает механические силы  $q$ , деформирующие заготовку. Для электромагнитной штамповки трубчатых и плоских заготовок созданы установки, на которых можно проводить обжим, раздачу, формовку и операции получения неразъемных соединения деталей.

### Тема 3.1 Формообразование заготовок из порошковых материалов

Металлокерамика, или порошковая металлургия – отрасль технологии, занимающаяся производством металлических порошков и деталей из них. Сущность порошковой металлургии заключается в том, что из металлического порошка или смеси порошков прессуют заготовки, которые затем подвергают термической обработке – спеканию.

Порошковой металлургией можно получать детали из особо тугоплавких металлов, из нерастворимых друг в друге металлов (вольфрам и медь, железо и свинец и т. д.), пористые материалы и детали из них, детали, состоящие из двух



(биметаллы) или нескольких слоев различных металлов и сплавов. Большое применение находят материалы со специальными свойствами.

Из **антифрикционных металлокерамических** материалов изготавливают подшипники скольжения для различных отраслей промышленности. В антифрикционных материалах с пористостью 10–35% металлическая основа является твердой составляющей, а поры, заполняемые маслом, графитом или пластмассой, выполняют роль мягкой составляющей. Пропитанные маслом пористые подшипники способны работать без дополнительной смазки в течение нескольких месяцев, а подшипники со специальными «карманами» для запаса масла – в течение 2–3 лет. Во время работы подшипника масло нагревается, вытесняется из пор, образуя смазочную пленку на трущихся поверхностях. Такие подшипники широко применяют в машинах для пищевой промышленности, где попадание смазки в продукцию недопустимо.

Для пористых антифрикционных материалов используют железо-графитовые, железо-медно-графитовые, бронзо-графитовые, алюминиево-медно-графитовые и другие композиции. Процентный состав этих композиций зависит от эксплуатационных требований, предъявляемых к конструкциям деталей.

**Фрикционные** материалы представляют собой сложные композиции на медной или железной основе. Коэффициент трения можно повысить добавкой асбеста, карбидов тугоплавких металлов и различных окислов. Для уменьшения износа в композиции вводят графит или свинец. Фрикционные материалы обычно применяют в виде биметаллических элементов, состоящих из фрикционного слоя, спеченного под давлением с основой (лентой или диском).

Коэффициент трения по чугуну без смазки для фрикционных материалов на железной основе 0,4–0,6. Они способны выдерживать температуру в зоне трения до 500–600° С. Применяют фрикционные материалы в тормозных узлах и узлах сцепления (в самолетостроении, автомобилестроении и т. д.).

Из **высокопористых** материалов изготавливают фильтры и другие детали. В зависимости от назначения фильтры выполняют из порошков коррозионно-стойкой стали, алюминия, титана, бронзы и других материалов с пористостью до 50%. Металлические высокопористые материалы получают спеканием порошков без предварительного прессования или прокаткой их между вращающимися валками при производстве пористых лент. В порошки добавляют вещества, выделяющие газы при спекании.

**Металлокерамические** твердые сплавы характеризуются высокой твердостью, теплостойкостью и износостойкостью. Поэтому, из них изготавливают режущий и буровой инструменты, а также наносят на поверхность быстроизнашивающихся деталей и т.д.

Основой изготовления твердых сплавов являются порошки карбидов тугоплавких металлов (WC, TiC, TaC). В качестве связующего материала применяют кобальт. Процентное соотношение указанных материалов выбирают в зависимости от их назначения

Порошковой металлургией изготавливают алмазно-металлические материалы, характеризующиеся высокими режущими свойствами. В качестве связующего для алмазных порошков применяют металлические порошки (медные, никелевые и др.) или сплавы. Наибольшей твердостью характеризуются материалы из карбидов бора (эльбор).

Из *жаропрочных* и *жаростойких* материалов изготавливают детали, работающие при высоких температурах. Эти материалы должны иметь высокую жаропрочность, стойкость против ползучести и окисления. Металлические сплавы на основе никеля, титана, тантала, вольфрама и других элементов отвечают этим требованиям при работе до температур 850–900° С.

При более высоких температурах (до 3000° С) можно использовать тугоплавкие и твердые соединения типа окислов, карбидов, боридов и др. Однако эти материалы имеют высокую хрупкость и поэтому в чистом виде не могут быть использованы в качестве конструкционных материалов для изготовления различных деталей.

Порошковую металлургию широко применяют для получения материалов со специальными электромагнитными свойствами (постоянные магниты, магнитодиэлектрики, ферриты и т.д.).

Экономическая эффективность получения деталей (заготовок) из порошковых материалов достигается благодаря сокращению или полному исключению механической обработки. Вследствие высокой стоимости пресс-форм изготовление деталей машин методами порошковой металлургии эффективно только в массовом производстве.

Применение порошковых материалов рекомендуется при изготовлении деталей простой симметричной формы (цилиндрические, конические, зубчатые), малых массы и размеров. Конструктивные формы детали не должны содержать отверстий под углом к оси заготовки, выемок, внутренних полостей и выступов. Конструкция и форма детали должны позволять равномерно заполнять полость пресс-формы порошками, их уплотнение, распределение напряжений и температуры при прессовании и удалении изделия из пресс-формы.

### Способы формообразования заготовок и деталей

Заготовки из порошковых материалов получают прессованием (холодным и горячим), изостатическим прессованием, прокаткой и другими способами.

**Холодное прессование.** В пресс-форму 2 засыпают определенное количество подготовленного порошка 3 и прессуют пуансоном 1 (рис.107). В процессе прессования увеличивается контакт между частицами, уменьшается пористость, деформируются или разрушаются отдельные частицы. Прочность получаемой заготовки обеспечивается силами механического сцепления частиц порошка, электростатическими силами притяжения и трения. С увеличением давления прессования прочность возрастает. Давление распределяется неравномерно по высоте прессуемой заготовки из-за влияния сил трения порошка о стенки пресс-формы. Это является причиной получения заготовок с различной прочностью и пористостью по высоте. В зависимости от габаритных размеров и сложности прессуемых заготовок применяют одно- и двустороннее прессование.

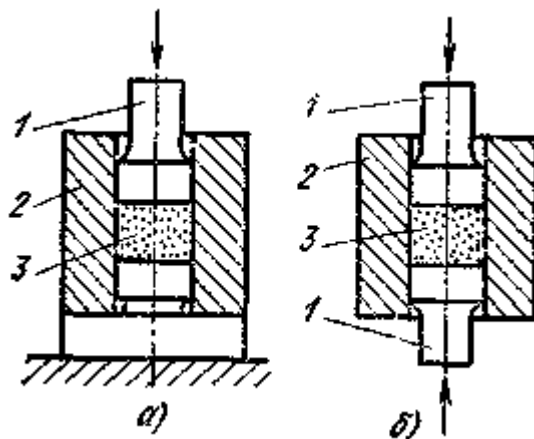


Рис. 107. Схемы холодного прессования: *а* – одностороннего; *б* - двустороннего

**Односторонним прессованием** (рис.107,*а*) получают заготовки простой формы с отношением высоты к диаметру меньше единицы и заготовки типа втулок с отношением диаметра к толщине стенки меньше трех, вследствие чего обеспечивается равномерная плотность получаемых заготовок.

**Двусторонним прессованием** (рис.107,*б*) получают заготовки сложной формы, при этом требуемое давление для получения равномерной плотности уменьшается на 30–40%.

При извлечении детали из пресс-формы ее размеры увеличиваются. Величина упругого последействия в направлении прессования составляет 0,3–0,5% и 0,1–0,2% – в направлении, перпендикулярном прессованию. Указанное обстоятельство необходимо учитывать при расчете исполнительных размеров пресс-форм.

Давление прессования составляет 200–1000 МПа в зависимости от требуемой плотности, размеров, формы прессуемой детали, вида прессуемого порошка и других факторов. Использование вибрационного прессования позволяет резко (в 50–100 раз) уменьшить давление прессования.

**Горячее прессование.** При таком прессовании технологически совмещаются процессы формообразования и спекания заготовки с целью получения готовой детали. Горячим прессованием получают детали из твердых сплавов и специальных жаропрочных материалов. Изготавливаемые детали характеризуются высокой прочностью, плотностью и однородностью материала. При горячем прессовании применяют графитовые пресс-формы. Высокая температура порошка позволяет значительно уменьшить необходимое давление. Горячее прессование имеет и существенные недостатки: низкую производительность, малую стойкость пресс-форм (4–7 прессовок), необходимость проведения процессов в среде защитных газов, которые ограничивают применение данного способа.

Этот способ применяют для таких плохо прессуемых композиций, как тугоплавкие металлоподобные соединения (карбиды, бориды, силициды).

**Гидростатическое (изостатическое) прессование.** Это прессование применяют для получения металлокерамических заготовок, к которым не предъявляют высоких требований по точности (рис.108). Сущность процесса заключается в том, что порошок 3, заключенный в эластическую резиновую или металлическую оболочку 2, подвергают равномерному и всестороннему обжатию в специальной герметизированной камере 1.

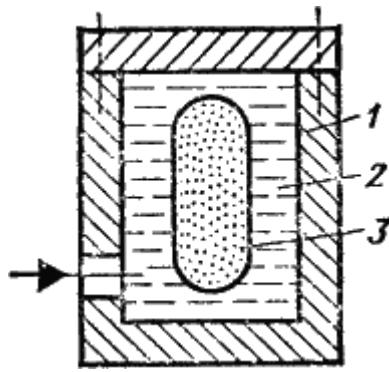


Рис. 108. Схема гидростатического прессования

Давление жидкости достигает 3000 МПа, что обеспечивает получение заготовок высокой прочности и плотности. При гидростатическом прессовании отпадает необходимость в применении дорогостоящих пресс-форм. Габаритные размеры изготавливаемых заготовок зависят от конструкции герметизированной камеры.

Гидростатическое прессование применяют для получения крупногабаритных заготовок с массой до 500 кг и более. Отсутствие потерь на внешнее трение и равномерность давления со всех сторон дают возможность получать необходимую плотность заготовок при давлениях, значительно меньших, чем при прессовании в закрытых пресс-формах.

**Мундштучное прессование (выдавливание).** Этим способом получают заготовки изделий большой длины и равномерной плотности (прутки, трубы, профили различного сечения) из труднопрессуемых порошков. Процесс получения заготовок заключается в выдавливании порошка, заключенного в полость контейнера 2 (рис. 109) пуансоном 1 через отверстие мундштука пресс-формы 3. В порошок добавляют пластификатор (парафин, крахмал) до 10–12% от массы порошка, улучшающий процесс соединения частиц и уменьшающий трение порошка о стенки пресс-формы.

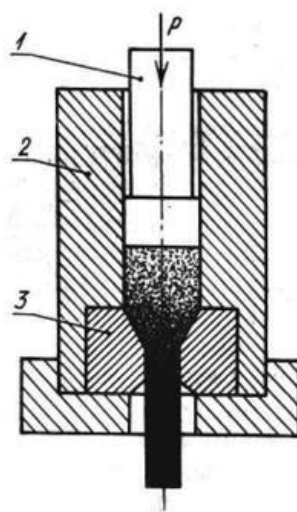


Рис. 109. Схема мундштучного прессования

Профиль получаемой детали зависит от формы калиброванного отверстия пресс-формы. Полые профили выполняют с применением рассекателя.

Металлокерамические профили получают выдавливанием на гидравлических и механических прессах.

**Прокатка**— наиболее производительный и перспективный способ переработки порошковых материалов. Характерной особенностью является высокая степень автоматизации и непрерывность прокатки. Схема прокатки представлена на рис.110.

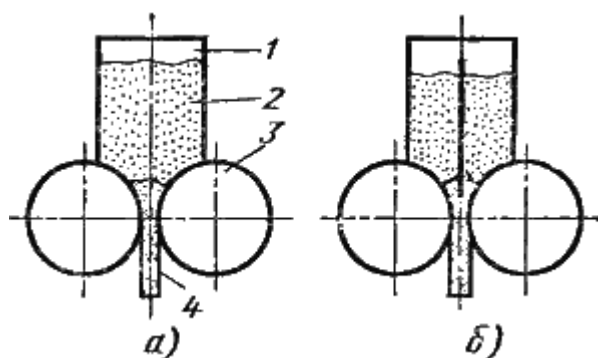


Рис.110. Схема прокатки порошков

Порошок непрерывно поступает из бункера 1 в зазор между валками. При вращении валков 3 происходит обжатие и вытяжка порошка 2 в ленту или полосу 4 определенной толщины. Прокатка может быть совмещена со спеканием и окончательной обработкой получаемых заготовок. В этом случае лента проходит через печь для спекания, а затем снова подвергается прокатке для получения листов заданных размеров. Применяя бункеры с перегородкой (рис. 110,б) изготавливают ленты из разных материалов (двухслойные). Применение валков определенной формы позволяет получать валки различного профиля, в том числе и проволоку.

### Спекание и окончательная обработка заготовок

Спекание проводят для повышения прочности предварительно полученных заготовок прессованием или прокаткой. В процессе спекания вследствие температурной подвижности атомов порошков одновременно протекают такие процессы, как диффузия, восстановление поверхностных окислов, рекристаллизация и др. Температура спекания обычно составляет 0,6–0,9 температуры плавления порошка однокомпонентной системы или ниже температуры плавления основного материала для порошков, в состав которых входит несколько компонентов. Время выдержки после достижения температуры спекания по всему сечению составляет 30–90 мин. Увеличение времени и температуры спекания до определенных значений приводит к увеличению прочности и плотности в результате активизации процесса образования контактных поверхностей. Превышение указанных технологических параметров может привести к снижению прочности за счет роста зерен кристаллизации.

Для спекания используют электрические печи сопротивления или печи с индукционным нагревом. Для предотвращения окисления спекают в нейтральных или защитных средах, а для повышения плотности и прочности, получаемые заготовки повторно прессуют и спекают.

## Тема 3.2. Получение заготовок сваркой

**Сварка** – технологический процесс получения неразъемных соединений в результате возникновения атомно-молекулярных связей между соединяемыми деталями при их нагреве и пластическом деформировании.

Сварные соединения можно получать двумя принципиально разными путями: сваркой плавлением и сваркой давлением.

При **сварке плавлением** атомно-молекулярные связи между деталями создают, оплавливая их примыкающие кромки, так, чтобы получилась смачивающая их, общая ванна. Эта ванна затвердевает при охлаждении и соединяет детали в одно целое. Как правило, в жидкую ванну вводят дополнительный металл, чтобы полностью заполнить зазор между деталями, но возможна сварка и без него.

При **сварке давлением** обязательным является совместная пластическая деформация деталей сжатием зоны соединения. Этим обеспечивается очистка свариваемых поверхностей от окисных пленок и загрязнений, изменение их рельефа и образование атомно-молекулярных связей. Пластической деформации обычно предшествует нагрев, так как с ростом температуры уменьшается значение деформации, необходимой для сварки и повышается пластичность металла.

Нагрев свариваемых деталей осуществляется разными способами: электрической дугой, газокислородным пламенем, пропусканием тока, лазером и т.д. По-разному обеспечиваются защита зоны сварки от воздействия воздуха и ее принудительная деформация.

Существует множество технологических процессов сварки (более 70).

Сварка является наиболее важным способом получения неразъемных соединений из различных материалов, свариваются металлы и сплавы, керамика, стекло, пластмассы, разнородные материалы. Сварка применяется во всех областях техники.

### Сварка плавлением

**Дуговая сварка.** Источником теплоты является сварочная электрическая дуга, которая горит между электродом и заготовкой.

Сварочной дугой называется мощный электрический разряд между электродами, находящимися в среде ионизированных газов и паров.

В зависимости от материала и числа электродов, а также способа включения электродов и заготовки в цепь электрического тока различают следующие разновидности дуговой сварки (рис. 111):

- сварка неплавящимся (графитовым или вольфрамовым) электродом дугой прямого действия, при которой соединение выполняется путем расплавления только основного металла, либо с применением присадочного металла (рис. 111,а);
- сварка плавящимся электродом (металлическим) дугой прямого действия с одновременным расплавлением основного металла и электрода, который пополняет сварочную ванну жидким металлом (рис. 111,б);

- сварка косвенной дугой, горящей между двумя, как правило, неплавящимися электродами. При этом основной металл нагревается и расплавляется теплотой столба дуги (рис. 111,в);
- сварка трехфазной дугой, при которой дуга горит между каждым электродом и основным металлом (рис. 111,г).

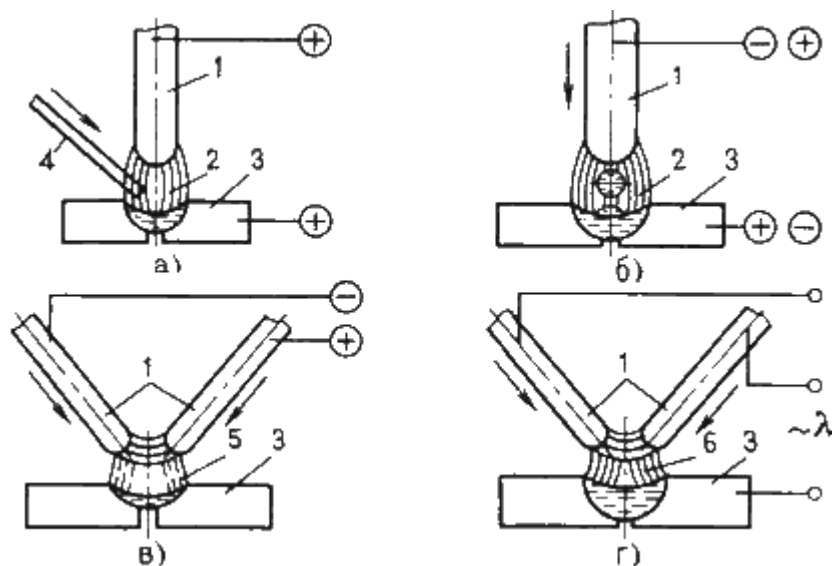


Рис. 111. Схемы дуговой сварки

1 – электрод; 2 – дуга прямого действия; 3 – основной металл;  
4 – присадочный металл; 5 – косвенная дуга; 6 – трехфазная дуга

Разновидности дуговой сварки различают по способу защиты дуги и расплавленного металла и степени механизации процесса.

**Ручная дуговая сварка.** Ручную дуговую сварку выполняют сварочными электродами, которые подают вручную в дугу и перемещают вдоль заготовки (рис.112). В процессе сварки металлическим покрытым электродом дуга 8 горит между стержнем 7 электрода и основным металлом 1.

Стержень электрода плавится, и расплавленный металл каплями стекает в сварочную ванну 9. Вместе со стержнем плавится покрытие электрода 6, образуя защитную газовую атмосферу 5 вокруг дуги и жидкую шлаковую ванну 4 на поверхности расплавленного металла. По мере движения дуги сварочная ванна затвердевает и формируется сварной шов 3. Жидкий шлак образует твердую шлаковую корку 2.

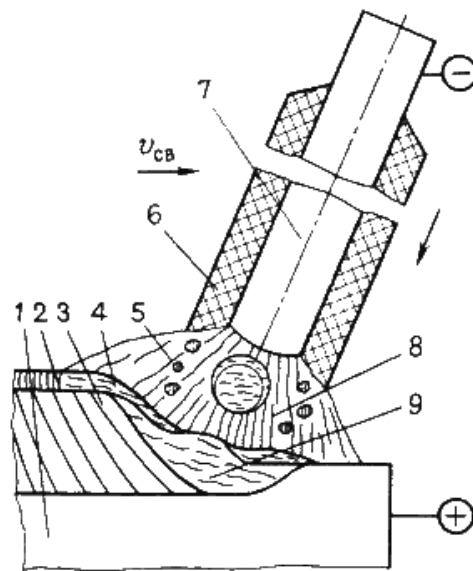


Рис. 112. Схема процесса сварки металлическим покрытым электродом

Ручная сварка позволяет выполнять швы в любых пространственных положениях: нижнем, вертикальном, горизонтальном, вертикальном, потолочном. Ручная сварка удобна при выполнении коротких криволинейных швов в любых пространственных положениях, при выполнении швов в труднодоступных местах, а также при монтажных работах и сборке конструкций сложной формы.

Оборудование для ручной сварки: источник питания дуги, электрододержатель, гибкие провода, защитная маска или щиток.

**Автоматическая дуговая сварка под флюсом.** Для сварки используют непокрытую электродную проволоку и флюс для защиты дуги и сварочной ванны от воздуха. Схема автоматической дуговой сварки под флюсом представлена на рис. 113.

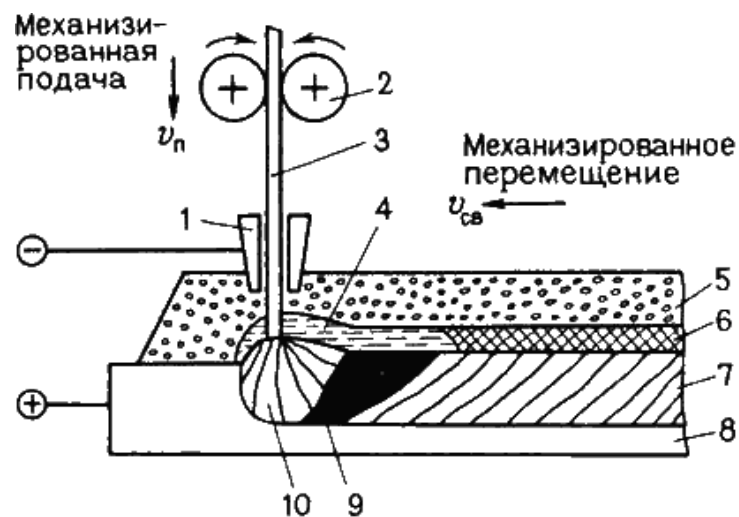


Рис.113. Схема автоматической дуговой сварки под флюсом

Подача и перемещение электродной проволоки механизированы. Автоматизированы процессы зажигания дуги и заварки кратера в конце шва. Дуга 10 горит между проволокой 3 и основным металлом 8. Столб дуги и металлическая ванна жидкого металла 9 со всех сторон плотно закрыты слоем флюса 5 толщиной



30–50 мм. Часть флюса плавится и образуется жидкий шлак 4, защищающий жидкий металл от окисления кислородом воздуха. Качество защиты лучше, чем при ручной дуговой сварке. По мере поступательного движения электрода металлическая и шлаковая ванны затвердевают с образованием сварного шва 7, покрытого твердой шлаковой коркой 6. Проволоку подают в дугу с помощью механизма подачи 2. Ток к электроду подводят через токопровод 1.

Для сварки под флюсом характерно глубокое проплавление основного металла.

Преимущества автоматической сварки под флюсом по сравнению с ручной: повышение производительности процесса сварки в 5–20 раз, повышение качества сварных соединений и уменьшение себестоимости 1 м сварного шва.

Применяемые **флюсы** различают по назначению. Флюсы для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей предназначены для раскисления шва и легирования его марганцем и кремнием. Для этого применяют высококремнистые марганцевые флюсы, которые получают путем сплавления марганцевой руды, кремнезема и плавикового шпата в электропечах.

Флюсы для сварки легированных и высоколегированных сталей должны обеспечивать минимальное окисление легирующих элементов в шве. Для этого применяют керамические низкокремнистые, безкремнистые и фторидные флюсы, которые изготавливают из порошкообразных компонентов путем замеса их на жидком стекле, гранулирования и последующего прокаливания. Основу керамических флюсов составляют мрамор, плавиковый шпат и хлориды щелочно-земельных металлов.

**Дуговая сварка в защитных газах.** При сварке в защитном газе электрод, зона дуги и сварочная ванна защищены струей защитного газа (инертного – аргон, гелий; активного – углекислый газ, азот, водород).

**Сварку в инертных газах** можно выполнять неплавящимся и плавящимся электродами.

В качестве неплавящегося электрода применяется прутки вольфрама, а в качестве плавящегося – проволока из основного металла или близкого ему по химическому составу. Область применения аргонодуговой сварки охватывает широкий круг материалов и изделий (узлы летательных аппаратов, элементы атомных установок, корпуса и трубопроводы химических аппаратов). Аргонодуговую сварку применяют для легированных и высоколегированных сталей, цветных металлов и сплавов (алюминия, магния, меди) и тугоплавких металлов и сплавов (титана, ниобия, ванадия, циркония).

**Сварка в углекислом газе** выполняется только плавящимся электродом и применяется для сварки конструкций из углеродистых и низколегированных сталей (газо- и нефтепроводы, корпуса судов и т.п.). Защита сварочной ванны осуществляется углекислым газом. Углекислый газ химически активен по отношению к жидкому металлу. При нагреве он разлагается на оксид углерода и кислород, который окисляет железо и легирующие элементы. Окисляющее действие кислорода нейтрализуется введением в проволоку дополнительного количества раскислителей. Для сварки углеродистых и низколегированных сталей применяют сварочную проволоку с повышенным содержанием кремния и марганца. Хорошее качество сварного шва получается при использовании специальной порошковой проволоки.

Преимуществами данного способа являются низкая стоимость углекислого газа и высокая производительность.

Основной недостаток – разбрызгивание металла (на зачистку расходуется 30–40% времени сварки).

**Плазменная сварка.** Плазмой называется частично или полностью ионизированный газ, состоящий из нейтральных атомов и молекул, а также электрически заряженных ионов и электронов.

Обычная электрическая сварочная дуга имеет относительно невысокую температуру и обладает невысоким запасом энергии. Для повышения температуры и мощности обычной дуги и превращения ее в плазменную используются два процесса: сжатие дуги и принудительное вдувание в нее плазмообразующего газа.

Сжатие дуги осуществляется за счет размещения ее в специальном устройстве – плазмотроне, стенки которого интенсивно охлаждаются водой (рис. 114). В результате сжатия уменьшается поперечное сечение дуги и возрастает ее мощность – количество энергии, приходящееся на единицу площади. Температура в столбе обычной дуги, горящей в среде аргона и паров железа, составляет 5000–7000°C. Температура в плазменной дуге достигает 30000°C.

Одновременно со сжатием в зону плазменной дуги вдувается плазмообразующий газ (азот, аргон, водород, гелий и их смеси), который нагревается дугой, ионизируется и в результате теплового расширения увеличивается в объеме в 50–100 раз. Это заставляет газ истекать из канала сопла плазмотрона с высокой скоростью. Кинетическая энергия движущихся ионизированных частиц плазмообразующего газа дополняет тепловую энергию, выделяющуюся в дуге в результате происходящих электрических процессов. Поэтому плазменная дуга является более мощным источником энергии, чем обычная.

Основными чертами, отличающими плазменную дугу от обычной, являются:

- более высокая температура;
- меньший диаметр дуги;
- цилиндрическая форма дуги (в отличие от обычной конической);
- давление дуги на металл в 6–10 раз выше, чем у обычной;
- возможность поддерживать дугу на малых токах (0,2–30 А).

Перечисленные отличительные черты делают плазменную дугу по сравнению с обычной более универсальным источником нагрева металла.

Возможны две схемы процесса:

- сварка плазменной дугой, когда дуга горит между неплавящимся электродом и изделием (рис.114,а);
- и плазменной струей, когда дуга горит между неплавящимся электродом и соплом плазмотрона и выдувается потоком газа (рис. 114,б).

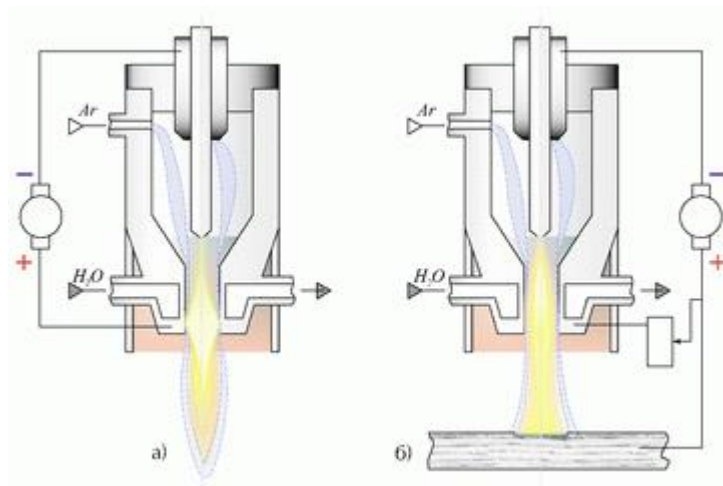


Рис. 114. Схемы плазменной сварки:  
а – плазменной дугой; б – плазменной струей

Первая схема наиболее распространена.

**Плазменная дуга** обладает большой тепловой мощностью, имеет более широкое применение: для сварки высоколегированной стали, сплавов титана, никеля, молибдена, вольфрама. Плазменную дугу применяют для резки материалов (меди, алюминия), наплавки тугоплавких материалов на поверхность.

Она обеспечивает более глубокое проплавление металла при одновременном уменьшении объема его расплавления. Плазменная дуга – более концентрированный источник нагрева и позволяет без разделки кромок и применения присадочного материала сваривать большие толщины металла (до 10 мм). Из-за своей цилиндрической формы и возможности существенно увеличить длину такая дуга позволяет вести сварку в труднодоступных местах, а также при колебаниях расстояния от сопла горелки до изделия.

Поскольку плазменная дуга обладает высокой стабильностью, то обеспечивается повышенное качество сварных швов. Это позволяет выполнять микроплазменную сварку металла толщиной 0,025–0,8 мм.

**Плазменная струя** представляет собой независимый источник теплоты, позволяющий в широких пределах изменять степень нагрева и глубину проплавления поверхности заготовок. Тепловая мощность плазменной струи ограничена, и ее применяют для сварки и резки тонких металлических листов и неэлектропроводящих материалов, а также для напыления тугоплавких материалов.

Недостаток плазменной сварки – недолговечность горелок.

**Электрошлаковая сварка.** Сущность процесса заключается в том, что тепловую энергию, необходимую для расплавления основного и присадочного металла, дает теплота, выделяемая в объеме шлаковой ванны при прохождении через нее тока (рис. 115).

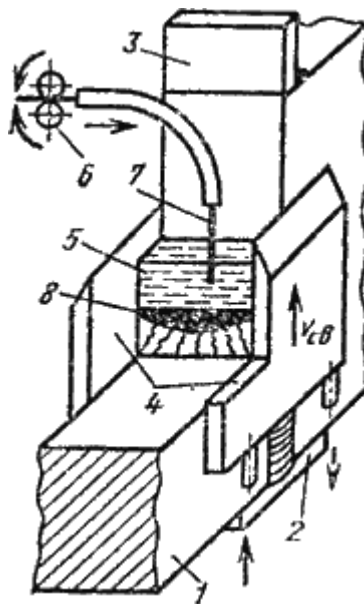


Рис.115. Схема электрошлаковой сварки

Свариваемые заготовки 1 устанавливают в вертикальном положении. В замкнутое пространство между водоохлаждаемыми медными ползунами 4 и вертикально установленными кромками изделий засыпают флюс и подают электродную проволоку 7 при помощи специального механизма подачи 6.

В начале процесса возбуждают электрическую дугу, флюс плавится и образуется электропроводный шлак 5. Шлак шунтирует дугу, она гаснет, выходная цепь источника питания замыкается через шлак. Ток, проходя через шлак, разогревает его, это приводит к расплавлению кромок основного металла и электрода. Расплав стекает вниз и образует сварочную ванну 8, выжимая шлак вверх, и затвердевает.

В начальном и конечном участках сварного шва образуются дефекты: в начале шва – непровар кромок, в конце шва – усадочная раковина и неметаллические включения. Поэтому сварку начинают и заканчивают на специальных планках 2 и 3, которые затем удаляют газовой резкой.

Преимущества: возможна сварка металла любой толщины (с 16 мм). Заготовки с толщиной до 150 мм можно сваривать одним электродом, совершающим поперечное колебание в плоскости стыка, при толщине более 150 мм используются нескольких проволок. Есть опыт сварки толщиной до 2 м.

Недостаток способа – образование крупного зерна в шве и околошовной зоне вследствие замедленного нагрева и охлаждения. Необходимо проведение термической обработки: нормализации или отжига для измельчения зерна.

Электрошлаковую сварку широко применяют в тяжелом машиностроении для изготовления ковано-сварных и лито-сварных конструкций; станины и детали мощных прессов и станков, коленчатые валы судовых дизелей, роторы и валы гидротурбин, котлы высокого давления и т.п.

## Лучевые способы сварки

**Электронно-лучевая сварка.** Сущность процесса состоит в том, что свариваемые детали, собранные без зазора, помещают в вакуумную камеру и

подают на них электродный луч – пучок электронов, движущихся с большой скоростью. При соударении с изделием электроны тормозятся, их кинетическая энергия переходит в тепловую энергию и расплавляет металл. Температура в месте соударения достигает 5000–6000 °С. Перемещая электронный луч вдоль стыка, получают сварной шов.

Схема установка для электронно-лучевой сварки представлена на рис. 116.

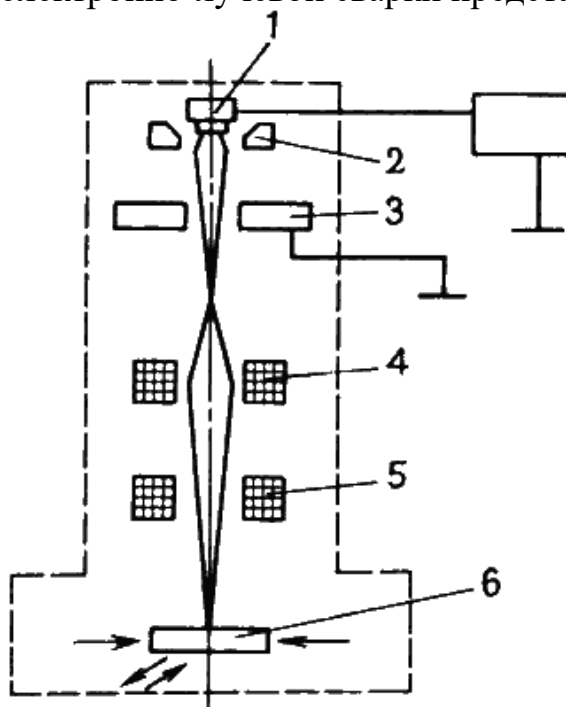


Рис.116. Схема установки для электронно-лучевой сварки

Электроны, испускаемые катодом 1 электронной пушки, формируются в пучок электродом 2, расположенным непосредственно за катодом, ускоряются под действием разности потенциалов между катодом и анодом 3, составляющей 20–150 кВ и выше, затем фокусируются в виде луча и направляются специальной отклоняющей магнитной системой 5 на обрабатываемое изделие 6. На формирующий электрод 2 подается отрицательный или нулевой по отношению к катоду потенциал. Фокусировкой достигается высокая удельная мощность луча. Ток электронного луча невелик – от нескольких миллиампер до единиц ампер.

Процессу электронно-лучевой сварки присущи две характерные особенности:

- сварка протекает в вакууме, обеспечивается получение зеркально чистой поверхности и дегазация расплавленного металла;
- интенсивность нагрева очень велика, что обеспечивает быстрое плавление и затвердевание металла. Шов получается мелкозернистый с высокими механическими свойствами, с минимальной шириной, что позволяет сваривать сплавы, чувствительные к нагреву.

Электронно-лучевой сваркой изготавливают детали из тугоплавких, химически активных металлов и их сплавов (вольфрамовых, танталовых, молибденовых, ниобиевых, циркониевых), а также алюминиевых и титановых сплавов и высоколегированных сталей. Металлы и сплавы можно сваривать в однородных и разнородных сочетаниях, со значительной разностью толщин, температур плавления. Минимальная толщина свариваемых заготовок составляет 0,02 мм, максимальная – до 100 мм.

**Лазерная сварка** – способ сварки плавлением, при котором металл нагревают излучением лазера.

Лазерный луч представляет собой вынужденное монохроматическое излучение, длина волны которого зависит от природы рабочего тела лазера-излучателя. Оно возникает в результате вынужденных скачкообразных переходов возбужденных атомов рабочих тел на более низкие энергетические уровни.

Основными параметрами режимов лазерной обработки являются мощность излучения, диаметр пятна фокусировки, скорость перемещения обрабатываемого материала относительно луча.

Преимуществом лазерной сварки является быстрый точечный нагрев металла до плавления. Интенсивный сосредоточенный нагрев обуславливает и чрезвычайно большую скорость охлаждения после прекращения воздействия луча. Это позволяет свести к минимуму ширину околошовной зоны, сварочные напряжения и деформации.

Механизм процессов при лазерной сварке схож с электронно-лучевой сваркой, но не обязательно вакуумировать изделие.

Лазером сваривают преимущественно металл толщины до 1 мм, так как коэффициент полезного действия преобразования энергии в лазерное излучение довольно низкий.

## Газовая сварка

При газовой сварке металл заготовки 1 и присадочный материал 2 в виде прутка или проволоки расплавляют высокотемпературным пламенем 4 газовой горелки 3 (рис. 117).

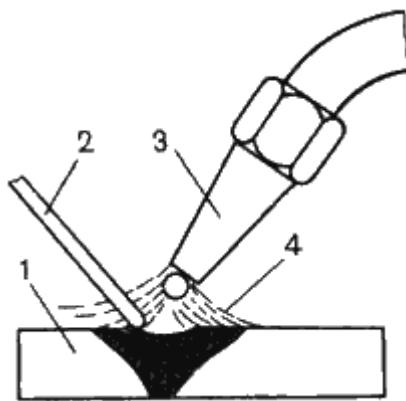


Рис. 117. Схема газовой сварки

Газовое пламя получают при сгорании горючего газа (ацетилена) в атмосфере технически чистого кислорода. Мощность пламени регулируют сменой наконечников горелки.

Нагрев заготовки осуществляется более плавно, чем при дуговой сварке, поэтому газовую сварку применяют для сварки металла малой толщины (0,2–3 мм), легкоплавких цветных металлов и сплавов; металлов и сплавов, требующих постепенного нагрева и охлаждения (инструментальные стали, латуни); для подварки дефектов в чугунных и бронзовых отливках.

При увеличении толщины металла снижается производительность и увеличивается деформация.

## Сварка давлением

Сущность получения неразъемного сварного соединения двух заготовок в твердом состоянии состоит в сближении соединяемых поверхностей на расстояния, при которых возникают межатомные силы притяжения.

Необходимым условием получения качественного соединения в твердом состоянии являются хорошая очистка и подготовка поверхностей и наличие сдвиговых пластических деформаций в зоне соединения в момент сварки.

## Контактная сварка

Сварные соединения получают в результате нагрева деталей проходящим через них током и последующей пластической деформации зоны соединения.

Сварка осуществляется на машинах, состоящих из источника тока, прерывателя тока и механизмов зажатия заготовок и давления.

К деталям с помощью электродов подводят ток небольшого напряжения (3–8 В) и большой силы (до нескольких десятков кА). Большая часть тепла выделяется в зоне контакта деталей.

По виду получаемого соединения контактную сварку подразделяют на точечную, шовную, стыковую. Схемы контактной сварки представлены на рис. 118.

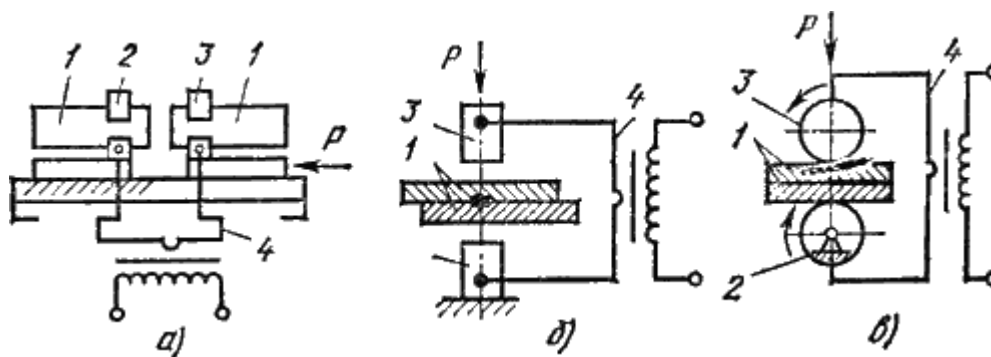


Рис. 118. Схемы контактной сварки:  
а – стыковой; б – точечной; в – шовной

**Стыковая контактная сварка** – способ соединения деталей по всей плоскости их касания (рис.118,а).

Свариваемые заготовки 1 плотно зажимают в неподвижном 2 и подвижном 3 токоподводах, подключенных к вторичной обмотке сварочного трансформатора 4. Для обеспечения плотного электрического контакта свариваемые поверхности приводят в соприкосновение и сжимают. Затем включается ток. Поверхность контакта заготовок разогревается до требуемой температуры, ток отключается, производится сдавливание заготовок – осадка.

Стыковую сварку с разогревом стыка до пластического состояния и последующей осадкой называют **сваркой сопротивлением**, а при разогреве торцов

до оплавления с последующей осадкой – *сваркой оплавлением*. В результате пластической деформации и быстрой рекристаллизации в зоне образуются рекристаллизованные зерна из материала обеих деталей.

Этот вид сварки применяется для соединения встык деталей типа стержней, толстостенных труб, рельсов и т.п.

*Точечная сварка* (рис.118,б) – способ изготовления листовых или стержневых конструкций, позволяющий получить прочные соединения в отдельных точках.

Свариваемые заготовки 1, собранные внахлест, зажимают между неподвижным 2 и подвижным 3 электродами, подсоединенными к обмотке трансформатора 4. Электроды изнутри охлаждаются водой, нагрев локализуется на участках соприкосновения деталей между электродами. Получают линзу расплава требуемого размера, ток выключают, расплав затвердевает, образуется сварная точка. Электроды сжимают детали, пластически деформируя их.

Образующееся сварное соединение обладает большой прочностью и его можно применять для изготовления несущих конструкций. Этот способ широко применяют в авто- и вагоностроении, строительстве, а также при сборке электрических схем.

*Шовная сварка* – способ соединения деталей швом, состоящим из отдельных сварных точек (рис.118,в).

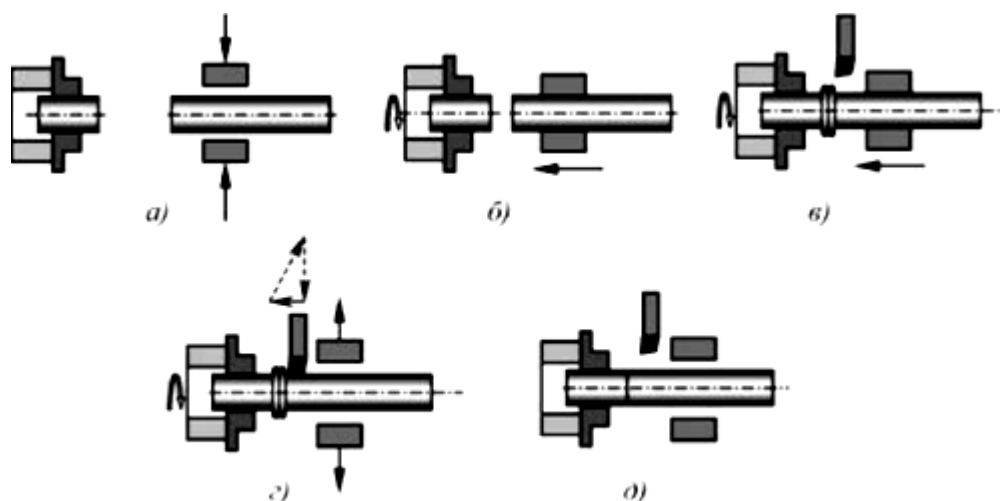
Свариваемые заготовки 1 помещают между двумя роликами-электродами. Один из электродов 2 может иметь вращательное движение, а другой 3 – вращательное движение и перемещение в вертикальном направлении. Электроды подключаются к вторичной обмотке трансформатора 4. Электроды-ролики зажимают и передвигают деталь.

Шовная сварка обеспечивает получение прочных и герметичных соединений их листового материала толщиной до 5 мм.

## Сварка трением

*Сварка трением* – способ сварки давлением при воздействии теплоты, возникающей при трении свариваемых поверхностей (рис. 119) .

Способ основан на тепловыделении при трении торцевых поверхностей имеющих общую ось вращения и применяется для сваривания деталей из различных материалов имеющих формы цилиндров и труб.





Процесс сварки может быть представлен в виде нескольких последовательных стадий:

- а) свариваемые элементы устанавливаются в патрон шпинделя и стационарный зажим. Если у свариваемых деталей нет общей оси симметрии, используются специальные приспособления;
- б) устанавливаются требуемые частота вращения шпинделя, величина осевой силы и производится сближение свариваемых элементов. Начинается процесс сварки. С ростом температуры снижается сопротивление металла деформации, а под действием сжимающей силы происходит вытеснение металла из стыка;
- в) эти условия поддерживаются определенное время, пока не будет достигнута требуемая температура для сварки данных материалов. Вращение шпинделя прекращается и увеличивается осевая сила, действующая до окончания процесса сварки;
- г) если машина для сварки оснащена дополнительным токарным суппортом, выполняется точение зоны сварного шва;
- д) сваренное изделие снимается со станка.

Применение ротационной сварки трением ограничивается формой сечения свариваемых деталей. Как минимум один из свариваемых элементов должен представлять собой тело вращения (стержень, трубу), ось которой совпадает с осью вращения, а другой иметь плоскую поверхность, перекрывающую торец сопряженной детали.

Иногда сварку трением производят через промежуточный вращаемый элемент или заменяют вращательное движение вибрацией.

Сваркой трением можно сваривать заготовки диаметром 0,75–140 мм.

Преимущества способа: простота, высокая производительность, малая энергоемкость, стабильность качества соединения, возможность сварки заготовок из разнородных материалов.

Осуществляется сварка на специальных машинах.

### **Сварка взрывом**

Большинство технологических схем сварки взрывом основано на использовании направленного взрыва.

Соединяемые поверхности заготовок, одна из которых неподвижна и служит основанием, располагают под углом друг к другу на определенном расстоянии. На вторую заготовку укладывают взрывчатое вещество и устанавливают детонатор. Сварку осуществляют на жесткой опоре. При соударении двух деталей под действием ударной волны, движущихся с большой скоростью, между ними образуется кумулятивная струя, которая разрушает и уносит оксидные поверхностные пленки и другие загрязнения. Поверхности сближаются до расстояния действия межатомных сил, и происходит схватывание по всей площади соединения. Продолжительность сварки несколько микросекунд.

Прочность соединений, выполненных сваркой взрывом, выше прочности соединяемых материалов.

Сварку взрывом используют при изготовлении заготовок для проката биметалла, плакировке поверхностей конструкционных сталей металлами и сплавами со специальными свойствами, при сварке заготовок из разнородных материалов. Целесообразно сочетание сварки взрывом со штамповкой и ковкой.

### Типы сварных соединений

Основными преимуществами сварных соединений являются: экономия металла; снижение трудоемкости изготовления корпусных деталей; возможность изготовления конструкций сложной формы из отдельных деталей, полученных ковкой, прокаткой, штамповкой.

Сварным конструкциям присущи и некоторые недостатки: появление остаточных напряжений; коробление в процессе сварки; плохое восприятие знакопеременных напряжений, особенно вибраций; сложность и трудоемкость контроля.

Тип сварного соединения определяют взаимным расположением свариваемых элементов и формой подготовки (разделки) их кромок под сварку.

В зависимости расположения соединяемых деталей различают четыре основных типа сварных соединений: стыковые, нахлесточные, угловые и тавровые (рис. 120).

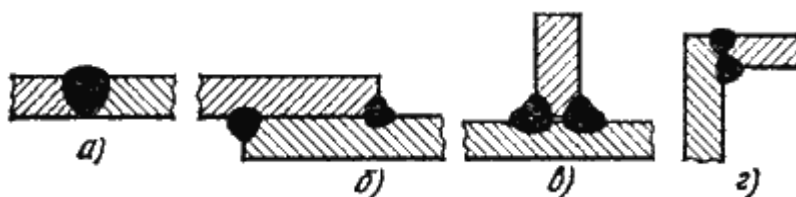


Рис.120. Основные типы сварных соединений:  
*a* – стыковое; *б* – нахлесточное; *в* – тавровое; *г* – угловое

Кромки разделяют в целях полного провара заготовок по сечению, что является одним из условий равнопрочности сварного соединения с основным металлом.

Формы подготовки кромок под сварку показаны на рис. 121. Различают V, U, X – образную разделку кромок.

По характеру выполнения сварные швы могут быть односторонние и двухсторонние.

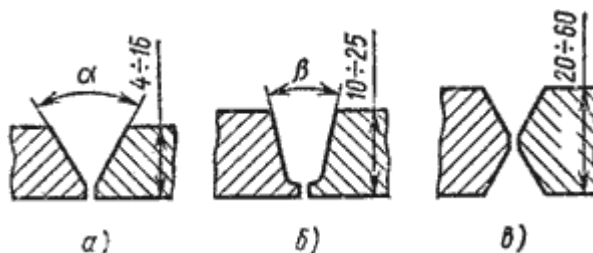


Рис. 121. Формы подготовки кромок под сварку:  
*a* – V-образная; *б* – U-образная; *в* – X-образная

## Специальные термические процессы в сварочном производстве

**Наплавка** – процесс нанесения слоя металла или сплава на поверхность изделия.

Наплавка позволяет получать детали с поверхностью, отличающейся от основного металла, например жаростойкостью и жаропрочностью, высокой износостойкостью при нормальных и повышенных температурах, коррозионной стойкостью и т.п. Наплавка может производиться как при изготовлении новых деталей, так и в ремонтно-восстановительных работах, существенно удлиняя срок эксплуатации деталей и узлов, обеспечивая этим высокий экономический эффект.

Существуют разнообразные способы наплавки:

- ручная дуговая электродами со стержнями и покрытиями специальных составов;
- автоматическая наплавка под флюсом. Электроды могут быть сплошного сечения и порошковые. Состав флюса, металл электрода и состав наполнителя определяют свойства наплавленного слоя;
- наплавка плавящимися и неплавящимися электродами в среде защитных газов. Свойства наплавленного слоя зависят от материала присадки или электрода;
- плазменная наплавка. Дуга может быть как прямого, так и косвенного действия. Можно плазменной струей оплавлять слой легированного порошка, предварительно нанесенный на поверхность детали;
- электрошлаковая, электронно-лучевая, лазерная наплавка, а также наплавка газокислородным пламенем.

Существенным показателем эффективности того или иного способа наплавки является степень перемешивания при наплавке основного металла и присадочного: чем она меньше, тем ближе будут свойства наплавленного слоя к заданным.

**Напыление.** При напылении расплавленные по всему объему или по поверхности частицы материала будущего покрытия направляются на поверхность нагретой заготовки. При соударении с поверхностью частица деформируется, обеспечивая хороший физический контакт с деталью. Характер взаимодействия частицы с материалом подложки, последующая кристаллизация частиц определяет качество адгезии покрытия с подложкой. Последующие слои формируются уже за счет связей частиц друг с другом, имеют чешуйчатое строение и существенно неоднородны.

По мере повышения стоимости объемного легирования и стремления получить требуемые эксплуатационные свойства более экономичным способом (легированием поверхности) напыление становится все более предпочтительным.

Для напыления используют источники тепла: газовое пламя, плазму, ионный нагрев, нагрев в печах, лазер и др.

Наибольшее распространение получили процессы газопламенного и плазменного напыления. Материал для напыления подается в пламя горелки или плазменную дугу в виде проволоки или порошка, где происходит нагрев и

распыление частиц, которые тепловым потоком источника нагрева разгоняются и попадают на поверхность напыляемой детали. Иной способ формирования покрытий при нагреве в печах. В этом случае нагретая деталь контактирует с материалом покрытия, находящимся в виде порошка или газовой фазы. Получаемое таким методом покрытие имеет высокую адгезию к поверхности детали за счет активных диффузионных процессов, происходящих в период длительной выдержки в печи при высокой температуре.

Все большее распространение получают ионно-плазменные методы напыления износостойких и декоративных покрытий.

**Пайка** – процесс получения неразъемного соединения заготовок без их расплавления путем смачивания поверхностей жидким припоем с последующей его кристаллизацией. Расплавленный припой затекает в специально создаваемые зазоры между деталями и диффундирует в металл этих деталей. Протекает процесс взаимного растворения металла деталей и припоя, в результате чего образуется сплав, более прочный, чем припой.

Качество паяных соединений (прочность, герметичность, надежность и др.) зависят от правильного выбора основного металла, припоя, флюса, способа нагрева, типа соединения.

Припой должен хорошо растворять основной металл, обладать смачивающей способностью, быть дешевым и недефицитным. Припои представляют собой сплавы цветных металлов сложного состава. По температуре плавления припои подразделяют на особо легкоплавкие (температура плавления ниже  $145^{\circ}\text{C}$ ), легкоплавкие ( $145\text{--}450^{\circ}\text{C}$ ), среднеплавкие ( $450\text{--}1100^{\circ}\text{C}$ ) и тугоплавкие (выше  $1050^{\circ}\text{C}$ ). К особо легкоплавким и легкоплавким припоям относятся оловянно-свинцовые, на основе висмута, индия, олова, цинка, свинца. К среднеплавким и тугоплавким относятся припои медные, медно-цинковые, медно-никелевые, с благородными металлами (серебром, золотом, платиной). Припои изготавливают в виде прутков, листов, проволок, полос, спиралей, дисков, колец, зерен, которые укладывают в место соединения.

При пайке применяются флюсы для защиты места спая от окисления при нагреве сборочной единицы, обеспечения лучшей смачиваемости места спая расплавленным металлом и растворения металлических окислов. Температура плавления флюса должна быть ниже температуры плавления припоя. Флюсы могут быть твердые, пастообразные и жидкие. Для пайки наиболее применимы флюсы: бура, плавиковый шпат, борная кислота, канифоль, хлористый цинк, фтористый калий.

Пайку точных соединений производят без флюсов в защитной атмосфере или в вакууме.

В зависимости от способа нагрева различают пайку газовую, погружением (в металлическую или соляную ванну), электрическую (дуговая, индукционная, контактная), ультразвуковую.

В единичном и мелкосерийном производстве применяют пайку с местным нагревом посредством паяльника или газовой горелки.

В крупносерийном и массовом производстве применяют нагрев в ваннах и газовых печах, электронагрев, импульсные паяльники, индукционный нагрев, нагрев токами высокой частоты.

Перспективным направлением развития технологии пайки металлических и неметаллических материалов является использование ультразвука. Генератор ультразвуковой частоты и паяльник с ультразвуковым магнитострикционным вибратором применяются для безфлюсовой пайки на воздухе и пайке алюминия. Оксидная пленка разрушается за счет колебаний ультразвуковой частоты.

Процесс пайки включает: подготовку сопрягаемых поверхностей деталей под пайку, сборку, нанесение флюса и припоя, нагрев места спая, промывку и зачистку шва.

Детали для пайки тщательно подготавливаются: их зачищают, промывают, обезжиривают.

Зазор между сопрягаемыми поверхностями обеспечивает диффузионный обмен припоя с металлом детали и прочность соединения. Зазор должен быть одинаков по всему сечению.

Припой должен быть зафиксирован относительно места спая. Припой закладывают в месте спая в виде фольговых прокладок, проволочных контуров, лент, дроби, паст вместе с флюсом или наносят в расплавленном виде. При автоматизированной пайке – в виде пасты с помощью шприц-установок.

При возможности предусматриваются средства механизации – полуавтоматы и автоматы для газовой, электрической пайки.

Паяные соединения контролируют по параметрам режимов пайки, внешним осмотром, проверкой на прочность или герметичность, методами дефекто- и рентгеноскопии.

### Тема 3.3. Заготовки из неметаллических материалов

К неметаллическим материалам, широко применяемым в машиностроении, относятся: пластические массы, древесина, резина, бумага, асбест, текстиль, кожа и др. Неметаллические материалы, обеспечивая необходимую прочность при небольшой массе изготавливаемых из них деталей, придают деталям необходимые свойства: химическую устойчивость (к воздействию растворителей), водо-, газо- и паронепроницаемость, высокие изоляционные свойства и др.

**Пластическими массами** называют материалы, которые на определенной стадии их производства приобретают пластичность, т. е. способность под воздействием давления принимать соответствующую форму и в дальнейшем сохранять ее. В зависимости от химических свойств исходных смолообразных веществ, пластические массы, получаемые на их основе, делят на две основные группы:

- **терморезактивные** пластические массы на основе терморезактивных смол, отличающиеся тем, что при действии повышенных температур они претерпевают ряд химических изменений и превращаются в неплавкие и практически нерастворимые продукты. Терморезактивные пластмассы получают на основе фенолформальдегидных, аминокформальдегидных, кремнийорганических смол с различными наполнителями (порошковыми, волокнистыми, слоистыми);
- **термопластичные массы** (термопласты), получаемые на основе термопластичных смол и отличающиеся тем, что при нагревании они размягчаются, сохраняя плавкость, растворимость и способность к

повторному формованию. Термопластичные пластмассы характеризуются высокой ударной вязкостью, водостойкостью и хорошими диэлектрическими свойствами, значительной хладотекучестью и низкой теплостойкостью. Из термопластичных пластмасс наиболее широко применяют полиэтилен, полипропилен, полистирол, органическое стекло, поливинилхлорид, фторопласты и др.

Главной составной частью пластмасс (30–60 %) являются высокомолекулярные органические вещества – искусственные (синтетические) или реже природные смолы, которые служат связующим веществом. В состав пластмасс обычно входят 40–70 % наполнителя, 1–2 % связующего вещества, 1–1,5 % красителя и другие добавки.

**Наполнители** вводят для улучшения механических свойств пластмасс, повышения их стойкости к действию различных сред, а также для снижения стоимости полимерных материалов. В качестве наполнителей могут быть использованы порошки различных минералов, металлов и их сплавов, оксидов, графит, каолин, сажа, древесная мука и др. Для получения композиционных материалов достаточно часто используются различные волокнистые наполнители, ткани, отходы деревообрабатывающего производства, древесный шпон, бумага. Пластмассы, содержащие в качестве наполнителей различные волокнистые материалы (асбест, стекловолокно, отходы текстильного производства) носят общее название **волокнутов**. Такие известные материалы как **текстолиты** содержат в качестве наполнителей различные хлопчатобумажные или стеклоткани.

**Гетинакс** – это слоистый пластик на основе бумаги, пропитанной синтетической смолой.

**Древесностружечные плиты** представляют собой прессованные композиции из стружки или опилок со связующим, облицованные шпоном.

**Пластификаторы** используются для повышения пластичности и эластичности полимерного материала при его переработке и эксплуатации. Пластификация полимеров позволяет также расширить температурный интервал их использования.

Разнообразие физико-химических и механических свойств и простота переработки в изделия обуславливают широкое применение различных видов пластических масс в машиностроении и других отраслях. Сравнительно небольшая плотность (1000–2000 кг/м<sup>3</sup>), значительная механическая прочность и высокие фрикционные свойства позволяют в ряде случаев применять пластические массы в качестве заменителей, например, цветных металлов и их сплавов (бронзы, свинца, олова, баббита и т. п.), а при наличии некоторых специальных свойств (например, коррозионная стойкость) пластмассы можно использовать и в качестве заменителей черных металлов. Высокие электроизоляционные свойства способствуют применению пластических масс в электро- и радиопромышленности в качестве заменителей таких материалов, как фарфор, эбонит, шеллак, слюда, натуральный каучук и многие другие. Хорошая химическая стойкость при воздействии растворителей и некоторых окислителей, водостойкость, газо- и паронепроницаемость позволяют применять пластические массы как технически важные материалы в автотракторной, судостроительной и других отраслях промышленности.

Детали из пластических масс получают прессованием, литьем под давлением и литьем в формы. Наиболее распространенным способом получения деталей из пластических масс является способ *горячего прессования* при необходимом давлении и температуре. В качестве основного оборудования для прессования пластмасс обычно применяют гидравлические прессы. Однако в некоторых случаях можно применять и другие типы прессов, например фрикционные, винтовые. Прессование производят в металлических пресс-формах, устанавливаемых на прессах. Пресс-формы являются основным видом оснастки в производстве изделий из пластических масс. Во время прессования пресс-формы находятся в очень неблагоприятных эксплуатационных условиях. Они воспринимают многократные силовые нагрузки (давление прессы достигает 20–30 МПа, а иногда 60–80 МПа), систематическое воздействие высоких температур (до 190°C) и агрессивное коррозионное воздействие выделяющихся в процессе прессования продуктов химических превращений.

Важным промышленным способом производства деталей из пластмасс является способ *литья под давлением*. Он во многом сходен со способом литья под давлением металлов. Сущность его заключается в следующем: в загрузочные приспособления специальных машин помещают пластическую массу, затем подают их в обогревающее устройство, где пластмасса расплавляется и под действием поршня (плунжера), передающего давление, впрыскивается в пресс-форму. Машины для литья под давлением пластмасс высокопроизводительны: до 12–16 тыс. шт. за смену. Этим способом можно изготавливать различные детали со сложными резьбами и профилями, тонкостенные детали и т. п.

*Литье в формы* применяют в тех случаях, когда детали изготавливают из связующего без наполнителя. Этот способ применяют также для получения различных литых деталей из терморезистивных пластмасс, например, литого карболита, неолейкорита, литого резина, а также из термопластичных материалов – органического стекла, полистирола и др.

Детали из слоистых пластиков широко распространены в машиностроении. Например, текстолитовые зубчатые колеса отличаются от металлических бесшумностью работы и устойчивостью против влияния различных агрессивных сред. В ряде случаев текстолитовые зубчатые колеса почти совсем вытеснили зубчатые колеса из цветных металлов. Их применяют для передачи вращения от электродвигателей в быстроходных металлообрабатывающих станках, устанавливают на распределительных валах двигателей внутреннего сгорания. В химической промышленности текстолитовые зубчатые колеса применяют в различных аппаратах и приборах, где они гораздо лучше, чем зубчатые колеса из бронзы и латуни, сопротивляются различным агрессивным воздействиям. Помимо зубчатых колес из текстолита изготавливают ролики, кольца и т. п.

*Резина* (от лат. *resina* – смола) – эластичный материал, образующийся в результате вулканизации натурального и синтетических каучуков. Представляет собой сетчатый эластомер – продукт поперечного сшивания молекул каучуков химическими связями.

Резину получают главным образом вулканизацией композиций (резиновых смесей), основу которых (обычно 20–60% по массе) составляют каучуки. Другие компоненты резиновых смесей – вулканизирующие агенты, ускорители и активаторы вулканизации, противостарители, пластификаторы.

В состав смесей могут также входить регенерат (пластичный продукт регенерации резины, способный к повторной вулканизации), модификаторы, красители, порообразователи, душистые вещества и другие ингредиенты, общее число которых может достигать 20 и более.

Выбор каучука и состава резиновой смеси определяется назначением, условиями эксплуатации и техническими требованиями к изделию, технологией производства, экономическими и другими соображениями.

Технология производства изделий из резины включает:

- смешение каучука с ингредиентами в смесителях или на вальцах;
- изготовление полуфабрикатов (различных профилей, каландрованных листов, прорезиненных тканей, корда и т.п.);
- резку и раскрой полуфабрикатов;
- сборку заготовок изделия сложной конструкции или конфигурации с применением специального сборочного оборудования;
- вулканизацию изделий в аппаратах периодического или непрерывного действия.

При этом используется высокая пластичность резиновых смесей, благодаря которой им придается форма будущего изделия, закрепляемая в результате вулканизации. Широко применяют формование в вулканизационном прессе и литье под давлением, при которых формование и вулканизацию изделий совмещают в одной операции. Перспективно использование порошкообразных каучуков и композиций и получение литьевых резин методами жидкого формования из композиций на основе жидких каучуков. При вулканизации смесей, содержащих 30–50% серы, получают эбониты.

**Свойства резины.** Резину можно рассматривать как сшитую коллоидную систему, в которой каучук составляет дисперсионную среду, а наполнители – дисперсную фазу. Важнейшее свойство резины – высокая эластичность, т.е. способность к большим обратимым деформациям в широком интервале температур.

Резина сравнительно мягкий, практически несжимаемый материал. Комплекс ее свойств определяется в первую очередь типом каучука. Свойства могут существенно изменяться при комбинировании каучуков различных типов или их модификации.

Модуль упругости резин различных типов при малых деформациях составляет 1–10 МПа, что на 4–5 порядков ниже, чем для стали. Упругие свойства резины нелинейны и носят резко выраженный релаксационный характер: зависят от режима нагружения, величины, времени, скорости (или частоты), повторности деформаций и температуры. Деформация обратимого растяжения резины может достигать 500–1000%.

Нижний предел температурного диапазона высокоэластичности резины обусловлен главным образом температурой стеклования каучуков.

Верхний температурный предел эксплуатации резины связан с термической стойкостью каучуков и поперечных химических связей, образующихся при вулканизации.

Резины характеризуются также высокими фрикционными свойствами, износостойкостью, сопротивлением раздиру и утомлению, тепло- и



звукоизоляционными свойствами. Они диамагнетики и хорошие диэлектрики, хотя могут быть получены токопроводящие и магнитные резины.

Резины незначительно поглощают воду и ограниченно набухают в органических растворителях. Известны резины, характеризующиеся масло-, бензо-, водо-, паро- и термостойкостью, стойкостью к действию химически агрессивных сред, озона, света, ионизирующих излучений. При длительном хранении и эксплуатации резины подвергаются старению и утомлению, приводящим к ухудшению их механических свойств, снижению прочности и разрушению. Срок службы резины в зависимости от условий эксплуатации от нескольких дней до нескольких десятков лет.

По назначению различают следующие основные группы резин: общего назначения, теплостойкие, морозостойкие, маслобензостойкие, стойкие к действию химически агрессивных сред, диэлектрические, электропроводящие, магнитные, огнестойкие, радиационностойкие, вакуумные, фрикционные, пищевого и медицинского назначения, для условий тропического климата и др. Получают также пористые, или губчатые, цветные и прозрачные резины.

Резины широко используют в технике, сельском хозяйстве, быту, медицине, строительстве, спорте. Ассортимент резиновых изделий насчитывает более 60 тыс. наименований. Среди них: шины, транспортные ленты, приводные ремни, рукава, амортизаторы, уплотнители, сальники, манжеты, кольца и др., кабельные изделия, обувь, ковры, трубки, покрытия и облицовочные материалы, прорезиненные ткани, герметики и др. Более половины объема вырабатываемой резины используется в производстве шин.

На предприятиях изготавливают специальные резиновые изделия обширной номенклатуры. Эти изделия получают путем вырезки из листовой резины, а также из сырой резины, подвергаемой прессованию и вулканизации.

Путем прессования и вулканизации сырой резины непосредственно на прессе в открытых и литевых пресс-формах с подогревом получают армированные и неармированные детали. Технологический процесс прессования состоит из следующих операций:

- **подготовка пресс-форм к прессованию.** Пресс-формы нагревают до  $150 \pm 5^\circ$  и смазывают 10%-ным раствором мыла;
- **прессование.** После подсушки смазки в пресс-форму закладывается подготовленная арматура и заготовка (сырая резина). При прессовании в открытых пресс-формах арматура закладывается в гнездо пресс-формы, а в свободное пространство гнезда – сырая резина. Пресс-форма устанавливается на прессе, после чего дается необходимое давление до полного смыкания пресс-формы;
- **вулканизация.** Пресс-форма с арматурой и резиновой заготовкой выдерживается на прессе в течение 30–60 мин. при температуре  $145 \pm 3^\circ$ . Оптимальное время выдержки и рабочая температура подбираются экспериментальным или опытным путем в зависимости от марки сырой резины, толщины стенок и конфигурации детали. По окончании процесса вулканизации пресс-форма снимается с пресса, разбирается, из нее извлекается готовая деталь. Пресс-форма чистится, после чего в нее опять закладывается новая арматура и сырая резина для прессования новой детали;

- **обрезка облоя.** Облой на готовой детали обрезается ножницами или специальными просечками. Готовые детали подвергаются техническому контролю.

Этот широко распространенный способ изготовления резиновых деталей обладает весьма существенным недостатком из-за того, что вулканизация производится непосредственно на прессах, которые имеют низкую пропускную способность. Если учесть, что выдержка отдельных деталей при вулканизации доходит до 1 часа, то пропускная, способность одного пресса при одноместной пресс-форме составит всего 8 деталей за смену.

Более производительным является способ вулканизации в термошкафах, когда пресс-формы снимаются с прессов после опрессования заготовок. В этом случае вулканизация производится следующим образом.

Пресс-форма снимается с пресса и в неразобранном виде помещается в нагретый до температуры 147°C термошкаф, где выдерживается в течение 30–60 мин. Затем пресс-форма извлекается из термошкафа, разбирается, из нее вынимается готовая деталь и закладывается новая заготовка, после чего процесс прессования и вулканизации повторяется.

Этот способ прессования и вулканизации при наличии достаточного количества пресс-форм позволяет значительно увеличить пропускную способность прессов.

*Изготовление неармированных резиновых деталей с дополнительной вулканизацией в автоклаве.* Подготовка пресс-форм к прессованию производится так же как это описано выше. Затем заготовки из сырой резины закладываются в пресс-форму.

Прессование производится в течение 12–15 мин. при температуре 145°C и давлении 25 МПа, после чего пресс-форма разбирается, из нее извлекается спрессованная деталь, а в пресс-форму закладывается новая заготовка. Отпрессованные изделия помещаются в автоклав, где в течение 2–3 часов производится вулканизация при давлении пара 0,2 МПа. Затем детали извлекаются из автоклава, после чего производится обрезка облоя.

Готовые детали должны храниться в прохладном помещении при температуре не выше 20±5°. Следует принять меры, чтобы на изделия не попадало масло, бензопродукты, смазка и другие вещества, которые могут разрушить резину. Детали должны находиться не ближе 1 м от отопительных и нагревательных приборов и устройств и должны быть защищены от солнечных лучей.

*Дефекты резиновых вулканизированных деталей и способы их устранения.* В случае неполной вулканизации деталей на них появляется серый налет или их поверхность становится липкой. Такие дефекты устраняются увеличением времени вулканизации или повышением температуры при этой операции.

В результате перевулканизации на деталях образуются пузыри и вздутия, а резина приобретает жесткость. Эти дефекты устраняются снижением температуры и времени выдержки при вулканизации.

При отсутствии необходимого числа воздушных каналов в пресс-форме или при неравномерном распределении резины во время закладки заготовки в пресс-форму на вулканизированных деталях образуются раковины и утяжки. Поэтому необходимо следить за правильной закладкой заготовок из сырой резины в пресс-

форму и не пользоваться пресс-формами с недостаточным числом воздушных каналов.

При изготовлении деталей из сырой резины применяются токсичные вещества (дихлорэтан, ксилол) и бензин.

Поэтому нужно строго соблюдать необходимые мероприятия по технике безопасности. Рабочие места должны быть обеспечены местной и общей вентиляцией.

**Древесина** различных пород, являющаяся сравнительно дешевым материалом, применяется во многих отраслях современного машиностроения. Например, в сельскохозяйственном машиностроении и автотракторостроении используется древесина сосны, ели, кавказской пихты, лиственницы, дуба, бука, ясеня, березы, клена, граба, ильмы, вяза.

Древесные материалы применяют в машиностроении как конструкционные материалы, главным образом в виде шпона, клееной фанеры, прессованной древесины и древесных пластиков. Для повышения устойчивости древесины против гниения ее специально обрабатывают: сушат на воздухе и в специальных сушильных камерах, а также пропитывают медным купоросом, хлористым цинком или креозотом и окрашивают.

Из древесных материалов методами холодного и горячего гнутья можно получать изделия сложной криволинейной формы. Метод **холодного гнутья** заключается в том, что на шаблоне выгибают и запрессовывают заготовку в виде набора тонких деревянных пластинок, покрытых клеем, без подогрева. При **горячем гнутье** заготовку предварительно проваривают или пропаривают, вследствие чего она приобретает пластичность, а затем выгибают на шаблоне и в таком положении зажимают и помещают в сушильную камеру.

Наряду с обычной древесиной (так называемым массивом) в машиностроении применяют фанеру и слоистые древесные материалы. Фанера представляет собой листовой материал, изготовленный путем склеивания между собой нескольких тонких деревянных листов (шпона). Для изготовления нагруженных деталей применяют многослойную, или плиточную, фанеру толщиной 25–30 мм.

Тонкие листы (шпон), пропитанные специальными смолами и подвергнутые горячему прессованию, образуют так называемые **древесно-слоистые пластики**, широко применяемые в текстильном и электротехническом машиностроении, а также в качестве заменителя подшипников из цветных металлов в гидравлических машинах, механизмах, работающих в абразивной среде.

## ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

### Практическая работа № 1

#### РАЗРАБОТКА ЧЕРТЕЖА ОТЛИВКИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МАРШРУТА ЕЕ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЬЕМ В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫЕ ФОРМЫ

##### Цели работы:

1. Ознакомление с технологией изготовления литейных форм и основными способами ручной формовки.
2. Приобретение практических умений по разработке чертежа отливки.

*Исходные данные: чертеж детали; годовая программа выпуска детали.*

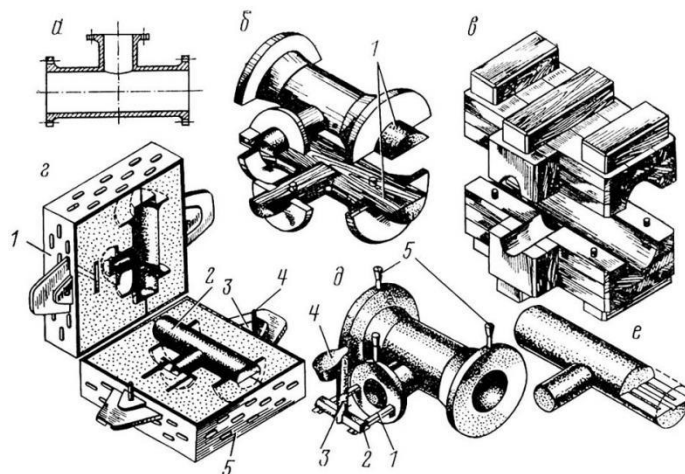
##### Основные положения

###### *Формовка в парных опоках*

Технологический процесс изготовления отливок в разовых формах наиболее широко распространен в литейном производстве. Изготовление отливки начинается с подготовки модельно-опочной оснастки, изготовления и доводки моделей, модельных плит, подмодельных плит и щитков, стержневых ящиков, сушильных плит, шаблонов для проверки размеров стержней, кондукторов и шаблонов для проверки правильности установки стержней в форме, опок, штырей и т.д.

Процесс изготовления литейных форм называется *формовкой*. В литейном производстве применяется ручная и машинная формовка. Ручная формовка используется в единичном и мелкосерийном производстве. Формы в этом случае изготавливаются в основном по деревянным моделям. В массовом и серийном производстве формы изготавливаются на формовочных машинах по металлическим моделям.

Наиболее распространенным вариантом ручной формовки является получение форм в парных опоках по разъемной модели (рис.1.1). Литейная форма выполняется из двух полуформ – верхней и нижней. Полуформы изготавливают из формовочной смеси, уплотняемой в металлических рамках, которые называются *опоками*.



**Рис. 1.1. Формовка в парных опоках по разъемной модели:**

*a* – чертеж отливки; *б* – разъемная модель отливки: 1 – знаковые части модели; *в* – стержневой ящик; *г* – литейная форма: 1 – верхняя опока; 2 – литейная полость; 3 – скобы скрепления опок; 4 – центрирующие штыри; 5 – нижняя опока; *д* – отливка с литниками: 1 – питатель; 2 – шлакоуловитель; 3 – стояк; 4 – литниковая чаша; 5 – выпоры; *е* – стержень

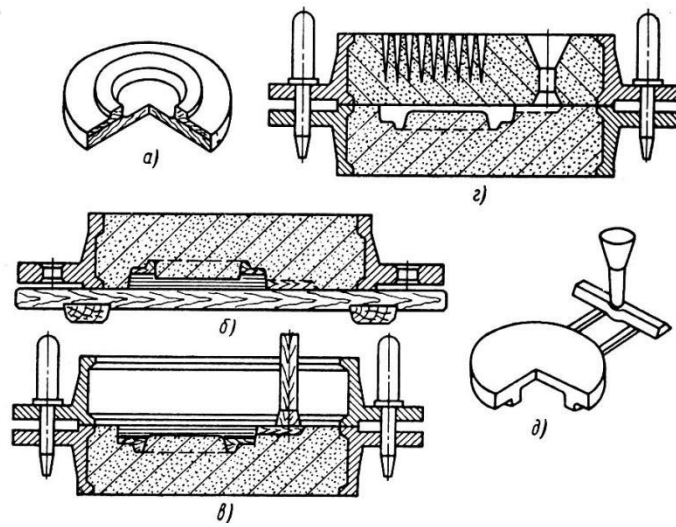
Для получения полостей литейной формы, соответствующих наружной конфигурации отливки, применяются модели. **Модель** – приспособление для получения в литейной форме отпечатка, соответствующего конфигурации и размерам отливки. Модели делают из дерева, металла, гипса, пластмасс и других материалов. Разъемные модели состоят из двух или нескольких частей, которые центрируются с помощью штырей.

Внутренние полости отливки образуются стержнями. Стержни получают с помощью стержневых ящиков или шаблонов. Готовые стержни подвергают сушке в специальных сушилах с целью увеличения газопроницаемости, общей и поверхностной прочности, а также уменьшения газотворной способности. При сборке литейной формы сухой стержень устанавливается так называемыми **стержневыми знаками** в соответствующие гнезда формы, полученные с помощью **знаковых частей** модели.

Отливка получается в результате заполнения полости литейной формы расплавленным жидким металлом. В зависимости от размеров, массы и толщины стенки отливки, а также от марки литейного сплава его заливают в сырые, сухие или химически твердеющие формы. Сырые формы применяют для изготовления мелких и средних отливок. В других случаях перед сборкой полуформы высушивают на всю глубину или на 20-30 мм от поверхности обеспечивают химическое твердение смеси в опоке.

После заливки металл охлаждается в форме и затвердевает. Для извлечения охлажденной отливки формы разрушают. Эти формы называют **разовыми**. Их изготавливают из **формовочных смесей**, основными составляющими которых является кварцевый песок и огнеупорная глина.

Формы для несложных отливок могут быть изготовлены по неразъемной модели (рис. 1.2), допускающей ее извлечение из формы без разрушения последней.



**Рис.1.2. Формовка в парных опоках по неразъемной модели:**

*а* – деревянная модель; *б* – нижняя опока; *в* – установка верхней опоки; *г* – собранная литейная форма; *д* – отливка с литниками

### ***Изготовление литейной формы***

На подмодельный щиток (рис.1.3) устанавливают половину модели, по которой необходимо получить отпечаток в нижней полуформе, а также опоку. Поверхность модели и подмодельного щитка посыпают сухим разделительным песком, после чего в опоку насыпают формовочную смесь и уплотняют ее. Излишек формовочной смеси счищают с поверхности уплотненной полуформы, опоку переворачивают на 180° и устанавливают на подмодельный щиток. Затем на нижнюю половину модели устанавливают верхнюю половину модели, на нижнюю опоку – верхнюю. Вновь посыпают поверхность модели разделительным песком, ставят модели литниковой системы, засыпают формовочную смесь в опоку и уплотняют ее. Для улучшения отвода газов формовочную смесь накалывают.

После этого снимают верхнюю полуформу, извлекают половинки модели и модель литниковой системы, устанавливают стержень и собирают форму. Для точной сборки формы опоки имеют проушины, в которые входят центрирующие штыри.

При заполнении формы жидким металлом он давит на стенки формы, в результате чего верхняя опока может приподняться и, в образовавшийся зазор будет вытекать металл. Для предупреждения этого верхнюю полуформу крепят к нижней скобами, а иногда ставят на верхнюю опоку груз.

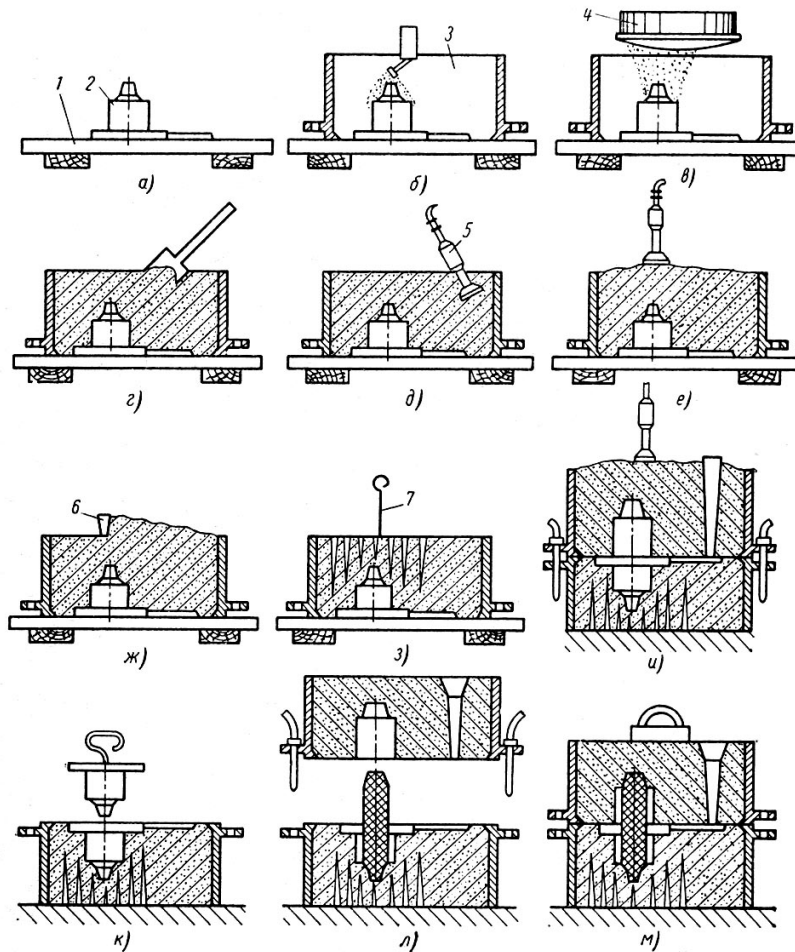


Рис. 1.3. Изготовление литейной формы:

1 – подмодельный щиток; 2 – половина модели; 3 – опока; 4 – устройство подачи формовочной смеси; 5 – трамбовочное устройство; 6 – скребок удаления лишней смеси; 7 – устройство накалывания смеси

Жидкий металл при заливке поступает в полость формы по литниковым каналам, называемых **литниковой системой**. Литниковая система (рис.1.4) состоит из литниковой чаши, стояка, шлакоуловителя, питателя и коллектора (на рис.1.4 не показан). Литниковая чаша служит для уменьшения удара струи металла и для отделения шлака. Стояк располагается вертикально или наклонно и имеет форму усеченного конуса с сужением книзу. К литниковой системе относится также выпор, служащий для выхода из формы воздуха и газов, а также для контроля заполнения формы металлом.

Литниковую систему стараются расположить так, чтобы заполнение происходило спокойно, без разрушения формы. Литниковая система должна иметь небольшую массу, не осложнять процесса формовки, обеспечивать равномерно направленное затвердевание металла и не препятствовать свободной усадке.

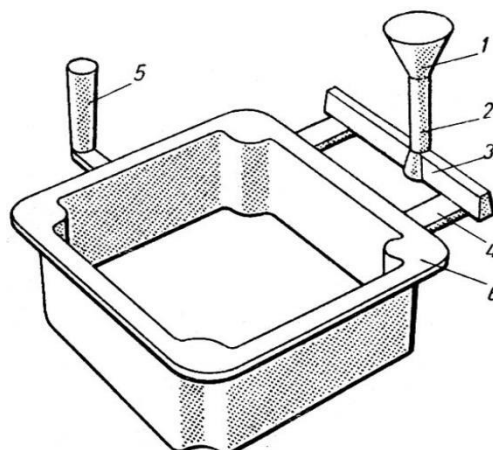


Рис. 1.4. Литниковая система:

1 – литниковая чаша; 2 – стояк; 3 – шлакоуловитель;  
4 – питатель; 5 – выпор; 6 – готовая отливка

### ***Заливка литейной формы***

Заливку форм расплавленным металлом производят из чайниковых, барабанных, стопорных и др. ковшей. Металл перед заливкой должен быть очищен от шлака. Большое значение при заливке формы имеет выбор температуры расплавленного металла. При повышенной температуре заливки возрастает жидкотекучесть металла, улучшается питание формы. Однако горячий металл более газонасыщен, сильнее окисляется, вызывает пригар на поверхности отливки.

Низкая температура заливки увеличивает опасность захвата воздуха и незаполнения полости формы.

### ***Охлаждение отливок***

После заливки формы отливка охлаждается и затвердевает. Полностью затвердевшая отливка должна определенное время охлаждаться с формой до температуры выбивки. Продолжительность выдержки отливок в форме может быть от нескольких минут (для мелких отливок) до нескольких суток (для крупных толстостенных отливок массой 50-60 т.). Для сокращения продолжительности охлаждения массивных отливок применяют различные методы принудительного охлаждения: воздухом, водой, воздушно-водяной смесью. Качество отливок при этом не ухудшается.

### ***Выбивка отливок***

***Выбивка отливки*** – процесс удаления затвердевшей и охлажденной до определенной температуры отливки из опоки, литейную форму при этом разрушают. Для выбивки отливок используют механические, пневматические, эксцентриковые и инерционные решетки, резе – вибрационные скобы и коромысла.

### ***Обрубка отливок***

***Обрубка отливок*** – процесс удаления с отливки прибылей, литников, выпоров и заливок (облоев) по месту сопряжения полуформ. Обрубку производят пневматическими зубилами, ленточными и дисковыми пилами, абразивными кругами, газовой резкой и на прессах. От стальных отливок литники отрезают газовой или плазменной резкой, от чугунных отбивают молотками сразу же после выбивки из формы перед удалением стержней. Ленточные и дисковые пилы используют для обрубки отливок из алюминиевых, магниевых, медных сплавов. После обрубки отливки ***зачищают***, удаляя мелкие заливы и остатки литниковой системы. Зачистку выполняют маятниковыми и стационарными шлифовальными кругами, пневматическими зубилами, газопламенной обработкой и другими способами.

### ***Очистка отливок***

Выбитые из формы отливки имеют на своей поверхности слой пригоревшей формовочной смеси. Пригоревшую и приставшую формовочную смесь, а также остатки стержней удаляют в галтовочных барабанах периодического или непрерывного действия, гидropескоструйных и дробебетных камерах, химической или электрохимической обработкой и другими способами.

## **Методические указания**

### ***Рекомендации по разработке чертежа отливки***

1. Графическое изображение отливки должно быть выполнено в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД.
2. Чертеж должен содержать виды, разрезы, сечения, необходимые для получения полного представления о конфигурации отливки.
3. Внутренний контур обрабатываемых поверхностей, а также отверстий, впадин и выточек, не выполняемых в литье, изображают сплошной тонкой линией.
4. На чертеже должны быть указаны необходимые размеры отливки с предельными отклонениями.



5. При вычерчивании отливки следует учитывать все припуски с указанием их величины.
6. На чертеже отливки указывают литейные радиусы и уклоны, если они не оговорены техническими требованиями.
7. Положение отливки в форме при заливке обозначают буквами **В** (верх) и **Н** (низ). Буквы проставляют у стрелок, показывающих направление разъема формы.
8. Разъем модели и формы показывают отрезком или ломаной штрихпунктирной линией, заканчивающейся знаком **X— —X**, над которой указывается буквенное обозначение разъема **МФ**.
9. Направление разъема показывают сплошной основной линией, ограниченной стрелками и перпендикулярной к линии разъема.
10. При применении неразъемных моделей указывают только разъем формы **Ф**.
11. Значком **V** указывают базы механической обработки.

### **Расположение отливки в форме**

При выполнении чертежа отливки определяют оптимальное расположение линии разъема модели и формы, положение отливки в форме при заливке, которое устанавливают в зависимости от конфигурации отливки, вида формы литниковой системы, требований к плотности металла, шероховатости поверхности и т.д.

Для получения плотной отливки в соответствии с принципом направленной кристаллизации наиболее массивные ее узлы располагают при заливке сверху, ответственные поверхности отливки стремятся расположить внизу или вертикально.

При определении разъема модели и формы выбирают такой вариант, который обеспечивает наименьшую трудоемкость изготовления модельной оснастки и формы, беспрепятственное удаление модели из формы, повышение размерной точности отливки и уменьшение затрат на ее очистку и дальнейшую обработку.

### **Литейные уклоны и радиусы**

Конструкция модели должна обеспечивать извлечение ее из формы без разрушения отпечатка. Для облегчения извлечения модели из формы на ее вертикальных поверхностях (перпендикулярных к плоскости разъема) выполняются уклоны. Уклоны могут быть конструктивными и формовочными. Уклоны, предусмотренные при конструировании отливок, называют **конструктивными**. Действительные размеры отливки в этом случае соответствуют размерам, которые установлены чертежом. Конструктивные уклоны для поверхностей отливки или ее элементов должны назначаться в соответствии с направлением разъема формы. Конструктивные уклоны устанавливают в зависимости от высоты расчетного элемента отливки.

**Формовочные уклоны** выполняются на литейных моделях, если отливка не имеет конструктивных уклонов. В этом случае действительные размеры отдельных конструктивных элементов отливки отличаются от размеров по чертежу.

При сопряжении стенок отливки под прямым или тупым углом (острые углы в отливке не допускаются) обязательно предусматривают галтели. **Галтель** – скругление внутреннего угла модели с целью получения в отливке плавного перехода от одной ее поверхности к другой. Галтели облегчают извлечение модели из формы и снижают вероятность появления трещин в сопряжениях элементов отливки.

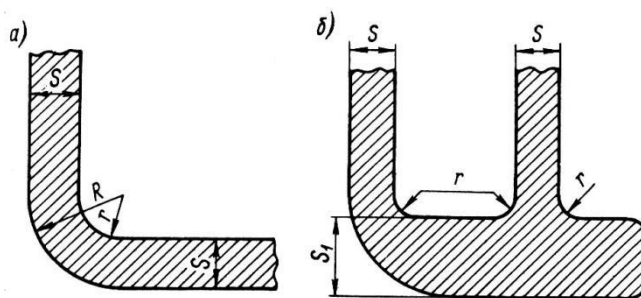


Рис.1.5. Схема сопряжения стенок отливки:  
а – одной толщины; б – различной толщины

Если сопрягаются стенки одной толщины, закругления необходимо производить из одного центра (рис.1.5), как для внутреннего, так и для наружного радиусов. Радиусы закруглений выбирают в пределах  $1/5 \dots 1/3$  средней арифметической толщины двух стенок, образующих угол модели. Для отливок рекомендуются следующие радиусы закруглений: 1, 2, 3, 5, 8, 10, 16, 20, 25, 32, 40 мм.

### ***Технические требования***

В технических требованиях указывают:

- сведения о материале отливки и его термической обработке;
- нормы точности отливки (класс размерной точности, степень коробления, степень точности поверхностей, класс точность массы, допуск смещения отливки);
- допуски формы и расположения поверхностей отливки (отклонения от прямолинейности, плоскостности, параллельности, перпендикулярности, заданного профиля);
- неуказанные на чертеже литейные радиусы и уклоны;
- требования к качеству поверхностей и устранению дефектов литья;
- требования к покрытию поверхностей отливки;
- условия и методы испытания (при необходимости);
- указание о маркировании (клеймении).

### ***Алгоритм пользования ГОСТ 26645-85***

<b>1. Определение класса размерной точности отливки</b>	⇒	В зависимости от габарита детали, материала и метода литья – табл. 9, прил. 1
<b>2. Назначение допусков размеров отливки</b>	⇒	В зависимости от класса размерной точности и номинального размера – табл. 1, п. 2.1. – 2.3
<b>3. Определение степени коробления элементов отливки</b>	⇒	В зависимости от метода литья, характера термообработки – табл. 1, прил. 2
<b>4. Назначение допусков формы и расположения поверхностей отливки</b>	⇒	В зависимости от степени коробления и номинального размера – табл. 2
<b>5. Определение степени точности поверхности отливок</b>	⇒	В зависимости от метода литья и габаритного размера – табл. 11, прил. 3
<b>6. Назначение допусков неровности поверхности отливки</b>	⇒	В зависимости от степени точности поверхности – табл. 3
<b>7. Назначение общих допусков элементов отливок</b>	⇒	В зависимости от допуска размера, допуска формы и расположения поверхностей – табл. 16, п. 2.11
<b>8. Определение класса точности массы отливки</b>	⇒	Табл. 13, прил. 5
<b>9. Назначение допусков массы отливки</b>	⇒	Табл. 4

<b>10. Определение ряда припуска</b>	⇒ В зависимости от степени точности – табл. 14, прил. 6
<b>11. Назначение минимального литейного припуска на сторону</b>	⇒ В зависимости от ряда припуска – табл. 5
<b>12. Назначение общего припуска элементов отливки</b>	⇒ В зависимости от общего допуска элементов поверхности – табл. 6
<b>13. Уточнение величины общего припуска</b>	⇒ В зависимости от допуска размера отливки и соотношения между допусками размера детали отливки – табл. 7; в зависимости от допуска размера отливки и соотношения между допусками формы детали и отливки – табл. 8
<b>14. Назначение общего припуска на сторону</b>	⇒ В зависимости от общего допуска поверхности отливки, вида обработки и ряда припуска отливки – табл. 6
<b>15. Назначение увеличенных или уменьшенных значений припусков</b>	⇒ В зависимости от технического уровня – табл. 15, прил. 7

### Прядок выполнения работы

1. Изучить чертеж детали и проанализировать исходные данные.
2. Определить значения припусков на механическую обработку поверхностей.
3. Установить истинные размеры заготовки.
4. Определить значения допусков на размеры отливки.
5. Разработать чертеж отливки с указанием припусков на механическую обработку, необходимых размеров заготовки и предельных отклонений размеров.
6. Разработать технологический маршрут изготовления отливки.
7. Эскизно изобразить последовательность изготовления литейной формы.
8. Составить отчет.

### Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Чертеж детали.
3. Расчет припусков на механическую обработку и допусков на размеры отливки.
4. Чертеж отливки с техническими требованиями.
5. Технологический маршрут изготовления литейной формы, иллюстрированный соответствующими эскизами.

### Контрольные вопросы

1. Какие металлы и сплавы применяются в литейном производстве?
2. Какие основные требования предъявляются к литейным материалам?
3. Что такое формовка?
4. Какие существуют способы формовки?
5. Из чего изготавливают модели?
6. Из чего состоит формовочная смесь?
7. Что необходимо указывать в технических требованиях на чертеже отливки?
8. Что такое припуск?
9. Что такое допуск?
10. От чего зависит допуск на размер отливки?
11. От чего зависит припуск на механическую обработку поверхности отливки?
12. Основные операции технологического процесса изготовления отливки в ПГФ.

### Рекомендуемая литература

1. Клименков, С.С. Проектирование и производство заготовок в машиностроении: учебник / С.С. Клименков. – Минск.: Техноперспектива, 2008. – 407 с.

2. Абрамов, Г.Г. Справочник молодого литейщика / Г.Г. Абрамов, Б.С. Панченко. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1991. – 224 с.

3. Титов, Н.Д. Технология литейного производства / Н.Д. Титов, Ю.А. Степанов. – 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1978. – 388 с.

## **Практическая работа № 2**

### **РАЗРАБОТКА ЧЕРТЕЖА ПОКОВКИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МАРШРУТА ЕЕ ПОЛУЧЕНИЯ В ОТКРЫТОМ ШТАМПЕ**

#### **Цели работы:**

1. Ознакомление с технологией изготовления поковки методом горячей объемной штамповки в открытом штампе.
2. Приобретение практических умений по разработке чертежа поковки.

*Исходные данные: чертеж детали; годовая программа выпуска детали.*

#### **Основные положения**

Горячая объемная штамповка является одним из способов обработки металлов давлением, при котором свободное течение металла ограничивается поверхностями полостей штампа. Металл заполняет полость (ручей) штампа, имеющую форму изделия, – поковки. Горячая объемная штамповка находит широкое применение в современном машиностроении, поскольку дает возможность изготовить поковку с высокими механическими свойствами и по конфигурации очень близкой к готовой детали.

Общий технологический процесс изготовления поковок горячей объемной штамповкой состоит из ряда операций. Основными из них являются: 1) резка прутков на мерные заготовки; 2) нагрев заготовок под штамповку; 3) горячая штамповка; 4) обрезка облоя и прошивка перемычек; 5) правка; 6) термическая обработка; 7) очистка поковок от окалины; 8) калибровка; 9) контроль качества поковок.

В большинстве случаев для горячей объемной штамповки применяется прокат круглого, квадратного, прямоугольного, иногда фасонного профиля. Пруток режут на мерные заготовки на одну или несколько поковок.

Наиболее распространенными способами резки пруткового материала являются:

- на кривошипных пресс-ножницах;
- механическими пилами;

- электромеханическая;
- анодно-механическая;
- газовая;
- ломка на хладноломах.

Штамповка иногда производится от прутка с последующим отделением поковки на самой штамповочной машине.

Основными видами горячей объемной штамповки являются штамповка с облоем в открытых штампах и штамповка без облоя в закрытых штампах.

**Облойная** штамповка характеризуется тем, что после заполнения полости ручья штампа металлом избыток его вытесняется в специальную полость, образуя заусенец - облой.

В первоначальный момент (рис.2.1а) заготовка 3 зажата между верхним 1 и нижним 2 штампами. Далее металл заготовки 3 начинает затекать в углубления штампа и в зазор между штампами (рис.2.1б). При смыкании половинок штампа (рис.2.1в) происходит заполнение его полости и выдавливание избытка металла в виде облоя 4 в заусенечную канавку 5.

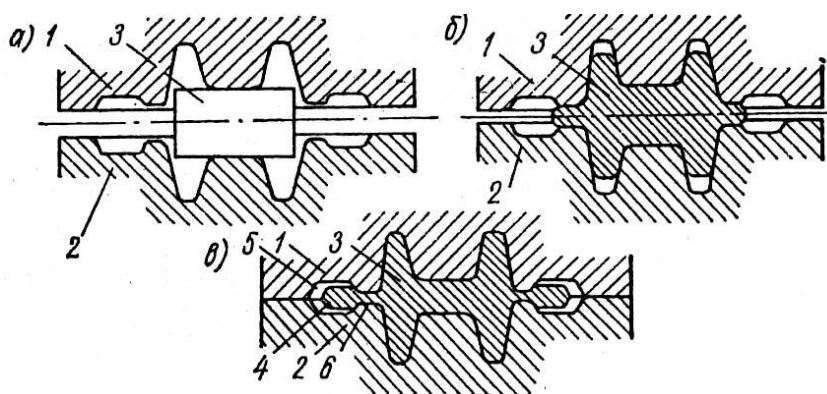


Рис.2.1. Схема образования облоя в открытых штампах

Заполнение полости открытого штампа возможно лишь при достаточном сопротивлении течению металла в облой, что достигается за счет уменьшения зазора между половинками штампа и охлаждения металла на участке мостика б. Таким образом, в процессе штамповки заусенец служит как бы замыкающим кольцом, препятствующим вытеканию металла в зазор между штампами, пока не произошло заполнение формы. С этого момента в заусенечную канавку вытесняется только излишек металла. Заусенец после штамповки удаляют при помощи обрезных штампов, устанавливаемых на обрезных кривошипных прессах.

**Безоблойная** штамповка представляет собой деформацию металла в закрытых штампах, в которых образование облоя не предусматривается и поэтому полость для него отсутствует. При безоблойной штамповке необходимо строго соблюдать равенство объемов заготовки и поковки. В противном случае поковки будут получаться либо чрезмерно полными (при избытке металла), либо с незаполненными углами (при недостатке металла). Поэтому, для резки заготовок должны применяться способы, обеспечивающие достаточно высокую точность, например, резка дисковыми или ленточными пилами.

Штамповка в закрытых штампах по сравнению со штамповкой в открытых штампах обеспечивает меньший расход металла, более высокую точность и более благоприятную макроструктуру поковок.

Горячая объемная штамповка производится на различных машинах, к числу которых относятся штамповочные молоты, кривошипные горячештамповочные прессы (КГШП), горизонтально-ковочные машины (ГКМ), гидравлические и фрикционные прессы, ротационно-ковочные машины и др.

#### **Выбор расположения плоскости разъема штампов**

При выборе плоскости разъема штампов следует руководствоваться следующими основными требованиями:

- плоскость разъема должна обеспечивать свободное извлечение поковки из штампа;

- труднозаполняемые части форм поковки следует располагать в верхней половине штампа, поскольку металл легче течет вверх, чем вниз. Нижний штамп больше контактирует с нагретой поковкой и поэтому имеет худшее состояние, что затрудняет течение металла;
- плоскость разъема следует устанавливать в том сечении поковки, где полость штампа имеет наименьшую глубину и наибольшую ширину и заполнение ручья металлом происходит легче. Плоскость разъема для поковок, имеющих длину больше трех диаметров, следует назначать по продольной оси детали;
- плоскость разъема, по возможности, должна быть прямой;
- контуры поковки по плоскости разъема штампов должны быть одинаковы. При этом достаточно легко осуществляется контроль сдвига одной части поковки относительно другой.

### **Назначение припусков и допусков**

**Припуск** – слой металла на обрабатываемых поверхностях поковки, удаляемый при ее механической обработке. Припуски зависят от конструктивных характеристик поковки, ее габаритных размеров, точности, массы, материала, а также от вида применяемого штамповочного оборудования.

В плоскости, перпендикулярной направлению удара штампа, припуски принимаются больше, чем по высоте вследствие того, что при штамповке имеются сдвиги штампов относительно друг друга, создающие перекося поковки. Поэтому малый припуск в плоскости разъема может не обеспечить получение годной поверхности детали после механической обработки.

**Допуски** представляют собой допустимые отклонения от номинальных размеров поковки. Эти отклонения могут быть следствием недоштамповки поковки по высоте, неполного заполнения ручьев штампов, износа штампов и пр. Поэтому допуск берется несимметричным. Для наружных поверхностей верхнее отклонение принимается в два раза больше нижнего, для внутренних – наоборот.

Сдвиг штампов не должен быть больше, чем разность между значением припуска на сторону и величиной абсолютного значения нижнего отклонения.

Припуски, допуски и кузнечные напуски установлены ГОСТ 7505-89.

### **Штамповочные уклоны и закругления**

Отштампованная поковка удерживается в полости штампа силами трения. Для обеспечения свободного извлечения из ручья штампа поковки, боковые поверхности полости штампа должны иметь штамповочные уклоны. При наличии уклонов поковка отрывается от стенок штампа в результате небольшого ее смещения. Штамповочные уклоны для штамповки стальных поковок колеблются в пределах от 1 до 10° и зависят от конфигурации и высоты боковых поверхностей поковки, характера течения металла в штампе, а также от вида оборудования (рис. 2.2).

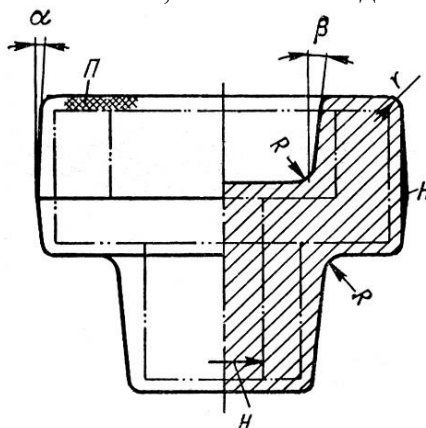


Рис.2.2. Штамповочные уклоны и радиусы закруглений поковки

Наружные штамповочные уклоны  $\alpha$  относятся к поверхностям, по которым между поковкой и стенкой штампа образуются зазоры вследствие тепловой усадки при остывании металла. Внутренние штамповочные уклоны  $\beta$  относятся к тем поверхностям поковки, которые при ее остывании приводят к плотной посадке поковки на выступ штампа. Поэтому для наружных поверхностей поковки штамповочные уклоны принимают меньше, чем для внутренних.

Максимальные значения уклонов для штамповочных молотов, прессов с выталкивателями и без выталкивателей, горизонтально-ковочных машин и горячештамповочных автоматов установлены ГОСТ 7505-89.

При штамповке на КГШП штамповочные уклоны могут быть уменьшены до 2 – 3° за счет наличия у пресса выталкивателей.

При штамповке на ГКМ (рис.2.3):

- на цилиндрических участках длиной более половины диаметра, высаживаемых в полости пуансона, уклоны принимают не менее 0°30';
- б) на буртиках в глубоких круговых впадинах не менее 0°30' - 1°30';
- в) на стенках глубоких несквозных отверстий, прошиваемых пуансоном – от 0°30' до 3°.

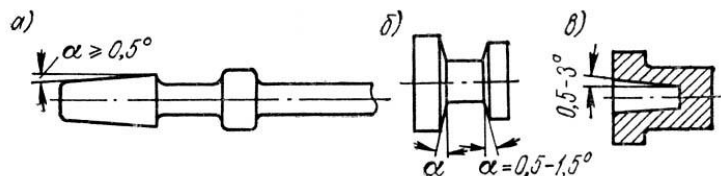


Рис.2.3. Назначение уклонов для штамповки на ГКМ

Все переходы поверхностей поковки должны быть закруглены. Различают два вида радиусов закруглений поковок: внутренние  $R$  и наружные  $r$ . Наличие радиусов способствует лучшему заполнению металлом ручьев штампа, а также предохраняет его от преждевременного износа и поломок. Радиусы закруглений находятся в прямо пропорциональной зависимости от глубины полости. Чем глубже полость, тем большим принимается радиус закругления. Радиусы закруглений наружных углов  $r$  поковки обычно устанавливают в пределах от 1,0 до 6,0 мм; на внутренних углах радиус закругления  $R$  принимают в 3 – 4 раза больше (табл.2.1). Минимально допустимые радиусы закруглений наружных углов поковок в зависимости от глубины полости ручья штампа регламентированы ГОСТ 7505 и приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.1–Ориентировочные минимально допустимые радиусы закруглений наружных и внутренних кромок поковок в зависимости от глубины (высоты)  $h$  выемки на участке уклона и ширины выемки  $b$

$h/b$	Наружный радиус $r$ , мм	Внутренний радиус $R$ , мм
$\leq 2$	$0,05h + 0,5$	$2,5r + 0,5$
$2 \geq 4$	$0,06h + 0,5$	$3,0r + 0,5$
$\leq 4$	$0,07h + 0,5$	$3,5r + 0,5$

Таблица 2.2 Минимальная величина радиусов закруглений наружных углов, мм

Масса поковки, кг	Глубина полости ручья штампа, мм			
	$\geq 10$	10 – 25	25 – 50	$\leq 50$
$\geq 1,0$	1,0	1,6	2,0	3,0
$1,0 \geq 6,3$	1,6	2,0	2,5	3,6
$6,3 \geq 16$	2,0	2,5	3,0	4,0
$16 \geq 40$	2,5	3,0	4,0	5,0
$40 \geq 100$	3,0	4,0	5,0	7,0
$100 \geq 250$	4,0	5,0	6,0	8,0

### Полости и наметка отверстий в поковках

При штамповке поковок с глухими полостями или сквозными отверстиями стремятся получить выемки возможно большего объема с целью экономии металла и сокращения последующей механической обработки. Полость в поковке может быть образована тем легче, чем больше диаметр этой полости. При штамповке таких поковок в наиболее тяжелых условиях работают выступающие части штампа, называемые **знаками**. Вследствие малой стойкости штамповых знаков наметки диаметром менее 30 мм не выполняются. Наметки в деталях типа тел вращения выполняют в виде конических несквозных отверстий с одной или двух сторон (рис.

2.4). Остающуюся между наметками перемычку (пленку) удаляют прошивкой. Сквозные отверстия или углубления в поковках выполняют, если диаметр отверстия больше или равен высоте поковки. При штамповке поковок небольшой высоты со сквозным отверстием наименьший расход металла обеспечивается при образовании одинаковых наметок с двух сторон при условии несовпадения плоскостей разъема штампа и образования пленки. При штамповке поковок деталей большой высоты с отверстием выполняют лишь глухие наметки.

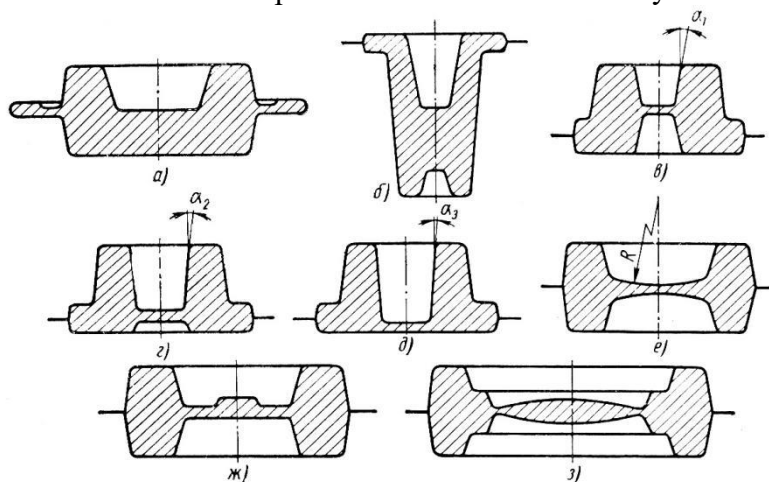


Рис.2.4. Типы поковок с полостью

Геометрические параметры наметок рассчитывают в соответствии с рис.2.5.

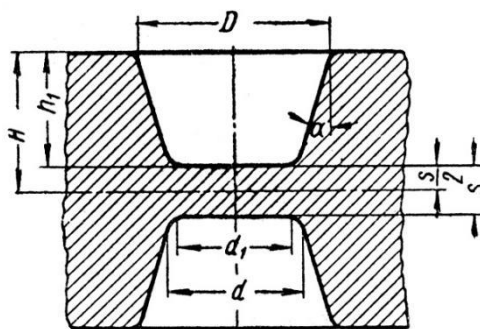


Рис.2.5. Геометрические параметры наметок

Диаметр вершины наметки  $d$  определяется по формуле

$$d = D - 2h_1 \operatorname{tg} \alpha,$$

где  $D$  – диаметр основания наметки;

$h_1$  – глубина наметки.

Диаметр прошиваемой перемычки

$$d_1 = D - 2H \operatorname{tg} \alpha,$$

где  $H$  – расстояние от основания наметки до горизонтальной оси симметрии поковки.

Глубина наметки определяется из условия  $h_1 \leq 0,8D$ . Если требуется большая глубина наметки или  $2H / D \geq 1,7$ , то прошивка отверстия не выполняется. В этом случае ограничиваются односторонней или двусторонней наметкой.

Толщину перемычки  $S$  принимают  $0,1D$ , но не менее 4 мм.

При выполнении глубокой прошивки отверстий на ГКМ глубина прошивки не должна превышать трех-четырёхкратной величины диаметра полости.

Примеры выполнения поковок различной конфигурации показаны на рис. 2.6 – 2.8



### Примеры получения поковок

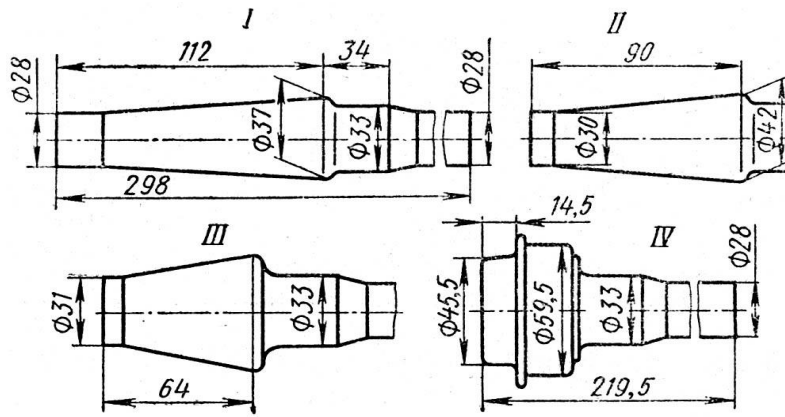


Рис.2.6. Набор металла (а – в) и высадка головки заготовки детали (г)

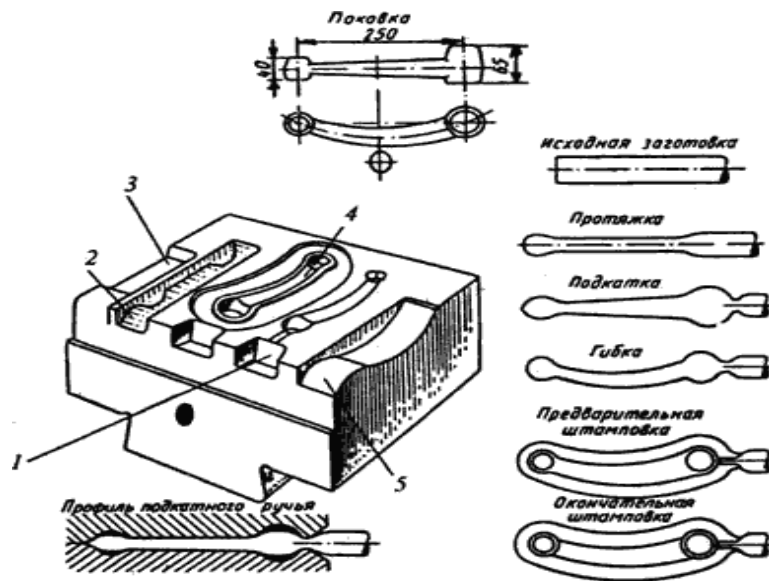


Рис.2.7. Стадии получения сложной поковки в нескольких ручьях  
 1 – черновой ручей; 2 – подкатной; 3 – протяжной;  
 4 – чистовой; 5 – гибочный



- требования к качеству поверхностей и устранению штамповочных дефектов;
- требования к покрытию поверхностей поковки;
- условия и методы испытания (при необходимости);
- указание о маркировании (клеймении).

### *Алгоритм пользования ГОСТ 7505-89*

<b>1. Определение расчетной массы поковки</b>	Вычисляют по формуле $M_{\text{пр}} = M_g \cdot K_p$ , кг где $M_g$ - масса детали, кг. $K_p$ - расчетный индекс. В зависимости от характеристики детали – табл. 20
<b>2. Выбор класса точности</b>	В зависимости от основного деформирующего оборудования – табл. 19
<b>3. Определение исходного индекса</b>	В зависимости от массы поковки, марки стали и степени сложности и класса точности поковки – табл. 1, табл. 2
<b>4. Определение припусков на механическую обработку</b>	
Основной припуск на механическую обработку	- определяют в зависимости от исходного индекса, литейных размеров и шероховатости поверхности детали – табл. 3 -припуск на толщину поковки, подвергаемой холодной или горячей калибровке, определяют по прил. 4 в зависимости от площади поверхности, подвергаемой калибровке
Дополнительные припуски	Учитывающие смещение поковки, изогнутость, отклонение от плоскостности и прямолинейности, межцентрового и межосевого расстояний, угловых размеров, определяют исходя из формы поковки, технологии изготовления, класса точности – табл. 4-6
<b>5. Определение минимальной величины радиусов наружных углов поволоков</b>	В зависимости от глубины полости ручья штампа и массы поковки – табл. 7
<b>6. Назначение допусков</b>	
Допуски и допускаемые отклонения линейных размеров	В зависимости от исходного индекса и размеров поковки – табл. 8
Допуски толщины поковки подвергаемой холодной или горячей штамповке	В зависимости от поверхности подвергаемой калибровке – прил. 4
Допускаемая величина смещения по поверхности разъема штампа; допускаемая величина остаточного облоя	В зависимости от массы поковки, конфигурации поверхности разъема штампа и класса точности – табл. 9.
Допускаемая величина заусенца, образовавшегося по контуру пуансона	В зависимости от массы поковки и степени ее сложности – табл. 11
Допускаемые отклонения от концентричности, изогнутости, плоскостности, прямолинейности	В зависимости от размеров поковки – табл. 12, 13
Допускаемые отклонения межосевого расстояния	В зависимости от класса точности – табл. 14
Допускаемые отклонения угловых размеров элементов поковки	В зависимости от класса точности и длины элемента – табл. 16
Допуск радиусов	В зависимости от класса точности и радиуса закругления – табл. 17

закругления углов поковок	
<b>7. Определение кузнечных напусков</b>	Штамповочные уклоны назначаются в зависимости от оборудования – табл. 18

### **Прядок выполнения работы**

1. Изучить чертеж детали и проанализировать исходные данные.
2. В зависимости от конфигурации детали определить тип оборудования для получения поковки.
3. Определить точность поковки по ГОСТ 7505-89.
4. Определить расположение плоскости разъема штампов.
5. Разработать чертеж поковки с указанием припусков на механическую обработку, необходимых размеров и предельных отклонений размеров.
6. Сформулировать необходимые технические требования на поковку.
7. Разработать технологический маршрут изготовления поковки.
8. Эскизно изобразить последовательность формообразования поковки.
9. Составить отчет.

### **Содержание отчета**

1. Название и цель работы.
2. Чертеж детали.
3. Определение точности поковки по ГОСТ 7505-89.
4. Расчет припусков на механическую обработку, допусков и кузнечных напусков.
5. Чертеж поковки с техническими требованиями.
6. Технологический маршрут изготовления поковки.
7. Эскизы этапов формообразования поковки.

### **Контрольные вопросы**

1. Виды горячей объемной штамповки (ГОШ).
2. Материалы, применяемые для изготовления поковок.
3. Технологический маршрут получения заготовки методом ГОШ.
4. Способы получения исходных штучных заготовок для ГОШ.
5. От чего зависит расположение плоскости разъема штампа?
6. Что такое припуск? От чего зависит величина припуска?
7. От чего зависит величина допусков на размеры поковки?
8. Для чего необходимы штамповочные уклоны и закругления?
9. Что необходимо указывать в технических требованиях на чертеже поковки?
10. В чем отличие облойной и безоблойной штамповки?
11. Какое оборудование применяется для ГОШ?

### **Рекомендуемая литература**

1. Клименков, С.С. Проектирование и производство заготовок в машиностроении: учебник / С.С. Клименков. – Минск.: Техноперспектива, 2008. – 407 с.
2. Безручко, И.И., Обработка металлов давлением / И.И. Безручко, М.Е. Зубцов, Л.Н. Балакина. – Л.: Машиностроение, 1967. – 312 с.: ил.
3. Юсипов З.И., Обработка металлов давлением и конструкции штампов: учебник для машиностроительных техникумов / З.И. Юсипов, Ю.И. Каплин. – М.: Машиностроение, 1981. – 272 с.: ил.

## **ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3**

### **РАЗРАБОТКА ЧЕРТЕЖЕЙ ДЕТАЛЕЙ СВАРНОЙ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА**

# РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СТАЛИ

## Цели работы:

1. Разработка рабочих чертежей свариваемых деталей.
2. Формирование умения в выборе электродов и режимов для ручной дуговой сварки конструкций из сталей.

**Исходные данные:** чертеж сварной конструкции; материал свариваемых деталей.

## Основные положения

**Сварным соединением** называется неразъемное соединение, выполняемое сваркой. Сварные комбинированные заготовки экономичны при любом характере производства в случае изготовления сложных или крупногабаритных деталей, получение которых как единое целое удорожает оснастку, увеличивает объем механической обработки, снижает точность и качество изготовления.

В сварных заготовках взаимосвязаны применяемые материалы, конструктивные формы соединяемых элементов и технологические процессы сварки.

Одним из основных факторов, определяющих целесообразность использования сварки для получения комбинированных заготовок, является материал свариваемых элементов. Прежде всего, он должен обладать высокой свариваемостью, т.е. легко свариваться без дополнительного подогрева, без использования дополнительной оснастки. Наиболее распространенным материалом сварных заготовок является сталь. Химический состав стали оказывает существенное влияние на свариваемость. Присутствие в стали хрома, молибдена, вольфрама, кремния, марганца понижают свариваемость стали. Особенно сильно влияет на свариваемость стали углерод. При содержании углерода до 0,25% сталь сваривается легко, без применения подогрева и специальной оснастки. Дальнейшее увеличение содержания углерода резко снижает свариваемость стали, служит причиной закалки в переходных зонах, способствует возникновению трещин. Поэтому наибольшее применение при изготовлении сварных заготовок имеют малоуглеродистые и низколегированные стали с суммарным содержанием легирующих элементов до 2%. Тем не менее, для изготовления сварных заготовок применяют различные углеродистые и легированные стали, обладающие необходимыми для сварки технологическими свойствами – пластичностью и незначительной склонностью к прокаливаемости.

Сварной вариант заготовки может быть выполнен в том случае, если заготовка может быть расчленена на отдельные элементы. При расчленении цельнолитых и цельнокованых заготовок на отдельные исходные заготовки, получаемые литьем, ковкой или штамповкой, необходимо помнить, что применение сварки требует не только выбора мест расчленения, не простого копирования форм и размеров цельных заготовок, а создания исходных заготовок, технологичных для данного материала, выбранного способа сварки, условий производства. При этом в чертеж сварной заготовки вносят необходимые конструктивные изменения.

Ручная дуговая сварка металлическим электродом осуществляется за счет теплоты электрической дуги, горящей между электродом и свариваемыми частями металлической конструкции. Электрическая дуга в газовом промежутке характеризуется:

- низким напряжением на электродах (20-65 В);
- высокой температурой столба дуги (6000-10000°C);
- большой силой тока (100-500 А).

Для ручной дуговой сварки может быть применен постоянный или переменный род тока. При постоянном токе дуга горит устойчиво, что важно для сварки изделий малой толщины и для специальных марок сталей. Однако в этом случае требуется более сложная и дорогостоящая аппаратура, увеличивается расход энергии и, как следствие, повышается себестоимость сварки.

При переменном токе условия сварки несколько ухудшаются (меньшая устойчивость горения дуги, возможна пористость шва), однако процесс сварки более экономичен, чем в первом случае.

Питание дуги постоянным током осуществляется с помощью выпрямителей или генераторов, а переменным током – с помощью понижающих сварочных трансформаторов.

Основными видами брака при сварке являются деформации сварных заготовок и дефекты сварочных швов.

При изготовлении сварных конструкций в них возникают внутренние напряжения, вызывающие деформации. Причинами могут быть:

- дефекты подготовки и сборки свариваемых элементов (неправильный угол скоса кромок, несовпадение стыкуемых плоскостей, непостоянство зазора между ними);
- неравномерность нагрева свариваемого металла;
- усадка наплавленного металла;
- структурные изменения в металле шва, происходящие при его затвердевании (при сварке легированных и высокоуглеродистых сталей).

Дефекты сварочных швов – это трещины, непровары, прожоги, натеки, шлаковые и окисные включения, дефекты формы швов.

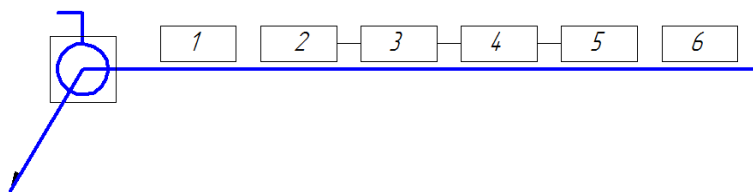
### Методические указания

Для разработки чертежей деталей сварной конструкции студенту выдается чертеж сварной заготовки. На основании чертежа заготовки необходимо выполнить расшифровку условных обозначений сварных швов, выбрать марку электрода, определить параметры технологического процесса сварки, выполнить рабочие чертежи свариваемых деталей.

Основные типы и конструктивные элементы швов сварных соединений ручной дуговой сваркой, регламентированы ГОСТ 5264-80.

#### Условное обозначение на чертежах сварных швов

Условное обозначение на чертежах сварных швов имеет вид



где 1 - обозначение стандарта на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений (табл. 3.1);

2 - буквенно-цифровое обозначение шва по стандарту на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений (табл. 3.2).

Кромки деталей, соединяемых сваркой, могут быть различно подготовлены под сварку в зависимости от требований, предъявляемых к соединениям. Подготовка кромок может быть:

- с отбортовкой кромок;
- без скоса кромок;
- со скосом одной кромки;
- с двумя скосами одной кромки;
- с двумя скосами двух кромок.

Вид кромок свариваемых деталей выбирают по стандарту в соответствии с буквенно-цифровым обозначением шва.

Пример условного буквенно-цифрового обозначения стандартного шва:


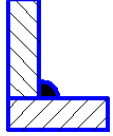
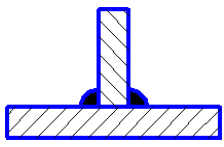
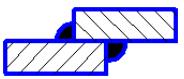
C1; C2; C3 ...	}	ГОСТ 5264-80
У; У2; У3 ...		
T1; T2; T3 ...		
H1; H2; H3 ...		

Таблица 3.1 – Стандарты на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений

ГОСТ	Наименование
5264-80	Ручная дуговая сварка. Соединения сварные
8713-79	Сварка под флюсом
11533-75	Автоматическая и полуавтоматическая дуговая сварка под флюсом
11534-75	Ручная дуговая сварка. Соединения под острыми и тупыми

	углами
15164-78	Электрошлаковая сварка
14771-76	Дуговая сварка в защитном газе
15878-79	Контактная сварка
14806-80	Дуговая сварка алюминия и его сплавов
16037-80	Сварка стальных трубопроводов

Таблица 3.2 – Типы сварных соединений в зависимости от расположения деталей

Изображение	Обозначение	Название
	С	Стыковое (свариваемые детали соединяются своими торцами)
	У	Угловое (свариваемые детали располагаются под углом 90° и соединяются по кромкам)
	Т	Тавровое (торец одной детали с боковой поверхностью другой детали)
	Н	Нахлесточное (боковые поверхности одной детали частично перекрывают боковые поверхности другой)




 - условное обозначение способа сварки по стандарту на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений (допускается не указывать) (табл. 3.3).

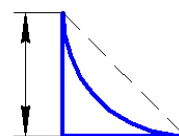
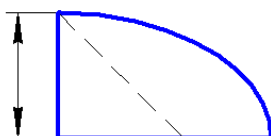
Таблица 3.3 – Буквенное обозначение способов сварки

Обозначение	Способ сварки
РнЗ	Ручная сварка алюминия. То же стальных трубопроводов
Р	Ручная сварка стальных трубопроводов.
РнЗ/М-3	Ручная дуговая сварка стальных трубопроводов; первый проход - неплавящимся электродом в защитных газах, последующие - механизированная сварка плавящимся электродом.
РнЗ/р	То же, первый проход – ручная сварка неплавящимся электродом в защитных газах, последующие - ручная дуговая сварка.

 - знак  и величина катета, согласно стандарту на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений (ГОСТ 16037-80).

Катет (К) - меньший катет вписанного в сечение шва треугольника.

Примеры катетов изображены на рис. 3.1.



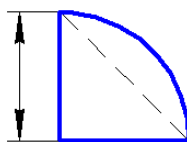


Рис. 3.1. Типы сварных швов в зависимости от величины катета:  
*a* - неравнобоко- выпуклый шов; *b* - равнобоко- выпуклый шов; *c* - вогнутый шов

5

- для прерывистого шва - длина провариваемого участка, знаки «/» или «Z» и размер шага;
- для шва контактной точечной сварки - расчетный диаметр точки, знаки «/» или «Z» и размер шага;
- для шва контактной шовной сварки – расчетная ширина шва.

6

- вспомогательные знаки (табл. 3.4) по ГОСТ 2.312-72.

Таблица 3.4 – Виды вспомогательных знаков и их расположение

Знак	Значение вспомогательного знака	Расположение вспомогательного знака относительно линии выноски	
		лицевая сторона	оборотная
	Усиление шва снять		
	Наплывы и неровности шва обработать с плавным переходом к основному металлу		
	Шов выполнить при монтаже изделия		
	Шов прерывистый или точечный с цепным расположением		
	Шов прерывистый или точечный с шахматным расположением		
	Шов по замкнутой линии Ø 3-5 мм		
	Шов по незамкнутой линии		

### Электроды и их обозначение

Тип электрода обозначается буквой Э с цифрой, указывающей гарантированное временное сопротивление разрыву наплавленного металла в кгс/мм<sup>2</sup>. Буква А после цифры означает повышенную пластичность наплавленного металла.

В зависимости от механических свойств наплавленного металла применяют электроды 14 типов: Э42; Э42А; Э50; Э50А ... Э150.



Различают следующие марки электродов:

1. По виду покрытия:

**А** - с кислотным покрытием - ОНМ-5, АНО-2, СМ-5, ЦМ-7; электроды обеспечивают устойчивое горение дуги при постоянном и переменном токе.

**Б** - с основным покрытием - УОНИИ 13/45, АНО-7, ОЗС-2, ДСК-50; их применяют для сварки на постоянном токе обратной полярности.

**Р** - рутиловым покрытием - АНО-1, АНО-3, ОЗС-3, ОЗС-6, АНО-4, МР-1, МР-3; обеспечивают устойчивое горение дуги и хорошее формирование шва во всех пространственных положениях.

**Ц** - с целлюлозным покрытием - ВСЦ-1, ВСЦ-2, ОЗС-1; применяются при сварке металлов малой толщины и в монтажных условиях.

**П** - с прочим покрытием - АНО-24 (рутил-ильменитовое покрытие), АНО-30 (рутил-основное), АНО-Д (фтористо-кальциевое покрытие).

2. По марке свариваемого металла:

**У** - углеродистая и низколегированная сталь ( $\sigma_{\text{в}}$  до 60 кгс/мм<sup>2</sup>);

**Л** - легированная конструкционная ( $\sigma_{\text{в}} \geq 60$  кгс/мм<sup>2</sup>);

**Т** - легированная теплоустойчивая;

**В** - высоколегированные стали и стали с особыми свойствами;

**Н** - стали для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами.

Выбор марки и типа электрода производится в зависимости от марки и механических свойств свариваемого материала (табл. 3.5).

Таблица 3.5 – Выбор типа и марки электрода

Марка стали	Механические свойства			Тип электрода	Марка электрода
	$\sigma_{\text{в}}$ кгс/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{\text{т}}$ кгс/мм <sup>2</sup>	$\sigma$ %		
Ст 3	38	23	25	Э42, Э42А	АНО-5, АНО-6, ОМА-2, ВСП-1, СМ-П, УП-1-45 УП2-45
14Г, С9Г2	44	29	21	Э46	АНО-3, АНО-4, МР-3, СЗС-4, СЗС-6, СЗС-12, АНО-13, АНО-18
С9Г2С, 10Г2СД, 18Г2, 17ГС	46	33	21	Э50, Э50А	ВСЦ-3, ВСН-3 (пост. тока), ДСК-50, АНО-2
14Г2АСРД, 16Г2АРД, 10ХСНД	52	40	19	Э60	УОНИ 13/65  (пост. тока)
15ХА, 15Г2ЛЮГ	60	45	16	Э60А	
14Х2ГМР 12ХН2	70	60	12	Э70	МКЗ-70 (пост. тока)

**Выбор диаметра электрода**

Диаметр электрода выбирается в зависимости от положения сварки и толщины свариваемого материала (табл. 3.6).

Таблица 3.6 – Выбор диаметра электрода

Положение сварки	Диаметр электрода, мм									
	при толщине свариваемого материала, мм									
Нижнее	<1,5	2	3	4-5	6-8	9-12	13-16	17-20	>20	
	1; 1,6	2	3	3,4	4,5	4,5	5	5; 6	6,8	
Горизонтальное Вертикальное Потолочное	диаметр электрода принимается равным 4 мм									

Основные положения сварки и их буквенные обозначения приведены в табл. 3.7.

Таблица 3.7 – Основные положения и буквенные обозначения сварки

Основное положение	Тип шва	
	угловой	стыковой
Нижнее - Н		
Горизонтальное - Г		
Вертикальное - В		
Полупотолочное - Пп		
Потолочное - Пт		

### Выбор тока

**Род тока** выбирается в зависимости от марки и толщины свариваемого материала:

- постоянный ток – для тонкостенных заготовок и высоколегированных сталей;
- переменный ток – для сварки углеродистых сталей.

**Сила тока** определяется в зависимости от положения сварки по следующим формулам:

$$I = K \cdot d \text{ (для сварки в нижнем положении);}$$

$$I = (0.85 - 0.90) \cdot K \cdot d \text{ (горизонтальном и вертикальном положении);}$$

$$I = (0.80 - 0.85) \cdot K \cdot d \text{ (потолочном положении),}$$

где  $I$  - сила сварочного тока, А;

$K$  - коэффициент пропорциональности, зависящий от марки электрода ( $K = 40-60$  А/мм);

$d$  - диаметр электрода, мм.

**Напряжение устойчивого горения дуги** определяется по формуле

$$U_3 = U_{ка} + E_c I,$$

где  $U_3$  - напряжение электрода, В;

$U_{ка}$  - суммарное падение напряжения на катоде и аноде (20-22 В);

$E_c$  - градиент напряжения в столбе дуги (3.3-3.8 В/мм);

$L$  – длина дуги  $(0.5-1.1)d$ , мм.

**Выбор сварочного трансформатора** осуществляется с учетом величины сварочного тока  $I$ , напряжения электрода  $U_э$  и КПД по данным табл. 3.8.

Таблица 3. 8 – Технические характеристики сварочных трансформаторов

Типы трансформаторов	Технические данные					
	Напряжение питающей сети, В	Вторичное напряжение В	Номинальный режим работы, В	Номинальный сварочный ток, А	Пределы регулирования тока, А	КПД, %
СТШ 250	380	61	20	250	80-260	73
СТШ 300	380/220	63	60	300	110-405	88
СТШ 500	380/220	60	60	500	145-650	90
ТС 300	380/220	68	65	300	110-385	84
ТС 500	380/220	62	65	500	163-650	85
ТСП-2	380/220	61; 79	20	300	90-300	76
ТД 300	380/220	59; 73	60	300	60-400	86
ТД 500	380	50	65	500	100-560	87
ТДЭ 250	380	50	20	250	90-250	67

### Порядок выполнения работы

1. Выполнить чертеж (эскиз) сварной заготовки с указанием необходимых размеров и сварочных швов.
2. Расшифровать условное обозначение сварного шва на чертеже.
3. Выполнить чертежи (эскизы) свариваемых деталей.
4. Выбрать тип, марку и диаметр электрода.
5. Определить род тока, силу сварочного тока, напряжение устойчивого горения сварочной дуги.
6. Выбрать сварочный трансформатор.
7. Выбранные и рассчитанные параметры сварки занести в таблицу 3.9.

### Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Чертеж (эскиз) сварной заготовки.
4. Чертежи (эскизы) свариваемых деталей.
5. Таблица с результатами выбора технологических параметров сварки.
6. Выводы.

Таблица 3.9 – Технологические параметры ручной дуговой сварки

Марка и	Тип, марка и	Напряжение	Сила	Тип
---------	--------------	------------	------	-----

толщина металла	диаметр электрода	горения дуги, В	сварочного тока, А	трансформатора

### Вопросы для самоконтроля

1. Что называют сварным соединением?
2. Каковы основные факторы, влияющие на свариваемость сталей?
3. Какими параметрами характеризуется электрическая дуга?
4. Какой род тока применяется при ручной дуговой сварке?
5. Каковы источники питания электрической дуги?
6. Преимущества и недостатки применения постоянного и переменного тока при электродуговой сварке.
7. Каковы основные формы подготовки кромок под сварку?
8. Виды брака при сварке.
9. Какие данные включает условное обозначение сварного шва?
10. Чем определяется марка электрода?
11. От каких параметров сварки зависит диаметр электрода?
12. Как рассчитывают необходимую силу сварочного тока?
13. Как определяют напряжение устойчивого горения сварочной дуги?
14. Каковы основные параметры, необходимые для выбора сварочного трансформатора?

### Рекомендуемая литература

1. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3т. / В.И. Анурьев. – М.: Машиностроение, 1978. – Т. 3 – 557 с.
2. Верховенко, Л.В. Справочник сварщика / Л.В. Верховенко. – 2-е изд. – Минск: Вышэйшая школа, 1990. – 480 с.
3. Новичихина, Л.И. Справочник по техническому черчению / Л.И. Новичихина. – Минск: Вышэйшая школа, 1976. – 240 с.
4. Степанов, В.В. Справочник сварщика / В.В. Степанов. – М.: Машиностроение, 1982. – 560 с.

## РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

### Перечень вопросов для самостоятельной работы студентов

1. Основные технологические процессы получения заготовок, их краткая характеристика.
2. Факторы, влияющие на выбор способа получения заготовок.
3. Материалы, применяемые при производстве отливок, их краткая характеристика.
4. Классификация и технологические особенности способов производства отливок.
5. Технологические свойства литейных сплавов
6. Технология и способы литья в песчано-глинистые формы в условиях единичного, серийного и массового производства.
7. Модельно-опочная оснастка. Формовочные материалы.
8. Последовательность сборки песчано-глинистой формы.
9. Особенности получения заготовок литьем в оболочковые формы.
10. Особенности получения заготовок литьем по выплавляемым моделям.
11. Особенности получения заготовок литьем в кокиль.
12. Особенности получения заготовок литьем под давлением.

13. Особенности получения заготовок центробежным литьем.
14. Особенности получения заготовок способом вакуумно-пленочной формовки
15. Термическая обработка отливок.
16. Завершающие операции литейного производства.
17. Дефекты литья и способы их устранения. Причины возникновения дефектов.
18. Особенности оформления чертежей отливок. Технические требования на изготовление отливок.
19. Материалы, применяемые при получении заготовок пластическим деформированием. Технологические свойства материалов
20. Основные способы обработки металлов давлением, их краткая характеристика.
21. Влияние горячей обработки давлением на структуру и механические свойства металла.
22. Виды сортового и специального профильного проката. Способы разделки проката на мерную заготовку.
23. Особенности получения заготовок поперечно-клиновой прокаткой.
24. Точность и качество поковок, получаемых свободной ковкой. Оборудование и технологическая оснастка для свободнойковки.
25. Основные операции свободнойковки (осадка, высадка, прошивка).
26. Основные операции свободнойковки (протяжка, пробивка, гибка).
27. Сущность процесса горячей объемной штамповки. Оборудование для горячей объемной штамповки.
28. Особенности получения заготовок в открытых и закрытых штампах.
29. Особенности получения заготовок на горизонтально-ковочных машинах.
30. Особенности получения заготовок способом прессования
31. Особенности получения заготовок способом волочения
32. Особенности оформления чертежей поковок. Технические требования на изготовление поковок.
33. Получение заготовок способами холодной объемной штамповки
34. Разделительные операции листовой штамповки
35. Формообразующие операции листовой штамповки
36. Неразрушающие методы контроля качества заготовок.
37. Особенности получения заготовок сваркой.
38. Особенности получения заготовок пайкой и склеиванием.
39. Особенности получения заготовок из металлических порошков.
40. Особенности получения заготовок из неметаллических материалов

## ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

### Глоссарий основных понятий

**Волочение** – вид обработки давлением, заключающийся в протягивании заготовок через сужающееся отверстие (фильеру) в инструменте, называемом **волокой**.

**Вулканизация** – технологический процесс взаимодействия каучуков с вулканизирующим агентом, при котором происходит сшивание молекул каучука в единую пространственную сетку.

**Вырубка и пробивка** – отделение металла по замкнутому контуру в штампе.

**Высадка** – образование на заготовке местных утолщений требуемой формы.

**Высечка** – часть листовой заготовки, оставшаяся после вырубки.

**Вытяжка** – образование полого изделия из плоской или полой заготовки.

**Газовая сварка** – способ сварки плавлением, при котором металл заготовки и присадочный материал в виде прутка или проволоки расплавляют высокотемпературным пламенем газовой горелки.

**Газовые раковины** – открытые или закрытые пустоты с чистой и гладкой поверхностью закругленной формы, созданные воздухом или газами, выделяющимися из расплавленного металла при его затвердевании или из материалов формы.

**Газопоглощение** – способность литейных сплавов в расплавленном состоянии растворять газы.

**Галтовка** – способ очистки заготовок во вращающемся барабане с наклонной осью вращения.

**Гибка** – образование или изменение углов между частями поковки, а также придание ей криволинейной формы.

**Гидростатическое прессование** – способ получения металлокерамических заготовок при котором порошковый материал, заключенный в эластичную резиновую или металлическую оболочку, подвергают равномерному и всестороннему обжатию в специальной герметизированной камере.

**Горизонтально-ковочная машина** – механический пресс, расположенный в горизонтальной плоскости.

**Жидкая прокатка** – совмещенный способ литья и прокатки.

**Жидкотекучесть** – способность металла заполнять литейную форму.

**Кантователь** – оборудование, предназначенное для поворота заготовки вокруг горизонтальной оси.

**Ковкость** – свойство металла изменять свою форму под действием ударов или давления, не разрушаясь.

**Ковочный молот** – оборудование для ковки, где энергия необходимая для деформирования металла передается с помощью удара.

**Кокиль** – металлическая литейная форма, которая заполняется расплавом под действием гравитационных сил.

**Коробление** – искажение размеров и конфигурации заготовки вследствие ее изгиба.

**Кривошипный пресс** – кузнечно-штамповочная машина, у которой рабочий орган – ползун, несущий инструмент, приводится в возвратно-поступательное движение при помощи кривошипно-шатунного механизма

**Лазерная сварка** – способ сварки плавлением, при котором металл нагревают излучением лазера.

**Ликвация** – появление неоднородности по химическому составу в различных частях отливки.

**Листовая штамповка** – один из видов холодной обработки давлением, при котором листовой материал деформируется в холодном или подогретом состоянии.

**Литейная модель** – приспособление, с помощью которого в литейной форме получают отпечаток, соответствующий конфигурации и размерам отливки.

**Литниковая система** – совокупность каналов и резервуаров, по которым расплав поступает в полость формы.

**Наплавка** – процесс нанесения слоя металла или сплава на поверхность изделия.

**Наполнительная смесь** – песчано-глинистая смесь для заполнения формы после нанесения на модель облицовочной смеси.

**Напыление** – процесс, при котором расплавленные по всему объему или по поверхности частицы материала будущего покрытия направляются на поверхность нагретой заготовки.

**Обжим** – уменьшение периметра поперечного сечения концевой части полой заготовки.

**Облицовочная смесь** – песчано-глинистая смесь для изготовления рабочего слоя формы.

**Облой** – заусенец на отливке или штамповке.

**Объемная формовка** – формообразование изделий путем заполнения металлом полости штампа.

**Осадка** – уменьшение высоты заготовки при увеличении площади ее поперечного сечения.

**Отбортовка** – получение борта путем вдавливания центральной части заготовки с предварительно пробитым отверстием в матрицу.

**Отрезка** – отделение части заготовки по незамкнутому контуру на специальных машинах – ножницах или в штампах.

**Пайка** – процесс получения неразъемного соединения заготовок без их расплавления путем смачивания поверхностей жидким припоем с последующей его кристаллизацией.

**Паровоздушный ковочный молот** – оборудование дляковки, которое приводится в действие паром под давлением 700–900 кПа, или сжатым воздухом под давлением до 700 кПа.

**Передача** – смещение одной части заготовки относительно другой при сохранении параллельности осей или плоскостей частей заготовки.

**Прессование** – вид обработки давлением, при котором металл выдавливается из замкнутой полости через профильное отверстие в матрице.

**Пробивка** – операция образования в заготовке сквозного отверстия с удалением материала в отход путем сдвига (среза).

**Прокатка** – процесс, при котором заготовка обжимается (сдавливается), проходя в зазор между вращающимися валками, при этом, она уменьшается в своем поперечном сечении и увеличивается в длину.

**Прокатный стан** – комплекс машин для деформирования металла во вращающихся валках и выполнения вспомогательных операций.

**Протяжка** – удлинение заготовки или ее части за счет уменьшения площади поперечного сечения.

**Прошивка** – получение отверстия в заготовке за счет вытеснения материала.

**Разгонка** – увеличение ширины заготовки за счет уменьшения ее толщины.

**Раздача** – увеличение периметра поперечного сечения концевой части полой заготовки.

**Раскатка** – увеличение диаметров (наружного и внутреннего) проштампанной заготовки за счет уменьшения толщины ее стенки.

**Резина** – эластичный материал, образующийся в результате [вулканизации](#) натурального и синтетических каучуков.

**Рельефная формовка** – местное деформирование заготовки с целью образования рельефа.

**Рольганг** – транспортер с последовательно установленными вращающимися роликами, обеспечивающими продольное перемещение металла.

**Ручей** – специальная рабочая полость штампа для осуществления формообразования заготовки.

**Сварка** – технологический процесс получения неразъемных соединений в результате возникновения атомно-молекулярных связей между соединяемыми деталями при их нагреве или пластическом деформировании.

**Сварка трением** – способ сварки давлением при воздействии теплоты, возникающей при трении свариваемых поверхностей

**Стержневой ящик** – формообразующее изделие, имеющее рабочую полость для получения в ней из стержневой смеси литейного стержня нужных размеров и очертаний.

**Усадочная пористость** – скопление мелких пустот (пор) неправильной формы, которые образовались в отливке в результате объемной усадки при отсутствии доступа жидкого металла.

**Усадочные раковины** – открытые или закрытые полости в теле отливки с неровной внутренней поверхностью и грубокристаллическим строением.

**Фасонирование** – перераспределение металла заготовки с целью придания ей формы, обеспечивающей последующую штамповку с малым отходом металла.

**Формовка** – процесс изготовления литейных форм.

**Чеканка** – образование рельефных изображений на деформируемом материале.

**Штамповка в закрытых штампах** – штамповка, характеризующаяся тем, что полость штампа в процессе деформирования остается закрытой. Зазор между подвижной и неподвижной частями штампа постоянный и небольшой, образование в нем облоя не предусмотрено.

**Штамповка в открытых штампах** – штамповка, характеризующаяся переменным зазором между подвижной и неподвижной частями штампа и сопровождающаяся образованием облоя.

## Учебная программа

### Раздел 1. Получение заготовок методом литья

#### Тема 1.1 Введение

Место и роль курса «Проектирование и изготовление заготовок» в процессе инженерной подготовки студентов специальности 01–080101 «Профессиональное обучение». Основные технологические процессы получения заготовок. Факторы, влияющие на выбор метода получения заготовок. Общие рекомендации по выбору заготовок.



## **Тема 1.2. Литейное производство.**

### **Материалы, применяемые при производстве отливок**

Материалы, применяемые при производстве отливок (чугуны, стали, сплавы на основе цветных металлов), их физико-механические характеристики (прочность, пластичность, температура плавления), химический состав и литейные свойства (жидкотекучесть, усадка). Область применения литейных материалов.

Классификация способов производства отливок. Технологические возможности способов литья и область их применения с учетом серийности производства. Требования, предъявляемые к конструкциям отливок. Технологичность конструкций отливок. Точность размеров и формы поверхностей отливок. Назначение припусков на механическую обработку с учетом качества поверхностей заготовки и глубины дефектного слоя. Коэффициент использования материала. Особенности конструирования литейной оснастки. Особенности оформления чертежей отливок. Технические требования на изготовление отливок. Себестоимость изготовления отливок. Экология процесса литейных производств.

### **Тема 1.3. Заготовки, получаемые литьем в песчано-глинистые формы**

Технология и способы литья в песчано-глинистые формы в условиях различных типов производств. Модельно-опочная оснастка. Формовочные и стержневые материалы. Изготовление форм при ручной и машинной формовке. Изготовление стержней. Конструктивное оформление элементов литых заготовок: углов, переходов, сопряжений, ребер, фланцев; выбор толщины стенок отливок; построение внутренних полостей. Назначение литейных радиусов и уклонов.

Связь конструкций литейной формы с выбором баз для выполнения первой операции механической обработки; учет этих связей при простановке размеров и допусков на размеры отливок.

Механизация и автоматизация изготовления литейных форм. Перспективы повышения точности отливок.

### **Тема 1.4. Заготовки, получаемые специальными видами литья**

Литье в металлические формы (кокили). Литье по выплавляемым моделям. Литье по газифицируемым моделям. Литье в оболочковые формы. Вакуумно-пленочная формовка. Центробежное литье. Литье под давлением. Непрерывное литье. Штамповка жидкого металла.

### **Тема 1.5. Завершающие операции литейного производства**

Термическая обработка отливок. Методы очистки отливок (галтовка в барабанах, дробеструйная и дробеметная очистка, травление, гидравлическая очистка). Нанесение защитно-декоративных покрытий. Дефекты литья. Контроль качества отливок.

## **Раздел 2. Получение заготовок методом обработки давлением**

### **Тема 2.1. Способы получения заготовок обработкой давлением**

Способы обработки металлов давлением, их технологические возможности и область применения. Упругая и пластическая деформации. Влияние пластической деформации на структуру и механические свойства металла. Выбор способа

получения заготовки детали в зависимости от условий ее работы, конструкции и объема выпуска.

Точность размеров и формы поверхностей заготовок. Назначение припусков на механическую обработку с учетом качества поверхностей заготовки и глубины дефектного слоя. Технологичность конструкций заготовок. Особенности оформления чертежей заготовок, полученных способами обработки давлением, и технические требования на их изготовление. Себестоимость изготовления заготовок. Экология процесса получения заготовок при различных способах обработки давлением.

### **Тема 2.2. Заготовки, получаемые свободной ковкой**

Сущность процесса свободнойковки. Точность и качество поковок, получаемых свободной ковкой. Определение веса и размеров исходной заготовки. Основные операции свободнойковки. Инструмент и оборудование для свободнойковки.

### **Тема 2.3. Заготовки, получаемые горячей объемной штамповкой**

Сущность процесса горячей объемной штамповки. Виды горячей объемной штамповки. Классификация штамповочных операций.

Конструирование горячештамповочных поковок, формы сечения поковок. Радиусы скругления в сечениях. Штамповочные уклоны. Тонкие полотна и перемычки. Наружные очертания поковок. Выбор линии (поверхности) разъема штампа. Качество поверхности поковок. Точность размеров поковок и факторы, влияющие на нее. Припуски на механическую обработку. Кузнечные напуски.

Определение размеров исходной заготовки и нормы расхода металла. Форма и размеры наружного и внутреннего облоя. Особенности определения размеров и формы исходной заготовки для безоблойной штамповки.

Оформление чертежаковки. Зависимость системы простановки размеровковки от выбора технологических баз, используемых на первых операциях механической обработки. Технические требования на изготовление поковок.

Оборудование для горячей объемной штамповки.

### **Тема 2.4. Заготовки из сортового и специального проката**

Виды сортового и специального профильного проката. Технологические особенности заготовок из проката. Сортовой прокат. Профильный прокат. Периодический прокат. Специальные виды проката. Поперечно-клиноватая прокатка. Инструменты и оборудование для производства профилей. Способы разделки проката на мерную заготовку.

### **Тема 2.5. Заготовки, получаемые прессованием и волочением**

Технологические особенности процесса прессования. Прямое и обратное прессование. Оборудование для прессования. Технологические особенности процесса волочения. Оборудование и инструмент для волочения.

### **Тема 2.6. Заготовки, получаемые холодной штамповкой**

Холодная объемная штамповка. Оборудование для холодной объемной штамповки. Способы изготовления заготовок холодным выдавливанием. Материалы, применяемые при холодном выдавливании. Изменение физико-механических свойств стали. Расчет усилий пресса. Инструмент для холодного

выдавливания. Листовая штамповка. Разделительные и формообразующие операции листовой штамповки. Оборудование для листовой штамповки.

### **Раздел 3. Порошковые, неметаллические и сварные заготовки**

#### **Тема 3.1. Формообразование заготовок из порошковых материалов**

Технологические особенности и область применения заготовок и деталей, получаемых из металлических и не металлических порошков. Порошковые материалы и их подготовка к формообразованию деталей. Способы формообразования порошковых заготовок. Спекание порошковых заготовок. Оборудование и оснастка для производства порошковых заготовок. Техно-экономическая эффективность производства заготовок, получаемых из порошковых материалов.

#### **Тема 3.2. Получение заготовок сваркой**

Возможности процессов сварки в производстве сложных и крупногабаритных заготовок. Обеспечение равномерности шва и основного материала заготовки. Обеспечение точности сварных заготовок. Сочетания сварных заготовок: прокат-поковка, прокат-литье, литье-литье и т.д. Техно-экономическая эффективность производства сложных сварных заготовок и деталей.

#### **Тема 3.3. Заготовки из неметаллических материалов**

Особенности получения заготовок из пластмасс. Особенности получения заготовок из дерева. Особенности получения заготовок из резины.

# УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

## Очная форма получения высшего образования

Но- мер разд ела, темы	Наименование раздела, темы	Аудиторные часы		Количество часов УСР	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия		
	Семестр 7				
1	Раздел 1. Получение заготовок методом литья	14			
1.1	Введение	2			
1.2	Способы производства отливок	2			
1.3	Заготовки, получаемые литьем в песчано-глинистые формы	4	4		Защита отчета по практ. работе
1.4	Заготовки, получаемые специальными видами литья	4	2		Защита отчета по практ. работе
1.5	Завершающие операции литейного производства	2			
2	Раздел 2. Получение заготовок методом обработки давлением	12			
2.1	Классификация способов получения заготовок обработкой давлением	2			
2.2	Заготовки из сортового и специального проката	2			
2.3	Заготовки, получаемые свободной ковкой	2			
2.4	Заготовки, получаемые горячей объемной штамповкой	2	4		Защита отчета по практ. работе
2.5	Завершающие операции производства поковок	1			
2.6	Заготовки, получаемые прессованием и волочением	1			
2.7	Заготовки, получаемые холодной штамповкой	2			
3	Раздел 3. Порошковые, неметаллические и сварные заготовки	5			
3.1	Заготовки из порошковых материалов	2			
3.2	Методы получения заготовок сваркой	2	4		Защита отчета по практ. работе
3.3	Заготовки из неметаллических материалов	1			
4	Раздел 4. Техничко-экономическая оценка способов производства заготовок	1			
4.1	Взаимосвязь метода получения заготовки и технологии механической обработки	0,5			
4.2	Методика расчета себестоимости изготовления заготовок	0,5	2		Защита отчета по практ. работе

	Итого за семестр:	32	16		зачет
Всего аудиторных часов:		48			

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### Заочная форма получения высшего образования

Но- мер разд ела, темы	Наименование раздела, темы	Аудиторные часы			Количество часов УСР	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия		
	Семестр 5					
1	Получение заготовок методом литья	2				
<b>1.3</b>	Заготовки, получаемые литьем в песчано-глинистые формы		2			Защита отчета по практ. работе
<b>1.4</b>	Заготовки, получаемые специальными видами литья					
2	<b>Получение заготовок методом обработки давлением</b>	2				
2.2	Заготовки из сортового и специального проката					
2.3	Заготовки, получаемые свободной ковкой					
2.4	Заготовки, получаемые горячей объемной штамповкой		2			Защита отчета по практ. работе
2.6	Заготовки, получаемые прессованием и волочением					
3	Порошковые, неметаллические и сварные заготовки					
3.1	Заготовки из порошковых материалов					
3.2	Методы получения заготовок сваркой					
4	Технико-экономическая оценка способов производства заготовок	2				
4.1	Взаимосвязь метода получения заготовки и технологии механической обработки					
4.2	Методика расчета себестоимости изготовления заготовок					контрольная работа
		6	4			<b>зачет</b>
	Всего аудиторных часов:	10				

<sup>1</sup> Темы учебного материала, не указанные в учебно-методической карте, отводятся на самостоятельное изучение студентом.

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Список литературы

#### Основная литература

1. Афонькин М.Г., Магницкая М.В. Производство заготовок в машиностроении. -Л.: Машиностроение, 1987. – 256 с.
2. Брюханов А.Н. Ковка и объемная штамповка. – М.: Машиностроение, 1975. – 408 с.
3. Литейное производство /А.М. Михайлов, Б.В. Бауман, Б.Н. Благоев и др. – М.: Машиностроение, 1987. – 256 с.
4. Отливки из металлов и сплавов ГОСТ 26645-85.
5. Поковки стальные штампованные ГОСТ 7505-89.
6. Матвеев И.В. Тарский В.Л. Оборудование литейных цехов – М.: Машиностроение, 1985. – 400 с.
7. Зайгеров И.Б. Оборудование литейных цехов – Минск, Вышэйшая школа, 1980. – 368 с.
8. Клименков, С.С. Проектирование и производство заготовок в машиностроении: учебник / С.С. Клименков. – Минск.: Техноперспектива, 2008. – 407 с.

#### Дополнительная литература

1. Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., Калинин М.А. Точность обработки заготовки и припуски в машиностроении: Справочник. – М.: Машиностроение, 1972. – 767 с.
2. Литейное производство: Учебное пособие./Под ред. И.В. Куманина. – М.: Машиностроение, 1971.
3. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х томах. / Под ред. Е.И. Семенова – М.: Машиностроение, 1985.
4. Порошковая металлургия. Спеченные и композиционные материалы. / Под ред. В. Шатта. – М.: Металлургия, 1983. – 520 с.
5. Проектирование технологических процессов механической обработки в машиностроении: Учеб. пособие / Под ред. В.В. Бабука. – Мн.: «Выш. школа», 1987. – 255 с., ил.

#### Средства диагностики результатов учебной деятельности

Оценка уровня знаний студента производится по десятибалльной шкале в соответствии с критериями, утвержденными Министерством образования Республики Беларусь.

Для оценки достижений студента рекомендуется использовать следующий диагностический инструментарий:

- устный и письменный опрос во время практических занятий;
- проведение текущих контрольных работ по отдельным темам;

- защита выполненных на лабораторных занятиях индивидуальных заданий;
- защита выполненных в рамках самостоятельной работы индивидуальных заданий;
- собеседование при проведении индивидуальных и групповых консультаций;
- выступление студента на конференции по подготовленному реферату;
- сдача зачета по дисциплине.

#### Перечень тем практических работ

1. Разработка чертежа отливки и технологического маршрута ее получения литьем в песчано-глинистые формы.
2. Разработка чертежа отливки и технологического маршрута ее получения способом вакуумно-пленочной формовки.
3. Разработка чертежа стальной штампованной поковки и технологического процесса ее получения пластическим деформированием.
4. Разработка чертежа сварной конструкции и технологического процесса сварки конструкций из стали.
5. Расчет технологической себестоимости различных методов получения заготовок.
6. Расчет припусков на механическую обработку.

#### Перечень тем контрольных работ

1. Литейные материалы и их технологические свойства
2. Ручная и машинная формовка. Изготовление заготовок на автоматических формовочных линиях.
3. Дефекты отливок и способы их исправления.
4. Получение отливок способом вакуумно-пленочной формовки.
5. Получение отливок способом литья в оболочковые формы.
6. Получение отливок способом литья по выплавляемым моделям.
7. Получение отливок способом литья в кокиль.
8. Получение отливок способом литья под давлением.
9. Получение отливок способом центробежного литья.
10. Влияние горячей обработки давлением на механические свойства металла.
11. Нагрев металла под горячую штамповку. Способы нагрева металла.
12. Способы очистки заготовок от окалины.
13. Штамповка на молотах свободной ковки.
14. Штамповка на кривошипных горячештамповочных прессах.
15. Штамповка на горизонтально-ковочных машинах.
16. Штампы для облойной и безоблойной штамповки.
17. Получение заготовок волочением и прессованием.



18. Прямое и обратное прессование, особенности процессов.
19. Способы разделки проката на мерную заготовку.
20. Способы правки проката.
21. Получение заготовок поперечно-клиновой прокаткой.
22. Получение заготовок поперечно-винтовой прокаткой.
23. Калибровка, чеканка и обрезка облоя при штамповке.
24. Разделительные и формообразующие операции листовой штамповки.
25. Заготовки, получаемые из порошковых материалов. Технологические свойства металлических порошков.
26. Способы получения заготовок из порошковых материалов.
27. Прессование сплошных и пустотелых порошковых изделий.
28. Виды сварных соединений. Изображение сварных швов на чертежах.
29. Автоматизация сварных соединений.
30. Дефекты сварных соединений. Контроль сварных соединений.

#### Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов

При изучении дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- решение индивидуальных задач в аудитории во время проведения практических занятий под контролем преподавателя в соответствии с расписанием;
- подготовка и сдача отчетов по каждой из запланированных практических работ.
- подготовка рефератов по индивидуальным темам, в том числе с использованием патентных материалов.