

### Лекция 06

- Общие сведения. Выбор метода и способа получения заготовки
- Способы обработки металла давлением:
  - прокатка
  - волочение
  - ковка
  - штамповка
  - прессование
- Качество заготовок

### Общие сведения

Обработка металлов давлением – это процесс, при котором металлу придается нужная форма и размер под силовым воздействием без снятия стружки и нарушения сплошности. При обработке давлением заготовки простой формы преобразуются в детали более сложной формы того же объема. Процесс отличается большой экономичностью и производительностью и относится к малоотходной технологии.

Пластические свойства металлов позволяют сохранить полученные форму и размер, даже после того, как воздействие давления прекращается. Обработка давлением основана на пластичности металла, т.е. на их способности изменять свою форму без разрушения под действием приложенных сил (давления). Применима к металлам, обладающим достаточной пластичностью.

Деформация пластичных металлов, состоит из упругой и пластической составляющих. Упругая исчезает при снятии нагрузки, пластическая деформация приводит к остаточному изменению формы и размеров заготовки. **Для пластической (остаточной) деформации металл необходимо подвергнуть напряжению, которое больше предела упругости и меньше предела прочности, чтобы не получилось трещин.**

Необходимо помнить, что при пластической деформации изменяется не только форма, но и свойства деформируемого металла.

Из металлов наибольшей пластичностью обладает свинец. Пластичность стали недостаточна в холодном состоянии, поэтому используют подогрев до определенных температур, когда пластичность становится достаточной. Некоторые металлы и сплавы, например, чугун, не приобретают способность к деформированию и при нагреве.

На практике обработке давлением в холодном состоянии подвергают только тонкие листовые и полосовые заготовки из мягкой стали и из цветных металлов и их сплавов.

При деформировании в холодном состоянии механические и физико-химические свойства металла непрерывно изменяются: твердость, прочность и хрупкость увеличиваются, а пластичность, вязкость, электропроводность и коррозионная стойкость – уменьшаются. Это изменение свойств называют **наклепом**.

*Горячая обработка* металлов давлением производится при температурах, значительно превышающих температуру их рекристаллизации и наклеп, получаемый от механического воздействия. При этом микроструктура металла после обработки давлением оказывается равноосной, без следов упрочнения. Зерна в металле получаются тем мельче, чем больше степень деформации. Т.к. при обжатии зерна дробятся, затем из обломков растут новые до тех пор, пока не будут раздроблены повторным обжатием и т.д. Это значит, что при горячей обработке происходят одновременно два процесса: измельчение зерен и рекристаллизация. В процессе горячей обработки давлением уменьшаются или полностью уничтожаются пороки литого металла: в результате механического воздействия металл уплотняется; в результате диффузии при высокой температуре происходит частичное выравнивание химического состава металлы; при правильном температурном режиме проведения обработки получается мелкозернистая структура, подобная структуре после отжига.

## ***Лекция 06: Обработка металлов давлением***

Перед горячей обработкой давлением металлы и стали нагревают до определенной температуры (начало горячей обработки давлением) для повышения их пластичности и уменьшения сопротивления деформации. Однако в процессе обработки температура металла понижается. Минимальная температура, при которой можно производить обработку, называется *температурой окончания обработки давлением*. Область температуры между началом и окончанием, в которой металл или сплав обладает наилучшей пластичностью, наименьшей склонностью к росту зерна и минимальным сопротивлением деформированию, называют *температурным интервалом горячей обработки давлением*.

При этом температура нагрева металла выбирается такой, чтобы не возник пережог либо перегрев.

Заготовка должна быть равномерно нагрета по всему объему до требуемой температуры. Нагрев осуществляется в различных печах и нагревательных устройствах.

Каждый металл и сплав имеет свой строго определенный температурный интервал горячей обработки давлением. Например, медный сплав БрАЖМц – (900 ÷ 750) °С; титановый сплав Вt8 – (1100 ÷ 900) °С; сталь 45 – (1200 ÷ 750) °С. Температуру начала и окончания горячего деформирования стали определяют по диаграмме состояния железо–углерод. Температура начала горячей обработки давлением должна быть на 100–200 °С ниже температуры плавления стали, а температура окончания деформирования – на 50–100 °С выше температуры рекристаллизации.

Практически температура окончания деформирования стали определяется по эмпирической формуле:  $T_{\text{оконч}} = 100 (9,1 - 1,1 \cdot C) \text{ } ^\circ\text{C}$ , где  $C$  – содержание углерода в стали в %.

Наибольшую температуру нагрева стали с содержанием 0,1 % С принимают равной 1350 °С, с содержанием 0,2 % С – (1270 ÷ 1250) °С, с 0,6 % С – (1200 ÷ 1180) °С, с 1 % С – (1120 ÷ 1100) °С.

Итак, прокатка углеродистых сталей начинается при (1200 ÷ 1150) °С и заканчивается при (950 ÷ 900) °С.

Неполная горячая деформация характеризуется незавершенностью процесса рекристаллизации, которая не успевает закончиться, так как скорость ее недостаточна по сравнению со скоростью деформации. Часть зерен остается деформированными и металл упрочняется. Возникают значительные остаточные напряжения, которые могут привести к разрушению. Такая деформация наиболее вероятна при температуре, незначительно превышающей температуру начала рекристаллизации. Ее следует избегать при обработке давлением.

Также иногда применяют комбинации 2-их или нескольких методов обработки металлов давлением одновременно. Это позволяет получать изделия сложных форм и размеров и расширяет возможности их применения.

### ***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.

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.

*Состав и структура металла.* Пластичность находится в прямой зависимости от химического состава материала. С повышением содержания углерода в стали пластичность падает. Большое влияние оказывают 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.

## ***Лекция 06: Обработка металлов давлением***

Пластичность зависит от структурного состояния металла, особенно при горячей деформации. Неоднородность микроструктуры снижает пластичность. Однофазные сплавы, при прочих равных условиях, всегда пластичнее, чем двухфазные. Фазы имеют неодинаковые механические свойства, и деформация получается неравномерной. 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.

*Характер напряженного состояния.* Один и тот же материал проявляет различную пластичность при изменении схемы напряженного состояния. Схема всестороннего сжатия является наиболее благоприятной для проявления пластических свойств, так как при этом затрудняется межзеренная деформация и вся деформация протекает за счет внутризеренной. Появление в схеме растягивающих напряжений снижает пластичность. Самая низкая пластичность наблюдается при схеме всестороннего растяжения.

*Неравномерность деформации.* Чем больше неравномерность деформации, тем ниже пластичность. Неравномерность деформации вызывает появление дополнительных напряжений. Растягивающие напряжения всегда снижают пластичность и способствуют хрупкому разрушению. Кроме того, неравномерность напряженного состояния понижает механическую прочность материала, так как напряжения от внешней нагрузки суммируются с остаточными растягивающими напряжениями, то разрушение наступает при меньшей нагрузке.

*Скорость деформации.* С повышением скорости деформации в условиях горячей деформации пластичность снижается. Имеющаяся неравномерность деформации вызывает дополнительные напряжения, которые снимаются только в том случае, если скорость разупрочняющих процессов не меньше скорости деформации.

### *Влияние температуры*

Влияние температуры на пластичность неоднозначно. Малоуглеродистые и среднеуглеродистые стали, с повышением температуры, становятся более пластичными. Высоколегированные стали имеют большую пластичность в холодном состоянии. Для шарикоподшипниковых сталей пластичность практически не зависит от температуры. Отдельные сплавы могут иметь интервал повышенной пластичности. Техническое железо в интервале 800...1000 °С характеризуется понижением пластических свойств. При температурах, близких к температуре плавления пластичность резко снижается из-за возможного перегрева и пережога.

### *Технологические испытания*

Технологические испытания материалов — это вид разрушающих испытаний, который проводится для оценки способности материала воспринимать определённую деформацию в условиях, максимально приближенных к производственным и носят качественный характер.

К технологическим испытаниям относят:

- испытания на сплющивание;
- испытания на загиб;
- испытания на раздачу;
- испытания на бортование;
- испытания на осадку.

Для определения способности листового материала толщиной до 2 мм выдерживать операции холодной штамповки (вытяжки) применяют метод испытания на вытяжку сферической лунки с помощью специальных пуансонов, имеющих сферическую поверхность (ГОСТ 10510).

Лист или ленту толщиной менее 4 мм испытывают на перегиб (ГОСТ 13813).

Проволоку из цветных и черных металлов испытывают на скручивание (ГОСТ 1545) с определением числа полных оборотов до разрушения образцов, длина которых обычно составляет  $d \times 100$  ( $d$  – диаметр проволоки). Применяют также испытание на перегиб (ГОСТ 1579) по схеме, аналогичной испытанию листового материала. Проводят пробу на навивание (ГОСТ 10447).

## Лекция 06: Обработка металлов давлением

Для труб с внешним диаметром не более 114 мм применяют пробу на загиб (ГОСТ 3728).

Испытание на раздачу (ГОСТ 8694) и испытание на сплющивание до определенного размера, причем для сварных труб ГОСТ 8685 предусматривает положение шва, испытание гидравлическим давлением.

Для испытания проволоки или прутков круглого и квадратного сечения, предназначенных для изготовления болтов, гаек и других крепежных деталей методом высадки, используют пробу на осадку (ГОСТ 8817).

Для прутковых материалов широко применяется проба на изгиб.

### Классификация

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.

По виду получаемой продукции процессы обработки давлением группируют следующим образом:

- профили (изготавливают прокаткой, прессованием и волочением);
- поковки (получают ковкой и объемной штамповкой);
- плоские и пространственные изделия, у которых толщина существенно меньше двух других размеров (изготавливают листовой штамповкой).

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

### Способы обработки металла давлением

Существует целый ряд различных методов, каждый из которых позволяет воздействовать на металл уникальным образом. Различают 5 основных методов обрабатывания металлов (см. Схема 1):

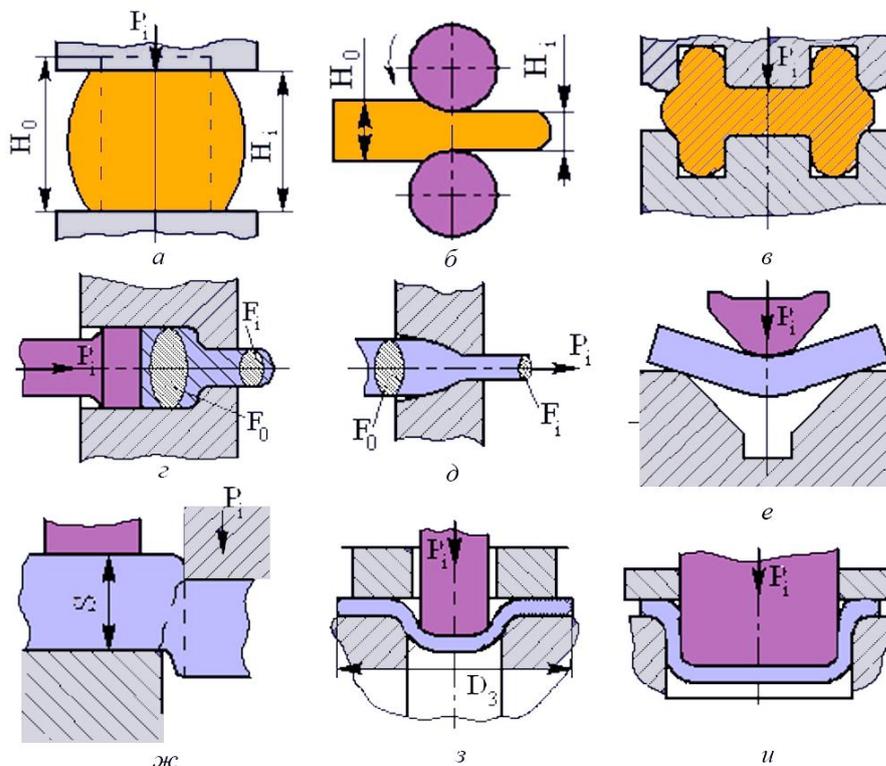
Способы обработки металла давлением					
	Прокатка	Прессование	Волочение	Ковка	Штамповка
Исходное сырье	<ul style="list-style-type: none"><li>• Слитки разной формы</li><li>• Плиты</li><li>• Кованые заготовки</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Слитки</li><li>• Прокат круглого сечения</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Пруток</li><li>• Сортовой прокат</li><li>• Проволока</li><li>• Трубы</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Слитки</li><li>• Поковки</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Листы</li><li>• Кованые заготовки</li><li>• Мелкие слитки</li></ul>
Температурный режим обработки	В горячем и холодном состоянии	В горячем состоянии	В холодном состоянии	В горячем и холодном состоянии	В горячем и холодном состоянии
Готовый продукт	Сортовой прокат Листовой прокат Трубы Спец. виды проката	Прутки Профили Трубы	Проволока Сортовой прокат Пруток Трубы	Поковки	Детали

Схема 1. Основные методы обработки металла давлением

Основными схемами деформирования объемной заготовки являются (Рисунок 1):

## Лекция 06: Обработка металлов давлением

- сжатие между плоскостями инструмента – ковка;
- ротационное обжатие вращающимися валками – прокатка;
- затекание металла в полость инструмента – штамповка;
- выдавливание металла из полости инструмента – прессование;
- вытягивание металла из полости инструмента – волочение.



- сжатие между плоскостями инструмента (а);
- ротационное обжатие заготовки вращающимся инструментом (б);
- затекание заготовки в полость инструмента (в);
- выдавливание заготовки из полости инструмента (г);
- волочение (д);
- гибка заготовки (е);
- отделение части заготовки (ж);
- изменение формы заготовки в результате растяжения отдельных ее участков и уменьшения толщины (з);
- превращение плоской листовой заготовки в полые пространственные изделия при уменьшении ее поперечных размеров (и).

Рисунок 1. Основные схемы пластического деформирования заготовок обработкой давлением

### Ковка

Ковка металлов - один из наиболее древних видов обработки металлов давлением, заключающийся в изменении формы и размеров нагретой заготовки путем последовательного воздействия универсальным инструментом на отдельные участки заготовки. Она появилась одновременно с открытием человеком металла и долгое время оставалась единственным способом обработки металлов давлением.

Ковка – способ обработки давлением, при котором деформирование нагретого (реже холодного) металла осуществляется или многократными ударами молота или однократным давлением прессы, т.е. под динамическим или статическим давлением.

## ***Лекция 06: Обработка металлов давлением***

Ковка может производиться в горячем и холодном состоянии. *Холодной ковке* поддаются драгоценные металлы – золото, серебро; а также медь.

В настоящее время ковку осуществляют на молотах и прессах. Заготовки, получаемые ковкой, называются **поковками**. Формообразование при ковке происходит за счет пластического течения металла в направлениях, перпендикулярных к движению деформирующего инструмента.

Поковки могут иметь самую разнообразную форму и массу, от нескольких граммов до 350 т и более. Большие поковки получают непосредственно из слитков, поковки средних и малых размеров - из прокатных заготовок.

В качестве инструмента используют бойки, один из которых крепится к подвижному органу кузнечной машины, а второй закрепляется на столе пресса или молота. Верхний боек совершает возвратно-поступательное движение.

Существует два способаковки - *свободная ковка* и *штамповка*.

*Свободную ковку* производят или ударом на молотах, или давлением на прессах.

При свободной ковке течение металла ограничено частично.

При *свободной ковке ударом* заготовку, которую нужно отковать, кладут, не закрепляя, на неподвижную подставку - наковальню, над которой вниз и вверх ходит боек. Быстро опуская и поднимая молот, по предварительно нагретому металлу наносят удары. При этом металл - течет. Ширина и длина заготовки увеличивается, а толщина уменьшается. После того как заготовку обожмут, с одной стороны, ее поворачивают на 90° и вновь куют. Такие операции совершаются до тех пор, пока металл не примет нужной формы, поковка готова.

Приблизительно так же протекает процесс свободнойковки на прессах, только на них заготовку обрабатывают не ударом, а прессованием.

Свободной ковкой на молотах и прессах можно обрабатывать заготовки любой массы - и самые маленькие, и очень крупные, до 200 т, например поковки для турбин наших гигантских электростанций. Однако таким способом невозможно изготовить детали точных размеров и форм. Поковки приходится потом обрабатывать на станках, превращая много металла в стружку.

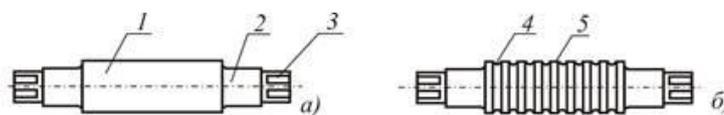
### ***Прокатка***

Прокатке подвергают до 90 % всей выплавляемой стали и большую часть цветных металлов. Способ зародился в XVIII веке. При этом методе используется специальный комплекс устройств, который называется прокатным станом.

*Прокатный стан* – комплекс машин для деформирования металла во вращающихся валках и выполнения вспомогательных операций (транспортирование, нагрев, термическая обработка, контроль и т.д.). Основными элементами стана являются вращающиеся валки, которые обжимают заготовку. В зависимости от выпускаемых изделий различают трубопрокатные, листопрокатные, проволочные, а также многие другие виды прокатных станом.

В качестве инструмента для прокатки применяют *валки прокатные*, конструкция которых представлена на рисунке 2. В зависимости от прокатываемого профиля валки могут быть гладкими (рисунок 2а), применяемыми для прокатки листов, лент и т.п. и калиброванными (ручьевыми) (рисунок 2б) для получения сортового проката.

## Лекция 06: Обработка металлов давлением



Рабочая часть – бочка 1, шейка 2 и тrefа 3, 4- полость; 5 - бурт  
Рисунок 2. Прокатные валки: а – гладкий; б – калиброванный

*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*.

### Способы прокатки

Существуют три основных способа прокатки, имеющих определенное отличие по характеру выполнения деформации (рисунок 3):

- продольная;
- поперечная;
- поперечно-винтовая

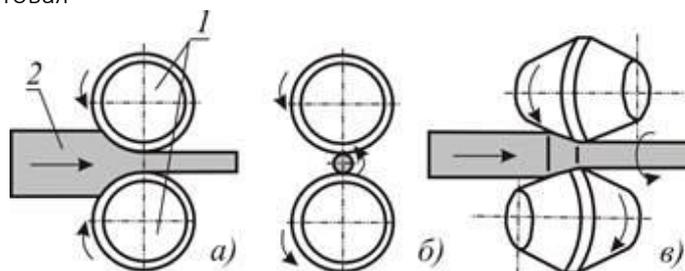


Рисунок 3. Схемы основных видов прокатки:  
а – продольная; б – поперечная; в – поперечно – винтовая

При *продольной* прокатке деформация осуществляется между вращающимися в разные стороны валками (рисунок 3а). Заготовка втягивается в зазор между валками за счет сил трения. Этим способом изготавливается около 90 % проката: весь листовой и профильный прокат.

*Поперечная прокатка* (рисунок 3б). 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* (рисунок 3в). Валки, вращающиеся в одну сторону, установлены под углом друг другу. Прокатываемый металл получает еще и поступательное движение. В результате сложения этих движений каждая точка заготовки движется по винтовой линии. Применяется для получения пустотелых трубных заготовок.

### Технологический процесс прокатки

Сущность процесса: 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.

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).

Продукция прокатного производства подразделяется в зависимости от формы поперечного сечения. Форма поперечного сечения проката называется профилем. Совокупность различных профилей разных размеров называется сортаментом.

Сортамент прокатных профилей состоит из 4 групп:

- сортовой прокат;
- листовой прокат;
- трубы;
- специальные виды проката.

Обычно относительное обжатие заготовки за один проход не превышает даже для горячего металла  $(70 \div 30) \%$ , поэтому окончательный профиль продукта получается многократным процессом повторения обработки заготовки при постепенном уменьшении зазора между валками. При каждом пропуске заготовки площадь её поперечного сечения уменьшается, а форма и размеры постепенно приближаются к требуемым.

При горячей прокатке стали гладкими валками угол захвата равен  $(15 \div 24)^\circ$ , при холодной –  $(3 \div 8)^\circ$ ; сортового металла  $(25 \div 27)^\circ$ .

Технологический процесс состоит из нескольких этапов: подготовки исходного материала, нагрева его (в случае горячей прокатки), прокатки и отделки. Кроме того, на всех стадиях прокатки осуществляется контроль за ходом процесса и состоянием оборудования.

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

*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  $(1200 \div 1150)^\circ\text{C}$ , а заканчивается при температуре  $(950 \div 900)^\circ\text{C}$ .

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.

## Лекция 06: Обработка металлов давлением

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

### 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.

### Волочение

Волочение сходно с прокаткой. Для волочения применяются волочительные станы, которые представляют собой целые комплексы. При волочении уменьшается поперечное сечение заготовки, а её длина при этом увеличивается.

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 рисунке 4.

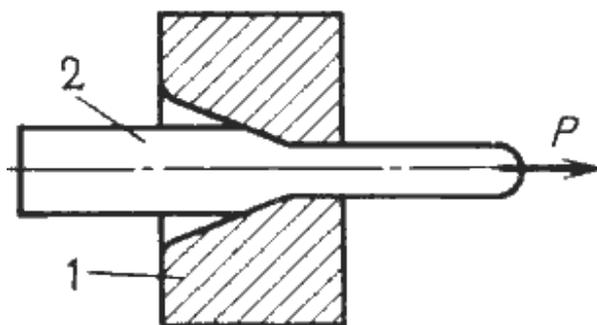


Рисунок 4. Схема волочения

Процесс волочения осуществляется в холодном состоянии. 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.

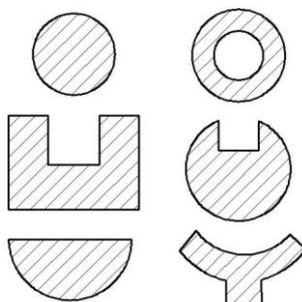


Рисунок 5. Примеры профилей, получаемых волочением

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.

Технологический процесс волочения включает операции:

## Лекция 06: Обработка металлов давлением

- 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 подмазочный слой путем омеднения, фосфотирования, 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 (75 ÷ 85) % обжатия для стали и 99 % обжатия для цветных металлов;
- отделка готовой продукции (обрезка концов, правка, резка на мерные длины и др.)

### Штамповка

Штамповка, по сути дела, та же ковка, но здесь "течение" металла ограничено формой - штампом. Если при свободной ковке металл, теснимый бойками сверху и снизу, может свободно течь в другие стопоры, то при штамповке течение металла ограничивается стенками ручья и заготовка при этом имеет форму последнего.

Производительность штамповки в десятки раз выше производительности свободнойковки. Одновременно при штамповке достигается значительно большая, чем при ковке, точность размеров и чистота поверхности, так что нередко после штамповки детали не требуют механической обработки и получаются вполне готовыми. Расход металла оказывается меньше, чем при ковке. Однако штамповку выгодно применять при крупносерийном и массовом производстве, ввиду высоких затрат на изготовление штампов.

Штамповка, также, как и ковка, производится молотами и ковочными машинами. Штамповка может быть горячей и холодной.

Различают также объемную штамповку и листовую.

*Листовая штамповка* – это метод изготовления изделий из листового материала. Основные преимущества листовой штамповки – возможность изготовления прочных тонкостенных деталей, высокая производительность, экономный расход металла, относительная простота механизации и автоматизации процесса. Листовая штамповка производится чаще в холодном состоянии.

*Объемной штамповкой* называют процесс получения поковок, при которой ручей, принудительно заполняют металлом исходной заготовки и перераспределяют его в соответствии с заданной чертежом конфигурацией. Объемную штамповку чаще производят в горячем виде.

Штампы представляют стальные формы, в которых имеются полости, соответствующие изготавливаемой поковке. Для изготовления штампов применяют марганцевую сталь, содержащую (0,4 ÷ 0,5) %С и (1,0 ÷ 1,5) % Mn. Штамп состоит из двух частей: верхней и нижней. Нижняя часть крепится на наковальне, установленной на шаботе, а верхняя — на бойке молота.

Штампы бывают *одноручьевые* и *много ручьевые*.

*Одноручьевые штампы* применяются для изготовления простых изделий и для штамповки заготовок, предварительно подготовленных свободной ковкой. Эта подготовка состоит в приближении формы заготовки к готовой поковке. При работе на одноручьевом штампе заготовку, предварительно подготовленную свободной ковкой, приходится переключать с прессы на пресс, со штампа на штамп, пока она не примет нужной формы.

Много ручьевые штампы имеют несколько ручьев различного назначения (рисунок 6):

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*.

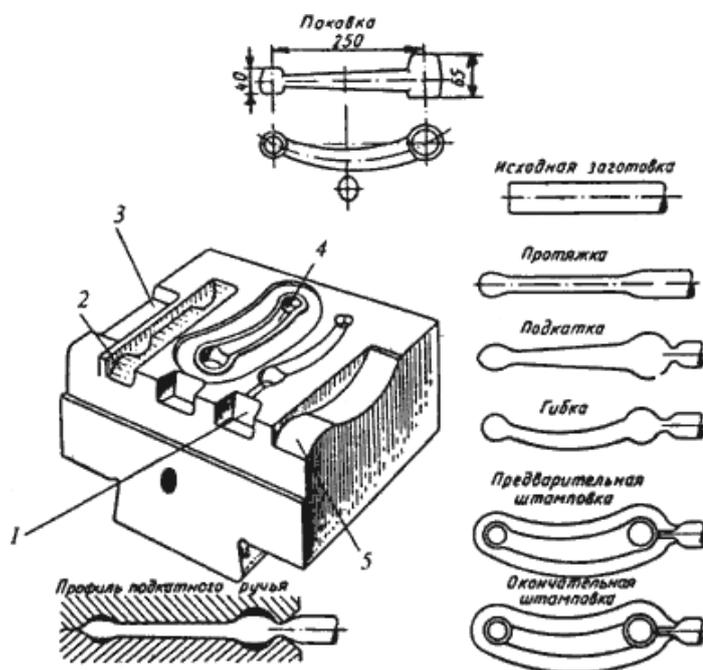
## Лекция 06: Обработка металлов давлением

*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.

На многоручьевом штампе всего за несколько ударов молота, перебрасывая заготовку из ручья в ручей, можно изготовить сложную деталь.



1 – черновой ручей; 2 – подкатной ручей; 3 – протяжной ручей; 4 – чистовой ручей, 5 – гибочный ручей  
Рисунок 6. Многоручьевой штамп для штамповки

Штампы для объемной штамповки бывают *открытыми* и *закрытыми* (рисунок 7).

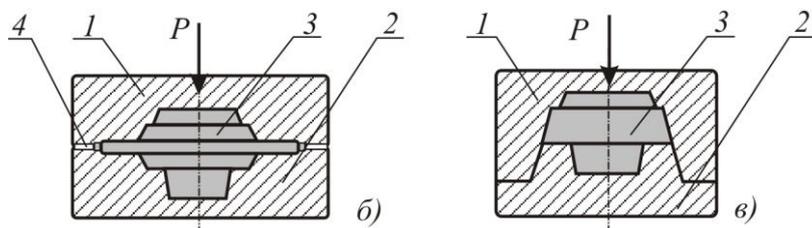


Рисунок 7. Штампы для горячей объемной штамповки: открытый штамп(б); закрытый штамп(в):1- верхняя часть штампа,2- нижняя часть штампа,3- ручей штампа,4- зазор для выхода облоя

*Открытыми* называются такие штампы, у которых вокруг всего периметра ручья имеется специальная *облойная канавка*, соединенная тонкой щелью с полостью штампа.

Избыток металла при штамповке вытесняется в облойную канавку. Такой штамп позволяет использовать заготовки с отклонением от размеров. Недостаток – образование отходов в виде облоя.

## ***Лекция 06: Обработка металлов давлением***

Отход металла в облой составляет  $(10 \div 20)$  % от массы поковки. После штамповки в открытых штампах производят обрезание облоя.

*Закрытые штампы* не имеют облойной канавки и расход металла на отходы (на облой) отсутствует. Но закрытые штампы требуют точной по размерам заготовки.

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.

В открытых штампах получают поковки удлиненной и осесимметричной формы. В закрытых штампах – преимущественно осесимметричные поковки.

### ***Технологический процесс горячей объемной штамповки***

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

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 окисление (окалинообразование) 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.

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 обрезания 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  $1 \div 2$  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.

### **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.

### **Прессование**

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

Процесс прессования осуществляется при температурах горячей обработки металлов давлением, т.е. при их высокой пластичности.

При прессовании металл подвергается всестороннему неравномерному сжатию и поэтому имеет весьма высокую пластичность. При этом металл (изделие) принимает форму отверстия (аналог – тубик с зубной пастой).

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>. С помощью прессования можно получать и профиль трубы.

Исходной заготовкой для прессования служит слиток, или прокат круглого сечения. Прессование производится на горизонтальных либо вертикальных гидравлических прессах.

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

Технологический процесс прессования включает операции:

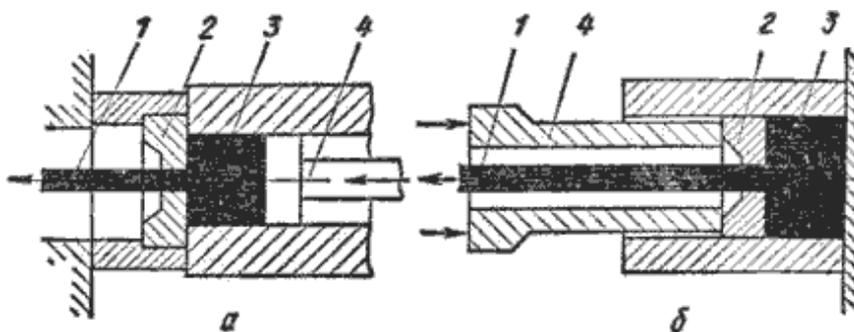
- подготовка заготовки к прессованию (разрезка, предварительное обтачивание на станке, так как качество поверхности заготовки оказывает влияние на качество и точность профиля);
- нагрев заготовки с последующей очисткой от окалины;
- укладка заготовки в контейнер;

## Лекция 06: Обработка металлов давлением

- непосредственно процесс прессования;
- отделка изделия (отделение пресс-остатка, разрезка).

Применяются два метода прессования: *прямой* и *обратный* (рисунок 8).

При прямом прессовании движение пуансона пресса 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  $18 \div 20$  % от массы заготовки (в некоторых случаях –  $30 \div 40$  %). Но процесс характеризуется более высоким качеством поверхности, схема прессования более простая.



1 – готовый пруток; 2 – матрица; 3 – заготовка; 4 – пуансон  
Рисунок 8. Схема прессования прутка прямым (а) и обратным (б) методом

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

Процесс прессования характеризуется следующими основными параметрами: коэффициентом вытяжки, степенью деформации и скоростью истечения металла из отверстия матрицы.

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  $2 \div 3$  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 энергоёмкость.

### Формообразование заготовок из порошковых материалов

Заготовки из порошковых материалов получают прессованием (холодным, горячим), изостатическим формованием, прокаткой и другими способами.

При *холодном прессовании* в пресс-форму (рисунок 9а) засыпают определенное количество подготовленного порошка 3 и прессуют пуансоном 1.

В процессе прессования увеличивается контакт между частицами, уменьшается пористость, деформируются или разрушаются отдельные частицы. Прочность получаемой заготовки достигается благодаря силам механического сцепления частиц порошка электростатическими силами притяжения и трения. С увеличением давления прессования прочность заготовки возрастает. Давление распределяется неравномерно по высоте прессуемой заготовки из-за влияния сил трения порошка о стенки пресс-формы, вследствие чего заготовки получаются с различной прочностью и пористостью по высоте. В зависимости от размеров и сложности прессуемых заготовок применяют одно- и двустороннее прессование.

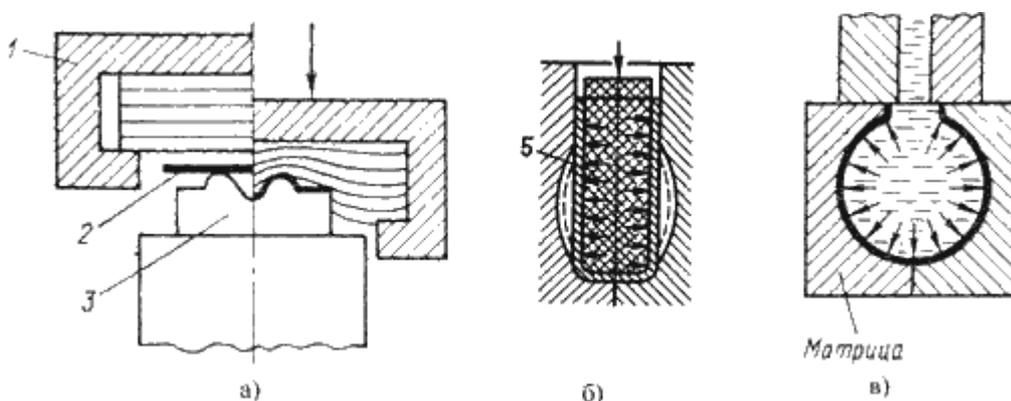


Рисунок 9. Схема холодного прессования: а – одностороннего; б – двустороннего

Односторонним прессованием получают заготовки простой формы с отношением высоты к диаметру, меньшим единицы, и заготовки втулок с отношением наружного диаметра к толщине стенки, меньшим трех.

Двустороннее прессование (рисунок 9б) применяют для формообразования заготовок сложной формы. После заполнения пресс-формы порошком к верхнему пуансону с помощью гидропресса прикладывают давление для предварительного прессования. Затем гидропривод выключают и удаляют подкладку 4. В дальнейшем в процессе прессования участвуют оба пуансона. В этом случае требуемое давление для получения равномерной плотности снижается на  $(30 \div 40) \%$ . Использование вибрационного прессования позволяет в десятки раз уменьшить требуемое давление.

В процессе прессования частицы порошка подвергаются упругому и пластическому деформированию. После извлечения заготовки из пресс-формы ее размеры увеличиваются в результате упругого последействия.

При *горячем прессовании* технологически совмещаются прессование и спекание заготовки. Температура горячего прессования составляет обычно  $(0,6 \div 0,8) T_{пл}$  порошка. Благодаря нагреву уплотнение протекает гораздо интенсивнее, чем при холодном прессовании. Это позволяет значительно уменьшить необходимое давление. Горячим прессованием получают материалы, характеризующиеся высокой прочностью и однородностью структуры. Этот способ применяют для таких плохо прессуемых композиций, как тугоплавкие металлоподобные соединения (карбиды, бориды, силициды).

*Изостатическое (всестороннее) формование* 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.

## Лекция 06: Обработка металлов давлением

При гидростатическом формовании (рисунок 8) на порошок 3, заключенный в эластичную оболочку 2, передается давление с помощью жидкости, находящейся в сосуде высокого давления 1. В качестве рабочей жидкости используют масло, глицерин, воду и т.д.

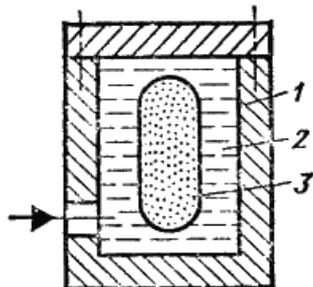


Рисунок 8. Схема гидростатического формования

### Основные технологические этапы изготовления поковок

Выбор метода изготовления. В некоторых случаях лишь применение нескольких методов обработки позволяет обеспечить максимальное соответствие заготовки предъявляемым технологическим и эксплуатационным требованиям. Поэтому выбор того или иного способа является довольно-таки сложной задачей, которая требует учета сразу нескольких факторов, в том числе технико-экономических параметров. Таким образом, при подборе способа производства первоначально следует учесть самые основные критерии:

- объем партии деталей
- размер и масса поковки
- технологические свойства материала
- форма детали (геометрия).

**Объем партии деталей.** В мелкосерийном и единичном производстве при изготовлении деталей небольшими партиями следует применять ковку, поскольку использование специальной технологической оснастки приведет к увеличению себестоимости поковки. В данном случае неизбежны значительные припуски и большой объем дальнейшей обработки методом резания. Для получения заготовок с максимально точными размерами и наименьшими напусками необходимо использовать дополнительную оснастку, что значительно повышает затраты при производстве небольшого объема деталей.

В серийном производстве наиболее целесообразно использовать разные методы штамповки на молотах и прессах.

При крупносерийном или массовом производстве рекомендуется применять штамповку на прессах с выносом отдельных формоизменяющих операций на специальное оборудование.

**Размер и масса поковки.** Размеры заготовок зависят от технических параметров используемого оборудования и инструментов. От выбранных габаритов и массы изделия зависит выбор температурного режима при обработке давлением. При больших размерах и массе поковки рекомендуется применять деформацию с нагревом, которая обеспечивает наименьшее давление на инструмент и меньше сила деформирования. При небольших размерах лучше всего использовать холодное деформирование ввиду экономичности такого способа, поскольку 15-20% производственных затрат идет на нагрев.

**Технологические свойства материала.** Сложность изготовления качественной поковки зависит от пластичности металла или сплава. Если необходимо произвести поковку из материалов, которые с трудом подвергаются деформации, то следует выбирать метод, обеспечивающий схему нагружения, близкую к трехосному неравномерному сжатию.

Стойкость материала к деформации определяет нагрузки, которые возникают на инструменте. По этой причине для деформирования материалов с высоким сопротивлением необходимо выбирать схемы штамповки с меньшими силами деформирования.

## ***Лекция 06: Обработка металлов давлением***

Также это следует учитывать при подборе метода холодной объемной штамповки, при которой к технологической пластичности и сопротивлению к деформации металлов. Особенность таких процессов заключается в высоком давлении пластического течения материала и низкой пластичности в холодном состоянии. Для объемной штамповки применяют заготовки низкоуглеродистых и среднеуглеродистых, некоторых низколегированных сталей, а также пластичных алюминиевых и медных сплавов.

**Форма детали (геометрия).** От формы детали зависит выбор оптимального метода изготовления поковки. Поковки, произведенные горячей штамповкой по соотношению линейных размеров в плане делятся на: круглые в плане, близкие к кругу по форме, с удлиненной осью, с изогнутой осью и др., а также по наличию сквозных или глухих полостей и по другим признакам.

### ***Качество поковок. Дефекты***

При изготовлении поковок необходимо уделить особое внимание соблюдению требований технологического процесса, что поможет избежать дефектов заготовок. После прохождения всех этапов обработки металлические поковки подлежат обязательному контролю качества, который должен соответствовать технологическим нормам и стандартам.

Одной из причин получения бракованных изделий является применение некачественных материалов. Кроме того, несоответствие температурных режимов при нагреве, неправильное использование методов ковки, неудачного выбора последовательности выполнения операций, неправильного подбора используемого инструмента, применение неисправных инструментов также может негативно отразиться на качестве поковки. В результате могут возникнуть такие дефекты как трещины, внутренние разрывы, расслоение, складки, вмятины, раковины.

Дефекты разделяют на неисправимые и устранимые с помощью дополнительных завершающих операций.

К неисправимым дефектам относятся глубокие трещины, расслоения, неметаллические включения, глубокие зажимы, пустоты и трещины в центральной части поковок, пережог.

Исправимыми дефектами являются мелкие неглубокие поверхностные трещины и зажимы, волосовины, плены, окалина, вмятины, крупнозернистая структура, низкая или, наоборот, повышенная твердость металла.

### ***Трещины***

Мелкие и глубокие продольные и поперечные трещины могут появляться в поковках по многим причинам, например из-за наличия трещин и глубоких рисок внутри и на поверхности исходных слитков или проката, при неправильном режиме нагрева и охлаждения. Последнее особенно характерно для обработки заготовок больших сечений из легированных сталей. Трещины могут также возникать при деформировании подставших заготовок, при ковке с деформациями, превышающими пластичность металла.

Трещины на поверхности поковок наблюдаются в виде темных прямых или искривленных полос, видимых невооруженным глазом. Внутренние трещины могут быть обнаружены рентгеновским или ультразвуковым методом контроля.

Такой неисправимый дефект, как пустоты ("свищи", "скворешники") в центре поковок (рисунок 9, а), появляется при неправильном выполнении протяжки.

Плены обнаруживаются в виде закованных в тело поковки тонких поверхностных пленок (рисунок 9, б). Края плен похожи на трещины, но при попытке раскрыть такую "трещину" острым предметом обнаруживается, что это тонкий слой металла. В виде плен также заковываются в поковку не удаленные вовремя тонкие заусенцы. При выполнении гибки на изгибаемом участке поковки плены раскрываются, приобретая вид чешуек, и легко обнаруживаются визуально невооруженным глазом.

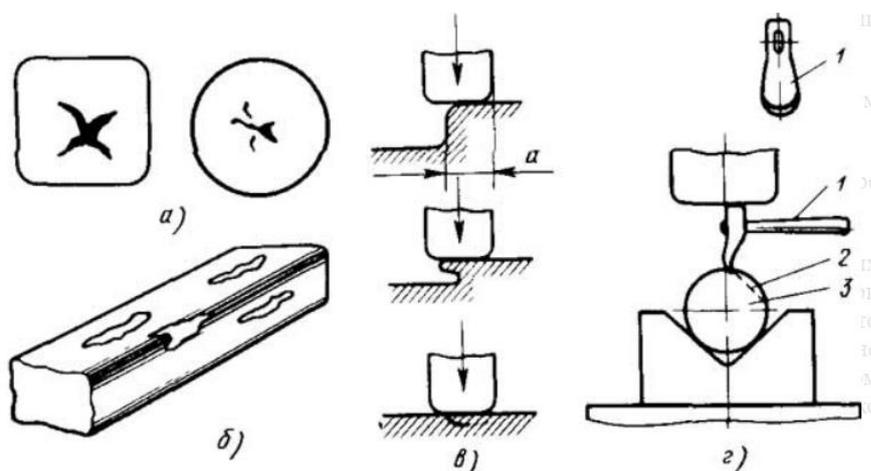


Рисунок 9. Дефекты поковок

*а - пустоты, б - плены, в - зажимы, г - глубокие дефекты; 1 - топор, 2 - трещина, 3 – заготовка*

*Зажимы* (рисунок 9, в) часто появляются в случае осадки кромок или уступов поковки при малой подаче *a*. Под инструментом при ударе или нажатии сначала образуются складки, которые при дальнейшей деформации заковываются и приводят к образованию зажима - дефекта, похожего на трещину.

*Окалина*, как известно, образуется не только при нагревании заготовки в печи или горне, но возникает вновь и при остывании поковки по окончанииковки. Такая окалина, называемая вторичной, не является дефектом и удаляется различными методами перед отправкой поковок для дальнейшей обработки в механический цех.

*Вмятины* чаще всего возникают при неаккуратной работе кузнецов. Окалина с поверхностей наковальни и заготовки при деформации внедряется в тело поковки. После очистки от окалины на поковке появляются вмятины. Этот дефект в виде местного углубления также возникает при ударе углом кувалды или молотка по гладкой поверхности нагретой поковки. Вмятины увеличивают припуск на механическую обработку, а также трудоемкость изготовления деталей.

*Расслоение* возникает чаще всего при низком качестве исходного металла (вследствие недостаточного прогрева заготовки и еековки с повышенными степенями деформаций). Этот дефект, как правило, охватывает большой объем металла и имеет значительную глубину. Исправить такую поковку практически невозможно.

#### *Устранение дефектов*

Дефекты, обнаруженные приковке, по возможности должны быть сразу ликвидированы изложенными ниже способами, посколькуковка дефектной заготовки может привести к получению поковки с неисправимыми дефектами. Такие поковки являются негодными, их бракуют и отправляют на переплавку. Поковки, имеющие дефекты, которые можно устранить, подвергают дополнительным завершающим операциям, с тем чтобы поковки стали годными для дальнейшей обработки. Выбор операции зависит от вида дефекта, который необходимо ликвидировать.

Дефекты структурного характера (перегрев и пережог) возникают, как известно, при неправильном режиме нагрева. Если пережженный металл является окончательным браком, то крупнозернистая структура перегретого металла относится к исправимому дефекту. Получение требуемой структуры и определенной твердости готовых поковок обеспечивается их термической обработкой на заключительной стадии изготовления.

Приложение 1: особенности конструирования поковок

**Конструирование кованных заготовок**

Чертеж поковки составляют по рабочему чертежу детали установлением припусков на механическую обработку, допусков на ковку и напусков на поковку. Значения этих величин устанавливаются ГОСТами: на поковки, получаемые на молотах – ГОСТ 7829; на поковки, получаемые на прессах – ГОСТ 7869.

При разработке чертежа поковки следует учитывать специфику техники ковки и избегать нехарактерных для нее форм и конфигураций. Поковки должны быть простыми, очерченными цилиндрическими поверхностями и плоскостями (см. рисунок).

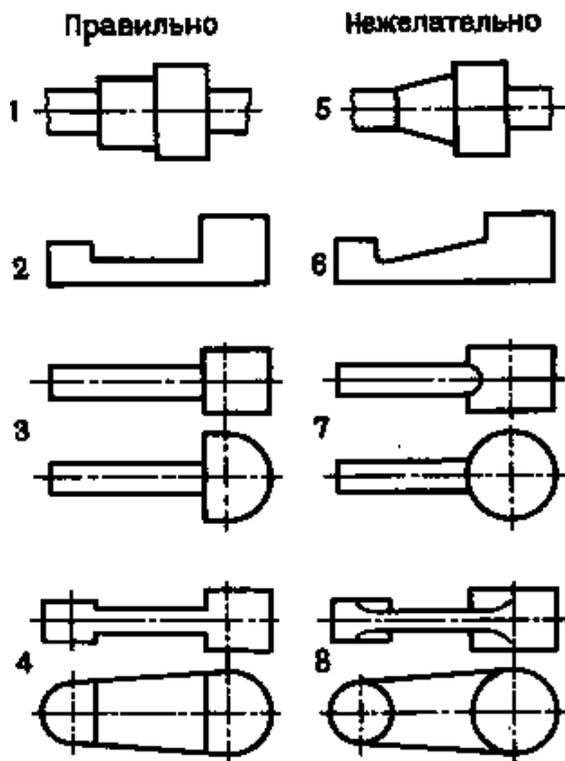


Рисунок. Правильные и нежелательные формы поковок

Следует избегать конических (рисунок, вид 5) и клиновых (рисунок, вид 6) поверхностей, взаимных пересечений цилиндрических поверхностей (рисунок, вид 7), а также пересечений цилиндрических поверхностей с призматическими участками деталей (рисунок, вид 8). Предпочтительнее назначать односторонние выступы, взамен двухсторонних, особенно для мелких деталей. Следует избегать ребристых сечений, бобышек, выступов и т.п., так как эти элементы в большинстве случаев получить ковкой невозможно. Ребра жесткости в поковках недопустимы. Детали с резкой разницей размеров поперечных сечений или сложной формы следует заменять сочетанием более простых кованных деталей. Детали сложной формы целесообразно выполнять сварными из нескольких поковок или из кованных и литых элементов.