

# Тема: СПОСОБЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ МАШИН

1. Формообразующие технологические процессы
2. Получение заготовок из жидкой фазы
3. Сварка в твердом состоянии и изготовление заготовок методами порошковой металлургии
4. Получение заготовок пластическим деформированием
5. Изделия и покрытия, получаемые из материалов в парогазовой фазе
6. Факторы, определяющие выбор метода получения заготовок

## 1. ФОРМООБРАЗУЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Формообразование – основной этап придания конструкционному материалу требуемой геометрической формы детали согласно чертежу. Формообразующие технологические процессы можно классифицировать по агрегатному состоянию заготовок или деталей. В данной главе рассматривается формообразование из парообразного, жидкого и твердого состояний и условия получения при первичном формообразовании заготовок и деталей.

Формообразующие процессы по методу их исполнения принято подразделять на следующие:

- осаждение из парогазовой фазы, при котором конфигурация заготовки формируется в результате конденсации парообразных или газообразных химических элементов с образованием твердых осадков;
- литье, в процессе которого формообразование заготовки или детали осуществляется из жидкого материала путем заполнения им полости заданной формы и размеров с последующим затвердеванием;
- формование, заключающееся в получении заготовки или детали из порошкового или волокнистого материала путем заполнения полости заданной формы и размеров с последующим уплотнением;
- гальванопластика – процесс получения изделий из жидкого материала путем осаждения металла из раствора под действием электрического тока;
- обработка давлением, в процессе которой происходит изменение формы, размеров, шероховатости и свойств первичной заготовки (слитка, профиля) в результате пластической деформации и/или разделения изделия без образования стружки;
- механическая обработка резанием, в процессе которой происходит изменение формы, размеров, шероховатости путем деформирования и последующего отделения поверхностного слоя заготовки с образованием стружки;
- электрофизическая и электрохимическая обработка, заключающаяся в изменении формы, размеров, шероховатости поверхностей заготовки путем использования электрических разрядов, магнитоэлектрического эффекта, электронного или оптического излучения и растворения ее материала в электролите под действием электрического тока;
- сборка, в процессе которой происходит образование разъемных и неразъемных соединений составных частей заготовки или изделия путем навинчивания, сварки, пайки, клепки, склеивания и т.д.

## 2. ПОЛУЧЕНИЕ ЗАГОТОВОК ИЗ ЖИДКОЙ ФАЗЫ

Получение заготовок из жидкого состояния предполагает, как правило, расплавление основного и/или присадочного материала, заполнение специально подготовленной формы или зазора между соединяемыми элементами и кристаллизацию жидкой металлической фазы.

При литье заготовок на процесс затвердевания и образования кристаллической структуры существенно влияет температура заливки металла в форму и скорость охлаждения отливки.

Низкие температуры заливки металла, как правило, приводят к образованию мелкозернистой структуры, высокие – к получению крупных кристаллитов в заготовках.

Низкие скорости охлаждения отливки способствуют получению крупных дендритно-равноосных кристаллитов. С увеличением скорости охлаждения появляются зоны столбчатых кристаллитов. При очень большой скорости охлаждения расплава получается сплошная мелкая столбчатая структура большой плотности, для которой характерны высокие механические свойства.

Особенностью отливок, изготовленных с кристаллизацией под давлением (жидкой штамповкой), является отсутствие прибылей и литниковых систем. При этом усадка заготовок определяется свойствами сплава, схемой прессования, давлением и временем выдержки отливки под нагрузкой.

Увеличение давления и времени прессования способствует уменьшению величины усадки отливки.

При сварке плавлением в результате расплавления кромок соединяемых элементов и присадочного материала образуется сварочная ванна. Этот процесс является разновидностью литья заготовок в металлическую форму, поэтому кристаллизация шва в значительной степени напоминает формирование отливок. Размеры столбчатых кристаллитов зависят от способа и режимов сварки. Увеличение длительности существования сварочной ванны при высоких температурах, например в случае электрошлаковой сварки, вызывает заметное увеличение размеров кристаллитов в зоне шва и в зоне термического влияния.

Сущность процесса наплавки заключается в получении поверхностных слоев нанесением расплавленного присадочного материала методом сварки.

Проплавление основного металла, перемешивание основного и наплавленного металлов должны быть минимальными для сохранения механических свойств наплавляемого слоя.

## 3. СВАРКА В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЗАГОТОВОК МЕТОДАМИ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Сварка в твердом состоянии и применение порошковой металлургии обеспечивают получение требуемых свойств и заданной конфигурации изделий в результате образования межатомных или межмолекулярных связей на границе соединяемых элементов.

При сварке на соединяемых поверхностях заготовок и в прилегающих объемах металла, как правило, протекают следующие процессы:

пластическая деформация, диффузия, упрочнение, рекристаллизация, формирование и разрушение оксидных пленок и др.

Скорость образования сварных соединений определяется кинетикой процессов образования физического контакта и химического взаимодействия в объеме соединяемых элементов.

Физический контакт обеспечивается пластической деформацией микронеровностей на соединяемых поверхностях (рис. 1).

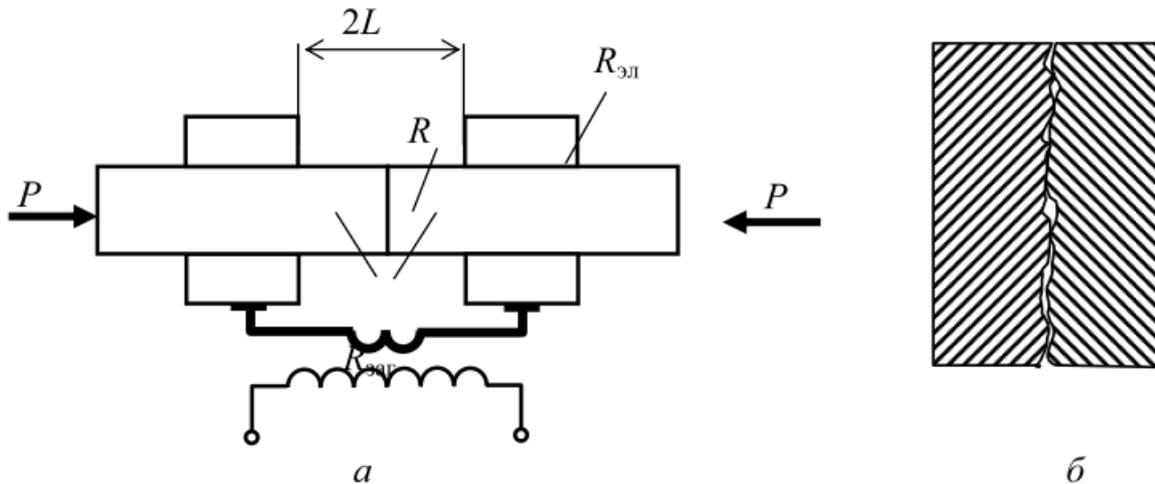


Рис. 1. Стыковая электроконтактная сварка сопротивлением:  
а) схема; б) физический контакт на стыке заготовок

Сглаживанию поверхностей могут способствовать процессы, не связанные с действием внешних сил. Скорость химического взаимодействия (образования связей) в основном зависит от скорости создания активных центров на сближаемых поверхностях и диффузионных процессов в зоне сварки.

В случае если длительность и температура процесса сварки в твердом состоянии достаточны для интенсивного развития диффузионных процессов, в зоне соединения образуются общие зерна или новые фазы. При сварке однородных элементов критерием окончания процесса может служить рекристаллизация, приводящая к образованию общих зерен в зоне контакта. Для получения соединений разнородных металлов необходимость развития или ограничения диффузии определяется свойствами образующихся фаз в зоне контакта.

#### 4. ПОЛУЧЕНИЕ ЗАГОТОВОК ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Технологические процессы обработки давлением, механической обработки резанием, сварки давлением и порошковой металлургии в твердом состоянии применяют с целью получения и обработки заготовок. Для их осуществления необходимо приложение термической, механической энергии и их сочетаний, которые приводят к изменению структуры, свойств и размеров изделий.

Обработка давлением основана на пластической деформации заготовки без ее разрушения и нарушения сплошности. В процессе резания происходит разрушение заготовки с разделением ее на части. В традиционном понимании механической

обработки (точение, фрезерование, сверление и др.) меньшая часть представляет собой стружку, большая – обрабатываемую заготовку.

При разделительных технологических операциях обработки давлением, таких как вырубка, пробивка отверстий и разрезка на ножницах, разрушение заготовки сопровождается разделением ее на части, соизмеримые по размерам друг с другом.

Установить четкую грань между обработкой резанием и давлением достаточно сложно, поскольку для их осуществления необходима пластическая деформация заготовки. При этом в процессе резания заготовок и в условиях разделительных операций обработки давлением эти деформации всегда доведены до разрушения.

Термическая обработка заготовок, сопровождающая процессы горячей обработки давлением, сварки с использованием тепловой энергии и спекания порошков, оказывает существенное влияние на изменение их свойств.

В результате пластической деформации при получении заготовок и их обработке в твердом состоянии изменяются исходная структура и свойства материала. Кроме того, наличие механических надрезов, трещин, внутренних дефектов, сквозных отверстий, резких переходов от толстого сечения к тонкому приводит к неравномерному распределению напряжений.

Так как напряжения образуются в результате разных причин, различают временные напряжения, обусловленные действием внешней нагрузки и исчезающие после ее снятия, и остаточные напряжения, возникающие в заготовках после пластической деформации, при быстром нагреве или охлаждении в процессе сварки, обработки давлением и резанием вследствие неоднородного расширения (сжатия) различных слоев и зон изделия. Эти напряжения называют также тепловыми, или термическими.

Кроме того, вследствие неоднородного протекания фазовых превращений по объему заготовки возникают фазовые, или структурные, напряжения.

## 5. ИЗДЕЛИЯ И ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧАЕМЫЕ ИЗ МАТЕРИАЛОВ В ПАРОГАЗОВОЙ ФАЗЕ

Изделия и покрытия, получаемые из материалов в парогазовой фазе, играют существенную роль в современной промышленности, и можно ожидать, что в будущем их применение значительно расширится. Это объясняется тем, что осаждение осадка из парогазовой фазы – универсальный и относительно экономичный метод получения покрытий, порошков и изделий путем контролируемого осаждения вещества в виде отдельных атомов или молекул.

Различают два вида осаждения:

- физическое осаждение, которое иногда называют вакуумно-конденсационным напылением;
- химическое, или газофазное, осаждение.

Преимуществом физического осаждения является то, что заготовка находится при температуре окружающей среды. Для получения осадка в нужном месте температура изделия должна быть ниже температуры испаряемого вещества.

При химическом осаждении поверхность должна быть нагрета до более высокой температуры, чем газообразные соединения. В результате возможно термическое разложение летучего соединения и осаждение материала на поверхность заготовки.

Осаждение из парогазовой фазы можно рассматривать как ряд последовательных стадий:

испарение, перенос, образование и рост кристаллитов.

Термическое испарение твердого тела или жидкого материала является простейшим способом получения паров для последующего осаждения. Скорость простого термического испарения можно повысить с помощью катодного распыления, т.е. путем бомбардировки поверхности мишени ионами с большой кинетической энергией. В результате атомы материала мишени переходят в парообразное состояние.

Другим способом испарения является химическое, при котором химически активный газ адсорбируется на поверхности исходного материала и реагирует с ним. Летучий продукт этой реакции десорбируется и его можно перенести в другие части системы, где он подвергается дополнительной очистке или вступает в реакцию, образуя осадок.

После того как исходный материал переведен в парообразное или газообразное состояние, его требуется транспортировать в то место, где нужно получить осадок.

При физическом осаждении сопротивление переносу незначительное, поскольку процесс осуществляется в высоком вакууме.

При химическом осаждении в замкнутых камерах скорость переноса источника осаждаемого материала до покрываемой поверхности зависит от температуры газа и скорости диффузии газообразных реагентов. Получаемые покрытия формируются из отдельных атомов. Следовательно, этим методом можно получать изделия, плотность которых будет близка к теоретической.

Однако причиной разрушения многих покрытий является неблагоприятное взаимное расположение кристаллитов, растущих из изолированных центров.

Заготовки и покрытия, получаемые химическим осаждением, обычно состоят из столбчатых кристаллитов, растущих от подложки к внешней поверхности. Отдельные кристаллиты могут быть весьма прочными, однако они плохо связаны друг с другом. При поперечной нагрузке такие осадки разрушаются при напряжениях существенно ниже предела прочности материала покрытия.

## 6. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ВЫБОР МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК

Метод получения той или иной заготовки зависит от служебного назначения детали и требований, предъявляемых к ней, а также от ее конфигурации и размеров, марки материала, типа производства и других факторов.

Наиболее сложные по конфигурации заготовки можно изготавливать методами литья. Изделия, получаемые методом обработки давлением, должны быть более простыми по форме. Изготовление в поковках отверстий и полостей объемной

штамповкой в ряде случаев затруднено, а использование напусков резко увеличивает объем последующей механической обработки.

Размеры заготовок, получаемых методами литья и обработки давлением, практически не ограничиваются. Нередко определяющим параметром в этом случае являются минимальные размеры (например, минимальная толщина стенок отливки, минимальная масса поковки). Объемной штамповкой и большинством специальных способов литья получают заготовки массой до нескольких десятков или сотен килограммов.

Форма и размеры заготовок, получаемых методами порошковой металлургии, ограничены как максимальными, так и минимальными размерами. В процессе конструирования деталей выбор марки материала определяется не только условиями ее функционирования, но и условиями изготовления в реальном производстве. В то же время технологические свойства материала существенно влияют на выбор метода и способа получения заготовок. Так, серый чугун имеет прекрасные литейные свойства, но обладает низкой деформируемостью и плохой свариваемостью.

Заготовки из одного и того же материала, полученные методами литья, обработки давлением и сваркой, обладают различными свойствами. Так, литой металл характеризуется большим размером зерен, неоднородностью химического состава и механических свойств по сечению отливки, наличием остаточных напряжений и т.д.

После обработки давлением заготовки имеют мелкозернистую структуру и определенную направленность расположения волокон (неметаллических включений). После холодной обработки давлением возникает наклеп, поэтому холоднокатаный металл прочнее литого в 1,5–3 раза. Пластическая деформация металла приводит к анизотропии свойств: прочность вдоль волокон (неметаллических включений) примерно на 10–15 % выше, чем в поперечном направлении.

Сварка приводит к образованию неоднородных структур в сварном шве и в околошовной зоне. Неоднородность зависит от вида и режима сварки.

Так, наиболее резкое отличие в свойствах сварного шва возникает при ручной сварке, а электрошлаковая и автоматическая дуговая сварка обеспечивает формирование наиболее качественных однородных швов.

Программа выпуска продукции, т.е. количество изделий, выпускаемых в течение определенного времени (обычно за год), является одним из важнейших факторов, определяющих выбор метода и способа производства заготовок.

В условиях единичного производства и для простых по конфигурации деталей часто заготовками являются профили (сортовой прокат, трубы и т.п.), получаемые в условиях металлургического производства. Стоимость механической обработки заготовок при изготовлении деталей в этом случае высока, однако такая заготовка может быть достаточно экономичной из-за низкой стоимости проката, почти полного отсутствия подготовительных операций и возможности автоматизации процесса механической обработки.

При крупносерийном и массовом производстве конструкции заготовок следует максимально приближать к конфигурациям деталей. Например, для изготовления ступенчатого вала из стали 45 (рис. 2) целесообразно применить поковку, получаемую объемной штамповкой.

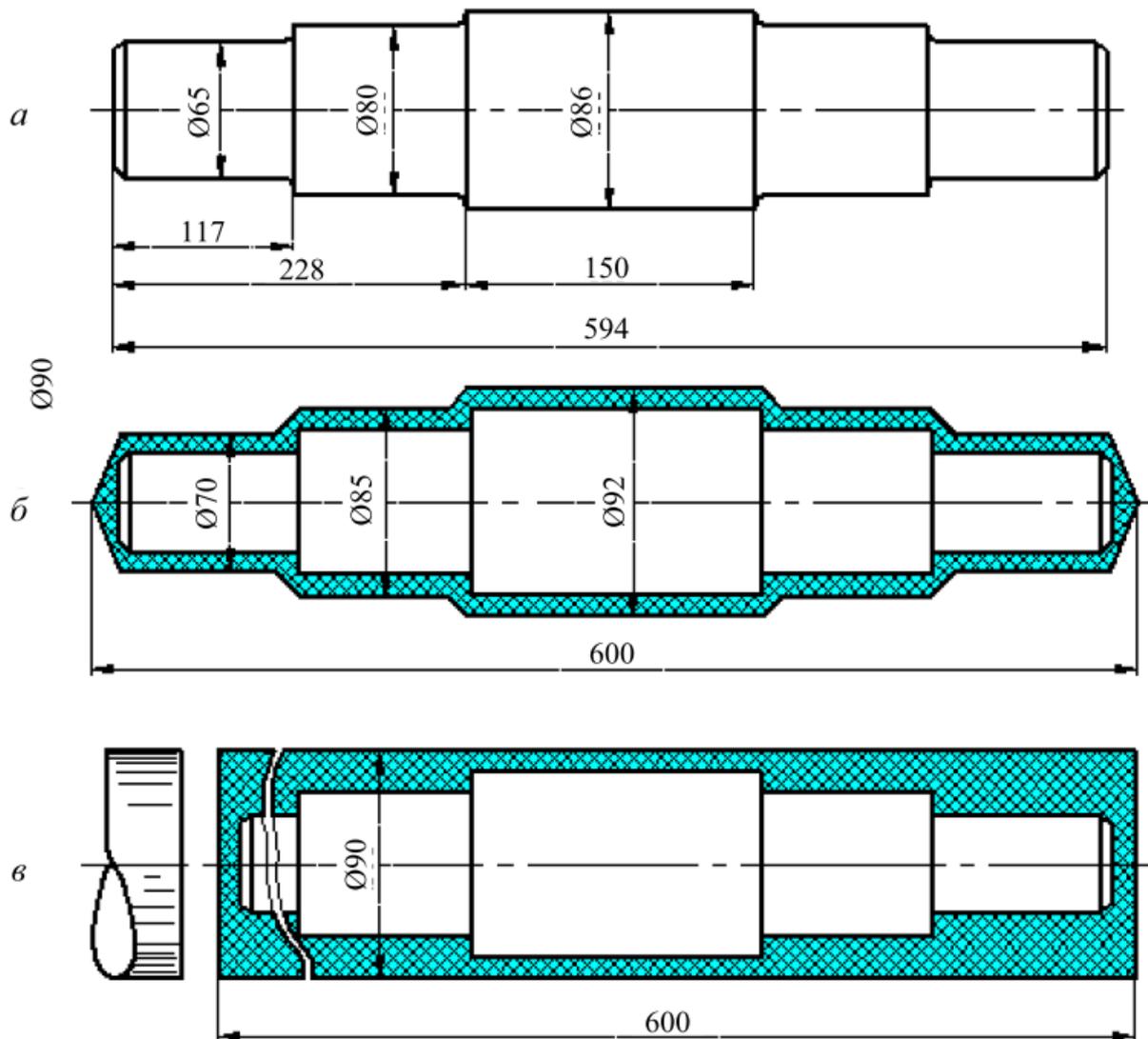


Рис. 2. Вал ступенчатый:

а) деталь; б) штампованная поковка; в) заготовка из горячекатаного проката

Наиболее эффективными технологическими способами изготовления заготовок в крупносерийном и массовом производстве являются специальные виды прокатки (поперечно-винтовая, поперечно-клиновья, прокатка в винтовых калибрах), которые позволяют получить периодические профили. Применение таких заготовок дает возможность повысить коэффициент использования материала и производительность труда.

При конструировании деталей необходимо учитывать возможности предприятия, на котором предполагается их изготовление. Для этого необходимо располагать сведениями о типе и количестве имеющегося оборудования, производственных площадях, возможностях ремонтной базы, вспомогательных служб и т.д.

В соответствии с эскизом детали, полученной на основе расчетов, выбор метода изготовления заготовки осуществляется с учетом рассмотренных факторов, которые целесообразно располагать в порядке убывания их значимости. Анализируя степень влияния рассмотренных выше факторов, выбирают один или несколько методов, обеспечивающих получение заготовок требуемого качества.

Оптимальный метод изготовления заготовки определяют на основе анализа конструктивно-технологических признаков проектируемой детали, технико-экономических показателей способов и программы выпуска деталей.

Затем конструируют заготовку с учетом оптимальной технологии ее изготовления.