

## Тема: ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

1. Виды обработки металлов давлением
2. Механизм пластического деформирования
3. Прокатка металлов
4. Прессование и волочение
5. Ковка и штамповка
6. Новые направления обработки металлов давлением

### 1. ВИДЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Обработкой давлением называют технологические процессы изготовления изделий или заготовок путём пластического деформирования материалов приложенным извне усилием.

Достоинствами ОМД являются высокая производительность, экономный расход металла, улучшение механических свойств металла.

Основными видами ОМД являются: прокатка, волочение, прессование, свободная ковка, объёмная и листовая штамповка.

Формоизменение давлением основано на способности заготовок из металлов и других материалов изменять свою форму без разрушения под действием внешних сил.

Обработка давлением обычно преследует две основные цели:

получение изделий сложной формы и улучшение кристаллической структуры исходного литого металла с повышением его механических свойств.

Наряду с экономным расходом металла и повышением его механических свойств в готовых изделиях обработка давлением обеспечивает высокую производительность труда, по сравнению с другими методами обработки, благодаря высоким скоростям обработки и одновременному деформированию всего объема заготовки или значительной его части.

Способность металлов пластически деформироваться называется пластичностью. При пластическом деформировании металла одновременно с изменением формы меняется ряд его свойств.

Процессы обработки металлов давлением по назначению подразделяют на два вида. К первому виду относят прокатку, прессование, волочение, которыми получают заготовки постоянного сечения по длине – машиностроительные профили (прутки, проволока, трубы, ленты, листы и т.д.). Профили применяют в строительных конструкциях и в качестве заготовок для последующей обработки давлением или резанием.

Второй вид процессов обработки давлением, к которым относят ковку и штамповку, применяют для придания заготовкам (поковкам) формы, приближенной к форме готовой детали.

**Прокатка** (рис. 1, а) заключается в обжатии заготовки 2 между вращающимися валками 1. Силами трения  $R_{\text{ТР}}$  заготовка втягивается между валками, а силы  $P$ , нормальные к поверхности валков, уменьшают поперечные размеры заготовки.

Прессование (рис. 1, б) заключается в продавливании заготовки 2, находящейся в замкнутой форме 3, через отверстие матрицы 1. При этом форма и размеры поперечного сечения выдавленной части заготовки соответствуют форме и размерам отверстия матрицы, а длина ее пропорциональна отношению площадей поперечного сечения исходной заготовки и выдавленной части и перемещению давящего инструмента 4.

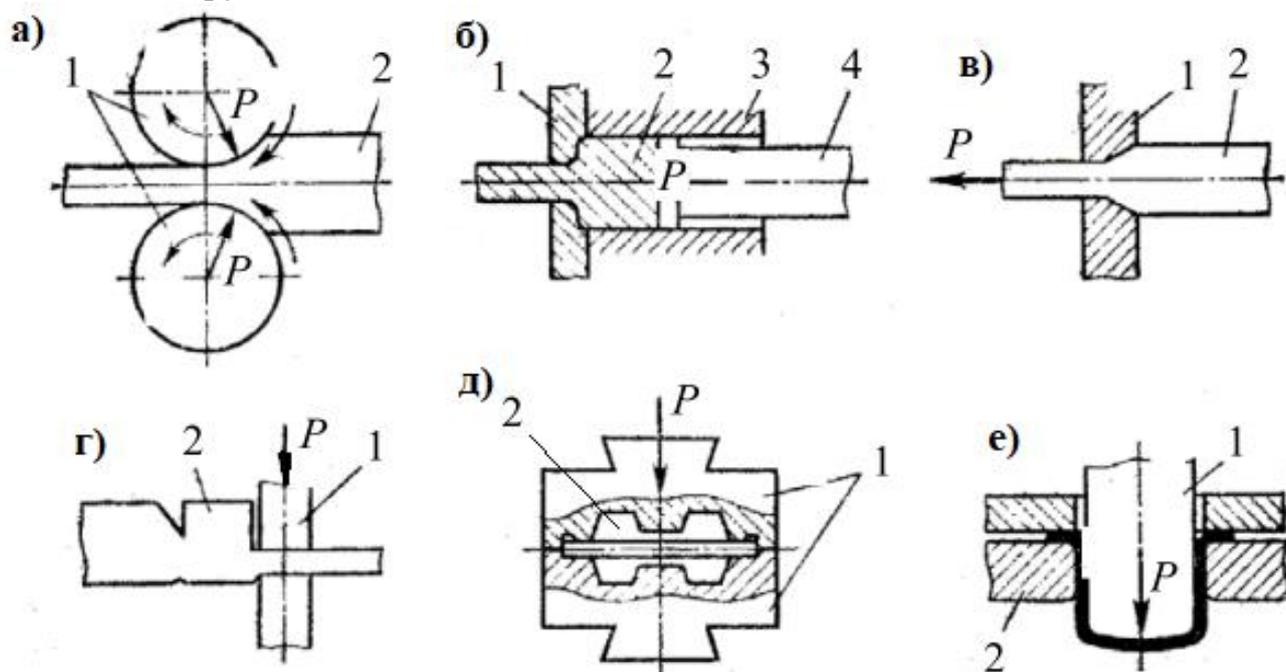


Рис. 1. Схемы основных видов обработки металлов давлением

**Волочение** (рис. 1, в) заключается в протягивании заготовки 2 через сужающуюся полость матрицы 1. Площадь поперечного сечения заготовки уменьшается и получает форму поперечного сечения отверстия матрицы.

**Ковкой** (рис. 1, г) изменяют форму и размеры заготовки 2 путем последовательного воздействия универсальным инструментом 1 на отдельные участки заготовки.

**Штамповкой** изменяют форму и размеры заготовки с помощью специализированного инструмента – штампа (для каждой детали изготавливают свой штамп). Различают объемную и листовую штамповку. При объемной штамповке (рис. 1, д) на заготовку, являющуюся обычно отрезком прутка, воздействуют специализированным инструментом – штампом 1, причем металл заполняет полость штампа, приобретая ее форму и размеры.

**Листовой штамповкой** (рис. 1, е) получают плоские и пространственные полые детали из заготовок, которыми являются лист, лента, полоса.

Обычно заготовка деформируется с помощью пуансона 1 и матрицы 2.

## 2. МЕХАНИЗМ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

### Структурные процессы при пластическом деформировании

Пластическая деформация в кристалле осуществляется путем сдвига одной части относительно другой. Сдвиг вызывают касательные напряжения, когда их значение превышает критическое  $\tau$ .

Имеется две разновидности сдвига: скольжение и двойникование.

**При скольжении** одна часть кристалла смещается параллельно другой части вдоль плоскости, называемой плоскостью скольжения или сдвига (рис. 2, а).

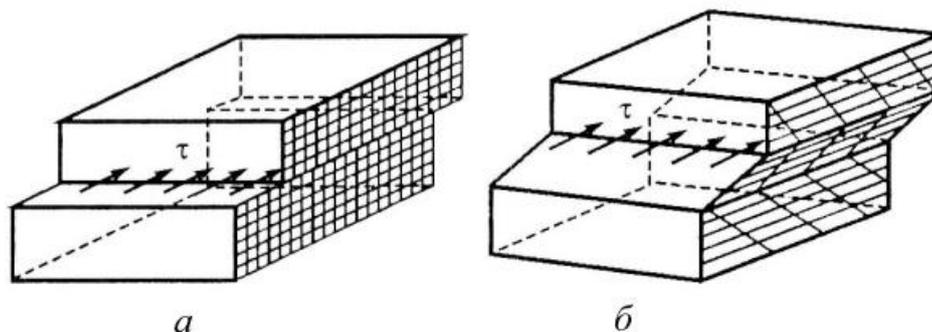


Рис. 2. Схемы пластической деформации:  
а) скольжения; б) двойникования

**Двойникование** представляет собой перестройку части кристалла в новое положение, зеркально симметричное к его недеформированной части (рис. 2, б).

Плоскость зеркальной симметрии называют плоскостью двойникования. При двойниковании атомные плоскости кристалла сдвигаются параллельно плоскости двойникования на разные расстояния. Часть кристалла, в которой в результате двойникования произошла переориентация кристаллической решетки, называется двойником деформации.

По сравнению со скольжением двойникование имеет второстепенное значение. Роль двойникования возрастает, когда скольжение затруднено. В металлах с ОЦК- и ГЦК-решетками двойникование наблюдается лишь при низких температурах или высоких скоростях деформирования. При нормальных условиях в металлах с ГПУ-решеткой деформация развивается как двойникованием, так и скольжением. Механизм двойникования сложен и далее рассматриваться не будет.

Скольжение развивается по плоскостям и направлениям, на которых плотность атомов максимальна (рис. 3). Плоскость скольжения вместе с направлением скольжения, принадлежащим этой плоскости, образует систему скольжения. Число систем скольжения неодинаково в металлах с разным типом решеток. У металлов с ГЦК-решеткой скольжение идет по плоскостям (111) в направлениях [110]. В металлах с ОЦК-решеткой скольжение развивается по плоскостям (110) в направлении [111].

У металлов с ГПУ-решеткой скольжение развивается по плоскостям базиса. Эти металлы менее пластичны, чем металлы с ОЦК- и ГЦК-решетками. Число

систем скольжения может возрасти, если уменьшатся критические напряжения сдвига в других плоскостях.

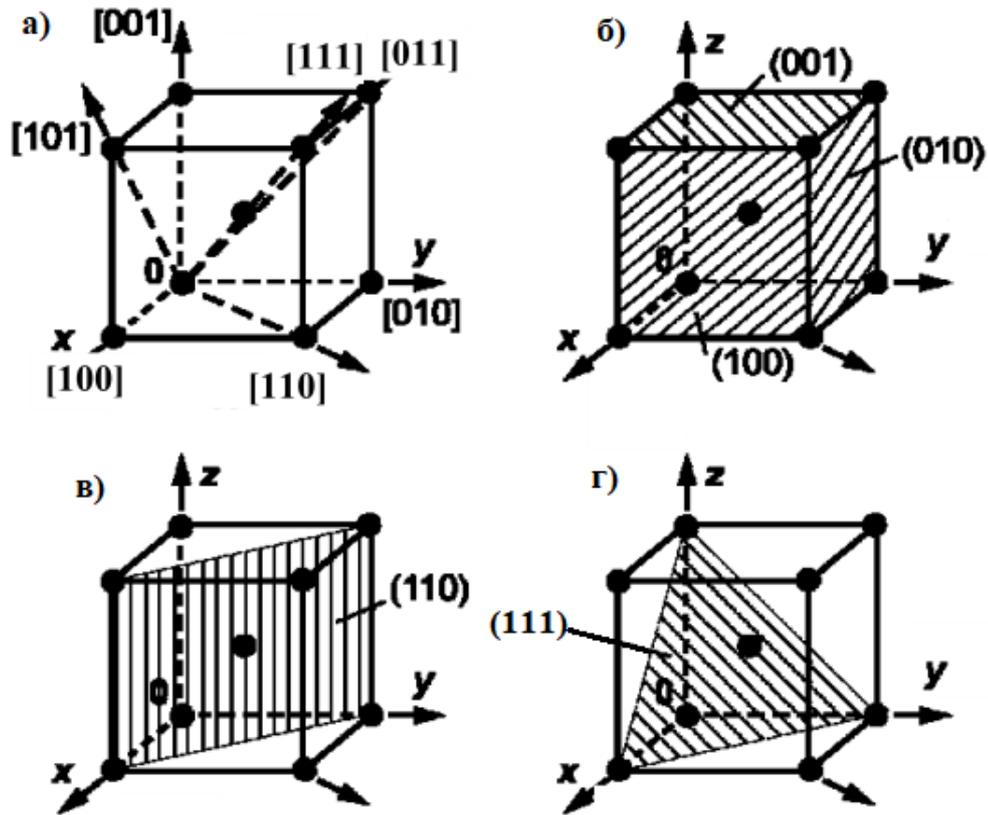


Рис. 3. Основные кристаллографические направления (а) и плоскости (б–г)

**Элементарный акт сдвига** – это смещение одной части кристалла относительно другой на одно межатомное расстояние. В идеальном кристалле в скольжении должны одновременно участвовать все атомы, находящиеся в плоскости сдвига. Для такого синхронного «жесткого» сдвига требуется критическое касательное напряжение, которое называют теоретической прочностью кристалла. В реальных кристаллах для сдвига на одно межатомное расстояние требуется напряжение в 1000 раз меньше теоретического значения. Низкая прочность реальных кристаллов обусловлена их структурным несовершенством.

Пластическое деформирование в реальных кристаллах осуществляется путем последовательного перемещения дислокаций. Дислокация легко движется в той плоскости, в которой находится дислокационная линия ММ (рис. 4) и ее вектор Бюргерса. Перемещение краевой дислокации при сдвиге на одно межатомное расстояние представляет собой согласованную перегруппировку атомов около дислокации и не сопровождается диффузионным переносом массы.

Как видно из схемы, приведенной на рис. 4, для перемещения краевой дислокации справа налево из положения 1 в положение 2 требуется лишь незначительное перемещение атомов (обозначенных черными кружками).

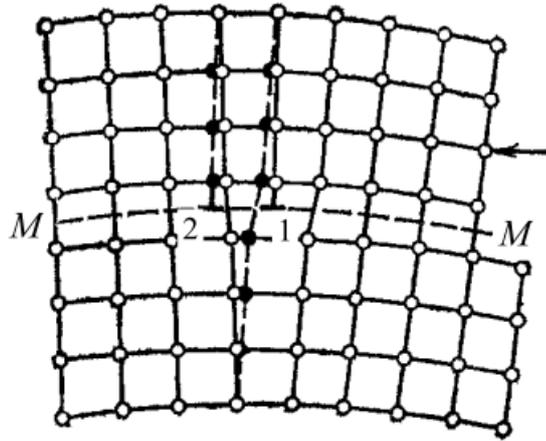


Рис. 4. Схема смещения атомов при перемещении краевой дислокации на один параметр решетки

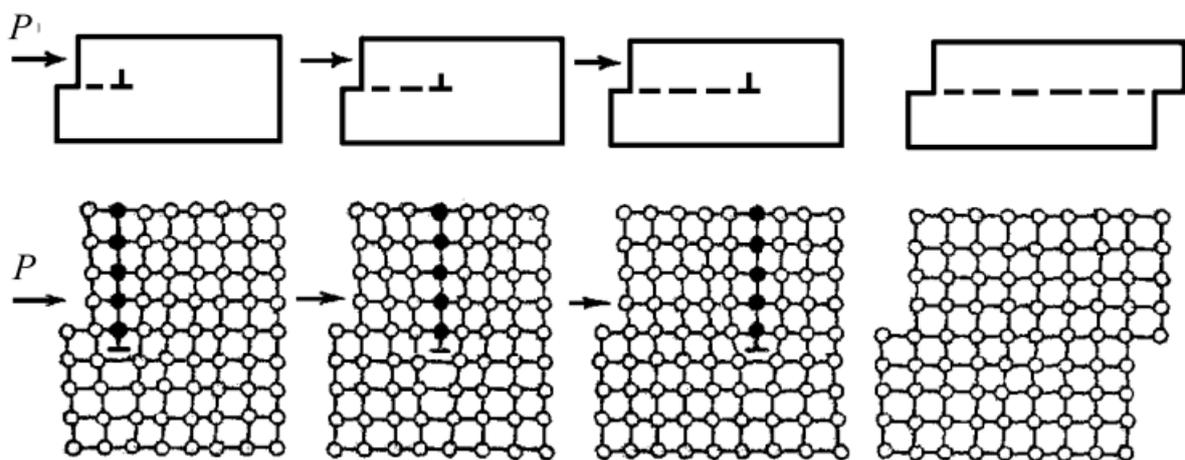


Рис. 5. Схема сдвига на один параметр решетки верхней части зерна относительно его нижней части при движении дислокации через всю плоскость скольжения

При дальнейшем движении дислокация пройдет всю плоскость и выйдет на поверхность зерна (блока). При этом верхняя часть зерна окажется сдвинутой по отношению к нижней его части на один межатомный период решетки (рис. 5). Так как в каждый момент смещается лишь небольшая группа атомов в области дислокации и на незначительные расстояния (меньше межатомных), то пластическая деформация совершается при небольшой величине касательных напряжений, что подтверждается экспериментальными данными.

Рассмотренный дислокационный механизм схематически представляет физическую сущность пластической деформации, происходящей путем скольжения (сдвига) в единичной кристаллографической плоскости монокристалла (одного зерна).

В процессе скольжения возникают новые дислокации, их плотность повышается.

## Холодное деформирование

При холодной деформации формоизменение сопровождается изменением механических и физико-химических свойств металла. Это явление называется упрочнением (наклепом).

Наклепанный металл запасает 5–10% энергии, затраченной на деформирование. Запасенная энергия тратится на образование дефектов решетки и на ее упругие искажения. Свойства наклепанного металла изменяются тем сильнее, чем больше степень деформации.

При холодном деформировании, когда температура металла ниже  $0,3T_{пл}$ , увеличиваются прочностные характеристики (твердость,  $\sigma_B$ ,  $\sigma_{0,2}$ ,  $\sigma_{упр}$ ) и понижаются пластичность и ударная вязкость ( $\delta$ ,  $\Psi$ , КСЧ). Металлы интенсивно наклепываются в начальной стадии деформирования, затем при возрастании деформации механические свойства изменяются незначительно.

С увеличением степени деформации предел текучести растет быстрее временного сопротивления. Обе характеристики у сильно наклепанных металлов сравниваются, а удлинение становится равным нулю. Такое состояние наклепанного металла является предельным, при попытке продолжить деформирование металл разрушается. Путем наклепа твердость и временное сопротивление удается повысить в 1,5–3 раза, а предел текучести – в 3–7 раз. Металлы с ГЦК-решеткой упрочняются сильнее металлов с ОЦК-решеткой. Упрочнение возникает вследствие поворота плоскостей скольжения, увеличения искажений кристаллической решетки, накопления дислокаций у границ зерен.

Из-за неоднородности деформации в объеме металла различны изменения плотности, что служит причиной появления остаточных напряжений, как растягивающих, так и сжимающих.

С увеличением деформации повышается удельное электросопротивление (максимально на 6%), а у ферромагнетиков, к которым относится большинство сталей, понижаются магнитная проницаемость и остаточная индукция, возрастает коэрцитивная сила.

Наклепанные металлы легче окисляются и склонны к коррозионному растрескиванию. Образование текстуры деформации вызывает анизотропию свойств.

Несмотря на снижение пластичности, наклеп широко используют для повышения прочности деталей, изготовленных методами холодной обработки давлением. Снижение пластичности при наклепе улучшает обрабатываемость резанием вязких и пластичных материалов (латуней, сплавов алюминия и др.).

Холодная деформация без нагрева заготовки позволяет получить большую точность размеров и лучшее качество поверхности по сравнению с обработкой давлением при достаточно высоких температурах. Отметим, что обработка давлением без специального нагрева заготовки позволяет сократить продолжительность технологического цикла, облегчает использование средств механизации и автоматизации и повышает производительность труда.

## Горячая деформация

Формоизменение заготовки при температуре выше температуры рекристаллизации сопровождается одновременным протеканием упрочнения и рекристаллизации.

Горячей деформацией называют деформацию, характеризующуюся таким соотношением скоростей деформирования и рекристаллизации, при котором рекристаллизация успевает произойти во всем объеме заготовки и микроструктура после обработки давлением оказывается равноосной без следов упрочнения.

Чтобы обеспечить условия протекания горячей деформации, приходится с увеличением ее скорости повышать температуру нагрева заготовки (для увеличения скорости рекристаллизации).

Если металл по окончании деформации имеет структуру, не полностью рекристаллизованную, со следами упрочнения, то такая деформация называется неполной горячей деформацией. Неполная горячая деформация приводит к получению неоднородной структуры, снижению механических свойств и пластичности, поэтому обычно нежелательна.

При горячей деформации сопротивление деформированию примерно в 10 раз меньше, чем при холодной, а отсутствие упрочнения приводит к тому, что сопротивление деформированию (предел текучести) незначительно изменяется в процессе обработки давлением. Поэтому горячую обработку применяют для изготовления крупных деталей, так как при этом требуются меньшие усилия деформирования (менее мощное оборудование).

При горячей деформации пластичность металла выше, чем при холодной. Поэтому горячую деформацию целесообразно применять при обработке труднодеформируемых, малопластичных металлов и сплавов, а также заготовок из литого металла (слитков). В то же время при горячей деформации окисление заготовки более интенсивно (образуется слой окалины), что ухудшает качество поверхности и точность получаемых размеров.

Горячая деформация оказывает влияние на структуру и свойства металлов и сплавов. Если слиток загрязнен неметаллическими включениями, обычно располагающимися по границам кристаллитов, то в результате обработки металлов давлением неметаллические включения вытягиваются в виде волокон по направлению наиболее интенсивного течения металла. Эти волокна выявляются травлением и видны невооруженным глазом в форме так называемой волокнистой макроструктуры. Полученная в результате обработки давлением литого металла волокнистая макроструктура не может быть разрушена ни термической обработкой, ни последующей обработкой давлением. Последняя в зависимости от характера деформирования может изменить лишь направление и форму волокон макроструктуры.

### Влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла

Изменения, внесенные холодной деформацией в структуру и свойства металла, не необратимы. Они могут быть устранены, например, с помощью термической обработки (отжигом). В этом случае происходит внутренняя перестройка, при

которой за счет дополнительной тепловой энергии, увеличивающей подвижность атомов, в твердом металле без фазовых превращений из множества центров растут новые зерна, заменяющие собой вытянутые, деформированные зерна. В равномерном температурном поле скорость роста зерен по всем направлениям одинакова. Новые равноосные зерна, появившиеся взамен деформированных, имеют примерно одинаковые размеры по всем направлениям.

Явление зарождения и роста новых равноосных зерен взамен деформированных, вытянутых, происходящее при определенных температурах, называется рекристаллизацией. Для чистых металлов рекристаллизация начинается при абсолютной температуре  $T_{\text{рек}}$ , равной 0,4 абсолютной температуры плавления металла. Рекристаллизация протекает с определенной скоростью, причем время, требуемое для рекристаллизации, тем меньше, чем выше температура нагрева деформированной заготовки.

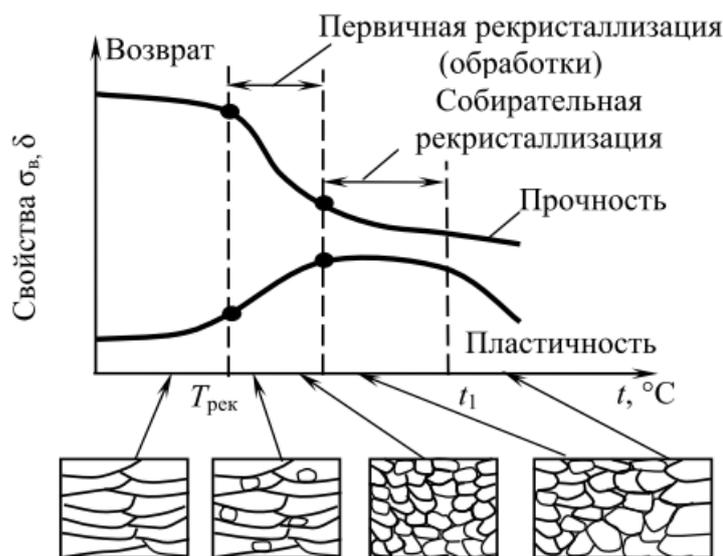


Рис. 6. Схема изменения структуры и свойств наклепанного металла при возврате и рекристаллизации

При температурах ниже температуры начала рекристаллизации наблюдается явление, называемое возвратом. При возврате (отдыхе) форма и размеры деформированных, вытянутых зерен не изменяются, но частично снимаются остаточные напряжения. Эти напряжения возникают из-за неоднородного нагрева или охлаждения (при литье и обработке давлением), неоднородности распределения деформаций при пластическом деформировании и т.д. Остаточные напряжения создают системы взаимно уравновешивающихся сил и наводятся в заготовке, не нагруженной внешними силами.

Снятие остаточных напряжений при возврате почти не изменяет механических свойств металла, но влияет на некоторые его физико-химические свойства.

Так, например, в результате возврата значительно повышается электрическая проводимость, сопротивление коррозии холоднодеформированного металла.

До температуры  $T_{\text{рек}}$  сохраняется деформируемое зерно (рис. 6). При температуре выше  $T_{\text{рек}}$  в деформируемом металле растут зародыши новых зерен с неискаженной решеткой. При нагреве наклепанного металла не восстанавливается старое зерно, а появляется совершенно новое зерно, размеры которого могут отличаться от исходных. Образование новых зерен и резкое снижение плотности

дислокаций приводит к высвобождению основной доли энергии, накопленной в процессе холодной пластической деформации в объеме металла. Как видно из рис. 5, при рекристаллизации прочность, характеризующаяся временным сопротивлением  $\sigma_B$ , резко снижается, а пластичность  $\delta$  возрастает. Это разупрочнение объясняется снятием искажения решетки и резким уменьшением плотности дислокаций.

Для полного снятия наклепа металл нагревают до более высоких температур, чем  $T_{\text{РЕК}}$ , чтобы обеспечить высокую скорость рекристаллизации и полноту ее протекания. Такая термическая обработка называется рекристаллизационным отжигом.

После завершения первичной рекристаллизации при продолжении нагрева происходит рост одних рекристаллизованных зерен за счет других.

Этот процесс называется собирательной рекристаллизацией (рис. 6). Основной причиной собирательной рекристаллизации является стремление к уменьшению энергии благодаря уменьшению протяженности границ при росте зерна. При температуре  $t_1$  (рис. 6) пластичность может уменьшаться, что объясняется сильным ростом зерна – перегревом.

Величина зерна после рекристаллизации оказывает большое влияние на свойства металла. Металлы и сплавы, имеющие мелкое зерно, обладают повышенной прочностью и вязкостью. Однако в некоторых случаях необходимо, чтобы металл имел крупное зерно. Так, трансформаторная сталь или техническое железо имеют наиболее высокие магнитные свойства при крупном зерне.

### 3. ПРОКАТКА МЕТАЛЛОВ

*Прокаткой* называется процесс обжатия заготовки между вращающимися валками прокатного стана.

Прокатке подвергают до 90% всей выплавляемой стали и большую часть цветных металлов.

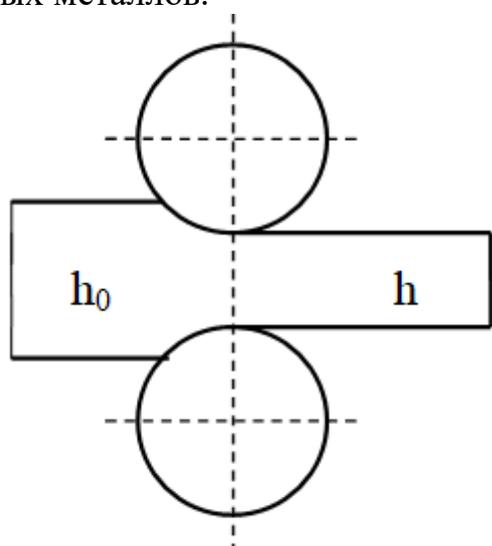


Рис. 7

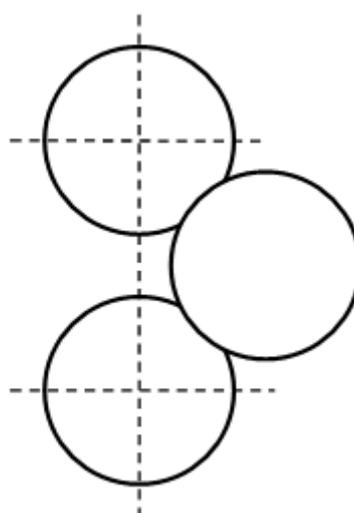


Рис. 8

Взаимное расположение валков и заготовки, форма и число валков могут быть различными. Выделяют три основных вида прокатки: продольную, поперечную и поперечно-винтовую (косую).

При *продольной прокатке* заготовка деформируется между двумя валками и, вращаясь в разные стороны, и перемещается перпендикулярно к осям валков (рис. 7).

Важнейшей характеристикой деформации является *обжатие*.

Абсолютное обжатие:  $\Delta h = h_0 - h$

где  $h_0$  и  $h$  – размеры заготовки до и после прокатки, м.

Относительное обжатие:  $\varepsilon = [(h_0 - h) / h] \cdot 100\%$

Т.к.  $\Delta h = 2D \cdot (1 - \cos\alpha)$ , то абсолютное обжатие увеличивается с увеличением диаметра ( $D$ ) валков и угла захвата  $\alpha$  ( $\alpha = 5 \dots 30^\circ$ ). Для увеличения силы трения производят насечку валков.

При **поперечной прокатке** валки, вращаясь в одном направлении, придают вращение заготовке в противоположном направлении и деформируют её (рис. 8).

При **поперечно-винтовой прокатке** валки расположены под углом и сообщают заготовке при деформации вращательное и поступательное движения. Применяется для получения бесшовных труб и в других случаях.

Форму поперечного сечения прокатанной полосы называют **профилем**.

Совокупность форм и размеров профилей, получаемых прокаткой, называют **сортаментом**.

Сортамент прокатываемых профилей разделяется на четыре основные группы: сортовой прокат, листовой, трубы и специальные виды проката.

**Сортовой прокат** делят на профили простой геометрической формы (квадрат, круг, прямоугольник, шестигранник) и фасонные (швеллер, рельс, угловой и тавровый профили и т.д.) (рис. 9).

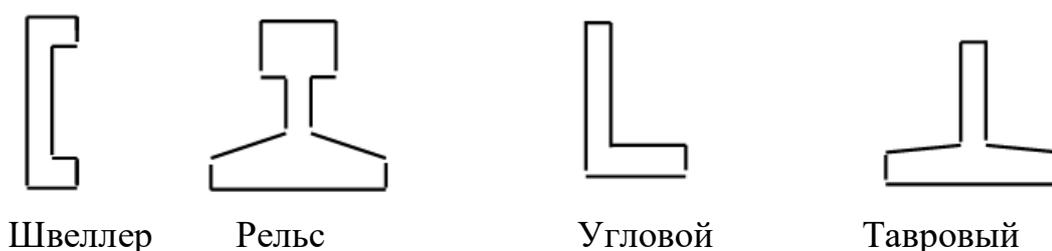


Рис. 9. Виды проката

**Листовой прокат** из стали и цветных металлов используют в различных отраслях промышленности. Листовую сталь делят на автотракторную, трансформаторную, котельную, судостроительную, жечь, броневую, кислото- и жаропрочную и др. Расширяется производство листовой стали с оловянным, цинковым, алюминиевым и пластмассовым покрытиями. Кроме того, листовую

сталь разделяют на толстолистовую (толщиной 4-160 мм) и тонколистовую (< 4 мм). Листы толщиной менее 0,2 мм называют *фольгой*.

**Трубы** бывают бесшовные и сварные. Производство бесшовных труб осуществляется в два этапа:

1) прошивка заготовки (получение гильзы) при поперечно-винтовой прокатке, где на пути движения металла устанавливается на длинном стержне оправка (дорн), прошивающая заготовку;

2) получение трубы путём прокатывания гильзы в нагретом состоянии на раскатных станах.

Сварные трубы изготавливают из полосы (штрипса) при помощи различных методов сварки.

К *специальным видам проката* относят: колёса, кольца, шары, периодические профили с периодически изменяющимися формой и площадью поперечного сечения вдоль оси заготовки. Их получают в основном на станах поперечной и поперечно-винтовой прокатки.

#### 4. ПРЕССОВАНИЕ И ВОЛОЧЕНИЕ

**Прессование** – это технологический процесс ОМД, заключающийся в выдавливании металла пуансоном из закрытого контейнера через отверстия в матрице. Профиль изделия определяется профилем отверстия в матрице.

Прессованием можно обрабатывать такие специальные стали и сплавы цветных металлов, которые ввиду их низкой пластичности другими видами ОМД деформировать невозможно или затруднительно. Точность прессованных профилей выше, чем прокатанных.

Различают прямую и обратную схемы прессования. При прямом методе направления течения металла и движения пуансона совпадают; при обратном – металл движется в направлении противоположном движению пуансона.

К недостаткам прессования можно отнести большие потери металла, т.к. весь металл не может быть выдавлен из контейнера, и в нём остаётся так называемый пресс-остаток, который после окончания прессования отрезается от полученного профиля.

**Волочение** – это процесс ОМД, при котором материал протягивается через отверстие волоки (фильеры), площадь выходного сечения которой меньше площади заготовки. В результате поперечные размеры изделий уменьшаются, а длина увеличивается.

Волочение осуществляется в холодном и горячем состояниях с применением смазки. Исходными заготовками служат прокатанные или прессованные прутки и трубы из стали и цветных металлов. Применяется волочение для изготовления проволоки малого диаметра (от 4 до 0,002 мм), а также для калиброванных прутков различного профиля и тонких труб. Изделия, полученные волочением имеют гладкую поверхность и точные размеры.

Волоки изготавливают из инструментальных сталей У8.....У12; Х12М; твёрдых сплавов ВК2, ВК3; рубина, алмаза.

## 5. КОВКА И ШТАМПОВКА

**Ковка** – это один из способов ОМД, при котором инструмент оказывает многократное прерывистое воздействие на нагретую заготовку, в результате чего она, деформируясь, приобретает заданную форму и размеры.

Различают ковку в штампах (штамповка) и без применения штампов (свободная ковка).

При **свободной ковке** перемещение деформированного металла не встречает сопротивления своему движению со стороны инструмента.

Ковка является единственно возможным способом изготовления тяжёлых поковок (до 250 т) типа валов гидрогенераторов, турбинных дисков, коленчатых валов судовых двигателей, валков прокатных станов и т.д.

К основным операциямковки относятся: осадка, протяжка, прошивка, рубка, гибка.

**Осадка** – операция уменьшения высоты заготовки при увеличении площади её поперечного сечения. Разновидностью осадки является *высадка*, при которой металл осаживают лишь на часть длины заготовки.

**Протяжка** – операция удлинения заготовки или её части за счёт уменьшения площади поперечного сечения.

**Прошивка** – операция получения полостей в заготовке за счёт вытеснения металла.

**Рубка** – операция отделения части заготовки по незамкнутому контуру путём внедрения деформирующего инструмента, например, топора.

**Гибка** – операция придания заготовке изогнутой формы по заданному контуру.

Ковка подразделяется на ручную и машинную. Ручную осуществляют молотом на наковальне и применяют для индивидуального изготовления мелких изделий при ремонтных работах. Машинную ковку производят на ковочных молотах и прессах.

**Штамповка** представляет собой процесс ОМД, формообразование изделия при которой происходит в штампах, т.е. обеспечивается принудительное получение изделием формы и размеров.

**Горячая объёмная штамповка** применяется в основном для массового и серийного производства поковок и позволяет получать изделия с высокой точностью формы и размеров. Технологический процесс состоит из разрезки металла на заготовки, нагрева заготовок, штамповки, термообработки, отделки поковок.

**Холодная объёмная штамповка** применяется для поковок небольшого размера.

**Листовой штамповкой** изготавливают плоские или пространственные тонкостенные изделия. Толщина используемых листовых заготовок при холодной

штамповке до 4 мм; при горячей – более 4 мм. Продукция отличается высокой прочностью и не нуждается в последующей обработке на металлорежущих станках. Сортамент изделий очень разнообразен – от деталей часов до корпусов морских судов.

**Штамповку взрывом** с использованием тротила, аммонала и др. взрывчатых веществ используют для изготовления мелкосерийных крупногабаритных деталей из толстолистовых заготовок.

При **электрогидравлической штамповке** кратковременный электрический разряд в жидкой среде создаёт ударную волну, давление которой достигает нескольких сотен МПа. Установки не требуют фундамента, малогабаритны, легко перемещаются.

## 6. НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Обработку давлением некоторых сталей и сплавов осуществляют в условиях сверхпластичности.

**Сверхпластичность** – значительное увеличение пластичности и уменьшение сопротивления деформации при температуре фазовых превращений и вполне определённых скоростях деформации. В этих условиях проявляется в основном межкристаллитная деформация, и отсутствует какое-либо значительное упрочнение металла.

**Изотермическую штамповку** используют для сталей и сплавов с узким температурным интервалом обработки и не допускающих больших скоростей деформации. Штамп для такой штамповки изготовлен из жаропрочного сплава и установлен в индукционном нагревателе, обеспечивающем одинаковую и постоянную температуру заготовок и штамповых вставок. Изотермическая штамповка осуществляется на гидропрессах и улучшает структуру и свойства поковок.

Применение **вибрации** при волочении, горячей объёмной и холодной листовой штамповке благодаря уменьшению контактного трения снижает усилия деформирования и приводит к повышению пластичности металла в процессе его обработки. Одновременно улучшаются структура и качество изделия.

Для изготовления изделий из низкопластичных и труднодеформируемых металлов и сплавов применяют **гидростатическое выдавливание**, при котором жидкость оказывает высокое давление с торца и боков на заготовку, установленную в контейнере. Для горячего выдавливания подбирают жидкую среду, которая является одновременно и нагревателем для заготовки. При достижении требуемого давления металл заготовки выдавливается через матрицу с огромной скоростью, достигающей сотни метров в секунду.