

Министерство сельского хозяйства и продовольствия
Республики Беларусь

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ГРОДНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

В.В. Гаврилова, М.В. Ищенко, В.А. Струк, Е.В.Овчинников

**ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ
ЗАГОТОВОК ИЗДЕЛИЙ**

*КУРС ЛЕКЦИЙ
ДЛЯ СТУДЕНТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ*

Гродно 2009

УДК 621. 9.04
ББК 34.5
Г12

Авторы-составители: *В.В. Гаврилова*, преподаватель; *М.В. Ищенко*, к.т.н., *В.А. Струк*, доктор технических наук, профессор; *Е.В. Овчинников*, доцент, к.т.н.

Под общей редакцией доктора технических наук, профессора *В.А. Струка*.

Рецензенты: к.т.н., заместитель директора ОАО «ГМЗ» Горбачевич Г.Н.;

к.т.н., доцент, зав. кафедрой теоретической физики УО ГрГУ Никитин А.В.

Г12 **Гаврилова, В.В.** Основы технологии формообразования заготовок изделий / авт.-сост.: В.В.Гаврилова, М.В. Ищенко, В.А. Струк, Е.В. Овчинников – Гродно: ГГАУ, 2009. – 224 с.

В учебном пособии рассмотрены основные принципы выбора заготовок для деталей машин и их технико-экономическое обоснование. Содержатся сведения о новых технологических методах формообразования заготовок и изделий из металлических, порошковых, полимерных, композиционных и нанопорошковых материалов.

Пособие предназначено для студентов инженерных специальностей.

УДК 621. 9.04
ББК 34.5

Рекомендовано Советом инженерно-технологического факультета ГГАУ.

© В.В.Гаврилова, М.В. Ищенко, В.А. Струк, Е.В.Овчинников, 2009
© УО «ГГАУ», 2009

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших современных задач технологии машиностроения является сокращение удельного веса механической обработки резанием за счет повышения точности заготовок и экономичности их изготовления. Совершенствование и разработка новых технологических процессов должны быть направлены на получение высокоточных заготовок изделий, обеспечивающих возможность повышения их качества и достижение высокой эффективности производства. Этого можно добиться применением конструкционных материалов, сохраняющих высокие механические свойства, соответствующие определенным условиям эксплуатации машин, применением современных технологий и качественного оборудования.

Предлагаемое пособие подготовлено в соответствии с программой курса «Основы технологии формообразования заготовок изделий». В нем рассматриваются основные принципы выбора материалов для обеспечения необходимых точностных и эксплуатационных характеристик деталей машин. Представлены экономичные методы получения заготовок (например, штамповкой на кривошипных горячештамповочных прессах вместо штамповки на молотах; формообразование изделий холодным выдавливанием; штамповкой на горизонтально-ковочных машинах; литьем в песчаные и в оболочковые формы, по выплавляемым моделям, литьем под высоким давлением, в кокиль и др.).

Пособие представляет собой курс лекций, читаемый для студентов инженерных специальностей. В вводной лекции представлена классификация методов формообразования и даны общие рекомендации по выбору заготовок для деталей машин. Далее рассмотрены методы формообразования отливок, способы производства заготовок пластическим деформированием, формообразование поверхностей деталей резанием, производство сварных заготовок, формообразование изделий из пластических масс, композиционных и порошковых материалов. В заключении представлены перспективные технологии XXI века, применение нанотехнологий в машиностроении, рассмотрены методы компактирования нанопорошков.

Лекция № 1

Тема: «ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА ЗАГОТОВОК ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН»

1. Введение.
2. Классификация способов формообразования.
3. Выбор заготовок.
4. Отливки. Технологическая характеристика. Допуски размеров.
5. Кованные и штампованные заготовки.
6. Заготовки из проката.
7. Сварные заготовки.
8. Заготовки из порошковых материалов.
9. Заготовки и изделия из пластических масс и композиционных материалов.

ВВЕДЕНИЕ

Формообразование (PRIMARY FORMING) – изготовление заготовок или изделий из твердых, жидких, порошковых или волокнистых материалов.

Исходя из современных представлений, под технологией формообразования понимают совокупность методов изготовления деталей в машиностроении и реализующего их оборудования.

Цель любого способа формообразующей обработки состоит в получении поверхности заданной формы и размеров, которая в допустимых пределах может отличаться от номинальной (проектной). Поверхность, ограничивающая деталь и отделяющая ее от окружающей среды, называется реальной поверхностью. Эта поверхность образуется в результате ее обработки.

Качество поверхности деталей машин определяется совокупностью характеристик шероховатости и волнистости, физико-механических, химических свойств и микроструктуры поверхностного слоя. В процессе изготовления детали на ее поверхности возникают неровности; в поверхностном слое

изменяется структура, фазовый и химический состав, возникают остаточные напряжения.

Качество продукции определяется параметрами технологического процесса, соответствием этого процесса и его результатов установленным требованиям. Основными производственными факторами являются качество оборудования и инструмента, физико-химические, механические и другие свойства исходных материалов и заготовок, совершенство разработанного технологического процесса и качество выполнения обработки и контроля.

В машиностроении показатели качества изделий весьма тесно связаны с точностью обработки деталей машин. Полученные при обработке размер, форма и расположение элементарных поверхностей определяют фактические зазоры и натяги в соединениях деталей машин, и, следовательно, технические параметры продукции, влияющие на ее качество (например, мощность двигателей, точность станков), надежность и экономические показатели производства и эксплуатации.

Под *погрешностью обработки* понимают отклонение, полученное при обработке значения геометрического или другого параметра от заданного. *Абсолютную погрешность* выражают в единицах рассматриваемого параметра:

$$\Delta X = X_D - X_H,$$

где X_D и X_H – соответственно действительное (полученное) и номинальное значение параметра.

При несимметричном расположении поля допуска относительно номинального значения вместо номинального значения параметра принимают его среднее значение. Отношение абсолютной погрешности к заданному значению параметра называют относительной погрешностью:

$$\Delta X / X_H \text{ или } \Delta X / X_H \cdot 100\%.$$

Конструктивные допуски и технические требования на изготовление деталей назначают с учетом условий работы деталей в машине.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ

К формообразующей технологии относят:

1. Методы, создающие связи – производство отливок.
2. Методы, сохраняющие связи – формообразование заготовки путем ее пластической деформации без изменения массы.
3. Методы, увеличивающие число связей – сварка, наплавка и другие.
4. Методы, обеспечивающие удаление материала с заготовки – резание.

ВЫБОР ЗАГОТОВОК

Решение задачи формообразования деталей целесообразно перенести на заготовительную стадию и тем самым снизить расход материала, уменьшить долю затрат на механическую обработку в себестоимости готовой детали.

При выборе заготовки заданной детали назначают метод ее получения, определяют конфигурацию, размеры, допуски, припуски на обработку и формируют технические условия на изготовление. Главным при выборе заготовки является обеспечение заданного качества готовой детали при ее минимальной себестоимости.

Технологические процессы получения заготовок определяются технологическими свойствами материала, конструктивными формами и размерами детали и программой выпуска.

Наиболее экономичными являются штампованные, штампо-сварные и штампо-литые заготовки. Легче всего поддаются автоматизации непрерывные процессы производства – литье профилей, прокатка заготовок, сварка.

Прогрессивными являются сварно-литые заготовки. Применять их наиболее целесообразно, когда при изготовлении цельно-литой заготовки наблюдается большой литейный брак

из-за нетехнологичности конструкции, когда лишь отдельные части заготовки, работающие в особо трудных условиях, требуют применения более дорогих металлов или сложной обработки. Сварные заготовки следует использовать при конструкции детали с выступающими частями, когда для ее изготовления требуются крупногабаритная форма, много формовочных материалов и большие затраты рабочего времени в литейном цехе.

Заготовки должны быть выполнены из материала, указанного на чертеже, обладать соответствующими механическими свойствами, не должны иметь внутренних дефектов (для отливок – раковины, неметаллические включения, ужимины и др.; для поковок – пористость и расслоения, трещины по шлаковым включениям, крупнозернистость, шлаковые включения; для сварных конструкций – непровар, пористость металла шва, шлаковые включения).

ОТЛИВКИ

Среди отливок до 80% по массе занимают детали, изготавливаемые литьем в песчаные формы. Метод является универсальным применительно к литейным материалам, а также к массе и габаритам отливок. Специальные способы литья значительно повышают стоимость отливок, но позволяют получать отливки повышенного качества с минимальным объемом механической обработки.

Отливки, не рассчитываемые на прочность, с размерами, определяемыми конструктивными и технологическими соображениями, относятся к неотчетственным; отливки, испытываемые на прочность, работающие при статических нагрузках, а также в условиях трения скольжения, относятся к ответственным. Особо ответственные – отливки, эксплуатируемые в условиях динамических знакопеременных нагрузок, а также испытываемые на прочность.

Возможности повышения производительности процессов литья, точности размеров и качества отливок расширяются при их изготовлении в автоматизированных комплексах, в которых используются новые механизмы для уплотнения смеси,

применяются электронные схемы управления технологическими процессами для выбора оптимальных режимов.

Прогрессивно применение покрытия литейной формы для поверхностного легирования отливок. Так, карбидообразующие легирующие элементы (теллур, углерод, марганец) повышают износостойкость формы и устраняют рыхлость отливок; графитизирующие легирующие элементы (кремний, титан, алюминий) устраняют отбел, уменьшают остаточные напряжения и улучшают обрабатываемость отливок. Применение жидкоподвижных смесей при литье в песчаные формы повышает производительность труда, снижает трудоемкость изготовления формы в 3...5 раз, исключает ручной труд и позволяет полностью механизировать и автоматизировать производство изготовления форм и стержней независимо от их размеров, конфигурации и номенклатуры.

При производстве крупных отливок применение регулируемого охлаждения формы позволяет сократить продолжительность охлаждения в литейной форме отливок массой 20...200 т в два раза по сравнению с естественным охлаждением.

Допуски размеров отливок. Точность размеров отливки характеризуется допусками на размеры, зависящими от их номинальных значений. Точность размеров отливок зависит не только от технологии производства, но и от наибольшего габаритного размера отливки и ее сложности. При этом в одной и той же отливке точность отдельных ее элементов не одинакова, так как зависит от условий формирования этих элементов в форме.

Отливки *I класса точности* обеспечиваются формовкой по металлическим моделям с механизированной выемкой моделей из форм и с заливкой металла в сырье и подсушенные формы. Этот способ применяют в условиях массового производства и для изготовления наиболее сложных по конфигурации тонкостенных отливок.

Отливки *II класса точности* обеспечиваются формовкой с механизированной выемкой деревянной модели, закрепляемой на легкоъемных металлических плитах, из форм и с заливкой в

сырье и подсушенные формы. Этот способ применяют для получения отливок в серийном производстве.

Отливки *III класса точности* обеспечиваются ручной формовкой в песчаные формы, также машинной формовкой по координатным плитам с незакрепленными моделями. Этот способ является оптимальным для изготовления отливок любой сложности, любых размеров и массы из разных литейных сплавов в единичном и мелкосерийном производстве.

Классификация отливок по сложности.

К *группе 1* относятся отливки простой геометрической формы: плоские, круглые или полусферические; наружные поверхности – гладкие или плоские с наличием невысоких ребер, бобышек, фланцев, отверстий, выступов и углублений.

К *группе 2* относятся отливки в виде сочетания простых геометрических тел, плоские, круглые или полусферические, открытой коробчатой формы. Наружные поверхности плоские и криволинейные с наличием ребер, буртов, кронштейнов, бобышек, фланцев с отверстиями и углублениями простой конфигурации.

К *группе 3* относятся отливки открытой коробчатой, сферической, полусферической цилиндрической или другой формы. Наружные поверхности – криволинейные и плоские с наличием нависающих частей, ребер, кронштейнов, бобышек, фланцев с отверстиями и углублениями, расположенными в одном и двух ярусах со свободными широкими выходами полостей.

К *группе 4* относятся отливки закрытой или частично открытой коробчатой или цилиндрической формы. Наружные поверхности – криволинейные и плоские с примыкающими кронштейнами, фланцами, патрубками и другими конструктивными элементами различной конфигурации.

К *группе 5* относятся отливки закрытой коробчатой формы. Наружные поверхности криволинейные, сложной конфигурации, с примыкающими и пересекающимися кронштейнами, фланцами, патрубками и другими конструктивными элементами.

Технологичность конструкций отливок характеризуется условиями формовки, заливки формы жидким металлом, остывания, выбивки, обрубки. На выполнение основных операций технологического процесса получения отливки влияют уклоны, толщина стенок, размерные соотношения стержней и другие условия.

КОВАННЫЕ И ШТАМПОВАННЫЕ ЗАГОТОВКИ

Обработкой давлением получают заготовки с помощью ковки, штамповки и специальных процессов. Перед ковкой и штамповкой исходный металл (слитки, прутки и др.) готовят к обработке – производят зачистку металла, разрезают на части, выбирают температурный режим и тип устройства.

Ковкой получают поковки простой формы массой до 250 т с большими напусками. Припуски и допуски на поковки, изготавливаемые на молотах, от 5 мм до (34 ± 10) мм, а на, изготавливаемые на прессах, от (10 ± 3) мм до (80 ± 30) мм. С применением подкладных штампов (закрытых и открытых) получают поковки массой до 150 кг с относительно сложной формой, без напусков; припуски – от 3 мм и выше, допуски +1,5 – 1 мм и более.

Горячей ковкой изготавливают поковки: цилиндрические сплошные гладкие с уступами (штоки, оси, валы, колонны, цапфы, роторы и т.п.); прямоугольного сечения, гладкие и с уступами (платы, пластины, вкладыши, шпиндели, дышла, бабы т.п.); со смешанными сечениями, сплошные с уступами и с расположением отдельных частей в одной, двух, трех и более плоскостях (коленчатые валы и т.п.); цилиндрические полые гладкие и с малыми уступами (диски, фланцы, колеса покрышки, муфты и т.п.); цилиндрические полые гладкие, с большими уступами при большом отношении длины к размеру сечения (барабаны, полые валы, цилиндры и т.п.); с криволинейной осью (крюки, бугели, скобы, днища, вилкообразные детали и т.п.).

Горячая штамповка выполняется на молотах и прессах в открытых и закрытых штампах, выдавливанием, гибкой, с

применением различных процессов. Горячая штамповка выполняется по двум схемам: в открытых и закрытых штампах. Штамповку на молотах выполняют из катанной заготовки за один переход для заготовок простой формы и за несколько переходов – для заготовок сложной формы.

Штамповка в открытых штампах на кривошипных горячештамповочных прессах (КГШП) обеспечивает изготовление относительно точных поковок без сдвига в плоскости разъема, с малыми припусками и с повышенной по сравнению с молотами производительностью.

Штамповку в открытых штампах на винтовых фрикционных прессах применяют для изготовления мелких фасонных заготовок и заготовок типа болтов и заклепок только в одном ручье из-за недостаточного направления ползуна. На прессах с точным направлением ползуна можно выполнять многоручьевую штамповку.

Штамповку в открытых штампах на гидравлических прессах выполняют в одном ручье, центр давления которого расположен в центре давления пресса. Этим достигается возможность сдвига штампа.

Штамповку на гидропрессах в закрытых штампах с неразъемной матрицей наиболее часто используют для изготовления точных, без штамповых уклонов заготовок из алюминиевых и магниевых сплавов. Штампы в этих случаях нагревают.

Горячей штамповкой выдавливанием обычно на КГШП получают заготовки типа стержня с утолщением; стержни постоянного и переменного сечения, сложной формы, с центральным и эксцентричным расположением головки относительно оси; с головкой несложной симметричной формы (тарельчатые, шарообразные, ступенчатые, фланцевые, конусные); с головкой сложной формы и типа развилин; заготовки типа крестовин или с двусторонними утолщениями и др.

Штамповку на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ) выполняют на штампах с двумя плоскостями разъема: одна – перпендикулярна оси заготовки между матрицей и пуансоном, вторая – вдоль оси, разделяет матрицу на неподвижную и

подвижную половины, обеспечивающие зажим штампуемой заготовки. На ГКМ штампуют поковки типа стержней с утолщениями, с глухим отверстием трубчатые с полым утолщением и стержнем.

При *высокоскоростной штамповке* скорость деформируемого инструмента достигает десятков метров в секунду (на обычных штамповочных молотах до 6...7 м/с). Высокоскоростная штамповка позволяет изготавливать заготовки сложных форм с тонкими стенками и ребрами и малыми радиусами закругления, уменьшить припуски на последующую механическую обработку, получать заготовки с высокими механическими свойствами, максимально приближенные к форме и размерам готовой детали.

Холодная объемная штамповка. Выдавливанием можно изготавливать детали из стали, алюминия, меди, никеля и их сплавов. При выдавливании наружный диаметр заготовки принимают на 0,05...1 мм меньше заданного по чертежу детали, а внутренний – больше на ту же величину. Исходными заготовками обычно являются прутки, проволока, листы, полосы, трубы и периодический прокат. Целесообразнее использовать прутки и проволоку вследствие их меньшей, по сравнению с другими профилями. Формообразование при выдавливании осуществляют по схемам прямого, обратного и комбинированного выдавливания.

Холодной листовой штамповке подвергают различные металлические и неметаллические материалы, поставляемые в виде листов, полос, лент и других профилей. Требования к материалам определяются основной формообразующей операцией. Например, для разделительной операции, применяемой для изготовления плоских деталей, рекомендуют материалы с высоким пределом прочности при растяжении 1000 МПа, малым относительным удлинением (до 1%) и твердостью HR_B не более 100.

Технологичность конструкции штампованных заготовок. Поверхность разъема обычно выбирают так, чтобы она совпадала с двумя наибольшими размерами заготовки. Поверхность разъема штампа должна обеспечивать свободное удаление заготовки из штампа и контроль сдвига верхней части

штампа относительно нижней после обрезки. Более глубокие полости при штамповке на молотах располагают в верхней части штампа.

ЗАГОТОВКИ ИЗ ПРОКАТА

Прокат – это готовые изделия или заготовки, полученные прокаткой, для последующей обработки ковкой, штамповкой, прессованием, волочением или резанием. Прокат может применяться в качестве заготовки для непосредственного изготовления деталей, либо в качестве исходной заготовки при пластическом формообразовании.

Специальный прокат применяется в условиях массового или крупносерийного производства, что в значительной степени снижает припуски и объем механической обработки.

В машиностроении применяют товарные заготовки, сортовые и фасонные профили общего, отраслевого и специального назначения, трубный прокат, гнутые, горячепрессованные и периодические профили.

Товарные заготовки – болванки обжатые; квадратные заготовки (блюмы) – служат заготовками под ковку и штамповку крупных валов, рычагов, тяг и т.п.; прямоугольные заготовки (слябы) – служат заготовками для производства листов, полос, лент.

Простые *сортовые профили* общего назначения – круглые и квадратные, шестигранные и полосовые – используют для изготовления гладких и ступенчатых валов с небольшим перепадом диаметров ступеней, стаканов диаметром до 50 мм, втулок диаметром до 25 мм, рычагов, клиньев, фланцев.

Фасонные профили проката общего назначения – сталь угловая равнополочная и неравнополочная, балки двутавровые, швеллеры – применяют обычно при изготовлении металлоконструкций (рам, плит, подставок, кронштейнов).

Трубный прокат – стальной бесшовный горячекатанный, холоднотянутый и холоднокатанный. Служит для изготовления цилиндров, втулок, гильз, шпинделей, стаканов, барабанов, роликов, пустотелых валов.

СВАРНЫЕ ЗАГОТОВКИ

Сварка является одним из наиболее распространенных технологических процессов в машиностроении, строительстве, при восстановлении деталей машин. С помощью сварки между собой соединяют однородные и разнородные металлы, их сплавы, пластмассы и некоторые керамические материалы.

Соединение, полученное при сварке, характеризуется непрерывной структурной связью и монолитностью строения, достигаемыми за счет образования атомно-молекулярных связей между элементарными частицами соединяемых твердых тел. Неразъемное монолитное соединение, образуемое при сварке, называется *сварным соединением*.

Преимуществами большинства способов сварки являются высокая производительность и прочность сварных соединений, во многих случаях достигающая прочности цельного металла. К недостаткам сварки следует отнести стоимость специального оборудования, необходимость нагрева металла до высоких температур и применения больших давлений.

ЗАГОТОВКИ ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Методами порошковой металлургии изготавливают заготовки и изделия с уникальными свойствами, которые невозможно получить с помощью других технологий. Этими методами сложно изготавливать изделия из материалов, формирование которых другим путем невозможно или экономически невыгодно, например, из несплавляющихся компонентов, композиций металлов и неметаллов. К числу таких материалов относятся тугоплавкие металлы, карбидные твердые сплавы, пористые и фрикционные материалы, магнитные материалы и магнитодиэлектрики, алмазоподобные материалы, керметы.

Одним из достоинств порошковой металлургии является возможность сократить технологические потери материалов, поскольку при механической обработке некоторых видов литья и проката в стружку уходит до 60...70% материала.

ЗАГОТОВКИ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАСС И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Пластические массы – это материалы на основе полимеров, способные приобретать заданную форму при нагревании под давлением и сохранять ее после охлаждения. В зависимости от назначения и условий эксплуатации изделий, пластические массы могут содержать функциональные компоненты – наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, пигменты, смазочные вещества и др. Формообразование изделий из пластических масс – это комплекс технологических операций, обеспечивающих получение из пластмасс изделий или заготовок с заданными свойствами с помощью специального оборудования.

Композиционные материалы представляют собой многофазные системы, которые состоят из двух или более компонентов, сохраняющих индивидуальность (структуру и свойства) своего вещества в составе композита. Путем оптимального сочетания матриц, армирующих элементов и других компонентов, регулирования их концентрации и расположения в объеме изделия, а также выбора технологии формообразования композиционных материалов можно в широких пределах управлять свойствами композитов.

Контрольные вопросы:

- 1. Что понимают под технологией формообразования?*
- 2. В чем состоит цель формообразующей обработки?*
- 3. Что такое погрешность обработки?*
- 4. На какие классы подразделяют отливки по точности?*
- 5. Как классифицируют отливки по сложности?*
- 6. По каким двум схемам выполняют горячую штамповку?*
- 7. Из каких металлов можно изготавливать детали холодной штамповкой?*
- 8. Что такое прокат?*
- 9. Что называют сварным соединением?*
- 10. В чем заключаются преимущества порошковой металлургии?*

Лекция № 2

Тема: «ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ОТЛИВОК»

- 1. Введение.*
- 2. Элементы литейной формы.*
- 3. Теоретические основы производства отливок.*
- 4. Изготовление отливок в песчаных формах.*
- 5. Изготовление отливок специальными способами литья.*
- 6. Технологические требования к конструкции отливок.*
- 7. Технический контроль в литейном производстве.*

ВВЕДЕНИЕ

Из всех известных способов формообразования (ковка, штамповка, обработка резанием, сварка, порошковая металлургия и т.д.), литейная технология наиболее эффективна, так как позволяет получать изделия необходимой конфигурации непосредственно из расплава при сравнительно небольших затратах энергии, материалов и труда.

Сущность процесса формообразования отливок заключается в том, что расплавленный металл определенного состава заливается в литейную форму, внутренняя полость которой с максимальной степенью приближения воспроизводит конфигурацию и размеры будущей детали (при литье невозможно получить отливку, форма и размеры которой соответствует форме и размерам детали). В ходе дальнейшего охлаждения металл затвердевает, сохраняя приданную ему форму.

Литьем получают разнообразные конструкции отливок массой от нескольких граммов до 300 т, длиной от нескольких сантиметров до 20 м, со стенками толщиной 0,5...500 мм (блоки цилиндров, поршни, коленчатые валы, корпуса и крышки редукторов, зубчатые колеса, станины станков, станины прокатных станов, турбинные лопатки и т. Д.).

Инструментом литейного производства является *литейная форма*. По степени использования формы делят на разовые, полупостоянные и постоянные.

Разовые формы служат для изготовления только одной отливки и изготавливают их из кварцевого песка, зерна которого соединены каким-либо связующим веществом.

Полупостоянные формы – это формы, в которых получают несколько отливок (до 10...20), такие формы изготавливают из керамики, гипса.

Постоянные формы – формы, в которых получают от нескольких десятков до нескольких сотен тысяч отливок. Такие формы изготавливают обычно из чугуна или стали.

Литейная технология может быть реализована различными и многообразными способами, но доминирующей пока остается технология получения отливок в разовой песчано-глинистой форме.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВА ОТЛИВОК

Возможность получения сложных по форме, тонкостенных или больших по размерам отливок без дефектов предопределяется *литейными свойствами сплавов*. Наиболее важные литейные свойства сплавов: жидкотекучесть, усадка (линейная и объемная), склонность к образованию трещин, склонность к образованию газовых раковин и пористости в отливках и др.

Жидкотекучесть – способность металла заполнять тонкие очертания полости формы. При недостаточной жидкотекучести расплавленный металл не заполняет форму и отливка становится браком. Жидкотекучесть прежде всего зависит от химического состава, от температуры перегрева – чем она выше, тем больше жидкотекучесть. Величину жидкотекучести определяют по технологической пробе.

Усадка – свойство литейных сплавов уменьшать объем при затвердевании и охлаждении. Усадочные процессы в отливках протекают с момента заливки расплавленного металла в литейную форму вплоть до полного охлаждения отливки.

Различают линейную и объемную усадку, выражаемую в относительных единицах.

Линейная усадка – изменение линейных размеров отливки при ее охлаждении до температуры окружающей среды. На линейную усадку влияют химический состав сплава, температура его заливки, скорость охлаждения сплава в форме, конструкция отливки и литейной формы. Так, усадка серого чугуна уменьшается с увеличением содержания углерода и кремния. Увеличение скорости отвода теплоты от залитого в форму сплава приводит к возрастанию усадки отливки.

Объемная усадка – уменьшение объема сплава при его охлаждении в литейной форме при формировании отливки.

Усадочные раковины – сравнительно крупные полости, расположенные в местах отливки, затвердевающие последними.

Усадочная пористость – скопление пустот, образовавшихся в отливке в обширной зоне в результате усадки в тех местах отливки, которые затвердевали последними, без доступа к ним расплавленного металла. Получить отливки без усадочных раковин и пористости возможно за счет непрерывного подвода расплавленного металла в процессе кристаллизации вплоть до полного затвердевания.

Горячие трещины в отливках возникают в процессе кристаллизации и усадки металла, при переходе из жидкого состояния в твердое при температуре близкой к температуре солидуса. Горячие трещины проходят по границам кристаллов и имеют окисленную поверхность. Склонность сплавов к образованию горячих трещин увеличивается при наличии неметаллических включений, газов (водорода, кислорода), серы и других примесей.

Холодные трещины возникают в области упругих деформаций, когда сплав полностью затвердел. Тонкие части отливки охлаждаются и сокращаются быстрее, чем толстые. В результате в отливке образуются напряжения, которые и вызывают появление трещин. Холодные трещины чаще всего образуются в тонкостенных отливках сложной конфигурации и тем больше, чем выше упругие свойства сплава и, чем ниже его теплопроводность.

Коробление – изменение формы и размеров отливки под влиянием внутренних напряжений, возникающих при охлаждении.

Выбор сплава для тех или иных литых деталей является сложной задачей, поскольку все требования учесть не представляется возможным.

Формовочные смеси должны иметь высокую огнеупорность, достаточную прочность и газопроницаемость, противопригарность, пластичность, податливость.

Огнеупорность – способность смеси и формы сопротивляться размягчению или расплавлению под воздействием температуры расплавленного металла. Чем крупнее песок, тем меньше в нем примесей и пыли и, чем больше кремнезема, тем более огнеупорна смесь. При низкой огнеупорности на поверхности отливки образуется *пригар* – прочное соединение формовочной или стержневой смеси с поверхностью отливки.

Прочность – способность материала формы не разрушаться при извлечении модели из формы, транспортировании и заливке форм. Прочность формовочной смеси увеличивается с увеличением содержания глины, с уменьшением размеров зерен песка.

Газопроницаемость – способность смеси пропускать через себя газы. Газопроницаемость тем выше, чем больше песка в формовочной смеси и чем он крупнее, а также чем меньше содержание глины в формовочной смеси.

Пластичность – способность деформироваться без разрушения и точно воспроизводить отпечаток модели.

Податливость – способность формы или стержня сжиматься при усадке отливки.

ЭЛЕМЕНТЫ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ

Литейная форма – это система элементов, образующих рабочую полость, при заливке которой расплавленным металлом формируется отливка. Форма обычно состоит из нижней и верхней *полужорм*, которые изготавливают по литейным моделям в литейных опоках. *Литейная опока* – приспособление для

удержания формовочной смеси при изготовлении формы. Верхнюю и нижнюю полуформы взаимно ориентируют с помощью цилиндрических металлических штырей, вставляемых в отверстия приливов у опок. Для образования полостей, отверстий или иных сложных контуров в формы устанавливают *литейные стержни*, которые фиксируют с помощью выступов (стержневых знаков), входящих в соответствующие впадины в форме. Литейные стержни изготовляют по стержневым ящикам. Для подвода расплавленного металла в полость литейной формы, ее заполнения и питания отливки при затвердевании используют *литниковую систему*. После заливки расплавленного металла, его затвердевания и охлаждения форму разрушают, извлекая отливку.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК В РАЗОВЫХ ПЕСЧАНЫХ ФОРМАХ

Основные этапы технологического процесса:

1. Изготовление модельного комплекта

По чертежу отливки в модельном цехе изготовляют *модельный комплект* – совокупность технологической оснастки и приспособлений, необходимых для образования в форме полости, соответствующей контурам отливки. Модельный комплект включает: литейные модели, модельные плиты, стержневые ящики, модели элементов литниковой системы и другие приспособления.

Литейная модель – приспособление, при помощи которого в литейной форме получают полость с формой и размерами близкими к конфигурации получаемой отливки. Литейные модели бывают неразъемными, разъемными, с отъемными частями и др.

Модельная плита – металлическая плита с закрепленными на ней моделями и элементами литниковой системы. Ее применяют, как правило, при машинной формовке.

Стержневой ящик – приспособление, служащее для изготовления стержней. Стержневые ящики бывают цельными, разъемными, вытряхными и др.

Модели и стержневые ящики для единичного и серийного производства изготавливают деревянными, а для массового производства – из чугуна, алюминиевых сплавов, пластмассы.

Модельный комплект изготавливают в модельном цехе или модельном участке литейного цеха.

2. Приготовление формовочных смесей.

Для изготовления форм и стержней используют специально приготовленные из формовочных материалов смеси. Основными исходными материалами являются песок, глина, связующие вещества и добавки. Кроме исходных материалов для приготовления формовочных смесей используют регенерированные смеси.

Формовочные смеси по характеру использования разделяют на облицовочные, наполнительные и единые.

Облицовочная смесь – это формовочная смесь, используемая для изготовления рабочего слоя формы. Такие смеси содержат повышенное количество исходных формовочных материалов (песка и глины) и имеют высокие физико-механические свойства.

Наполнительная смесь – это формовочная смесь для наполнения формы после нанесения на модель облицовочной смеси. Поэтому ее готовят путем переработки оборотной смеси с малым количеством исходных формовочных материалов (песка и глины). Облицовочные и наполнительные формовочные смеси используют при изготовлении крупных и сложных отливок.

Единая смесь – это формовочная смесь, применяемая одновременно в качестве облицовочной и наполнительной смеси. Такие смеси применяют при машинной формовке и на автоматических линиях в серийном и массовом производствах. Единые смеси готовят из наиболее огнеупорных песков и глин с наибольшей связующей способностью, чтобы обеспечить их долговечность.

Стержневая смесь – это многокомпонентная смесь формовочных материалов, соответствующая условиям технологического процесса изготовления литейных стержней. Стержни при заливке расплавленного металла испытывают значительные тепловые и механические воздействия по

сравнению с формой, поэтому стержневые смеси должны иметь более высокую огнеупорность, газопроницаемость, податливость, малую газотворную способность, легко выбиваться из отливок и т. д.

Жидкостекольные смеси (ЖСС), используемые для изготовления литейных стержней и литейных форм, приготавливают из кварцевых песков с содержанием не более 3,5% глины, связующего материала – жидкого стекла, с добавлением 10% раствора едкого натра. Отверждение смеси осуществляется продувкой углекислым газом.

Холоднотвердеющие смеси (ХТС) для стержней, изготавливают из кварцевого песка, связующих материалов – карбамидофурановых, фенолоформальдегидных смол и др. В качестве катализаторов применяют ортофосфорную или азотную кислоту и ее соли. Продолжительность отверждения смесей составляет 1...20 мин.

3. Изготовление литейной формы.

Процесс изготовления литейных форм называют *формовкой*. В литейном производстве используют ручную и машинную формовку. Свыше 20 % отливок получают в формах, изготовленных вручную.

Последовательность операций изготовления формы по двусторонней разъемной модели методом *ручной формовки* рассмотрим на примере изготовления отливки чугунной втулки (рис.2.1).

По чертежу втулки 1 изготавливают деревянную модель 2. Модель втулки состоит из двух половин, которые взаимно центрируются с помощью шипов и гнезд. Отверстие втулки 1 выполняется с помощью стержня 3. Его изготавливают из стержневой смеси, уплотняемой в стержневом ящике 4.

Литейную форму для втулки собирают из двух полуформ: верхней 6 и нижней 7. Полуформы изготавливают из формовочной смеси, уплотняемой в чугунных или стальных рамках 8, которые называют опоками.

На подопочный щиток 9 устанавливают нижнюю полуформу 7 и половину модели 2 (рис. 2.1, а). Поверхность модели 2 и щитка 9 посыпают сухим разделительным песком, после чего в опоку насыпают формовочную смесь и уплотняют

ее. Нижнюю полуформу 7 поворачивают на 180° и устанавливают на подопочный щиток 9. Затем на нижнюю половину модели устанавливают верхнюю половину модели 2, на нижнюю полуформу – верхнюю. Вновь посыпают поверхность модели разделительным песком. Ставят модели литниковой системы, засыпают формовочную смесь в верхнюю опоку и уплотняют ее (рис.2.1, б).

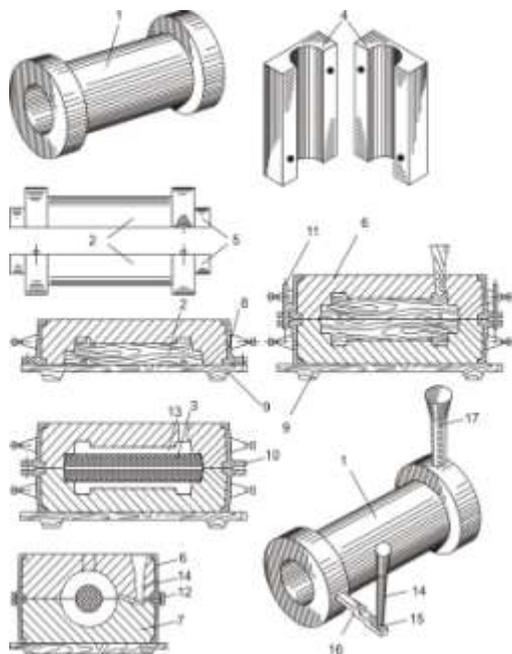


Рис. 2.1 Последовательность изготовления чугунной отливки втулки: 1 – чертеж втулки; 2 – деревянная модель; 3 – стержень; 4 – стержневой ящик; 5 – стержневые знаки; 6 – верхняя полуформа; 7 – нижняя полуформа; 8 – опока; 9 – подопочный щиток; 10 – втулки; 11 – центрирующие штыри; 12 – скобы; 13 – полость формы; 14 – стояк; 15 – шлакоуловитель; 16 – питатель; 17 – выпор

Снимают верхнюю половину, извлекают половины моделей, устанавливают стержень 3 на стержневые знаки 5 и

собирают форму (рис. 2.1, в). Для точной сборки формы опоки имеют специальные втулки 10, в которые входят центрирующие штыри 11. Верхнюю полуформу крепят к нижней скобами 12 (рис. 2.1, г).

При заливке металл поступает в полость формы 13 по литниковым каналам. Литниковая система состоит из стояка 14, шлакоуловителя 15, питателя 16, выпора 17, который служит для выхода из формы воздуха и газов, а также для контроля заполнения формы металлом (рис. 2.1, д).

Машинная формовка позволяет механизировать операции уплотнения формовочной смеси, удаления модели из формы, а для опок низа – поворот полуформы. По методу уплотнения формовочной смеси различают следующие типы формовочных машин: прессовые, встряхивающие, пескометы, пескодувные, пескострельные, импульсные, вакуумные, специальные и комбинированные (пескодувно-прессовые, гравитационно-прессовые и др.). Выбор типа машины определяется размерами и конфигурацией отливки и серийностью производства. Прессовый и пескострельный типы машин применяются для мелких отливок. Прессование под высоким давлением может быть использовано для средних и даже крупных форм. Встряхивающие машины и импульсная формовка обычно применяются для средних по размеру форм. Крупные формы набивают пескометом.

4. Сборка литейных форм.

Перед сборкой сырые полуформы припыливают графитом, тальком, древесным углем или окрашивают для получения чистой поверхности отливки. Стержни перед установкой в форму сушат в специальных печах – сушилах для увеличения прочности, газопроницаемости для уменьшения газотворной способности, окрашивают красками, состоящими из огнеупорных материалов: графита, пылевидного кварца и т. п.

Сборка литейных форм начинается с установки нижней полуформы на заливочную площадку или тележку конвейера. Затем в последовательности, указанной в технологической карте или на сборочном чертеже, устанавливают стержень, после этого нижнюю полуформу по центрирующим штырям накрывают верхней полуформой. Устойчивое положение стержней

обеспечивается стержневыми знаками, Верхнюю полуформу с нижней скрепляют болтами, скобами или накладывают груз. Затем литейную форму подают на заливку жидким металлом.

5. Выплавка сплава.

Металл плавят в плавильных отделениях.

Литейные сплавы должны обладать высокими литейными свойствами (высокой жидкотекучестью, малыми усадкой и склонностью к образованию трещин и др.), требуемыми физическими и эксплуатационными свойствами.

Для производства отливок используются сплавы черных металлов – серые, высокопрочные, ковкие и другие виды чугунов; углеродистые и легированные стали; сплавы цветных металлов – медные (бронзы и латуни), цинковые, алюминиевые и магниевые; сплавы тугоплавких металлов – титановые, молибденовые, вольфрамовые и др.

Для плавки чугуна применяют специальные печи – вагранки; для плавки стали – конверторы, мартеновские и электропечи; для плавки цветных металлов – электро- и пламенные печи.

6. Заливка литейных форм.

После расплавления и перегрева металл сливают из печи в разливочные чайниковые, барабанные и другие ковши и транспортируют мостовым краном или по монорельсовому пути на участок заливки форм.

Важное значение при заливке форм имеет выбор температуры заливки расплавленного металла. При повышенной температуре заливки возрастает жидкотекучесть металла, улучшается питание отливок, но горячий металл более газонасыщен, сильнее окисляется, вызывает пригар на поверхности отливки. В то время как низкая температура заливки увеличивает опасность не заполнения полости формы, захвата воздуха, ухудшается питание отливки. Температуру заливки сплавов целесообразно назначать на 100...150°C выше температуры ликвидуса.

Автоматизация заливки литейных форм обеспечивает высокую точность дозировки металла, облегчает труд заливщика, повышает производительность труда.

7. *Охлаждение отливок* в литейных формах после заливки продолжается до температуры выбивки. Небольшие тонкостенные отливки охлаждаются в форме несколько минут, а толстостенные (массой 50...60 т) – в течение нескольких суток и даже недель. Обычно стальные отливки охлаждаются до 500...700оС. Чугунные – до 400...500оС, бронзовые – до 300...500оС и алюминиевые – до 200...300оС. Для сокращения продолжительности охлаждения отливок, особенно массивных, используют различные методы принудительного охлаждения: формы обдувают воздухом; в формы при формовке укладывают змеевики или трубы, по которым пропускают воздух или воду и др. При этом качество отливок не ухудшается.

После выдержки отливки в форме до установленной для каждого вида сплава температуры форму выбивают.

8. *Выбивка форм и стержней из отливок.*

Выбивку форм осуществляют на механических, чаще всего эксцентриковых или инерционных выбивных решетках. Выбивка форм сопровождается выделением большого количества газов, тепла, пыли и сильным шумовым эффектом. Поэтому решетки оборудуются пылегазоулавливающими и звукоизоляционными системами. Комплексное решение многих проблем может быть достигнуто выбивкой в *гидравлических камерах*, где струя воды диаметром 5...20 мм под давлением 5...10 МПа размывает формовочную смесь. Этот метод хорошо вписывается в схему мокрой регенерации оборотной смеси. Кроме того, в нем одновременно сочетаются выбивка форм, удаление стержней из отливок и очистка поверхности от пригара.

В технологических процессах стремятся исключить операцию выбивки стержней, для чего применяют легко выгорающие связующие, а стержни стараются делать полыми и тонкостенными. Если же выбивка стержней необходима, то ее осуществляют на пневматических вибрационных машинах, в гидравлических камерах и в электрогидравлических установках.

9. *Обрубка и очистка отливок.*

Обрубка отливки заключается в отделении от нее литников, выпоров, прибылей и заливок по разьему формы и в местах сопряжения стержневых знаков с формой. Для *серого и*

белого чугунов удаление литников производится ударом по литнику молотком. Для *стальных* отливок применяют пневматическое зубило, пресс или ацетиленокислородную резку. Для *цветных сплавов* используются ленточные пилы или обрубку производят на токарных станках и прессах.

Очистка отливок заключается в удалении пригара и улучшении чистоты поверхности. Очистку можно производить галтовкой, дробеметной, дробеструйной, вибрационной обработкой, а зачистку – абразивными кругами.

10. Термическая обработка и контроль качества отливок.

Отливки имеют крупнозернистую структуру и низкие прочностные характеристики. Кроме того, в связи с неравномерностью охлаждения различных зон и затрудненностью усадки в них сохраняются внутренние напряжения. Структура и свойства отливок могут быть существенно улучшены *термической обработкой*. Вид обработки (отжиг, нормализация, закалка, отпуск) определяется природой и составом сплава, размерами и конфигурацией отливки, а также техническими условиями.

Контроль качества проводят на всех этапах технологического процесса, проверяют:

- качество исходных материалов (шихты, песка, глины, связующего, ферросплавов);
- качество и износ литейной оснастки (моделей, ящиков, штырей и втулок, опок, сушильных плит);
- техническое состояние оборудования (формовочных и стержневых машин, транспортеров, бегунов, печей);
- качество и химический состав жидкого металла и готовых отливок.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОТЛИВОК СПЕЦИАЛЬНЫМИ СПОСОБАМИ ЛИТЬЯ

Точность геометрических размеров, шероховатость поверхности отливок, полученных в песчаных формах, во многих случаях не удовлетворяет требованиям современной техники. Поэтому быстрыми темпами развиваются специальные способы литья - в оболочковые формы, по выплавляемым

моделям, кокильное, под давлением, центробежное и другие, позволяющие получать отливки повышенной точности, с малой шероховатостью поверхности, минимальными припусками на механическую обработку, а иногда полностью исключаящие ее, обеспечивают высокую производительность труда и т. д. Себестоимость отливок, полученных специальными способами литья, в 3...10 раз выше отливок, полученных в песчано-глинистые формы, но высокое качество и минимальная механическая обработка обеспечивают их рентабельность в массовом и крупносерийном производстве.

К специальным методам литья в разовые формы относятся литье в оболочковые формы, по выплавляемым и выжигаемым моделям.

К специальным методам литья в постоянные формы можно отнести кокильное литье, литье под давлением, центробежное литье, непрерывное литье, литье вакуумным всасыванием, выжиманием, методом жидкой прокатки, намораживанием и др. Особенностью данных методов является многократное использование форм, как правило, металлических.

При *литье в оболочковые формы*, полуформы и стержни изготавливают в виде оболочек толщиной 6...10 мм. В качестве связующего используются горячетвердеющие смолы с высокой удельной прочностью. Технология литья этим способом включает операции приготовления плакированной песчано-смоляной смеси, получения по модельной оснастке оболочковых полуформ, сборки форм и их заливки.

Процесс изготовления полуформ, их сборка и заливка показаны на рис. 2.2. Разъемная модель 1 с модельной плитой 2 нагреваются в печи до 200...250⁰С и устанавливаются на поворотный бункер 3 со смесью песка и пульвербакелита 4. Затем бункер поворачивается на 180⁰ и выдерживается в течение 15...25 с в таком положении. За это время прогревается слой смеси толщиной 6...10 мм и после поворота бункера в исходное положение на модели остается слой песка 5, скрепленный расплавленной смолой.

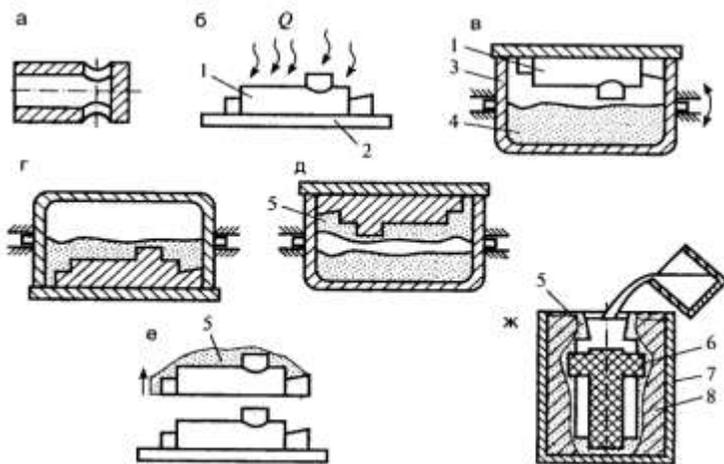


Рис. 2.2. Последовательность операций формовки при литье в оболочковые формы: а – деталь; б – нагревание модели; в – установка модели на ящике со смесью; г – выдержка смеси на модели; д – удаление непрогретой смеси; е – удаление корковой полуформы; ж – сборка и заливка формы

Модельную плиту вместе с моделью и полутвердой оболочкой помещают в печь, где она при температуре 300...350°С необратимо затвердевает в течение 50...60 с. С помощью выталкивателей корочку снимают с модели, в нее устанавливают оболочковый или обычный стержень 6, скрепляют струбцинами или склеивают со второй оболочковой полуформой. Собранную форму устанавливают в опоки 7 и в зазор между формой и опокой засыпают песок или чугунную дробь 8. Применение опорного слоя позволяет увеличить жесткость формы. Заливка форм производится в вертикальном или горизонтальном положении.

Литье в оболочковые формы обеспечивает высокую геометрическую точность отливок, так как формовочная смесь, обладая высокой подвижностью, дает возможность получать четкий отпечаток модели. Точность отпечатка не нарушается, так как оболочка снимается с модели без расталкивания.

Повышенная точность формы позволяет в 2 раза снизить припуски на механическую обработку отливок. Применяя мелкозернистый кварцевый песок для форм, можно снизить шероховатость поверхности отливок.

Высокая прочность оболочек позволяет изготавливать формы тонкостенными, что значительно сокращает расход формовочных материалов. В оболочковых формах изготавливают отливки с толщиной стенки 3...15 мм и массой 0,25...100 кг для автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных машин из чугуна, углеродистых сталей, цветных сплавов.

К недостаткам метода следует отнести высокую токсичность, выделяющихся при горении смолы, газов.

Литье по выплавляемым моделям применяют для изготовления отливок различной сложности из любых сплавов, массой от нескольких граммов до нескольких килограммов с толщиной стенок 0,4...20 мм, точностью размеров до 12 квалитета и шероховатостью поверхности до $R_z = 20$ мкм. Способ применяют при любом виде производства.

При литье по выплавляемым моделям форма представляет собой неразъемную керамическую огнеупорную оболочку, которая формируется вокруг разовой неразъемной выплавляемой из оболочки модели (рис. 2.3).

Технология литья по выплавляемым моделям включает следующие операции:

1. Изготовление разовой модели и модельных блоков (рис. 2.3, а, б).

В процессе литья по выплавляемым моделям применяют две формы. Первую форму используют для изготовления моделей (пресс-форма), вторая – это литейная форма, изготавливаемая на основе мелкого песка и связующего вещества.

Конструкция модельной формы зависит от вида производства. Для опытного и единичного производства применяют пресс-формы с ручным разъемом и выталкиванием, в серийном и массовом производстве изготовление моделей механизировано или автоматизировано.

Размеры рабочей полости определяют с учетом усадки материала и изменения размеров формы при нагреве.

Для изготовления моделей применяют выплавляемые, растворимые и выжигаемые модельные составы. Наиболее часто применяют выплавляемые составы. Основными компонентами выплавляемых составов являются парафин и стеарин.

Примеры составов:

(температура запрессовки 42...45°C);

ПС-50-50 - парафин 50%, стеарин 50%;

ПС-70-30 - парафин 70%, стеарин 30%;

(температура запрессовки 58...60°C);

ПП-85-15 - парафин 85%, полиэтилен 15%.

Модельный состав расплавляют в водяном термостате и заливают под давлением в пресс-форму. После охлаждения модельного состава до 15...18°C модель удаляют из формы. Для ускорения процесса пресс-формы охлаждают в холодильнике до 10°C. После этого модели зачищают по плоскости разъема и собирают в блок.

2. *Сборку моделей в блок* (рис. 2.3, в) выполняют путем сварки моделей со стояком с помощью разогретого ножа-полосы.

3. *Приготовление суспензии из связующего и пылевидного наполнителя.*

Для изготовления литейной формы используют суспензию, состоящую из мелкозернистого кварцевого песка – маршалита и жидкого связующего вещества – этилсиликата, приготовленного на основе этилового спирта.

4. *Нанесение на блок моделей огнеупорного покрытия* (рис. 2.3, г).

Суспензию на блок наносят погружением. Для удержания на поверхности блока суспензии на него наносят молотый кварцевый песок, который при последующих погружениях (4...5 раз) способствует увеличению толщины покрытия. Обычно получают толщину формы 5...6 мм. Свеженанесенное покрытие не обладает прочностью и удерживается на поверхности модели только благодаря смачиванию. Для придания прочности покрытию его сушат, при сушке одновременно с испарением влаги происходит затвердевание связующего вещества этилсиликата (переход его из золя в гель). Сушка 2-го слоя

происходит 2...4 часа при температуре 18...20°C. Для ускорения затвердевания связующего применяют аммиачную среду. В этом случае затвердевание протекает за 2...3 минуты. Для нанесения следующего слоя суспензии необходимо полное исчезновение запаха аммиака, что обычно происходит за 7...10 минут на воздухе. Весь процесс изготовления одного слоя длится 15...20 минут вместо 2...4 часов.

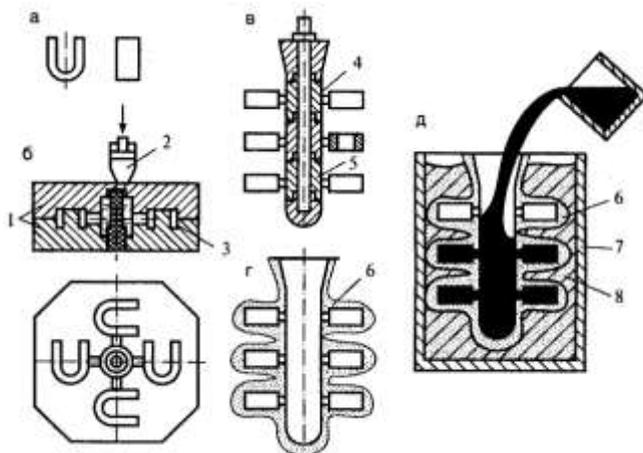


Рис. 2.3 Литье по выплавляемым моделям: а – деталь; б – изготовление блока моделей; в – сборка блоков; г – нанесение покрытия; д – заливка формы. 1 – пресс-форма; 2 – шприц; 3 – модельная композиция; 4 – блок; 5 – металлический стержень; б – оболочковая форма; 7 – опока; 8 – песок

5. Выплавка модели из оболочки.

Выплавление моделей осуществляют в горячей воде или горячим воздухом или другими способами. Наиболее часто выплавляют модельный состав горячей водой. Для этого блок моделей с формой помещают литниковой частью вверх в воду с температурой 85...90°C на 10...15 минут.

6. Упрочнение оболочки прокаливанием и ее засыпка песком.

После выплавления модельного состава модельные блоки прокаливают для удаления из них остатков модельного состава и влаги. Кроме того при прокаливании форму нагревают до 900...1000°C, что повышает заполняемость формы. Перед прокаливанием оболочки (формы) заформовывают, то есть засыпают в ящике-опоке наполнителем. В качестве наполнителя применяют смесь песка и шамотной крошки.

Прокаливание длится 3...4 часа.

7. Заливку в оболочку металла (рис. 2.3, д).

Непосредственно после прокаливания форму заливают расплавом, полученным в электрической индукционной печи, после охлаждения блока отливок, форму разрушают и очищают от следов керамического покрытия путем погружения в каустическую соду (45% едкий натр с температурой 150 °С) на 3...4 часа.

8. Отделение отливок от стояка и их очистка.

Отрезку отливок от питателей и стояков производят тонкими абразивными кругами. После травления отливки промывают проточной водой, сушат, подвергают термической обработке и контролю.

Литье по выплавляемым моделям широко применяется для производства мелких сложных отливок в приборо-, автомобиле- и тракторостроении. Этим способом получают отливки из труднообрабатываемых сплавов (лопатки турбин, колеса насосов, постоянные магниты и др).

Сущность **литья в кокиль** состоит в применении металлических материалов для изготовления многократно используемых литейных форм, металлические части которых составляют их основу и формируют конфигурацию и свойства отливки. Кокиль – металлическая форма, которая заполняется расплавом под действием гравитационных сил. В отличие от разовой песчаной формы кокиль может быть использован многократно.

Основные операции технологического процесса.

Перед заливкой расплава новый кокиль подготавливают к работе: поверхность рабочей полости и разъем тщательно

очищают от следов загрязнений, ржавчины, масла. Проверяют легкость перемещения подвижных частей, точность их центрирования, надежность крепления. Затем на поверхность рабочей полости и металлических стержней наносят слой огнеупорного покрытия – облицовки и краски. Состав облицовок и красок зависит в основном от заливаемого сплава, а их толщина – от требуемой скорости охлаждения отливки: чем толще слой огнеупорного покрытия, тем медленнее охлаждается отливка. Вместе с тем слой огнеупорного покрытия предохраняет рабочую поверхность формы от резкого повышения ее температуры при заливке, расплавления и схватывании с металлом отливки. Таким образом, облицовки и краски выполняют две функции: защищают поверхность кокиля от резкого нагрева и схватывания с отливкой и позволяют регулировать скорость охлаждения отливки, а значит, и процессы ее затвердевания, влияющие на свойства металла отливки. Перед нанесением огнеупорного покрытия кокиль нагревают газовыми горелками или электрическими нагревателями до температуры 423...453°K. Краски наносят на кокиль обычно в виде водной суспензии через пульверизатор. Капли водной суспензии, попадая на поверхность нагретого кокиля, испаряются, а огнеупорная составляющая ровным слоем покрывает поверхность.

После нанесения огнеупорного покрытия кокиль нагревают до рабочей температуры, зависящий в основном от состава заливаемого сплава, толщины стенки отливки, ее размеров, требуемых свойств. Обычно температура нагрева кокиля перед заливкой 473...623°K. Затем в кокиль устанавливают песчаные или керамические стержни, если таковые необходимы для получения отливки. Половины кокиля соединяют и скрепляют специальными зажимами, а при установке кокиля на кокильной машине – с помощью ее механизма запирания; после чего заливают расплав в кокиль. После охлаждения отливки до заданной температуры кокиль раскрывают и удаляют отливку из кокиля. Из отливки выбивают металлический и песчаный стержни, обрезают литники, прибыли, выпоры, контролируют качество отливки. Затем цикл повторяется.

Перед повторением цикла осматривают рабочую поверхность кокиля, плоскость разъема. Обычно огнеупорную краску наносят на рабочую поверхность кокиля 1...2 раза в смену, изредка восстанавливая ее в местах, где она отслоилась от рабочей поверхности. После этого при необходимости, что чаще бывает при литье тонкостенных отливок или сплавов с низкой жидкотекучестью, кокиль подогревают до рабочей температуры, так как за время извлечения отливки и окраски рабочей поверхности он охлаждается. Если же отливка достаточно массивная, то, наоборот, кокиль может нагреваться ее теплотой до температуры большей, чем требуемая рабочая, и перед следующей заливкой его охлаждают. Для этого в кокиле предусматривают специальные системы охлаждения.

Как видно, процесс литья в кокиль – малооперационный. Манипуляторные операции достаточно просты и кратковременны, а лимитирующей по продолжительности операцией является охлаждение отливки в форме до заданной температуры. Практически все операции могут быть выполнены механизмами машины или автоматической установки, что является существенным преимуществом способа, и, конечно, самое главное, исключается трудоемкий и материалоемкий процесс изготовления формы, т.к. кокиль используется многократно.

Особенности формирования и качество отливок.

Кокиль – металлическая форма, обладающая по сравнению с песчаной значительно большей теплопроводностью, теплоемкостью, прочностью, практически нулевыми газопроницаемостью и газотворностью. Эти свойства материала кокиля обуславливают рассмотренные ниже особенности его взаимодействия с металлом отливки.

1. Высокая эффективность теплового взаимодействия между отливкой и формой: расплав и затвердевающая отливка охлаждаются в кокиле быстрее, чем в песчаной форме, т.е. при одинаковых гидростатическом напоре и температуре заливаемого расплава заполняемость кокиля обычно хуже, чем песчаной формы. Это осложняет получение в кокилях отливок из сплавов с пониженной жидкотекучестью и ограничивает минимальную толщину стенок и размеры отливок. Вместе с тем

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

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

Однако размеры рабочей полости кокиля могут быть выполнены значительно точнее, чем песчаной формы. При литье в кокиль отсутствуют погрешности, вызываемые расталкиванием модели, упругими и остаточными деформациями песчаной формы, снижающими точность ее рабочей полости и соответственно отливки. Поэтому отливки в кокилях получаются более точными. Точность отливок в кокилях обычно соответствует 12...14 квалитетам. При этом точность по 12-му квалитету возможна для размеров, расположенных в одной части формы. Точность размеров, расположенных в двух и более частях формы, а также оформляемых подвижными частями формы, ниже. Коэффициент точности отливок по массе достигает 0,71, что обеспечивает возможность уменьшения припусков на обработку резанием.

3. Физико-химическое взаимодействие металла отливки и кокиля минимально, что способствует повышению качества поверхности отливки. Отливки в кокиль не имеют пригара. Шероховатость поверхности отливок определяется составами облицовок и красок, наносимых на поверхность рабочей полости формы, и соответствует $R_z = 18$ мкм, но может быть и меньше.

4. Кокиль практически газонепроницаем, но и газотворность его минимальна и определяется в основном составами огнеупорных покрытий, наносимых на поверхность

рабочей полсти. Однако газовые раковины в кокильных отливках – явление не редкое. Причины их появления различны, но в любом случае расположение отливки в форме, способ подвода расплава и вентиляционная система должны обеспечивать удаление воздуха и газов из кокиля при заливке.

Недостатки литья в кокиль:

1. Высокая стоимость кокиля, сложность и трудоемкость его изготовления.

2. Ограниченная стойкость кокиля, измеряемая числом годных отливок, которые можно получить в данном кокиле. От стойкости кокиля зависит экономическая эффективность процесса.

3. Сложность получения отливок, для выполнения которых необходимо усложнять конструкцию формы – делать дополнительные разъемы, использовать вставки, разъемные металлические или песчаные стержни.

4. Неподатливый кокиль приводит к появлению в отливках напряжений, а иногда к трещинам.

Этот способ литья применяют как правило в серийных и массовых производствах.

Эффективность литья в кокиль обычно определяют в сравнении с литьем в песчаные формы. Экономический эффект достигается благодаря устранению формовочной смеси, повышению качества отливок, их точности, уменьшению припусков на обработку, снижению трудоемкости очистки и обдувки отливок, механизации и автоматизации основных операций и, как следствие, повышению производительности и улучшению условий труда.

Литье в кокиль следует отнести к трудо- и материалосберегающим, малооперационным и малоотходным технологическим процессам, улучшающим условия труда в литейных цехах и уменьшающим вредное воздействие на окружающую среду.

Классификация конструкций кокилей. В зависимости от расположения поверхности разъема кокиля бывают: неразъемные, с вертикальной плоскостью разъема, с горизонтальной плоскостью разъема, со сложной поверхностью разъема.

Неразъемные, или вытряхные, кокили применяют, когда конструкция отливки позволяет удалить из плоскости кокиля без его разъема.

Кокили с вертикальной плоскостью разъема состоят из двух и более полуформ (рис. 2.4).

Отливка может располагаться целиком в одной из половин кокиля, в двух половинах кокиля, одновременно в двух половинах кокиля и в нижней плите.

Кокили с горизонтальным разъемом применяют преимущественно для простых по конфигурации, а также крупногабаритных отливок.

Кокили со сложной (комбинированной) поверхностью разъема используют для изготовления отливок сложной конфигурации.

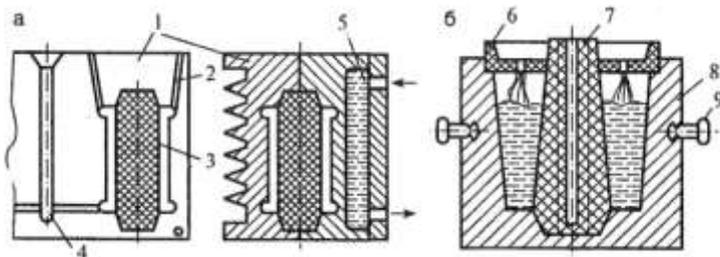


Рис. 2.4. Конструкция кокилей: а – разъемный кокиль; б – вытряхной кокиль; 1 – полуформы; 2 – вентиляционные канавки; 3 – стержни; 4 – литниковые каналы; 5 – полости для охлаждения; б – заливочная чаша; 7 – стержень; 8 – вытряхной кокиль; 9 – опорные цапфы.

В зависимости от способа охлаждения различают кокили с воздушным, жидкостным и с комбинированным охлаждением.

К основным конструктивным элементам кокилей относят:

Формообразующие элементы – половины кокилей, нижние плиты, вставки, стержни. *Конструктивные элементы* – выталкиватели, плиты выталкивателей, запирающие механизмы,

системы нагрева и охлаждения кокиля и отдельных его частей, вентиляционную систему, центрирующие штыри и втулки.

Корпус кокиля или его половины выполняют коробчатыми, с ребрами жесткости. Толщина стенки кокиля зависит от состава заливаемого сплава и его температуры, размеров и толщины стенки отливки, материала, из которого изготавливается кокиль, конструкции кокиля. Толщина стенки кокиля должна быть достаточной, чтобы обеспечить заданный режим охлаждения отливки, достаточную жесткость кокиля и минимальное его коробление при нагреве теплотой залитого расплава, стойкость против растекания.

Стержни в кокилях могут быть песчаными и металлическими. Песчаные стержни для кокильных отливок должны обладать пониженной газотворностью и повышенной поверхностной прочностью. Первое требование обусловлено трудностями удаления газов из кокиля; второе – взаимодействием знаковых частей стержней с кокилем, в результате чего отдельные песчинки могут попасть в полость кокиля и образовать засоры в отливке. Стержневые смеси и технологические процессы изготовления песчаных стержней могут быть различными. Металлические стержни применяют, когда это позволяет конструкция отливки и технологические свойства сплава. Использование металлических стержней дает возможность повысить скорость затвердевания отливки, сократить продолжительность цикла ее изготовления. Однако при использовании металлических стержней возрастают напряжения в отливках, возможно появление трещин.

Вентиляционная система обеспечивает направленное вытеснение воздуха из кокиля расплавом. Для выхода воздуха используют открытые выпоры, прибыли, зазоры по плоскости разъема и между подвижными частями кокиля и специальные вентиляционные каналы. В местных углублениях формы при заполнении их расплавом могут образовываться воздушные мешки. В этих местах в стенке кокиля устанавливают вентиляционные пробки. При выборе места установки вентиляционных пробок необходимо учитывать последовательность заполнения формы расплавом.

Центрирующие элементы: контрольные штыри и втулки – предназначены для точной фиксации половин кокиля при его сборке. Обычно их количество не превышает двух. Их располагают в диагонально расположенных углах кокиля.

Запирающие механизмы предназначены для предотвращения раскрытия кокиля и исключения прорыва расплава по его разьему при заполнении, а также для обеспечения точности отливок.

Системы нагрева и охлаждения предназначены для поддержания заданного температурного режима кокиля. Применяют электрический и газовый обогрев. Первый используется для общего нагрева кокиля, второй более удобен для общего и местного нагрева.

Влияние кокиля на свойства отливок.

Интенсивное охлаждение расплава отливок в кокиле увеличивает скорость ее затвердевания, что благоприятно влияет на структуру – измельчается зерно твердого раствора, эвтектики и вторичных фаз. Структура силуминов, отлитых в кокиль, близка к структуре модифицированных сплавов; снижается опасность появления газовой пористости, уменьшается вредное влияние железа и других примесей. Это позволяет допускать большое содержание железа в алюминиевых отливках, получаемых в кокилях, по сравнению с отливками в песчаные формы. Все это способствует повышению механических свойств отливок.

Кокили для литья алюминиевых сплавов применяют массивные, толстостенные. Такие кокили имеют высокую стойкость и большую тепловую инерцию: после нагрева до рабочей температуры они охлаждаются медленно.

Положение отливки в форме должно способствовать ее направленному затвердеванию: Тонкие части отливки располагают внизу, а массивные вверху, устанавливая на них прибыли и питающие выпоры.

Литниковая система должна обеспечивать спокойное, плавное поступление расплава в полость формы, надежное улавливание шлаковых включений, способствовать направленному затвердеванию и питанию массивных узлов отливки. Используют литниковые системы с поводом расплава

сверху, снизу, сбоку, комбинированные и ярусные. Для получения качественных отливок скорость движения расплава должна убывать от сечения стояка к питателю.

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

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

Литье под давлением является самым производительным способом изготовления тонкостенных деталей сложной конфигурации в серийном и массовом производстве.

Процесс литья заключается в заливке расплавленного металла в камеру сжатия машины и последующем выталкивании его через литниковую систему в полость металлической формы, которая заполняется под давлением. Заполнение полости происходит при высокой скорости впуска металла, которая обеспечивает высокую кинетическую энергию, поступающего в форму металла.

Энергия движения струи при резком замедлении ее скорости в форме до нуля частично переходит в тепловую энергию, повышающую температуру металла и создает гидродинамическое давление на стенку формы.

Скорость выпуска при литье под давлением в зависимости от типа отливки и сплава может быть в пределах от 0,5 до 120 м/с. Различают три способа литья под давлением:

1. *Литье с низкими скоростями впуска* (0,5...2,5 м/с), обеспечивающее заполнение формы сплошным ламинарным потоком. Применяют этот способ для изготовления толстостенных отливок из алюминиевых сплавов и латуней.

2. *Литье со средними скоростями впуска* (2...15 м/с), обеспечивающее турбулентное движение расплавленного металла, при котором в результате срыв струй захватываются в поток металла пузырьки воздуха, отесняемые затвердевающим

сплавом к середине отливки. Это создает воздушную пористость, которую удалить почти невозможно, но можно уменьшить под действием высокого давления. Изготавливают при этом отливки средней сложности.

3. Литье с высокими скоростями впуска (более 30 м/с), обеспечивает заполнение только в режиме турбулентного течения истока расплава, но и со значительным его распылением, результатом которого является еще больший объем захваченного в полость отливки воздуха, для уменьшения воздушной пористости и в этом случае создают высокое давление (до 500 МПа). Этот способ применяют для тонкостенных отливок сложной конфигурации.

Для литья под давлением применяют литейные машины с горячей и холодной камерой прессования.

Требования и литейным сплавам для литья под давлением:

1. Достаточная прочность при высоких температурах, чтобы отливка не ломалась при выталкивании.

2. Минимальная усадка.

3. Высокая жидкотекучесть при небольшом перегреве.

4. Небольшой интервал кристаллизации.

Этим требованиям удовлетворяют сплавы на основе цинка, алюминия, магния и меди.

Основными факторами, определяющими выбор того или иного способа литья под давлением (в зависимости от скорости впуска) и сплава является конфигурация отливки и требования к качеству.

1. При литье под давлением получают высокое качество отливок. Достижимая точность: 9...11 квалитет по размерам, получаемым в одной части литейной формы и 11...12 квалитет по размерам, получаемым в двух частях формы. Точность зависит от точности изготовления формы, обычно форму изготавливают на 1...2 квалитета точнее детали.

2. Шероховатость поверхности отливки зависит от шероховатости поверхности рабочей поверхности формы, продолжительности ее эксплуатации и материала отливки. Обычно рабочую поверхность формы полируют (при этом достигают параметр $R_a = 0,16$ мкм).

3. При литье под давлением механические свойства неравномерны по толщине отливки и отличаются в лучшую сторону по сравнению с этими свойствами отливок полученных другим способом. При быстром охлаждении, у отливок образуется литейная корочка с мелкозернистой структурой, толщина которой не более 1...1,5 мм. Поэтому тонкостенные отливки имеют мелкозернистую структуру, повышенную прочность (на 20...30%).

4. Важным показателем качества является пористость, вскрываемая при механической обработке и являющаяся причиной брака. Так как пористость всегда имеет место при литье сложных тонкостенных деталей, то необходимо применять конструктивные меры для предупреждения вскрытия пор. В этом случае для уменьшения влияния воздушной пористости на качество необходимо устранять механическую обработку отливок, предусматривать отливку отверстий, а при необходимости механообработки назначать припуск не более 0,5 мм.

При *центробежном литье* сплав заливают во вращающиеся формы; формирование отливки осуществляется под действие центробежных сил, что обеспечивает высокую плотность и механические свойства отливок.

Центробежным литьем отливки изготавливают в металлических формах на центробежных машинах с горизонтальной или вертикальной осью вращения (рис. 2.5).

При получении отливок на машинах с вращением формы вокруг вертикальной оси (рис. 2.5, а), расплавленный металл из разливочного ковша 1 заливают через отверстие в крышке 2 в изложницу 3, укрепленную на шпинделе, который вращается от электродвигателя. Расплавленный металл центробежными силами прижимается к боковой стенке изложницы. Литейная форма вращается до полного затвердевания. После остановки формы отливка извлекается. На этих машинах изготавливают кольца большого диаметра высотой не более 500 мм.

При получении чугунных водопроводных труб на машинах с горизонтальной осью вращения, изложницу устанавливают на опорные ролики и закрывают кожухом (рис. 2.5, б). Изложница 5 приводится во вращение

электродвигателем. Расплавленный чугун из ковша заливают через желоб 6, который в процессе заливки чугуна перемещается, что обеспечивает получение равностенной отливки. Для образования раструба трубы используют либо песчаный, либо оболочковый стержень 4. Для опоры и привода изложницы используют ролики 7.

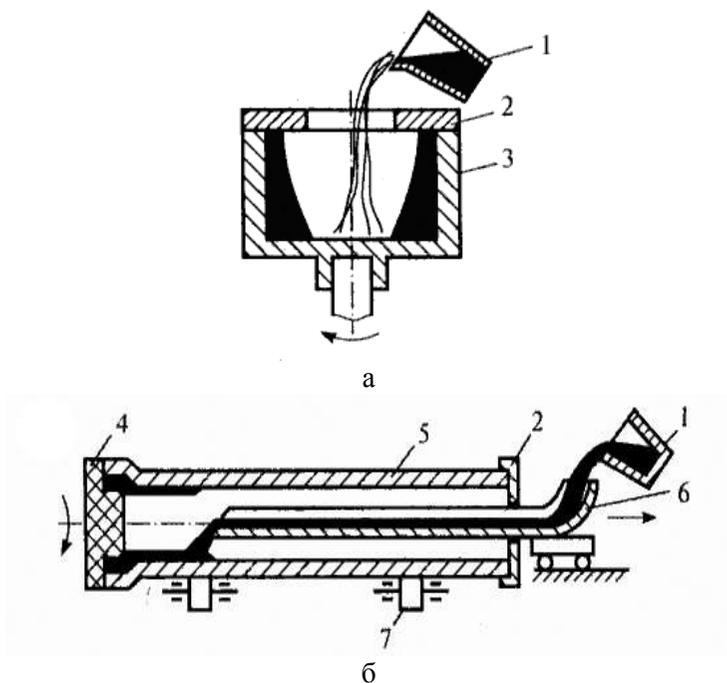


Рис. 2.5. Центробежное литье: а – вертикальная ось вращения; б – горизонтальная ось вращения

После затвердевания залитого чугуна трубу извлекают из изложницы. На этих машинах изготавливают втулки, кольца и т. п.

Преимущества центробежного литья – получение внутренних полостей трубных заготовок без применения стержней; большая экономия сплава за счет отсутствия литниковой системы; возможность получения двухслойных

заготовок, что достигается поочередной заливкой в форму различных сплавов (сталь и чугун, чугун и бронза и т. д.).

Непрерывное литье – это способ получения протяжных отливок постоянного поперечного сечения путем непрерывной подачи расплава в форму и вытягивания из нее затвердевшей части отливки. В зависимости от направления вытягивания различают вертикальное и горизонтальное непрерывное литье. Вертикальное литье обычно применяется для получения слитков и труб.

Схема горизонтального литья приведена на рис.2.6.

Кристаллизатор 2, установленный в металлоприемник 1, изготавливается из меди, графита и, реже, стали. Он имеет внутреннюю полость, профиль которой соответствует поперечному сечению отливки. На выходной части кристаллизатора устанавливается рубашка водяного охлаждения 3. Слиток 6 вытягивается из кристаллизатора тянущими роликами 5 и разделяется на мерные куски с помощью пилы 7. Центральная часть слитка после его выхода из кристаллизатора остается жидкой, поэтому чтобы ускорить затвердевание и исключить прорыв расплава через оболочку твердого металла, устанавливается устройство 4 для охлаждения водой.

Непрерывным литьем получают заготовки постоянного сечения в виде круга или полосы.

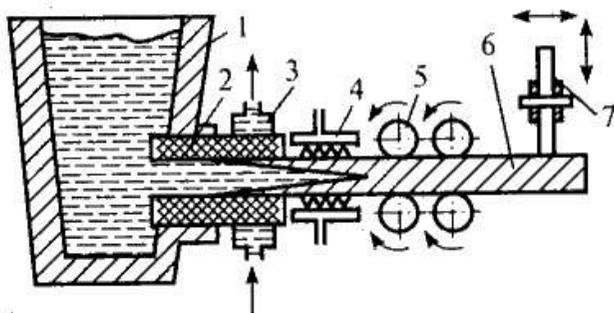


Рис.2.6. Непрерывное горизонтальное литье

Методом *литья вакуумным всасыванием* получают отливки типа втулок, колец, заготовок зубчатых колец, гильз и т.д. Схема процесса приведена на рис. 2.7.

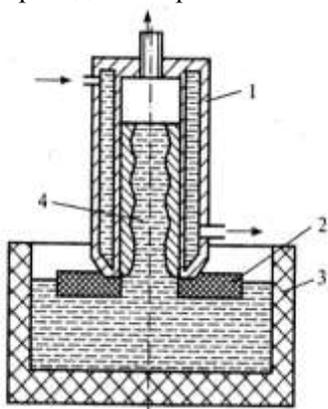


Рис.2.7. *Литье вакуумным всасыванием*

На поверхность расплава, находящегося в металлоприемнике 3, помещают плоское кольцо из огнеупорного материала 2, на которое сверху опускается металлическая водоохлаждаемая форма – кристаллизатор 1. Внутри формы насосом создается разрежение, и расплавленный металл 4 втягивается в форму. Снимая разрежение в форме, можно удалять из нее расплав и получать полые отливки. За счет направленной кристаллизации от поверхности к центру и подпитки затвердевающей отливки из металлоприемника удается получить плотную отливку без усадочных дефектов и газовой пористости, кроме того, отсутствует необходимость в литниковой системе и прибылях.

Литье выжиманием применяют для получения тонкостенных панельных отливок толщиной 2...5 мм с большими габаритными размерами (до 2500 мм) в основном из алюминиевых, магниевых и медных сплавов. Различают установки с угловым и плоскопараллельным перемещением подвижной полуформы. На рис. 2.8 представлена установка с угловым перемещением полуформы.

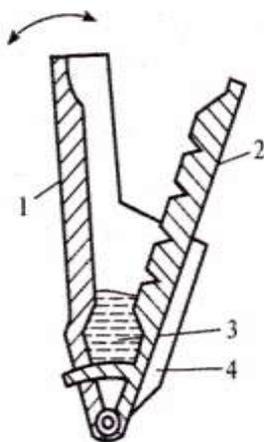


Рис. 2.8. Литье выжиманием

Перед началом цикла подвижная полуформа 2 отводится от неподвижной 1 и в металлоприемник 3 заливают расплавленный металл. Боковые щеки 4 препятствуют вытеканию расплава через торцы установки и служат направляющими при повороте подвижной полуформы. Сближение полуформ приводит к подъему расплава вверх с одновременным образованием корочки твердого металла на стенках полуформ. Скорость поворота рассчитана таким образом, чтобы в момент фиксации подвижной полуформы в положении, определяемом толщиной отливок, происходило схватывание корочек.

Несмотря на небольшую толщину отливок, направленная снизу вверх кристаллизация обеспечивает их высокую плотность.

Литье методом жидкой прокатки. Этот метод совмещает литье с прокаткой. Он широко применяется для изготовления лент и листов из чугуна, алюминия, свинца и других металлов. Схема данного процесса приведена на рис.2.9. Жидкий расплав заливают в металлоприемник 1, плотно прилегающий к вращающимся навстречу друг другу водоохлаждаемым валкам 2 и 4. Корочки, образующиеся в месте

контакта расплава с валками, захватываются в зев между ними и сдавливаются. При этом осуществляется калибрование листа 3 по толщине.

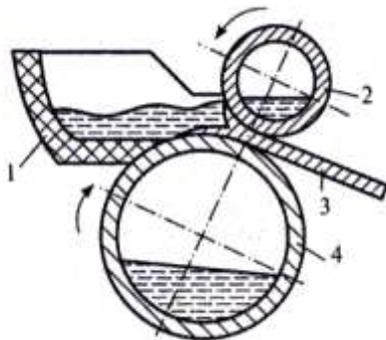


Рис .2.9. Литье методом жидкой прокатки

Литье намораживанием. Известно несколько методов литья намораживанием. При одном из них на поверхность расплавленного металла помещают плиту из огнеупорного материала, в котором вырезано отверстие с профилем, соответствующим наружному профилю будущего литого изделия. Внутри отверстия опускается затравка, к которой приваривается расплавленный металл.

Если вытягивать затравку со скоростью, не превышающей скорость кристаллизации металла, из отверстия плиты извлекается заготовка соответствующего профиля. Таким способом можно получить ленты и трубы с внутренним и наружными ребрами. Способ малопроизводителен, но прост в осуществлении и обеспечивает высокий выход годного металла.

Другая схема предполагает намораживание металла на наружных и или внутренних стенках кристаллизатора (рис.2.10).

Водоохлаждаемый кристаллизатор 1 опускают в расплав 3 и выдерживают в нем в течение определенного времени. Изменяя выдержку, можно регулировать толщину отливки 2. После извлечения кристаллизатора из расплава отливка снимается с него.

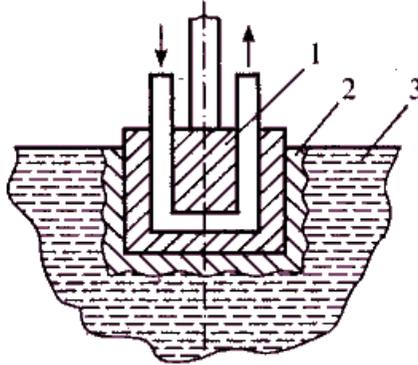


Рис. 2.10. Литье намораживанием

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИИ ОТЛИВОК

Одними из основных параметров, определяющих технологические требования к конструкции отливок, являются литейные характеристики сплавов.

Эти характеристики определяют следующее основные требования:

1. Равностенность.
2. Радиусы закругления.
3. Плавные переходы.
4. Уклоны (или конусность).
5. Отверстия.
6. Армирование.

Установим действительную необходимость соблюдения этих требований.

Равностенность – требование заключается в назначении одинаковой толщины стенок на всем протяжении и в различных основных плоскостях. Это обеспечивает равномерность и одновременность усадки и отсутствие усадочных раковин, которые обычно в этом случае выводят в приливы-прибыли или в литниково-питающую систему. Одновременно с равностенностью необходимо стремиться к тонкостенности

для устранения крупнозернистой структуры, увеличения прочности.

В тонкостенных отливках для создания необходимой жесткости предусматривают ребра жесткости.

Толщина ребер жесткости внешних $d_p=(0,8...0,9)d$, внутренних $d_p=(0,6...0,7)d$, где d – средняя толщина стенки детали. Толщина стенок зависит от способа литья площади сплошной поверхности и сплава.

Радиусы закругления назначают для предупреждения образования усадочных трещин, возникающих вследствие неравномерности кристаллизации

Кроме внутренних сопрягают также и внешние острые кромки для предупреждения образования трещин в формах. Острые кромки допускают только на плоскостях разъема. Величина рекомендуемых внутренних и внешних радиусов сопряжения отливок зависит от способа литья:

Плавные переходы. Переходы от толстых сечений к тонким выполняются для предупреждения образования трещин в граничных зонах при охлаждении отливки. Величину участка сопряжения определяет соотношение толщин стенок.

Уклоны (конусность) необходимы на поверхностях, расположенных в плоскости разъема формы, для обеспечения удаления модели (отливки) из формы. Уклоны на внутренние поверхности больше уклонов на наружные поверхности.

Величина уклона также зависит от способа литья.

Отверстия отливают всегда с целью предупреждения вскрытия усадочных раковин и пористости в сплошной отливке, уменьшения объема последующей обработки, уменьшения массы. Минимальная величина диаметра и максимальная длина отверстия зависят от способа литья и сплава. Расстояние от отверстия до края литой детали должно быть более $1,2 \cdot d$, где d – диаметр отверстия.

Армирование – это процесс заливки в полости отливки металлических деталей, улучшающих свойства отливки. Заливаемые металлические детали называют арматурой в должны иметь сравнимые величины усадки при охлаждении. Армирование наиболее широко применяют при литье под давлением для уменьшения объема последующей сборки, для

создания специальных физических свойств или для исключения усадочных раковин.

ТЕХНИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ. ЗАДАЧИ ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Основные задачи технического контроля: выявление причин отклонения качества отливок от заданного; нарушений технологического процесса; разработка мероприятий по повышению качества продукции; установление соответствия режимов и последовательности выполнения технологических операций, предусмотренных технической документацией; установление соответствия качества материалов, требуемого для производства отливок и т. д.

Контроль отливок, прежде всего, осуществляют визуально для выявления брака или отливок, подлежащих исправлению. Правильность конфигурации и размеров проверяют разметкой, плотность металла отливки гидравлическими испытаниями под давлением воды до 200 МПа. Внутренние дефекты выявляют в специализированных лабораториях. Технический контроль возложен на отдел технического контроля завода.

Тщательному контролю подвергают литейную оснастку (модели, модельные плиты и др.) и весь технологический процесс на всех этапах производства отливок (контроль свойств формовочных и стержневых смесей, уплотнения в форме, качества стержней и правильности их установки, химического состава и технологических свойств сплава, температуры заливки и т. д.).

Дефекты отливок и причины их возникновения. Дефекты отливок по внешним признакам подразделяют на наружные (песчаные раковины, перекося, недолив и др.); внутренние (усадочные и газовые раковины, трещины горячие и холодные и др.).

Песчаные раковины – открытые или закрытые пустоты в теле отливки, которые возникают из-за низкой прочности формы и стержней, слабого уплотнения формы, недостаточного крепления выступающих частей формы и прочих причин.

Перекос – смещение одной части отливки относительно другой, возникающий в результате небрежной сборки формы, износа центрирующих штырей, несоответствия знаковых частей стержня на модели и в стержневом ящике, неправильной установки стержня в форму и других причин.

Недолив – некоторые части отливки остаются незаполненными в связи с низкой температурой заливки, недостаточной жидкотекучестью, недостаточным сечением элементов литниковой системы, неправильной конструкцией отливки (например, малая толщина стенки отливки) и др.

Усадочные раковины – открытые или закрытые пустоты в теле отливки с шероховатой поверхностью и грубокристаллическим строением. Эти дефекты возникают при недостаточном питании массивных узлов, нетехнологичной конструкции отливки, неправильной установке прибылей, заливке перегретым металлом.

Газовые раковины – открытые или закрытые пустоты в теле отливки с чистой и гладкой поверхностью, которые возникают из-за недостаточной газопроницаемости формы и стержней, повышенной влажности формовочных смесей и стержней, насыщенности расплавленного металла газами и др.

Трещины горячие и холодные – разрывы в теле отливки, возникающие при заливке чрезмерно перегретым металлом, из-за неправильной конструкции литниковой системы и прибылей, неправильной конструкции отливки, повышенной неравномерной усадки, низкой податливости форм и стержней и др.

Методы дефектоскопии отливок. Наружные дефекты отливок обнаруживаются внешним осмотром непосредственно после извлечения отливок из формы или после их очистки. Внутренние дефекты отливок выявляются радиографическими или ультразвуковыми методами дефектоскопии.

При использовании радиографических методов (рентгеноскопии, гамма-дефектоскопии) на отливки воздействуют рентгеновским или гамма-излучением. С помощью этих методов выявляют наличие дефекта, размеры и глубину его залегания.

При ультразвуковом контроле ультразвуковая волна, проходящая через стенку отливки, при встрече с границей дефекта (трещиной, раковины и др.) частично отражается. По интенсивности отражения волны судят о наличии, размерах и глубине залегания дефектов. Трещины в отливках выявляют люминесцентным контролем, магнитной или цветной дефектоскопией.

Методы исправления дефектов в отливках.

Незначительные дефекты в ответственных местах отливок исправляют заделкой замазками или мастиками, пропиткой различными составами, газовой или электрической сваркой. Заделка дефектов замазками или мастиками – декоративное исправление мелких поверхностных раковин на отливках. Перед заполнением мастикой дефектные места очищают от грязи и обезжиривают. После заполнения раковин мастикой исправленное место заглаживают, подсушивают и затирают пемзой или графитом.

Пропитывание составами применяют для устранения пористости отливок. С этой целью их погружают на 8...12 ч в водный раствор хлористого аммония. Проникая в промежутки между кристаллами металла, раствор образует оксиды, заполняющие поры отливок. Для устранения течи отливки из цветных сплавов пропитывают бакелитовым лаком.

Газовую и электрическую сварку применяют для исправления дефектов на необрабатываемых поверхностях (раковины, сквозные отверстия, трещины). Дефекты в чугунных отливках заваривают с использованием чугунных электродов и присадочных прутков, в стальных отливках – электродами соответствующего состава. Чугунные отливки перед заваркой нагревают до температуры 350...600°C, а после заварки их медленно охлаждают до температуры окружающей среды. Для лучшей обрабатываемости отливки подвергают отжигу.

Контрольные вопросы:

- 1. Что называют литейным производством?*
- 2. Как подразделяют литейные формы по степени использования?*

3. *Перечислите основные этапы технологического процесса изготовления отливок в разовые формы?*
4. *Какие вы знаете литейные свойства сплавов?*
5. *Какими свойствами должны обладать формовочные смеси?*
6. *Какие вы знаете специальные способы литья?*
7. *Какие технологические требования предъявляются к конструкции отливок?*
8. *Перечислите дефекты отливок и методы их исправления.*

Лекция № 3

Тема: «ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ЗАГОТОВОК ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ. ПРОИЗВОДСТВО ПРОКАТА»

- 1. Введение.*
- 2. Основные законы пластического деформирования.*
- 3. Основные операции пластического деформирования.*
- 4. Прокатка.*
- 5. Оборудование прокатного производства.*
- 6. Производство блюмов, слябов, сортового и листового проката.*
- 7. Производство бесшовных и сварных труб.*

ВВЕДЕНИЕ

Формообразование пластическим деформированием основано на способности заготовок из металлов изменять свою форму без разрушения.

Пластическое деформирование один из основных способов получения заготовок и деталей в машиностроении. Почти 90% всей выплавляемой стали и 60% цветных металлов подвергают тем или иным способам обработки давлением. Широкое применение заготовок и деталей, полученных обработкой давлением, объясняется, прежде всего, их малой стоимостью, большой производительностью изготовления, малой материалоемкостью, высокой точностью и высоким качеством поверхности.

При пластическом деформировании происходит частичное или полное изменение формы заготовки за счет перераспределения объема под действием внешних сил. При этом первоначальная масса металла, претерпевшего формообразования, остается неизменной. Пластическое деформирование может проводиться в холодном, либо в горячем состоянии металла. К этому виду обработки относят ковку; листовую и объемную штамповку; прокатку; волочение;

прессование; штамповку взрывом, импульсным магнитным полем, эластичными рабочими средами и др.

Обработкой давлением могут быть получены заготовки или детали из материалов, обладающих пластичностью.

В основе физической сущности различных видов пластического деформирования лежат общие закономерности, на основании которых возможно управление физическими свойствами деталей и процессами формообразования.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

1. Закон постоянства объема. Объем металла при его пластическом деформировании остается неизменным.

2. Закон наличия упругой деформации при пластическом деформировании. При любом пластическом деформировании общая деформация складывается из упругой и остаточной.

3. Закон остаточных напряжений. При обработке давлением однородная пластическая деформация практически не имеет места, хотя при решении она принимается равномерной. Неоднородность деформаций обусловлена контактным трением, неравномерным распределением температур, неоднородностью химического состава и механических свойств, формой деформируемого тела и деформирующего инструмента. При неравномерной деформации отдельные зерна деформируются по-разному. Однако благодаря связи между собой они не могут самостоятельно изменять размеры. В результате взаимного влияния возникают напряжения со стороны более деформированных участков, которые будут увеличивать деформацию менее деформированных участков и наоборот. Эти напряжения называются дополнительными. Дополнительные напряжения бывают трех видов:

– напряжения первого рода, уравнивающиеся между отдельными частями тела;

– напряжения второго рода, уравнивающиеся между отдельными зернами;

– напряжения третьего рода, уравнивающиеся между отдельными элементами зерна.

После снятия деформирующего усилия дополнительные напряжения остаются в металле; в этом случае их называют остаточными, их характеристика аналогична характеристике дополнительных напряжений. Остаточные напряжения можно полностью или частично снять при нагреве металла:

– при температурах нагрева выше температуры возврата и ниже температуры рекристаллизации снимают остаточные напряжения второго и первого родов;

– при температуре рекристаллизации снимают остаточные напряжения третьего, второго и первого родов.

ОСНОВНЫЕ ОПЕРАЦИИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Операции пластического деформирования классифицируют в зависимости от используемого инструмента, оборудования, температуры обрабатываемого металла и других признаков. В зависимости от применяемого инструмента, деформирующего металл, различают штамповую и бесштамповую обработку.

При штамповой обработке на машине используют специальный инструмент – штамп. С помощью штампа можно получать изделия одинаковых размеров. При бесштамповой обработке на машине используют универсальный деформирующий инструмент, позволяющий получать различные размеры и формы заготовок изделий.

К операциям штамповой обработки относят объемную и листовую штамповку. При операциях листовой штамповки исходная заготовка деформируется из листового металла и в процессе пластического деформирования ее толщина не меняется или изменяется незначительно. При операциях объемной штамповки размеры исходной заготовки значительно изменяются по трем направлениям.

Основными операциями бесштамповой обработки являются прокатка, ковка, волочение, прессование.

ПРОКАТКА

Прокаткой называют вид обработки давлением, при котором металл пластически деформируется вращающимися гладкими или имеющими соответствующие канавки (ручьи) валками. Взаимное расположение валков и заготовки, форма и число валков могут быть различными. При этом получают *прокат* – готовые изделия или заготовки для последующей обработки ковкой, штамповкой, прессованием, волочением, резанием. В прокат перерабатывают до 80% всей выплавляемой стали и большую часть цветных металлов и сплавов. Его используют в машиностроении, строительстве и других отраслях промышленности.

Виды прокатки. Существуют три основных вида прокатки: продольная, поперечная и поперечно-винтовая (рис.3.1).

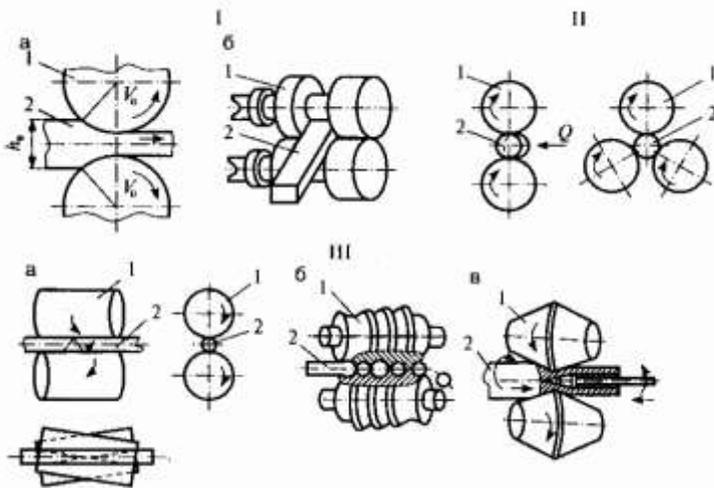


Рис. 3.1. Основные виды прокатки: I – продольная прокатка: а – в гладких валках; б – в калибрах; II – поперечная прокатка; III – поперечно-винтовая прокатка: а – в гладких валках; б – в спиральных валках; в – винтовая (косая) прокатка труб

При *продольной прокатке* (рис. 3.1, I) заготовка 2 деформируется между гладкими или имеющими калибры валками 1, вращающимися в противоположные стороны, и перемещается перпендикулярно к осям валков.

При *поперечной прокатке* (рис. 3.1, II) валки 1 вращаются в одном направлении, оси их параллельны, а заготовка 2 деформируется ими, вращаясь вокруг своей оси.

При *поперечно-винтовой (косой) прокатке* (рис. 3.1, III) валки 1 вращаются в одном направлении, оси их расположены под некоторым углом, благодаря чему заготовка 2 деформируется валками и при этом не только вращается, но и перемещается поступательно вдоль своей оси.

ОБОРУДОВАНИЕ ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Прокатным станом называется технологический комплекс последовательно расположенных машин и агрегатов, предназначенных для пластической деформации металла в валках, дальнейшей его обработки, отделки и транспортировки. Высокая производительность прокатных станов определяется тем, что в них совмещены рабочие и транспортные операции и процесс обработки можно вести непрерывно.

Использование полученного со станов фасонного и листового проката в качестве заготовок под штамповку резко повышает производительность штамповочного оборудования, снижает отходы металла.

Различают станы продольной, поперечной и поперечно-винтовой прокатки.

На *станах продольной прокатки* получают листовой и сортовой прокат.

Станы поперечной прокатки служат для получения заготовок в форме тел вращения. На станах поперечной прокатки получают заготовки зубчатых колес, шаров и других деталей.

Станы *поперечно-винтовой прокатки* используются для производства заготовок осей, шпинделей зубчатых колес, труб и других деталей.

Комплект прокатных валков со станиной называется *рабочей клетью*.

На рис. 3.2. представлена кинематическая схема оборудования для деформации прокатываемого металла в валках.

В рабочей клетии 1 в подушках с подшипниками расположены валки 2, вращательное движение на которые передается от главного электродвигателя 7 через редуктор 6, муфты 5, шестеренную клетку 4 и шпиндели 3.

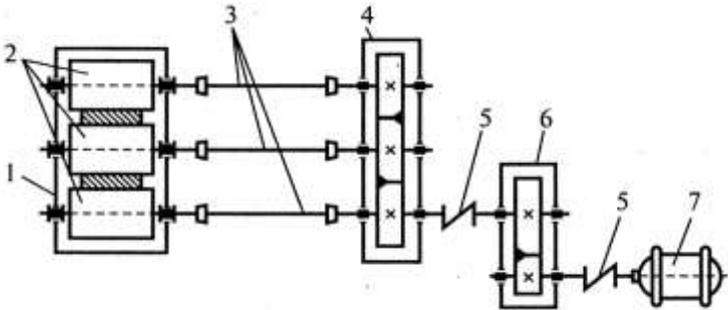


Рис. 3.2. Кинематическая схема прокатного стана: 1 – рабочая клетка, 2 – валки, 3 – шпиндели, 4 – шестеренная клетка, 5 – муфты, 6 – редуктор, 7 – электродвигатель

В зависимости от конструкции и расположения валков рабочие клетки прокатных станов подразделяются на шесть групп: *дуо*; *трио*; *кварто*; *многовалковые*; *универсальные* и *специальной конструкции* (рис. 3.3).

Клетки *дуо* (двухвалковые) бывают реверсивные (прокатка ведется в две стороны) и нереверсивные (прокатка ведется в одну сторону).

Клетки *трио* чаще нереверсивные. Прокатка на таких станах ведется вперед между нижним и средним валком и назад между верхним и средним. Различают клетки трио сортовые – все валки приводные, имеющие одинаковый диаметр, и листовые – средний валок у которых меньшего диаметра и является

холостым; при прокатке он прижимается то к верхнему, то к нижнему валку, за счет чего получает вращение.

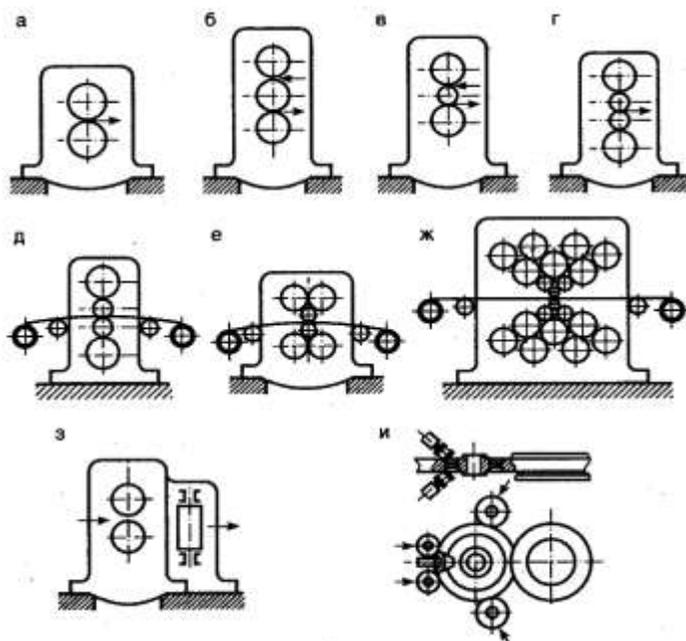


Рис. 3.3. Классификация рабочих клеток: а – дуо; б – трио сортовые; в – трио листовые; г – кварто листовые; д – кварто для прокатки рулонов; е – многовалковая (шестивалковая); ж – многовалковая (двадцативалковая); з – универсальная; и – специальная (колесопрокатная); 1 – разматыватель рулонов; 2 – моталка, создающая натяжение

Клетки *кварто* имеют четыре валка, расположенные друг над другом, и из них два рабочих валка меньшего диаметра и два опорных – большего диаметра. Различают листовые клетки кварто, применяемые для прокатки толстых листов, полос и броневых плит, и клетки кварто для прокатки рулонов. Последние применяются в станах холодной и горячей прокатки тонких листов, полос, лент, причем перед клетью может

устанавливаться разматыватель рулонов, а сзади моталка, создающая натяжение полосы.

Многовалковые клетки имеют пять и более валков. Благодаря жесткости и относительно малому прогибу опорных валков на этих клетях производится холодная прокатка тонких полос и узких лент с малым допуском по толщине. *Универсальные* клетки имеют горизонтальные и вертикальные валки: последние обеспечивают обжатие металла в поперечном направлении. Вертикальные валки располагаются, как правило, с передней стороны.

К клетям *специальной конструкции* относятся клетки прокатных станов узкого назначения: колеснопрокатных, кольцепрокатных, шаропркатных, станов для прокатки профилей переменного сечения.

В зависимости от назначения прокатные станы можно подразделить на следующие группы: заготовочные, рельсовые, толстолистовые, среднелистовые, тонколистовые, непрерывные листовые (широкополосные) и штрипсовые (производящие штрипс-заготовку для труб в виде полосы шириной до 300 мм).

Основным параметром обжимных и сортовых станов продольной прокатки обычно является диаметр валков. Основным параметром листовых станов является длина бочек валка, которая определяет максимальную ширину прокатываемых листов и полос. Основным параметром трубных и специальных станов является максимальный размер прокатываемого на стане изделия.

ПРОИЗВОДСТВО БЛЮМОВ, СЛЯБОВ, ЛИСТОВОГО И СОРТОВОГО ПРОКАТА

Исходными заготовками при производстве сортового проката или листов являются слитки. Перед прокаткой слитки подогревают до температуры 1300°C.

На рис. 3.4. приведена схема производства сортового проката.

Исходные заготовки – стальные слитки массой до 60 т – нагревают в нагревательных колодцах 1 и подают на слитковоз, который привозит и укладывает слиток 2 на приемный рольганг

блюминга 3, после прокатки на котором получают полупродукт квадратного сечения (от 140x140 до 400x400 мм), называемый *блужом* 4. Блуж, двигаясь по рольгангу, проходит машину огневой зачистки, где производится зачистка поверхностных дефектов, и подается к ножницам, где режется на мерные заготовки. Далее блуж поступает, иногда после дополнительного нагрева, на заготовочный стан 5, где производится прокатка на блужы сечением от 50x50 до 150x150 мм и затем непосредственно на сортопрокатный стан. Для получения требуемого профиля заготовка проходит ряд клетей.

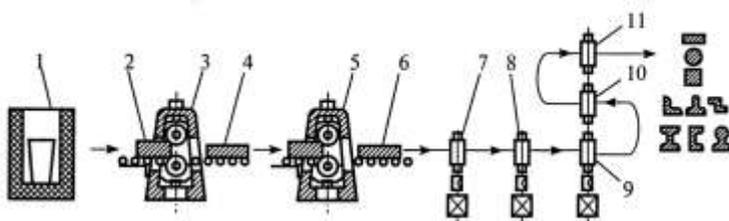


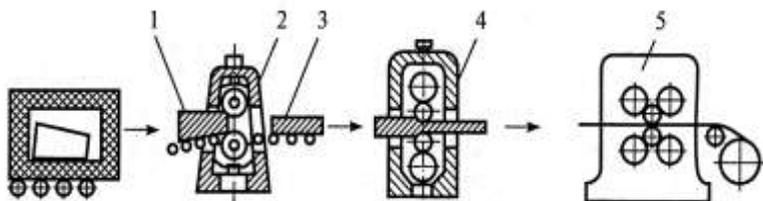
Рис. 3.4. Схема прокатного производства сортового проката: 1 – нагревательный колодец; 2 – слиток; 3 – блюминг; 4 – блуж; 5 – заготовочный стан; 6 – блуж меньшего сечения; 7, 8, 9, 10, 11 – клетки сортопрокатного стана

На рис. 3.4. представлено полунепрерывное расположение клетей сортопрокатного стана. В первой группе (7, 8, 9) заготовка прокатывается непрерывно, т.е. находится в них одновременно, а во второй группе (10, 11) осуществляется последовательная прокатка. Полученный прокат требуемого профиля разрезают на заданную длину, охлаждают, правят в холодном состоянии, обрабатывают термически и удаляют поверхностные дефекты.

На рис. 3.5 приведена схема прокатки листов.

Нагретый слиток 1 массой до 50 т подается на обжимной универсальный стан – *слябинг* 2 для прокатки в *слябы* 3, которые имеют прямоугольное сечение размером от 90x1000 до 250x1800 мм и длиной 1,5...5,5 м. Процесс прокатки на слябинге в основном аналогичен процессу прокатки на блюминге. После

15...21 проходов металл поступает в машину огневой очистки для зачистки поверхностных дефектов, затем его транспортируют к ножницам и далее – на листовые станы. Листовые станы состоят из двух рабочих клеток – черновой 4 и листовой 5, расположенных друг за другом. По выходе из чистовой клетки толщина листа достигает 4 мм, затем листы подвергают охлаждению, правке в листопрямильных машинах, обрезке боковых кромок и резке на мерные длины или сматывают в рулон.



*Рис. 3.5. Схема прокатного производства листового проката:
1 – слиток; 2 – слябинг; 3 – слябы; 4 – рабочая черновая клеть;
5 – рабочая чистовая клеть*

ПРОИЗВОДСТВО БЕСШОВНЫХ ТРУБ

В качестве заготовок для производства *бесшовных труб* используют слитки, а также катанные заготовки. Процесс прокатки состоит из двух основных операций: прошивки отверстия в заготовке и прокатки прошитой заготовки.

На рис. 3.6. представлена схема производства бесшовных труб на установке с пилигримовым станом.

Прошивку выполняют на прошивном стане поперечно-винтовой прокатки двумя конусообразными рабочими валками 2, оси которых пересекаются под углом $6...12^{\circ}$. В валках такого стана заготовка 1 получает одновременно вращательное и поступательное движение. При этом в заготовке возникают радиальные растягивающие напряжения, вызывающие течение металла от ее центра и периферии, в результате чего металл в центре заготовки доводится до состояния разрыхления, и

заготовка сравнительно легко прошивается прошивнем (иглой) 3 с образованием трубной заготовки – гильзы, которая передается к пилигримовым станам. Рабочие валки 4 пилигримового стана вращаются в разные стороны с одинаковой скоростью. При этом направление вращения валков противоположно направлению подачи заготовки 5. Валки имеют переменный профиль, вследствие чего сечение калибра непрерывно изменяется при каждом обороте валков. При максимальном размере калибра заготовка с оправкой 6 продвигается в валки на величину подачи. После того, как валки сделают полный оборот и возвратятся в исходное положение, оправку с заготовкой поворачивают на 90^0 и снова подают в валки для обжатия. Этот цикл повторяется до получения трубы требуемых размеров. В современных условиях применяется многовалковый калибровочный стан для одновременной калибровки и правки труб. Трубы после калибровки поступают на оборудование для отделки и контроля качества. На установках с пилигримовым станом получают трубы различного назначения: бурильные, насосно-компрессорные, нефте-, газо- и паропроводные из углеродистых и низколегированных сталей.

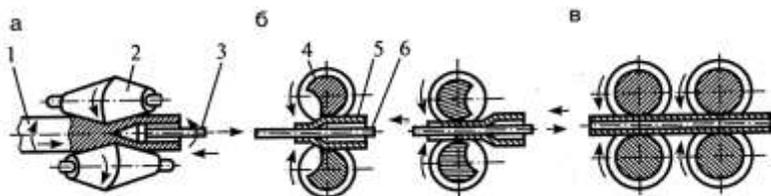


Рис. 3.6. Схема прокатки бесшовных труб на трубопрокатной установке с пилигримовым станом: а – прошивной стан; б – пилигримовый стан; в – калибровочный стан; 1 – заготовка; 2 – валки; 3 – игла; 4 – рабочие валки пилигримового стана; 5 – заготовка; 6 – заготовка с оправкой; 7 – калибровочные валки

На рис 3.7. представлена схема установки с автоматическим станом.

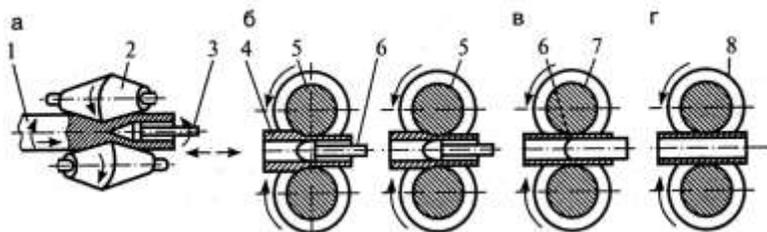


Рис. 3.7. Схема прокатки бесшовных труб на трубопрокатной установке с автоматическим станом: а – прошивной стан; б – автоматический стан; в – обкатной стан; г – калибровочный стан; 1 – заготовка; 2 – валки; 3 – игла; 4 – труба; 5 – круглые калибры; 6 – оправка; 7 – обкатные валки; 8 – калибровочные валки

Прокатку заготовки 1, прошитой на прошивном стане, производят на неподвижной оправке в круглых калибрах 5. Толщина стенки трубы 4 зависит от просвета между калибром и оправкой 6. При получении требуемой толщины стенки наружный диаметр трубы уменьшается. Прокатку выполняют за два прохода с поворотом трубы на 90^0 после первого прохода.

Для устранения неровностей, рисок, овальности и неравномерной толщины стенок полученную трубу обкатывают в обкатном стане и для получения заданных размеров пропускают через калибровочный стан. На этой установке получают трубы диаметром 60...426 мм с толщиной стенки 4...13 мм.

ПРОИЗВОДСТВО СВАРНЫХ ТРУБ

Сварные трубы из низколегированных и низкоуглеродистых сталей прокатывают из прокатных полос, называемых *штрипсами*, ширина которых равна длине окружности трубы. Процесс производства сварных труб включает в себя формовку плоской заготовки в трубу, сварку (печную, электрическую, газовую, высокочастотную и др.), правку, калибровку (рис. 3.8).

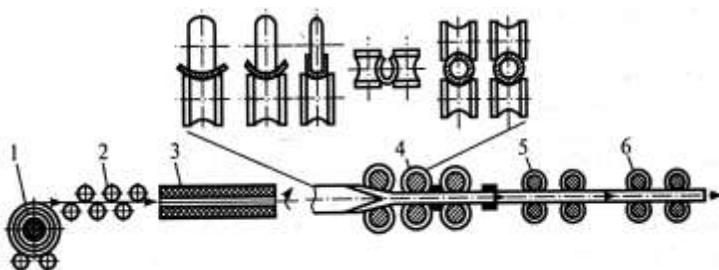


Рис. 3.8. Схема производства труб непрерывной печной сваркой: 1 – штрипс в рулонах; 2 – тянущие ролики; 3 – нагревательная печь; 4 – формовочно-сварочный стан; 5 – клетки редукционного стана; 6 – клетки калибровочного стана

Для получения сварных труб заготовкой служит горячекатаный штрипс в рулонах 1, который своим передним концом сваривается с задним концом штрипса предыдущего рулона. Подача концов штрипсов к месту сварки производится при помощи тянущих роликов листопрямильной машины 2. Непрерывный штрипс проходит через нагревательную печь тоннельного типа 3, где нагревается до температуры 1320...1400°С.

При выходе из печи штрипс обдувается сжатым воздухом, что повышает температуру кромок на 60...100°С и сбивает окалину. Непосредственно за печью устанавливается многоклетневой формовочно-сварочный стан 4, в клетях которого штрипс сворачивается в полный круг, кромки сжимаются и свариваются. В последующих клетях происходит обжатие трубы. Для получения трубы требуемого размера и качества поверхности она прокатывается в клетях редукционного 5 и калибровочного 6 станов. Процесс осуществляется со скоростью 200 м/мин.

Контрольные вопросы:

- 1. Назовите основные законы пластического деформирования.*
- 2. Перечислите операции штамповой и бесштамповой обработки.*

3. *Что называется прокаткой?*
4. *Виды прокатки.*
5. *Что называется прокатным станом?*
6. *Что такое рабочая клеть?*
7. *Что называют блюмом, слябом?*
8. *На каких станах получают бесшовные и сварные трубы?*

Лекция № 4

Тема: «ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОКОВОК»

- 1. Введение.*
- 2. Ковка.*
- 3. Оборудование для машинной ковки.*
- 4. Штамповка.*
- 5. Горячая объемная штамповка.*
- 6. Разработка технологического процесса горячей объемной штамповки.*
- 7. Оборудование для горячей объемной штамповки.*
- 8. Холодная объемная штамповка.*

ВВЕДЕНИЕ

Поковка – это изделие, полученное в результате ковки, объемной штамповки. В современном машиностроении около 20% всех деталей получают из поковок. Поковки могут иметь разнообразную форму и массу от нескольких граммов до 500 т, размерами от сантиметров до десятков метров. Например, детали швейных машин, оси, шатуны, валы, рычаги, валы мощных гидрогенераторов и турбин, сосуды и котлы высокого давления, барабаны, кольца, крупные пустотелые поковки, сусальное золото и др.

В зависимости от объема производства, массы, конфигурации и материала поковок, технических требований к поковкам, производственных условий и других факторов ковки получают либо методами ковки, либо объемной штамповкой.

Мелкие поковки массой менее 50 кг и средние массой 50...400 кг в единичном и мелкосерийном производстве выполняют ковкой, поскольку их изготовление штамповкой экономически нецелесообразно из-за высокой стоимости и длительности изготовления штампов.

Поковки, полученные штамповкой имеют достаточно высокую точность и качество поверхности. Однако применение

объемной штамповки целесообразно лишь при крупносерийном и массовом производстве поковок, так как только тогда оправдаются затраты на дорогостоящие штампы.

Для изготовления поковок используют слитки, блюмы и сортовой прокат.

КОВКА

Ковкой называют вид обработки давлением, при котором универсальный инструмент (боек) оказывает многократное воздействие на нагретую заготовку, в результате чего она, деформируясь, приобретает заданные форму и размеры. Ковка предназначена для придания заготовке формы, приближенной к форме готовой детали. Одновременно с этим при ковке улучшаются механические свойства металла исходной заготовки.

Преимуществаковки перед литьем, резанием, штамповкой заключается в отсутствии затрат на дорогостоящую технологическую оснастку, возможность получения крупных деталей. К недостаткам свободнойковки относятся сравнительно низкая производительность труда, повышенный расход металла из-за недостаточной точности.

Различаютковку ручную, применяемую иногда при мелких ремонтных работах и выполняемую с помощью наковальни и кузнечного инструмента, и машинную, осуществляемую с помощью молотов и прессов.

К основным операциям машиннойковки относятся осадка, протяжка, прошивка, гибка, сварка, скручивание, отрубка, раскатка и др. (рис.4.1).

Осадка – уменьшение высоты заготовки при увеличении площади ее поперечного сечения. Осадку производят бойками или осадочными плитами. Осадкой на плоских плитах получают плоские поковки, на плитах с отверстием – поковки деталей типа зубчатых колес, фланцев и дисков с бобышками.

Протяжка – удлинение заготовки или ее части за счет уменьшения площади поперечного сечения. Эта операция применяется при изготовлении поковок с удлиненной осью – шатунов, тяг, гладких и ступенчатых валов и др.

Прошивка – получение полостей или отверстий в заготовке за счет вытеснения металла.

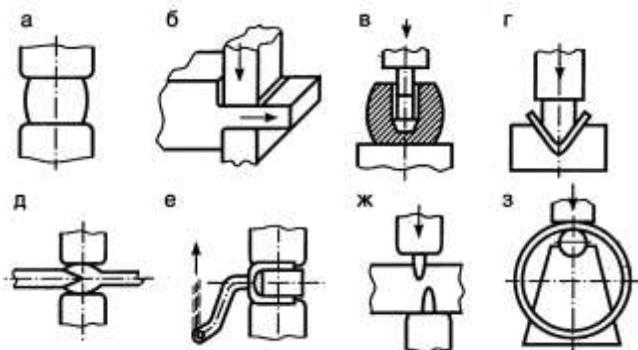


Рис. 4.1. Схема основных операций машиннойковки: а – осадка; в – протяжка; в – прошивка; г – гибка; д – сварка; е – скручивание; ж – отрубка; з – раскатка

Гибка – образование или изменение углов между частями заготовки или придание ей криволинейной формы.

Сварка – создание неразъемного соединения путем совместного пластического деформирования предварительно нагретых заготовок.

Скручивание – поворот части заготовки вокруг продольной оси. Осуществляют ее, например, при развороте колен коленчатых валов.

Отрубка – полное отделение части заготовки по незамкнутому контуру путем внедрения в заготовку деформирующего инструмента.

Раскатка – увеличение диаметра заготовки за счет уменьшения ее толщины с помощью бойка и оправки.

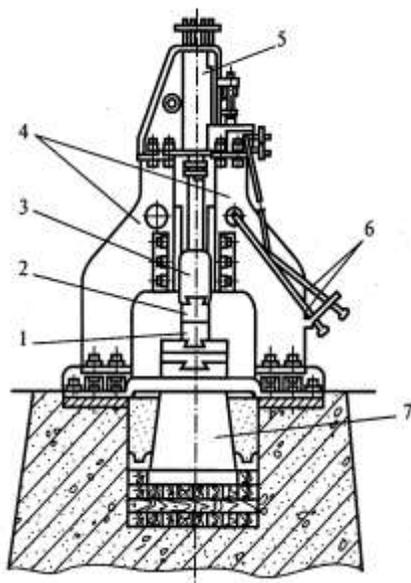
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МАШИННОЙ КОВКИ

Молотами называются кузнечные машины, предназначенные для обработки металлов ударами падающих частей (штока, бабы, верхнего подвижного бойка).

В зависимости от привода, молоты бывают пневматическими, паровоздушными, механическими, гидравлическим, газовыми и др.

Паровоздушные молоты для совершения работы деформации заготовок используют энергию пара или сжатого воздуха. Пар поступает к молоту от парового котла, сжатый воздух подается по трубопроводу от компрессора.

На *ковочных молотах* изготавливаются ковкой или в подкладных штампах поковки малой и средней массы. Наиболее широко применяются молоты с массой падающих частей 0,5...5 т. Если для изготовления поковки требуется молот с массой падающих частей больше 5 т, целесообразно использовать ковочные прессы. На ковочных молотах можно обрабатывать слитки массой до 2 т (рис. 4.2.).



*Рис. 4.2. Паровоздушный ковочный молот арочного типа:
1 – нижний боек; 2 – верхний боек; 3 – подвижные части;
4 – станина; 5 – цилиндр; 6 – рукоятка управления; 7 – шабот*

По способу использования пара или сжатого воздуха паровоздушные молоты делятся на молоты одностороннего и двустороннего действия.

В молотах одностороннего действия пар (сжатый воздух) служит только для подъема падающих частей в верхнее положение. Рабочий ход (ход вниз) совершается в этих молотах только под действием веса падающих частей (рис. 4.3).

В молотах одностороннего действия рабочий цикл начинается с подачи пара или сжатого воздуха из магистрали в нижнюю полость рабочего цилиндра 2. Действуя на поршень 3, энергоноситель заставляет его двигаться вверх. С поршнем 3 связан шток 4, к нижнему концу которого крепится баба 5. На бабе 5 устанавливается верхний боек 6. На бабе 5 устанавливается верхний боек 6.

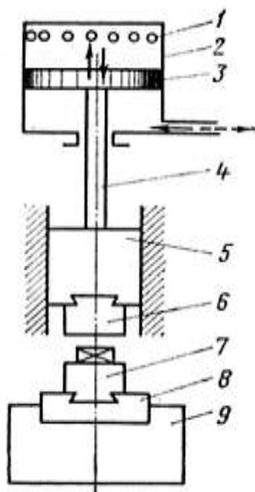


Рис. 4.3. Схема паровоздушного молота одностороннего действия: 1 – отверстие для прохода воздуха; 2 – рабочий цилиндр; 3 – поршень; 4 – шток; 5 – баба; 6 – верхний боек (штамп); 7 – нижний боек (штамп), 8 – штамповая подушка; 9 – шабот

Таким образом, при впуске пара или сжатого воздуха все падающие части поднимаются вверх. Вблизи верхней крышки по окружности цилиндра расположены отверстия 1, через которые воздух, находящийся над поршнем, выходит в атмосферу. Когда поршень 3, поднимаясь вверх, доходит до отверстий 1 и перекрывает их, над поршнем оказывается замкнутое пространство. При дальнейшем ходе поршня вверх воздух, находящийся в этом пространстве, будет сжиматься. Таким образом, создается воздушная подушка, которая обеспечивает плавное торможение поршня в верхнем положении. Когда баба поднимется на достаточную высоту, парораспределительный механизм прекращает подачу энергоносителя в цилиндр и воздух из-под поршня выпускается в атмосферу. Давление в цилиндре резко уменьшается. Под действием собственного веса подвижные части падают вниз и боек 6 ударяет по заготовке, которая укладывается в нижний боек 7 (штамп). Он укрепляется в штамповой подушке 8, лежащей на шаботе 9.

Более совершенные – молоты двустороннего действия. В молотах двустороннего действия пар или сжатый воздух не только поднимает части в верхнее положение, но и давит сверху на поршень при рабочем ходе (рис. 4.4).

В молотах двустороннего действия энергоноситель подается в нижнюю и верхнюю полости рабочего цилиндра. Поступление его регулируется специальным распределительным элементом – золотником, который в определенных положениях впускает энергоноситель в цилиндр и прекращает его подачу. На рис. 4.4. паровоздушный молот двустороннего действия схематично показан в состоянии хода бабы 3 вниз для удара. Энергоноситель поступает в верхнюю полость цилиндра, а из нижней полости происходит выхлоп. Ход бабы вверх осуществляется так же, как и у молота одностороннего действия.

Пневматические молоты приводятся в действие сжатым воздухом, поступающим не из цеховой магистрали, а от компрессорного цилиндра, размещенного в самом молоте.

Гидравлические и газогидравлические молоты по принципу действия и назначению аналогичны паровоздушным.

В гидравлических молотах для разгона рабочих масс и возвратного хода используется жидкость.

В газогидравлических для разгона рабочих масс используется энергия сжатого газа (азота или воздуха), а для возвратного хода – энергия сжатой жидкости. В качестве жидкостей применяются минеральные масла, невоспламеняющиеся синтетические жидкости и водно-масляные эмульсии (с антикоррозионными присадками).

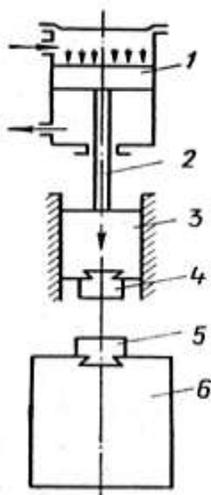


Рис. 4.4. Схема паровоздушного молота двустороннего действия: 1 – поршень; 2 – шток; 3 – баба; 4 – верхний боек (штамп); 5 – нижний боек (штамп); 6 – шабот

Действие взрывных молотов основано на разгоне ударных частей за счет энергии, выделяющейся при быстром сгорании (взрыве) твердых, газообразных или жидкостных энергоносителей.

ШТАМПОВКА

Объемная штамповка – вид обработки металлов давлением, при котором формообразование поковки

осуществляется пластическим деформированием заготовки в специальном инструменте – штампе. Полости в верхней и нижней частях штампа называют ручьями штампа.

Течение металла в штампе ограничивается поверхностями полости штампа, и в конечный момент штамповки при смыкании они образуют единую замкнутую полость, соответствующую по конфигурации поковке.

Различают *горячую и холодную объемные штамповки*.

ГОРЯЧАЯ ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА

Исходным материалом для *горячей объемной штамповки* служат прокатные или прессованные прутки круглого, квадратного или прямоугольного сечения. Штамповке подвергают чаще всего углеродистые или низколегированные стали, реже цветные металлы и сплавы. Большинство сплавов цветных металлов (алюминиевых, магниевых, медных) плохо деформируются при высоких скоростях (на молотах), так как процессы разупрочнения (возврат и рекристаллизация) у них протекают медленно. Поэтому, например, медные и магниевые сплавы обрабатывают только на гидравлических прессах.

Для повышения пластичности и снижения сопротивления деформированию металл необходимо нагреть до температур рекристаллизации (до 1300°С и более). Оборудование, применяемое для нагрева заготовок, подразделяется на нагревательные печи (камерные и методические печи) и электронагревательные устройства (установки индукционного и электроконтактного нагрева).

Основными достоинствами горячей объемной штамповки являются:

1. Высокая производительность – до сотен поковок в час.
2. Меньшие припуски и допуски, чем при ковке. Это приводит к упрощению механической обработки и снижению ее трудоемкости. У таких деталей часто обрабатываются только сопрягаемые поверхности.
3. Квалификация штамповщика может быть существенно меньшей, чем кузнеца.

Недостатки:

1. Для горячей объемной штамповки требуются значительно большие усилия, чем при ковке одностипных деталей. Это связано с тем, что при штамповке течение металла затруднено трением о стенки ручья и тем, что деформации одновременно подвергаются большие объемы заготовки.

2. Масса штампованных поковок ограничивается мощностью оборудования, обычно это 100...200 кг.

Процесс штамповки выполняется в зависимости от вида поковки, рода материала и характера производства на различного вида установках: на молотах, прессах, горизонтально-ковочных машинах (ГКМ), горячештамповочных кривошипных прессах (ГШКП), ковочных вальцах, ротационно-обжимных машинах и другом оборудовании.

Основные штамповочные операции – пробивка, обрезка, надрубка, отрубка, разрубка, ломка, калибровка (повышение точности размеров штампованной заготовки и уменьшение шероховатости ее поверхности), выдавливание, редуцирование (уменьшение площади поперечного сечения заготовки при проталкивании ее через калибрующую матрицу усилием, направленным вдоль оси заготовки), прошивка, протяжка, осадка, высадка, раскатка, обкатка, подкатка, разгонка, радиальное обжатие, проглаживание, передача (смещение одной части заготовки относительно другой), накатка и др.

В зависимости от типа штампа горячую объемную штамповку подразделяют на штамповку в открытых штампах, штамповку в закрытых штампах и в штампах для выдавливания.

Штамповка в открытых штампах. Открытым называют штамп, состоящий из двух половин, у которого вдоль внешнего контура штамповочного ручья имеется облойная канавка, выполненная в виде углубления небольшой высоты (рис. 4.5). При штамповке в облойную канавку вытекает избыточный металл заготовки, который образует на поковке облой, компенсирующий неточность объема исходной заготовки. Облой после штамповки удаляется на кривошипных, гидравлических прессах и на обрезных штампах.

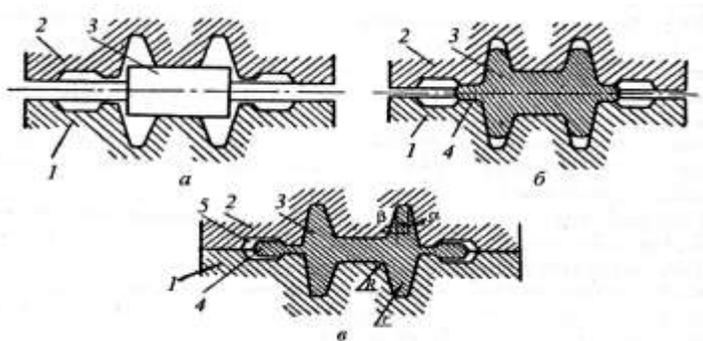


Рис. 4.5. Штамповка в открытом штампе: а – начальная стадия; б – стадия образования заусенца; в – конечная стадия штамповки; 1, 2 – нижняя и верхняя половины штампа; 3 – исходная заготовка; 4 – заусенец; 5 – заусеничная канавка

Штамповка в закрытых штампах характеризуется тем, что в процессе формообразования поковки весь объем металла заготовки заполняет полость штампа без образования облоя. Закрытым называют штамп, состоящий из двух половин, в котором металл деформируется в замкнутом пространстве ручья (рис. 4.6). При безоблойной штамповке поковки получают с более благоприятной структурой, расход металла меньше, отсутствуют затраты, связанные с обрезкой облоя. Однако для такой штамповки требуются точные по массе заготовки, себестоимость закрытого штампа больше, чем у открытого. Поковки простой конфигурации штампуют в одноручьевых штампах. Поковки сложной конфигурации штампуют в многоручьевых штампах, постепенно приближая заготовку к форме поковки в подготовительных ручьях, прежде, чем произвести окончательное формообразование в штамповочном ручье.

Пример штамповки в многоручьевом штампе на молоте поковки рычага из прутка круглого сечения показан на рис. 4.7. Нагретая заготовка деформируется сначала в заготовительном ручье 1, служащем для уменьшения площади поперечного сечения на нужном участке заготовки и увеличения ее длины.

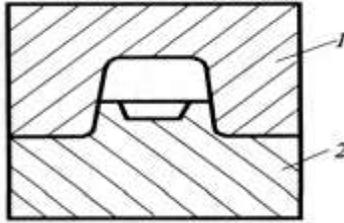


Рис. 4.6. Штамповка в закрытом штампе: 1, 2 – верхняя и нижняя части штампа

Протянутую заготовку перекадывают в подкатной ручей 2, который служит для увеличения размеров сечения на нужных участках и перераспределения объема металла вдоль оси заготовки в соответствии с распределением его в поковке. В этом ручье после каждого удара заготовку кантуют на 90° .



Рис. 4.7. Стадии получения сложной поковки в нескольких ручьях: 1 – заготовительный протяжной ручей; 2 – подкатной ручей; 3 – гибочный ручей; 4 – предварительный ручей; 5 – окончательный ручей; 6 – отрубной ручей

Затем заготовку передают в гибочный ручей 3, где за один удар ей придают форму, соответствующую форме поковки в

плоскости разъема. После гибки заготовку деформируют в предварительном ручье 4 для максимального приближения ее формы к форме поковки. В этом ручье отсутствует облойная канавка. Штамповку заканчивают в окончательном (чистовом) ручье 5, в котором поковке придают окончательную форму и размеры, а излишек металла выдавливается в облойную канавку. Полученную поковку с облоем отделяют от прутка в отрубном ручье 6.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

При разработке технологического процесса штамповки в первую очередь анализируется *чертеж готовой детали*, затем на основании чертежа детали составляют *чертеж поковки*.

Основные этапы технологического процесса:

- выбор плоскости разъема;
- назначение припусков, допусков и напусков;
- определение штамповочных уклонов;
- определение радиусов закруглений;
- в поковках с отверстиями конструируют наметку под прошивку;
- конструирование штампа с учетом приемов штамповки, расположения баз последующей механической обработки.

Составление чертежа поковки начинается:

1. С установления поверхности разъема штампа. *Поверхностью разъема* называется поверхность, по которой верхняя и нижняя половины штампа соприкасаются между собой. Поверхность разъема выбирают с учетом возможности свободного извлечения поковки из штампа; расположения более глубоких и труднозаполняемых полостей в верхней части молотового штампа (так как при штамповке под молотом металл лучше течет вверх); требуемой направленности волокон в поковке; возможности обнаружения сдвига верхней части поковки относительно нижней в результате неправильной установки штампов или их смещения в процессе штамповки.

2. *Припуски, допуски, напуски* на стальные штампованные поковки назначают по ГОСТ 7505-89. Размеры на чертежах

поковки наносят от исходных баз механической обработки (опорных точек и мест крепления поковки при начальной операции ее обработки резанием), согласованные между изготовителем и потребителем. При первом варианте неточности изготовления ручья штампа суммируются и поэтому допускаемое отклонение по всей длине выдержать труднее. При ведении отсчета размеров от одной базы точность изготовления будет выше.

Припуски на механическую обработку включают дефективный слой металла, вмятины от окалины, искривление поковки, обезуглероженный слой. Этот дефектный слой удаляется при механической обработке.

Допуски учитывают недоштамповку поковки по высоте, износ ручья штампов и другие факторы. При назначении припуска и допуска учитывают следующие факторы: массу поковки, требуемую точность изготовления (Т1...Т5), группу стали (М1, М2, М3), степень сложности (С1...С4), ее размеры и качество поверхности.

Ориентировочную величину *массы поковки* вычисляют по формуле:

$$M_n = M_d K_p,$$

где K_p – расчетный коэффициент.

Класс точности Т1, Т2, Т3, Т4, Т5 устанавливается в зависимости от технологического процесса и оборудования для ее изготовления.

Группы стали М1, М2, М3, влияющие на величину припуска и допуска, различаются в зависимости от химического состава.

Степень сложности С1, С2, С3, С4 штампованных поковки определяют отношением объема поковки к объему фигуры, в которую вписывается поковка по ее максимальным размерам:

$$C = V_{\text{пок}} / V_{\text{фиг..}}$$

Охватывающей фигурой может быть цилиндр или параллелепипед. Степень сложности поковки определяется по приложению 2 в ГОСТе 7505-89.

Для поковок, изготавливаемых на молотах и прессах, дополнительным признаком, определяющим степень сложности, являются размеры выступов: высота h и основание b . Поковки типа тел вращения с тонкими элементами, когда $h < 0,2d$, имеют степень сложности С4.

3. *Штамповочные уклоны* необходимы для облегчения заполнения полости штампа металлом и извлечения из нее поковки. Их назначают на поверхности поковок, расположенных параллельно направлению движения деформирующего инструмента. Величина уклонов характеризуется углами α и β (внешние и внутренние уклоны, причем $\alpha > \beta$). С точки зрения экономии металла эти углы должны быть минимальными, так как они дополняют припуски (являются напусками). Наружные уклоны в большинстве случаев составляют $5\dots7^\circ$, внутренние $7\dots10^\circ$.

Сплошными линиями изображен контур горячей поковки, а штриховыми – остывшей.

4. *Радиусы закруглений* назначают между поверхностями поковок в переходах с одной на другую. Радиусы закруглений подразделяются на наружные и внутренние.

Закругления радиусами r , центры которых находятся внутри контура поковки относятся к наружным, а закругления радиусами R с центрами вне контура поковки – к внутренним. Радиусы внутренних закруглений должны быть в $2\dots3$ раза больше наружных ($R > r$).

Радиусы закруглений необходимы для лучшего заполнения полости штампа и предотвращения его от преждевременной поломки, уменьшения концентрации напряжения в штампах.

Определив все размеры спроектированной поковки с учетом температурной усадки, получают *чертеж готовой поковки*, по которому изготавливают полость штампа.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

Классификацию методов объемной штамповки можно осуществлять в зависимости от типа оборудования, на котором они выполняются: на молотах, на кривошипно-штамповочных прессах, на гидравлических прессах, на винтовых прессах и горизонтально-ковочных машинах.

Штамповочные молоты являются основным оборудованием для горячей штамповки. Масса падающих частей штамповочных молотов 0,5...30 т. Изготавливают поковки массой от нескольких сотен граммов до 25 т и выше (рис. 4.8).

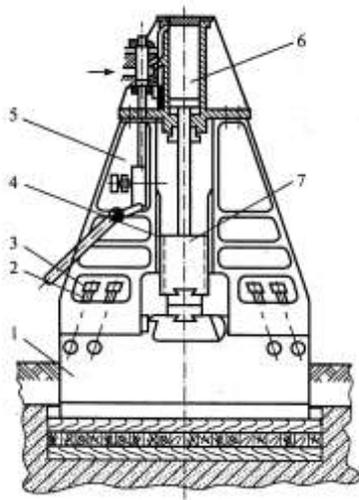


Рис. 4.8. Паровоздушный штамповочный молот: 1 – шабот; 2 – пружины; 3, 5 – стойки; 4 – направляющие; 6 – подвижная часть

Паровоздушные штамповочные молоты предназначены для штамповки поковок разнообразной формы, преимущественно в многоручьевых открытых штампах.

Горячештамповочные кривошипные прессы (ГШКП) предназначены для горячей объемной штамповки

выдавливанием, для горячей калибровки поковок. При обработке на кривошипном прессе заготовка в каждом ручье обжимается только один раз (одним ходом ползуна), в то время как на молоте для этого требуется несколько (8-10) ударов. Недостатком такой штамповки является то, что горячий металл соприкасается со штампом значительно дольше, чем на молоте.

На *горизонтально-ковочных машинах* (ГКМ) производят штамповку поковок без обля и штамповочных уклонов в разъемных матрицах. На ГКМ можно штамповать поковки из круглых прутков диаметром 20...270 мм. Примеры поковок, штампуемых на ГКМ, даны на рис. 4.9.

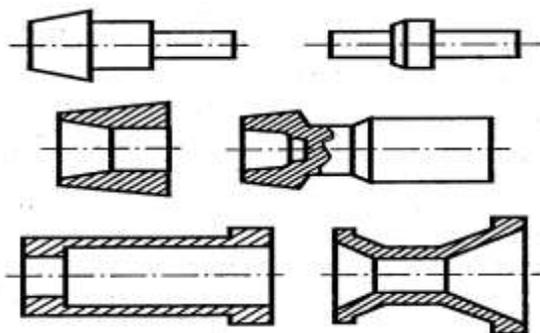


Рис. 4.9. Примеры поковок, штампуемых на ГКМ

На *гидравлических прессах* штампуют крупногабаритные поковки, которые невозможно получить на другом кузнечном оборудовании из-за недостаточной мощности, и поковки, для штамповки которых необходим большой рабочий ход (при глубокой прошивке). Гидравлические штамповочные прессы применяют для штамповки из легких сплавов и из стали в условиях массового производства (например, колес подвижного состава железных дорог).

Операции, которые производят с поковкой после ее штамповки, называют *отделочными*. К ним относятся обрезка обля, пробивка отверстий, термическая обработка, очистка от окалины, правка, калибровка и контроль качества.

Обрезку облоя после штамповки в открытых штампах и *пробивку отверстий* производят с помощью штампов на кривошипных прессах.

Термическую обработку поковок осуществляют после обрезки облоя и пробивки отверстий. Наиболее часто применяют нормализацию и отжиг поковок.

Очистку поковок от окалины производят для облегчения условий работы режущего инструмента при последующей обработке резанием в галтовочных барабанах, дробеструйных и дробеметных установках, травлением в растворах кислот и другими способами.

Правку штамповочных поковок выполняют для устранения искривлений осей и искажения поперечного сечения, которые могут образовываться при извлечении поковок из ручья, обрезке облоя, прошивке или транспортировке.

Калибровку осуществляют для повышения точности размеров и уменьшения шероховатости поверхности поковок.

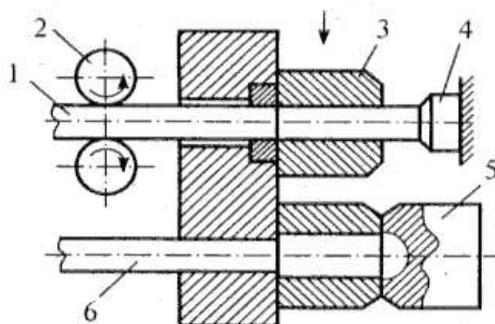
ХОЛОДНАЯ ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА

Холодную штамповку проводят без предварительного нагрева заготовки. Разновидностями холодной объемной штамповки являются холодная высадка, холодное выдавливание и холодная объемная формовка.

Холодная высадка применяется для формирования местных утолщений на заготовках (например, при производстве заклепок, болтов, винтов, гвоздей, гаек, шариков, роликов, звездочек и т.д.). Ее выполняют на холодновысадочных автоматах (рис.4.10).

В первом переходе ролики 2 подают пруток 1 до упора 4, после чего матрица 3 перемещается на позицию высадки, отрезая от прутка мерную заготовку. Во втором переходе ударом высадочного пуансона 5 производится высадка головки. После возвращения пуансона в исходное положение изделие выталкивается толкателем 6, который также возвращается в исходное положение, а матрица вновь уходит на позицию подачи заготовки. Высадку осуществляют на одно-, двух- и трехударных автоматах, производительность которых достигает 400 деталей в минуту. Высадка позволяет сэкономить до

30...40% металла по сравнению с изготовлением на металлорежущих станках и автоматах.



*Рис. 4.10. Схема штамповки на холодновысадочном автомате:
1 – пруток; 2 – ролики; 3 – матрица; 4 – упор; 5 – пуансон;
6 – толкатель*

Штамповка выдавливанием характеризуется тем, что позволяет изготавливать поковки из малопластичных высокопрочных сталей с наименьшими отходами металла. Различают штамповку прямым и обратным выдавливанием, комбинированную штамповку (рис. 4.11). При прямом выдавливании течение металла происходит в направлении движения пуансона, при обратном выдавливании металл течет в направлении, обратном движению пуансона.

Прямым выдавливанием изготавливают поковки, имеющие на одном конце утолщение (например, клапаны). Обратным выдавливанием изготавливают поковки типа полых стаканов, гильз, втулок и т.п. Выдавливание обеспечивает высокую производительность и точность изготовления деталей. Однако из-за высокой стоимости штампов выдавливание целесообразно применять в крупносерийном и массовом производстве.

Холодной объемной штамповкой получают готовые детали или близкие к ним заготовки, требующие минимальной обработки резанием. При холодной штамповке коэффициент

использования металла достигает 95% вместо 30...40% при обработке резанием. Трудоемкость изготовления болтов на холодновысадочных автоматах в 200...400 раз меньше, чем на токарно-револьверных станках.

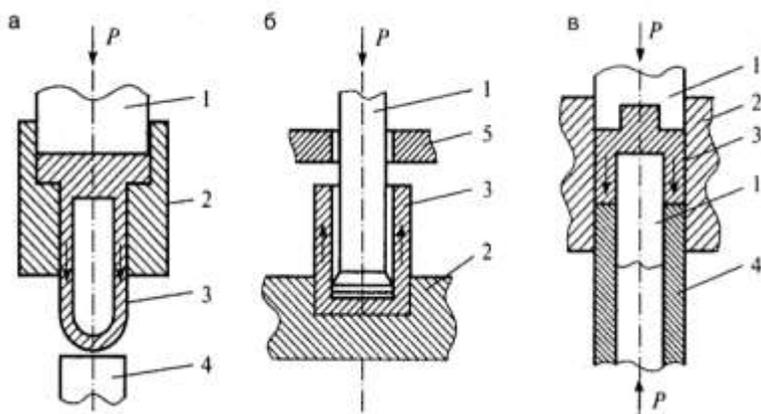


Рис. 4.11. Схемы способов холодного выдавливания:

а – прямой; б – обратный; в – комбинированный;

1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – заготовка; 4 – упор; 5 – съёмник

Контрольные вопросы

1. Что называют ковкой? Преимуществаковки.
2. Назовите основные операцииковки.
3. Какие кузнечные машины называют молотами?
4. Как подразделяются молоты по способу использования пара?
5. Что такое объемная штамповка?
6. Какие исходные материалы применяют для горячей объемной штамповки?
7. Какие виды штампов применяют для горячей объемной штамповки?
8. Назовите оборудование для горячей объемной штамповки.
9. Для каких целей применяется холодная высадка?
10. Преимущества холодной объемной штамповки.

Лекция № 5

Тема: «ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ЗАГОТОВОК ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКОЙ»

1. *Введение.*
2. *Разделительные и формообразующие операции листовой штамповки.*
3. *Оборудование и инструмент для листовой штамповки.*
4. *Штампы для разделительных и формообразующих операций.*
5. *Специальные виды листовой штамповки.*

ВВЕДЕНИЕ

Листовая штамповка – способ изготовления плоских и объемных изделий из полосы, ленты, листа без существенного изменения толщины металла.

Операции холодной листовой штамповки делятся на три основные группы:

1. Разделительные.
2. Формообразующие.
3. Комбинированные.

РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ И ФОРМООБРАЗУЮЩИЕ ОПЕРАЦИИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

К *разделительным операциям* листовой штамповки относят: отрезку, разрезку, обрезку, вырезку, надрезку, просечку, вырубку, пробивку, зачистку и др.

При разделительных операциях происходит полное (отрезка, отрубка) или частичное (надрезка, просечка) отделение металла от исходной заготовки.

Результатом этих операций являются или готовые детали или заготовки, используемые для последующей обработки.

Отрезка – полное отделение части заготовки по незамкнутому контуру. Отрезку осуществляют на ножницах или штампах.

Вырубка – полное отделение заготовки или детали от листовой заготовки по замкнутому контуру.

Пробивка – образование в заготовке сквозных отверстий и пазов с удалением материала в отход.

Технологичность деталей, получаемых вырубкой или пробивкой.

1. Необходимо избегать сложных конфигураций с узкими и длинными вырезами контура или очень узкими прорезями.

2. Малые и средние заготовки (до 300 мм) необходимо проектировать с радиусами скругления углов.

3. Сопряжения сторон наружного контура следует выполнять с закруглениями лишь в случае необходимости вырубki детали по всему контуру. Для безотходного раскроя допускают сопряжения под прямым углом.

4. Наименьшие размеры пробиваемых отверстий не должны быть менее $1,3 \dots 1,5S$.

5. Наименьшее расстояние от края отверстия до прямолинейного наружного контура должно быть не менее S для фигурных круглых отверстий и не менее $2,5S$, если края отверстий параллельны контуру детали.

Формообразующие операции – это операции, предназначенные для необратимого изменения формы и размеров заготовок, получаемых из листа, полосы или тонкостенных полуфабрикатов. В отличие от разделительных операций заготовки в процессе формоизменения деформируются пластически, не доводя до разрушения.

К *формообразующим операциям* относится: гибка, вытяжка, вытяжка с утонением, ротационная вытяжка, обжим, разбортовка, раздача, закатка, завивка, отбортовка, кернение, чеканка, рельефная штамповка и некоторые другие.

При *формообразующих операциях* исходная плоская заготовка деформируется в пространственную деталь. При этом плоская заготовка или локально (гибка, отбортовка, обжим, формовка) или полностью (вытяжка) деформируется.

Гибка – образование или изменение углов между частями заготовки или придание ей криволинейной формы (рис. 5.1).

Исследование процесса гибки показывает, что по толщине напряжения и деформации не только постепенно изменяются, но

и различны по знаку: в участках, прилегающих к матрице, возникают растягивающие напряжения и деформации растяжения, а участках, прилегающих к пуансону, напряжения и деформации сжатия, что приводит к изменению поперечного сечения. Между этими участками находятся слои с напряжениями и деформациями равными нулю. В общем случае, слои нулевых напряжений и деформаций (нейтральные слои) не совпадают.

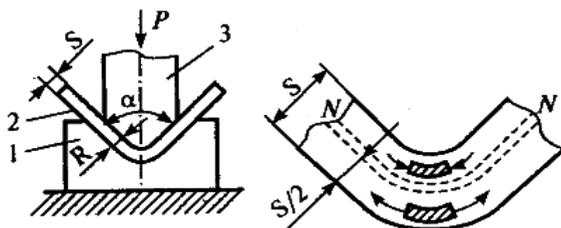


Рис. 5.1. Схема гибки: 1 – матрица; 2 – заготовка; 3 – пуансон; NN – нейтральный слой; α – угол, на который сгибается заготовка

В процессах гибки большое значение имеет радиус гибки. Величина его ограничивается минимальным радиусом. Минимальный радиус гибки определяется из условия отсутствия разрушения металла в зоне растяжения. Минимальная величина этого радиуса зависит от пластических свойств материала и толщин заготовки. Для материалов средней пластичности ($\delta = 15...20\%$) минимальный радиус гибки ориентировочно равен $0,5s$ мм. Для конкретных материалов или условий – уточняется по таблицам. Чем более пластичен металл, тем меньше минимальный радиус гибки и наоборот. Минимальный радиус гибки зависит и от расположения линии гибки относительно направления проката (расположения волокон макроструктуры); при параллельных линиях гибки и направлении проката – минимально допустимый радиус больше, чем при взаимно-перпендикулярном расположении направления проката и линии гибки, когда получают наименьшую величину минимально допустимого радиуса гибки. При промежуточной величине угла

наклона линии гибки к направлению проката надо брать промежуточные значения радиуса гибки, пропорциональные величине угла. Для предупреждения образования отпечатков на полочках детали необходимо назначать на кромках матрицы, по которым втягивается материал, радиус не менее трех толщин.

Так как напряжения и деформации по толщине неодинаковы по величине и знаку, то на основе закона о разгрузке, после снятия нагрузки происходит уменьшение растянутой части, и увеличение размера сжатой части заготовки. Это приводит к упругому изменению угла гибки – пружинению, приводящему к уменьшению угла гибки. Одновременно происходит и увеличение радиуса гибки.

Пружинение зависит от относительной величины радиуса гиансона r/s , материала детали, угла гибки и других факторов. Величина пружинения для данных условия гибки постоянна. Величина пружинения может быть уменьшена путем сжатия (правки) детали в штампе. При радиусах гибки менее $r/s < 2$ изменение радиуса по величине незначительно и поэтому его не учитывают.

Растягивающие и сжимающие напряжения и деформации гибки вследствие закона о дополнительных напряжениях, возникают и в прямолинейных участках, прилегающих к криволинейным, распространяются на расстояние до двух толщин материала от линии сопряжения криволинейного участка с прямолинейным. Усилие гибки P детали определяют по формуле:

$$P = \frac{0,7BS^2\sigma_e}{R + S}$$

где B – ширина заготовки; R – радиус заготовки; S – толщина заготовки.

Размеры заготовки рассчитывают исходя из развертки детали на плоскость. Как известно при гибке изменяется длина волокон в криволинейных участках, а прямолинейные остаются по длине до и после гибки неизменной длины. Поэтому деталь

разделяют на прямолинейные и криволинейные участки, определяют их длины и суммируют для получения общей длины развертки.

Длины прямолинейных участков определяют по данным чертежа, длины криволинейных участков по длине нейтрального волокна деформации.

Технологичность деталей, получаемых гибкой.

1. Радиус гибки пуансона не должен быть менее допустимого минимального для данного материала.

2. Радиус матрицы не менее трех толщин.

3. Длина отгибаемой части полочки должна быть не менее двух толщин, если отгибаемая часть короче рекомендуемой величины, то ее изготавливают более длинной, а затем обрезают по высоте.

4. Расстояние от края отверстия до линии сопряжения полочки с радиусом должно быть не менее двух толщин. При меньшем расстоянии пробивку отверстия делают после гибки или предусматривают на перегибе отверстие для предупреждения искажения ранее полученного отверстия.

5. При одновременной двугловой (четырёхугольной) гибке длина линии гибки противоположных полочек не должна резко отличаться, так как под действием сил трения может изменяться высота полочки.

6. Угол между линиями гибки и контура должен быть равен 90^0 для предупреждения деформации полочек под действием сил трения.

7. Простановка размеров и допусков на чертеже детали: наиболее технологичны детали у которых координаты центров отверстий заданы от края полочки, в этом случае пробивку отверстий совмещают с вырубкой заготовки, при другой схеме простановки размеров отверстия пробивают в отдельном штампе после гибки для обеспечения заданной точности; допуски на линейные размеры задают симметричные.

Вытяжкой называют процесс превращения плоской заготовки в полое изделие, или – процесс превращения плоской заготовки в полое изделие меньшего диаметра и большей высоты. Различают вытяжку с утонением стенок и без утонения стенок, а также комбинированную вытяжку (рис. 5.2).

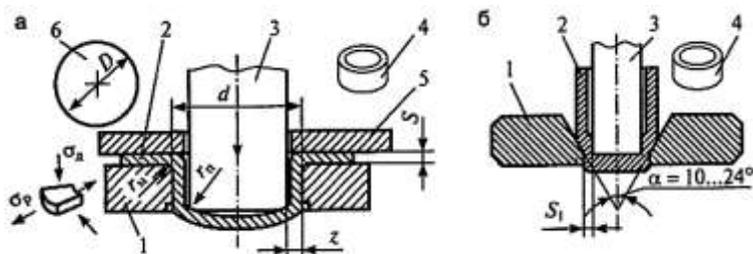


Рис. 5.2. Схемы вытяжки без утонения (а) и с утонением (б):
 1 – матрица; 2 – деформируемая заготовка; 3 – пуансон;
 4 – изделие; 5 – прижим; 6 – исходная заготовка;
 r_m, r_n – радиусы закругления матрицы и пуансона; α – угол
 штамповочного уклона матрицы

При обычной вытяжке толщина стенок детали может быть больше исходной толщины заготовки. При вытяжке с утонением толщина стенок получаемой детали меньше толщины стенок заготовки. При обычной вытяжке основная деформация происходит за счет значительного изменения диаметра заготовки, при вытяжке с утонением – за счет изменения толщины заготовки. При комбинированной вытяжке происходит деформирование заготовки и за счет изменения диаметра и за счет уменьшения толщины заготовки одновременно.

Отбортовка – образование борта по внутреннему или наружному контуру листовой заготовки (рис. 5.3, а). При отбортовке отверстия, металл в зоне деформации растягивается и утоняется. Во избежание образования продольных трещин необходимо, чтобы коэффициент отбортовки k_0 был равен:

$$k_0 = \frac{d_\sigma}{d_0} = 1,2 \dots 1,8,$$

где d_0 и d_σ – диаметры отверстия до и после отбортовки. Значение k_0 – зависят от механических свойств металла и относительной толщины заготовки.

Обжим – уменьшение периметра поперечного сечения полой заготовки (рис.5.3, б). В очаге деформации толщина стенки изделия увеличивается. Во избежание образования продольных складок в обжимаемой части необходимо соблюдать коэффициент обжима:

$$k_o = \frac{D_{заг}}{d_{дет}} = 1,2 \dots 1,4,$$

где $D_{заг}$, $d_{дет}$ – диаметры заготовки и детали.

Рельефная формовка – образование рельефа в листовой заготовке путем ее местного деформирования (рис. 5.3, в).

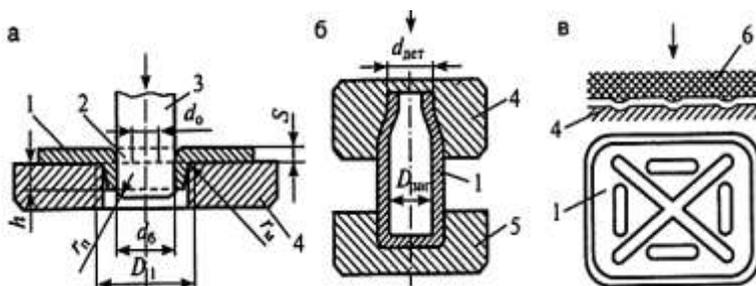


Рис. 5.3. Схемы формообразующих операций: а – отбортовка; б – обжим; в – формовка. 1 – изделие; 2 – заготовка; 3 – пуансон; 4 – матрица; 5 – подставка-упор; б – резиновая подушка

ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Холодную листовую штамповку осуществляют в основном на кривошипных прессах. Для холодной штамповки крупногабаритных изделий используют гидравлические прессы.

В качестве инструмента при листовой штамповке используют **штампы**. Они состоят из деталей блока и пакета.

Детали пакета это – матрицы и пуансоны. Рабочие части непосредственно деформируют заготовку. Детали блока (верхняя и нижняя плиты, направляющие колонки и втулки) служат для опоры, направления и крепления рабочих частей штампа.

Штампы для разделительных операций.

Разделительные штампы бывают простого действия и комбинированные совмещенного и последовательного действия. Разделительные штампы простого действия подразделяются в свою очередь в соответствии с выполняемыми ими операциями. Простейшим способом деления листового материала без отходов является односторонняя резка. Конструкция штампа для отрезки представлена на рис. 5.4.

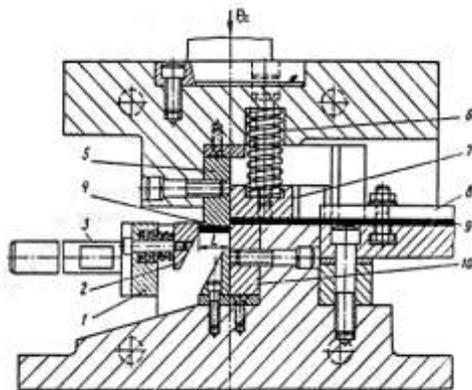


Рис. 5.4. Штамп для отрезки с прижимом: 1 – каретка; 2 – упор; 3 – стержень; 4 – заготовка; 5 – пуансон-нож; 6 – пружина; 7 – прижим; 8 – планки; 9 – полоса (лента); 10 – матрица-нож

Отрезка заготовок осуществляется из полосы (ленты) 9, которая в процессе резки прижимается к матрице-ножу 10 прижимом 7, действующим от пружин 6. Пуансон-нож 5 вступает в работу только при зажатом материале, т.е. только после того, как прижим 7 вступает в контакт с материалом. Различная длина отрезаемых заготовок 4 обеспечивается

регулируемым упором 2 в комплекте с кареткой 1, прикрепленной к стержням 3, которую можно переставлять в соответствии с необходимой длиной L заготовки. Штмп оснащен переналаживаемыми планками 8, которые позволяют применять исходные полосы различной ширины в пределах заданного диапазона регулирования.

На рис. 5.5. представлена схема штампа для вырубki.

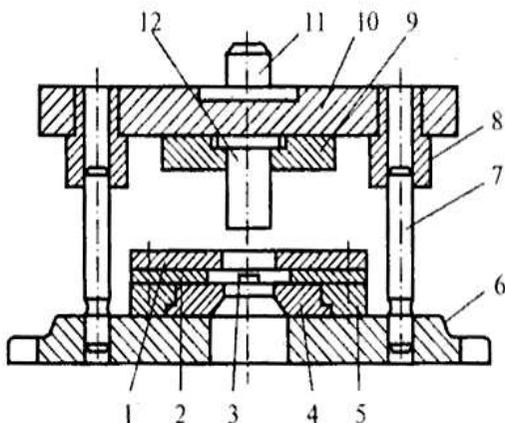


Рис. 5.5. Штмп для вырубki: 1 – сьемник; 2 – направляющие планки; 3 – упор; 4 – матрица; 5 – матрица-держатель; 6 и 10 – нижняя и верхняя плиты; 7 – направляющие колонки; 8 – направляющие втулки; 9 – пуансонодержатель; 11 – хвостовик; 12 – пуансон

Процесс вырубki начинается с подачи полосы материала по направляющим планкам до упора. При опускании пуансона вырубленная деталь проталкивается сквозь матрицу. После подъема пуансона полоса снимается сьемником и может быть продвинута вперед с фиксацией по краю вырубленного в полосе отверстия на упор. Далее процесс повторяется, пока полоса не пройдет через штмп.

Штмпы для формообразующих операций. Штмпы для гибки по применению их в производстве составляют вторую по численности группу штмпов после штмпов для

разделительных операций. Они состоят в основном из тех же элементов, что и штампы для вырубки и пробивки.

Гибка деталей в штампе выполняется преимущественно из заготовок, предварительно полученных в разделительных штампах или на пресс-ножницах, а также из заготовок сортового проката, труб и проволоки.

Гибочные штампы подразделяются на штампы простого, последовательного и совмещенного действия. В штампах для гибки простого действия за один ход подвижной части штампа выполняется только одна операция или один переход гибки. Штампы этой группы в свою очередь подразделяются на специальные и универсальные (периодическая замена отдельных рабочих частей и деталей штампов).

Штампы для гибки классифицируют также по форме штампуемой детали (угольник, скоба, Z - образная деталь и т.д. и по способу гибки – с прижимом заготовки или без прижима.

Штамп для гибки уголка простого действия без прижима изображен на рис. 5.6.

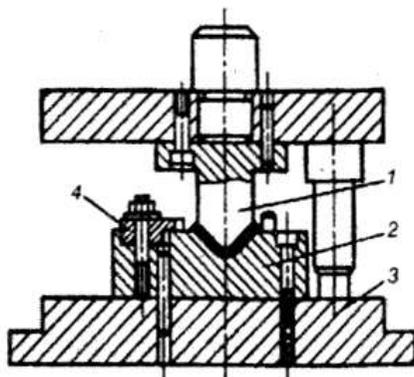


Рис. 5.6. Схема штампа для гибки с регулируемым упором:

1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – нижняя плита;

4 – регулируемый упор

Штамп состоит из пуансона 1, матрицы 2, закрепленной на нижней плите 3, и регулируемого упора 4, в который укладывается заготовка. Деталь сбрасывается после гибки

сжатым воздухом или вручную с помощью пинцета. Этот штамп весьма прост по конструкции и имеет ряд недостатков. Заготовка в нем не зафиксирована по отношению к пуансону, и ее связь с фиксатором теряется почти с начала гибки, так как сразу, как только пуансон немного изогнет заготовку, ее концы приподнимаются. Кроме того, в штампе нет прижима заготовки, что также снижает качество изогнутой детали. Этот метод гибки применяется для деталей низкой точности.

Штампы для вытяжки классифицируют по принадлежности к прессам (простого или двойного действия), наличию прижима (с прижимом, складкодержателем или без него), порядковому номеру операции (первая или последующая), вытяжке с утонением и без утонения толщины заготовки в процессе вытяжки, направлению вытяжки (вниз или вверх дном). Схемы штампов для вытяжки представлены на рис. 5.7.

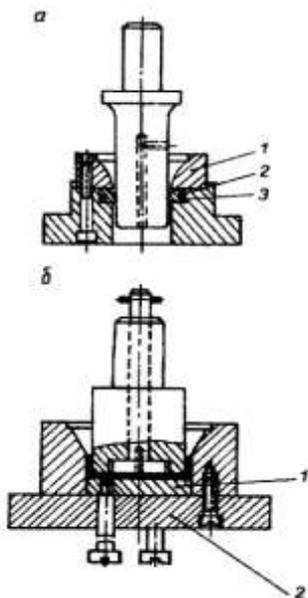


Рис. 5.7. Штампы для вытяжки со съемником (а): 1 – матрица; 2 – пружина; 3 – съемник; и выталкивателем (б): 1 – выталкиватель; 2 – нижняя плита штампа

Съемник 3 состоит из трех секторов, вставленных в полость под вытяжную матрицу 1 и стянутых пружиной 2. Секторы в замкнутом состоянии образуют круг с внутренним диаметром, несколько меньшим диаметра пуансона. В процессе вытяжки при ходе пуансона вниз вытягиваемая деталь нажимает на закругленные кромки секторов и раздвигает их, пока ее верхняя кромка не окажется ниже нижних плоскостей секторов, которые сомкнутся под действием пружины 2 и охватят пуансон, при обратном ходе которого эти секторы снимут с него деталь (рис. 5.7, а). Недостаток этого штампа состоит в том, что дно детали имеет выпуклость, которая не всегда допустима. Для исключения этого служит выталкиватель 1 (рис.5.7, б), приводимый в движение буферным устройством. В конце рабочего хода пуансон правит дно детали о выталкиватель, который упирается в нижнюю плиту 2 штампа.

В *комбинированных штампах* могут быть объединены как разделительные так и формообразующие операции. Например, штампы для вырубки-гибки, вытяжки-пробивки, вырубки-вытяжки и т.п.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Рассмотрим некоторые из специальных видов листовой штамповки, широко применяемых в промышленности.

Схема *вытяжки обжатием эластичной матрицей* по жесткому пуансону показана на рис. 5.8.

При вытяжке по этой схеме листовая заготовка 5 подвергается давлению, передаваемому эластичной подушкой 2, заключенной в контейнер 1. Резина или полиуретан обжимают вытягиваемую деталь по всей поверхности. Во избежание гофрообразования на фланце и стенке детали применяют прижим 3 по фланцу. При вытяжке эластичной матрицей по жесткому пуансону между пуансоном 4 и заготовкой 5 возникают полезные силы трения, а вредное трение между заготовкой и матрицей отсутствует. Преимуществом процесса является простая оснастка.

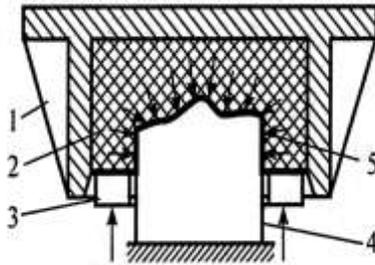


Рис. 5.8. Схема вытяжки эластичной матрицей: 1 – контейнер; 2 – подушка; 3 – прижим; 4 – пуансон; 5 – заготовка

Ротационная вытяжка служит для получения полых изделий типа тел вращения различных форм. При ротационной вытяжке изделие оформляется по оправке. Форма изделия копирует форму оправки, как показано на рис. 5.9.

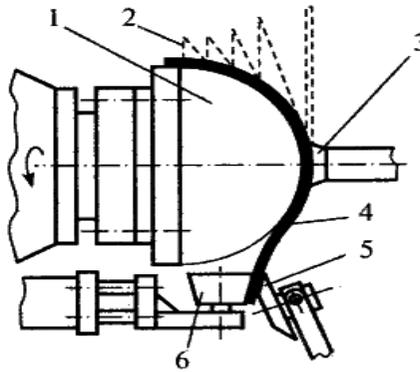


Рис. 5.9. Схема ротационной вытяжки полусферы: 1 – оправка; 2 – последовательность процесса; 3 – прижимная бабка; 4 – заготовка; 5 – давящий ролик; 6 – поддерживающие ролики

Заготовка 4 прижимается к оправке 1 прижимной бабкой 3 и вращается с ними. Давильный ролик 5 движется от центра

заготовки к периферии, изменяя форму заготовки на некоторый угол. Затем ролик 5 движется в обратном направлении. Заготовка постепенно приближается к форме оправки (2) и обжимается на ней. При вытяжке длинных деталей применяют поддерживающие ролики 6.

Штамповка взрывом применяется для вытяжки, отбортровки, раздачи и обжима труб, формовки ребер жесткости, калибровки, правки, вырубки и других операций.

Для штамповки взрывом характерны высокие давления (около 3000 МПа), прилагаемые к заготовке в течение тысячных долей секунды.

Схема штамповки взрывом показана на рис. 5.10.

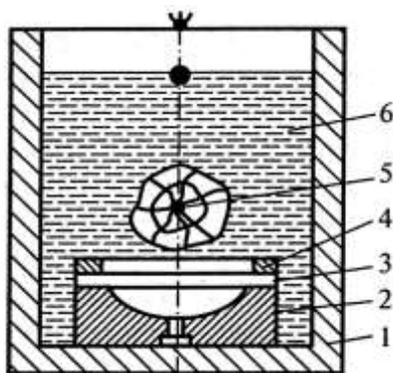


Рис. 5.10. Схема штамповки взрывом: 1 – бассейн; 2 – матрица; 3 – заготовка; 4 – прижим; 5 – заряд; 6 – вода

Заготовка 3 укладывается на матрицу 2 и прижимается к ней прижимом 4. Над заготовкой помещают заряд взрывчатых веществ 5, бассейн 1 заливают водой. При взрыве заряда, возникший газовый шар возбуждает в воде ударную волну, давление которой через слой воды передается на поверхность заготовки. Часть энергии ударной волны расходуется на придание заготовке ускорения, часть на пластическую деформацию.

Контрольные вопросы

- 1. На какие группы делятся операции листовой штамповки?*
- 2. Перечислите разделительные операции листовой штамповки.*
- 3. Какие операции относятся к формообразующим?*
- 4. Какие требования предъявляют при проектировании деталей, получаемых вырубкой, пробивкой, гибкой?*
- 5. На каком оборудовании осуществляют холодную листовую штамповку?*
- 6. Что используют в качестве инструмента для листовой штамповки?*
- 7. Назовите основные детали штампа.*
- 8. Какие вы знаете специальные виды листовой штамповки?*

Лекция № 6

Тема: «ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ И РЕЗАНИЕМ»

1. Формообразующая обработка фасонных поверхностей ППД.
2. Методы формообразования поверхности деталей резанием.

ФОРМООБРАЗУЮЩАЯ ОБРАБОТКА ФАСОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ (ППД)

Формообразование фасонных поверхностей *накатыванием* заготовок в холодном состоянии отличается по сравнению с обработкой резанием высокой производительностью, пониженной стоимостью и повышенным качеством деталей. Их высокая механическая и усталостная прочность объясняется тем, что при формообразовании накатыванием волокна не перерезаются, что, например, имеет место при формообразовании резанием, а как бы повторяет профиль вновь созданной поверхности детали. Профиль накатываемых заготовок образуется вдавливанием выступов инструмента в материал и выдавливанием части материала во впадины инструмента. При этом подповерхностный слой накатанных деталей оказывается упрочненным, а поверхность не нуждается в дополнительной отделке. Формообразующая обработка ППД может выполнять функции черновой, чистовой и отделочной обработок и используется для получения резьб, мелких шлицев на валах и зубчатых венцов мелкомодульных колес.

Накатывание резьб обычно производится до термической обработки заготовок. Распространенным способом является образование резьбы плашками (рис. 6.1, а).

Заготовка 2 размещается между неподвижной 1 и подвижной 3 плашками, на рабочих поверхностях которых нарезаны рифления. Профиль и расположение рифлений

соответствует профилю и шагу накатываемой резьбы. При перемещении $D_{s_{np}}$ подвижной плашки заготовка катится (n_3) между инструментом, а на ее поверхности образуется резьба. Резьбу можно сформировать роликами (рис. 6.1, б). Ролики 1,2 получают принудительное движение D_p , заготовка 2 свободно обкатывается (n_3) между ними. Ролику 3 придается радиальное (поперечное) движение D_{s_n} для вдавливания в материал заготовки на необходимую глубину. При этом достигается формообразование резьбы при меньших силах, чем при формообразовании плашками. Поэтому с помощью роликов накатываются резьбы с большим шагом, чем с помощью плашек.

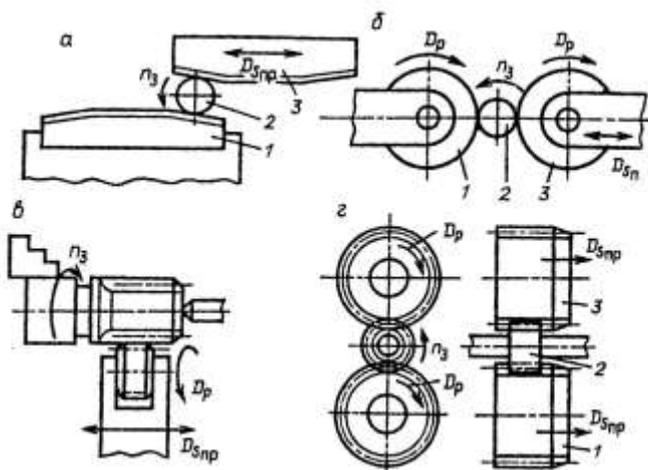


Рис. 6.1. Схемы формообразующего накатывания

Накатывать мелкие шлицы на валах (рис. 6.1, в) можно с помощью накатного ролика, имеющего профиль шлицев. Ролик внедряется в поверхность вращающейся заготовки (n_3) при вращении (D_p) и при поступательном движении ($D_{s_{np}}$) вдоль вала.

Накатывание цилиндрических (рис. 6.1, г) и конических мелкозубых колес в 15...20 раз производительнее зубонарезания. Процесс можно производить на станках накатниками 1 и 3, которые закреплены на суппорте и

Универсальный резьбонакатной полуавтомат мод. 5933 (рис. 6.2, а) предназначен для наружного накатывания метрических и дюймовых резьб двумя накатными роликами.

На станине полуавтомата размещена ножевая опора 1 для установки и обеспечения поддержки заготовок, относительно которой на станине б слева установлена неподвижная бабка 2, а справа подвижная бабка 3. В зону обработки по трубопроводу 4 подается СОЖ. На неподвижной бабке установлен кулачок поперечной подачи, который взаимодействует с роликом упора бабки 5. На неподвижной бабке 2 за шкивом временной передачи установлены сменные колеса. Набором сменных колес a, b можно регулировать частоту вращения накатного ролика в пределах $39-265 \text{ мин}^{-1}$. От шпинделя 1 накатного ролика через зубчатые колеса вращение с такой же частотой передается на шпиндель 2. Поперечное перемещение подвижной бабки обеспечивается кулачком 3, которому сообщается вращение от шпинделя 2 через сменные зубчатые колеса a_1/b_1 , зубчатую муфту M_2 и червячную передачу. Частота вращения кулачка устанавливается сменными колесами a_1, b_1 в зависимости от времени накатывания резьбы.

Диаметр накатываемой резьбы – $6...30$ мм; наибольшая длина резьбы – 40 мм; наибольший шаг резьбы – $2,5$ мм; направление резьбы – правое и левое.

Вращение накатному ролику (рис. 6.2, б) сообщается от электродвигателя M через клиноременную передачу $100/375$, сменные зубчатые колеса a/b , зубчатую передачу $18/55$, муфту M_1 .

Перед работой вершины выступов резьб смещают относительно друг друга на половину шага накатываемой резьбы. Для этого размыкается зубчатая муфта и разворачивается полумуфта на необходимое количество зубьев. Поворот одной полумуфты относительно другой на один зуб обеспечивает смещение вершины резьб на $0,01$ шага накатываемой резьбы. Накатывание наружных резьб можно осуществлять посредством накатных головок на металлорежущих станках.

Для накатывания наружных резьб используются накатные ролики (рис. 6.3, а) из сталей Х12М Х68Ф, Х12Ф для обработки материалов твердостью 201...400 НВ.

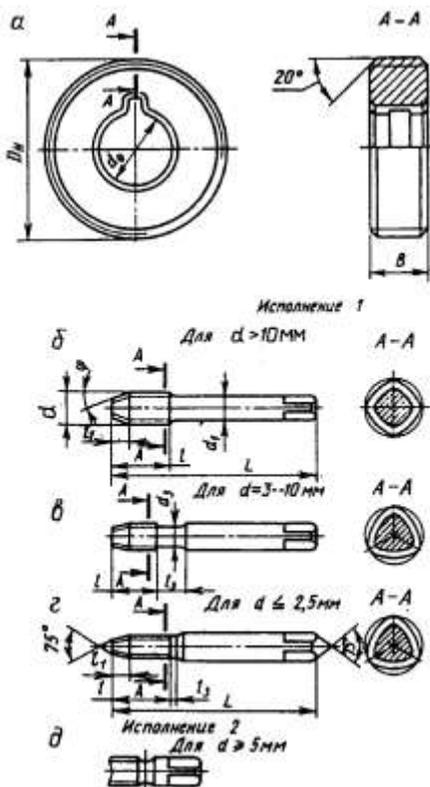


Рис. 6.3. Резьбонакатной инструмент: а – ролик; б, в, г – метчики-раскатники для резьб соответственно с $d > 10 \text{ мм}$, $d = 3 - 10 \text{ мм}$, $d \leq 2,5 \text{ мм}$; д – исполнение 2 хвостовика для метчика с $d \geq 5 \text{ мм}$.

Размеры роликов колеблются в следующих пределах: $D_{н} = 75 \dots 207 \text{ мм}$, $B = 25 \dots 125$, $d_o = 45 \dots 100 \text{ мм}$.

Накатывание (раскатывание) внутренних резьб диаметром 1...36 мм осуществляется бесстружечными метчиками

(метчиками-раскатниками), а большого диаметра – раскатными головками. Метчики-раскатники показаны на рис. 6.3, б-д. Размеры метчиков-раскатников следующие: $d = 1 \dots 16$ мм, $t = 0,25 \dots 2$, $L = 36 \dots 100$, $l = 6 \dots 24$ мм, длина заборного конуса для сквозных отверстий $l_1 = 1,5 \dots 12$ мм; для метчиков с $d = 3 \dots 7,5$ мм, $d_3 = 2,12 \dots 7,5$ мм, $l_3 = 4,5 \dots 15,6$ мм.

Резьбонакатные нераскрывающиеся головки выполнены в виде сборного инструмента (рис. 6.4, а) с установленными в корпусе 1 на осях роликами 2, которые вращаются и наклонены под углом, равным углу подъема резьбы. По окончании накатывания головка свинчивается с резьбы. Ролики имеют заборную часть и по шагу смещены друг относительно друга на $1/i$ (здесь i – число роликов).

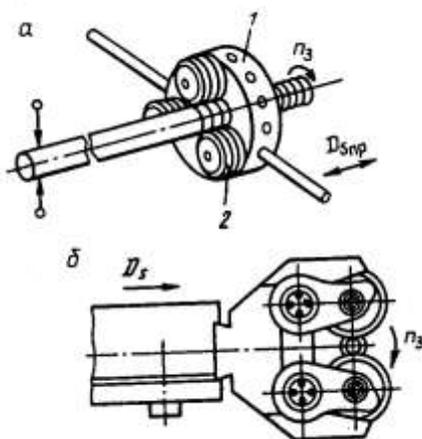


Рис. 6.4. Резьбонакатные головки

Наиболее распространены резьбонакатные самораскрывающиеся головки. В конце накатывания ролики этих головок расходятся, а накатанная заготовка освобождается без свинчивания.

Двухроликовые тангенциальные головки (рис. 6.4, б) применяются на токарных станках.

Вращение роликов в них осуществляется под действием принудительно вращающейся заготовки. Окончание накатывания происходит тогда, когда оси роликов и заготовки окажутся в одной плоскости, а вершины ниток одного ролика будут расположены против впадин другого.

При накатывании роликами скорость накатывания составляет для латуни 100...120 м/мин; для мягкой стали 80...120 м/мин; для мягкой стали 80...100; для стали средней твердости 40...60; для твердой стали 15...20; для титановых сплавов 12...14 м/мин. При накатывании внутренних резьб метчиками скорость резьбоформообразования принимается для алюминия и его сплавов 20...30 м/мин.

В качестве СОЖ при резьбонакатывании используются сульфофрезол, олеиновая кислота, В29, В31, В32-К, В35 и др.

МЕТОДЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ РЕЗАНИЕМ

Формообразующая обработка резанием основана на снятии слоя материала для обеспечения требуемой геометрической формы, точности размеров, относительного положения и микрогеометрии поверхностей деталей. Слой материала, снимаемый с заготовки при ее обработке, называется припуском. Для снятия припуска инструменту и заготовке сообщаются относительные движения. Движения, обеспечивающие снятие с заготовки припуска или изменение состояния обрабатываемой поверхности, называют движениями резания или другого метода обработки. К ним относятся главное движение резания D_r и движение подачи D_s . На рис.6.5 показана схема шлифования заготовки 1, установленной на столе плоскошлифовального станка 2, шлифовальным кругом.

Каждому сочетанию вида обработки, инструмента и станка соответствует строго определенный метод формообразования поверхностей. Все детали имеют пространственную форму, ограниченную плоскими, круговыми цилиндрическими и коническими, сферическими и другими поверхностями. Любую геометрическую поверхность можно представить совокупностью последовательных положений

Образование поверхностей методом **копирования** состоит в том, что режущая кромка инструмента является реальной образующей линией 1 (рис.6.6, а).

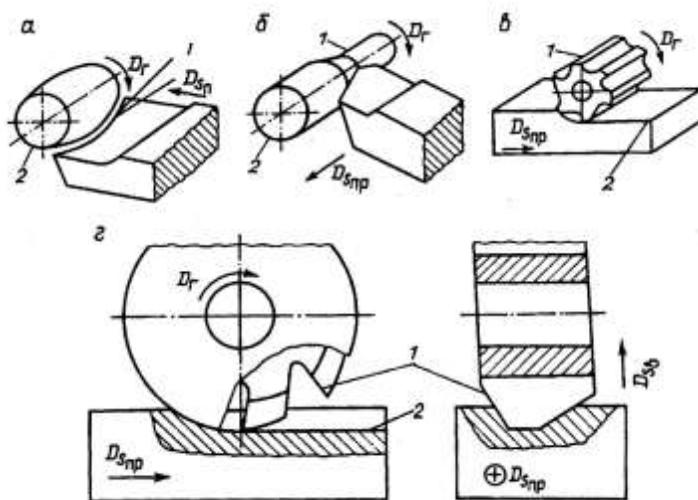


Рис. 6.6. Схемы формообразования поверхностей деталей

Направляющая линия 2 воспроизводится во времени вращением заготовки. Формообразующим в этом случае является главное движение резания D_r . Движение подачи D_{sII} нужно для получения геометрической поверхности определенного размера (диаметра). Метод копирования используется при обработке фасонных поверхностей заготовок на токарных, фрезерных, протяжных и шлифовальных станках.

Образование поверхностей по методу **следов** заключается в том, что линия 1 является траекторией движения точки на главной режущей кромке инструмента, а направляющая линия 2 траекторией движения точки заготовки (рис. 6.6 ,б). В этом случае образующими являются движения резания D_r и D_{sII} .

Метод *следов* наиболее широко распространен в машино- и приборостроении.

Образование поверхностей по методу *касания* (рис. 6.6, в) реализуется тем, что образующей линией 1 является режущая кромка инструмента (фрезы), а направляющей линией 2 поверхности служит касательная к ряду геометрических вспомогательных линий – траекториям точек режущей кромки фрезы. Здесь формообразующим является движение Ds_{II} подачи.

На рис. 6.6, г приведен комбинированный метод формообразования прямолинейной фасонной канавки, содержащей в себе элементы предыдущих методов. Образующей линией 1 является фасонная режущая кромка фрезы, соответствующая форме сечения канавки. При этом направляющей линией 2 будет касательная к траектории точек режущей кромки инструмента. Движение Ds_v вертикальной подачи заготовки может быть использована для получения высотного размера канавки (глубины) при обработке за несколько проходов.

Образование поверхностей по методу *обкатки* чаще всего применяется при изготовлении зубчатых колес. Основным способом формообразования зубчатых, равно как и шлицевых поверхностей деталей, является нарезание зубьев лезвийными режущими инструментами. Зубонарезание методом *обкатки* применяются в массовом и крупносерийном производствах с использованием станков-полуавтоматов.

При выборе метода и вида (способа) обработки конкретной заготовки, инструмента, станка необходимо учитывать наиболее приемлемый метод формообразования или копирования формы существующих поверхностей, так как это может положительно сказаться на реализации принятой схемы с наименьшими затратами. Метод *копирования* с помощью специального по форме режущей кромки инструмента приемлем для образования фасонных поверхностей только у небольших по размерам деталей. Для образования же фасонных поверхностей у крупногабаритных деталей желательнее применение копиров или обеспечение траектории перемещения инструмента кинематическим путем.

Контрольные вопросы

- 1. В чем заключается сущность метода ППД фасонных поверхностей?*
- 2. На чем основана формообразующая обработка резанием?*
- 3. Назовите методы формообразования поверхностей резанием.*
- 4. В чем заключается метод копирования?*
- 5. Как происходит образование поверхности по методу следов?*
- 6. Как реализуется образование поверхностей по методу следов?*
- 7. В чем заключается комбинированный метод формообразования поверхностей?*
- 8. Для каких деталей применяют методы обкатки и копирования?*

Лекция № 7

Тема: «ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ЗАГОТОВОК ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ»

- 1. Основные операции производства заготовок из металлических порошков.*
- 2. Производство металлических порошков.*
- 3. Формование и спекание заготовок.*
- 4. Изделия из металлических порошков.*

ОСНОВНЫЕ ОПЕРАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ЗАГОТОВОК ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

Из имеющихся разнообразных способов формообразования *порошковая металлургия* занимает особое место, так как позволяет получать изделия различных форм и назначений, При этом способе в большинстве случаев коэффициент использования материала составляет около 100%.

Порошковой металлургией называют область техники, охватывающую совокупность методов изготовления порошков металлов и их соединений, полуфабрикатов и изделий из них или их смесей с неметаллическими порошками без расплавления основного компонента.

Методами порошковой металлургии изготавливают изделия, имеющие специальные свойства: антифрикционные детали узлов трения приборов и машин (втулки, вкладыши, опорные шайбы), конструкционные детали (шестерни, кулачки и др.), фрикционные детали (диски, колодки), инструментальные материалы (резцы, пластины резцы, сверла), электротехнические детали (контакты, магниты, ферриты, электрощетки) для электронной и радиотехнической промышленности, композиционные (жаропрочные и др.) материалы.

Типовая технология производства заготовок изделий методом порошковой металлургии включает четыре основные операции:

1. получение порошка исходного материала;
2. формование заготовок;

3. спекание;
4. окончательную обработку.

Каждая из указанных операций оказывает значительное влияние на формирование свойств готового изделия.

ПРОИЗВОДСТВО МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ И ИХ СВОЙСТВА

В настоящее время используют большое количество методов производства металлических порошков, что позволяет варьировать их свойства, качество и экономические показатели.

Условно различают следующие способы изготовления металлических порошков: механические, физико-химические и комбинированные.

При *механическом способе* изготовления порошков превращение исходного материала в порошок происходит путём механического измельчения в твердом или жидком состоянии без изменения химического состава исходного материала. К механическим способам относят дробление и размол, истирание, распыление, грануляцию и обработку резанием измельчаемого материала.

Измельчение твердых материалов – уменьшение начальных размеров частиц путем разрушения их под действием внешних усилий. Наиболее целесообразно применять механическое измельчение хрупких металлов и их сплавов таких, как ферросплавы или сплавы алюминия с магнием. Размол вязких пластичных металлов (медь, алюминий и др.) затруднен. В случае таких металлов наиболее целесообразно использование в качестве сырья отходов образующихся при обработке металлов (стружка, обрезка и др.). При измельчении комбинируются различные виды воздействия на материал статическое – сжатие и динамическое – удар, срез-истирание. Для грубого размельчения используют щековые, валковые и конусные дробилки и бегуны; при этом получают частицы размером 1...10 мм, которые являются исходным материалом для тонкого измельчения, обеспечивающего производство требуемых металлических порошков. Исходным материалом для тонкого измельчения может быть и стружка.

Окончательный размол полученного материала проводится в шаровых вращающихся, вибрационных или планетарных центробежных, вихревых и молотковых мельницах.

Шаровая мельница – простейший аппарат, используется для получения относительно мелких порошков с размером частиц от нескольких единиц до десятков микрометров. В мельницу загружают размольные тела (стальные или твердосплавные шары) и измельчаемый материал. В случае скольжения шаров по внутренней поверхности вращающегося барабана материал истирается между стенкой барабана и внешней поверхностью массы шаров, ведущей себя как единое целое. При увеличении частоты вращения, шары поднимаются и скатываются по наклонной поверхности и измельчение происходит между поверхностями трущихся шаров. Рабочая поверхность истирания в этом случае во много раз больше и поэтому происходит более интенсивное истирание материала, чем в первом случае. При большей частоте вращения шары поднимаются до наибольшей высоты и, падая вниз, производят дробящее действие, дополняемое истиранием материала между перекатывающимися шарами. Это наиболее интенсивный размол. При дальнейшем увеличении частоты вращения шары вращаются вместе с барабаном мельницы, а измельчение при этом практически прекращается.

Для увеличения интенсивности измельчения процесс проводят в жидкой среде, препятствующей распылению материала и слипанию частичек. Количество жидкости составляет 0,4 л на 1 кг размалываемого материала. Длительность измельчения: от нескольких часов до нескольких суток. В производстве используют несколько типов шаровых мельниц.

При более высокой частоте воздействия внешних сил на частицы материала применяют *вибрационные мельницы*. В таких мельницах воздействие на материал заключается в создании сжимающих и срезающих усилий переменной величины, что создает усталостное разрушение порошковых частиц. В мельнице вибратор, вращающийся с частотой 1000...3000 об/мин при амплитуде 2...4 мм вызывает круговые движения

корпуса мельницы с размольными телами и измельчаемым материалом. В этом случае измельчение протекает интенсивнее, чем в шаровых мельницах.

Тонкое измельчение трудноразмалываемых материалов часто выполняют на *планетарных центробежных мельницах* с шарами, используемыми для размола. По сравнению с шаровыми мельницами в планетарных центробежных мельницах, размол в сотни раз интенсивнее и одновременно в несколько раз менее производителен, так эта мельница периодического, но не непрерывного (как шаровая) действия с ограниченной загрузкой измельчаемого материала.

Для размола пластичных материалов используют процесс измельчения, в котором разрушающие удары наносят сами частицы измельчаемого материала. Для этого используют *вихревые мельницы*.

Распыление и гранулирование жидких металлов является наиболее простым и дешевым способом изготовления порошков металлов с температурой плавления до 1600°C – алюминия, железа, сталей, меди, цинка, свинца, никеля и других металлов и сплавов. Сущность измельчения расплава состоит в дроблении струи расплава либо высокоэнергонасыщенным газом или жидкостью, либо механическим распылением, либо сливанием струи расплава в жидкую среду, например, воду. Основной частью технологического узла является форсунка. Для распыления металл плавят в электропечах. В зависимости от свойств расплава и требований к качеству порошка, распыление осуществляют воздухом, азотом, аргоном, гелием, а для защиты от окисления – инертным газом.

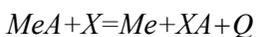
Распыление воздухом – самый экономичный способ изготовления порошков. Основные параметры процесса распыления: давление и температура газового потока, температура расплава. Охлаждающей средой для распыленной струи может быть вода, газ, органическая жидкость. При различных условиях распыления получают частички порошка каплеобразной, шарообразной и других форм. Размеры частиц получают от 1 мм до сотых долей миллиметра.

При *физико-химических способах* изменяется химический состав или агрегатное состояние исходного

материала. Основными методами производства порошков являются: восстановление химических соединений, электролиз металлов, термическая диссоциация карбонильных соединений, термодиффузионное насыщение, метод испарения-конденсации.

Металлические порошки получают *восстановлением химических соединений* (оксидов, солей, ангидридов) активным веществом (водородом, магнием, алюминием, кальцием, углеродом, оксидом углерода).

Простейшая реакция восстановления может быть представлена так:



где *Me* – любой металл; *A* – неметаллическая составляющая (кислород, хлор, фтор, солевой остаток и др.) восстанавливаемого химического соединения металла; *X* – восстановитель; *Q* – тепловой эффект реакции.

Железные порошки получают восстановлением окисленной руды или прокатной окалины. Железо в указанных материалах находится в виде оксидов: Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , FeO . Существующие методы восстановления оксидов железа разнообразны.

Медные, никелевые и кобальтовые порошки легко получают восстановлением оксидов этих металлов, так как они обладают низким сродством к кислороду. Сырьем для производства порошков этих металлов служат либо оксид меди Cu_2O , CuO , оксид никеля NiO , оксиды кобальта Co_2O_3 , Co_3O_4 , либо окалина от проката проволоки, листов и т.д. Восстановление проводят в муфельных или в трубчатых печах водородом, диссоциированным аммиаком или конвертированным природным газом. Температура восстановления сравнительно низка: для меди – 400...500°C, никеля – 700...750°C, кобальта – 520...570°C. Длительность процесса восстановления 1...3 ч при толщине слоя окисла 20..25 мм. После восстановления получают губку, которая легко растирается в порошок.

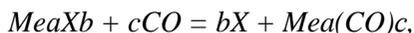
Порошок вольфрама получают из вольфрамового ангидрида, являющегося продуктом разложения вольфрамовой кислоты H_2WO_4 . Восстановление проводят либо водородом при температуре $850..900^\circ C$, либо углеродом при температуре $1350..1550^\circ C$ в электропечах. Этим методом (восстановления) получают порошки молибдена титана, циркония, тантала, ниобия, легированных сталей и сплавов.

Методом электролиза получают порошки меди, серебра, железа, никеля, цинка, кадмия, свинца, олова и других металлов, а также их сплавов. Этот способ наиболее экономичен при производстве химически чистых порошков меди. Физическая сущность электролиза состоит в том, что при прохождении электрического тока, водный раствор или расплав соли металла, выполняя роль электролита, разлагается, металл осаждается на катоде, где его ионы разряжаются. Сам процесс электрохимического превращения происходит на границе электрод (анод или катод) – раствор. Источником ионов выделяемого металла служат как правило, анод, состоящий из этого металла, и электролит, содержащий его растворимое соединение. Размеры частиц осаждаемого порошка зависят от плотности тока, наличия коллоидов и поверхностно активных веществ. Очень большое влияние на характер осадков оказывает чистота электролита, материал электрода и характер его обработки.

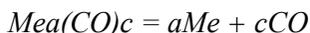
Метод термической диссоциации карбониллов основан на синтезе и термическом разложении карбониллов металлов.

Карбонилы – это соединения металлов с оксидом углерода $Me(CO)_c$, обладающие невысокой температурой образования и разложения. Процесс получения порошков по этому методу состоит из двух главных этапов:

– получение карбонила из исходного соединения



– образование металлического порошка



Основным требованием к таким соединениям является их легколетучесть и небольшие температуры образования и термического разложения (кипения или возгонки). На первой операции – синтез карбонила – отделение карбонила от ненужного вещества X достигается благодаря летучести карбонила. На втором этапе происходит диссоциация (разложение) карбонила путем его нагрева. При этом возникающий газ СО может быть использован для образования новых порций карбониллов. Для синтеза карбониллов используют металлсодержащее сырье: стружку, обрезки, металлическую губку и т.п. Карбонильные порошки содержат примеси углерода, азота, кислорода (1...3%). Очистку порошка производят путем нагрева в сухом водороде или в вакууме до температуры 400...600°С. Этим методом получают порошки железа, никеля, кобальта, хрома, молибдена, вольфрама.

Металлические порошки характеризуются *химическими, физическими и технологическими свойствами*.

Химические свойства металлического порошка зависят от химического состава, который зависит от метода получения порошка и химического состава исходных материалов. Содержание основного металла в порошках составляет 98...99%. Допустимое количество примесей в порошке определяется допустимым их количеством в готовой продукции. Исключение сделано для оксидов железа, меди, никеля, вольфрама и некоторых других, которые при нагреве в присутствии восстановления легко образуют активные атомы металла, улучшающие спекаемость порошков. В металлических порошках содержится значительное количество газов (кислород, водород, азот и др.), как адсорбированных на поверхности, так и попавших внутрь частиц в процессе изготовления или при последующей обработке. Большое количество газов увеличивает хрупкость порошков и затрудняет прессование. Интенсивное выделение газов из спрессованной заготовки при спекании может привести к растрескиванию изделий. Поэтому перед прессованием или в его процессе применяют вакуумирование порошка, обеспечивающее удаление значительного количества газов.

При работе с порошками учитывают их *токсичность* и *пирофорность*. Практически все порошки оказывают вредное воздействие на организм человека. Однако в компактном виде (в виде мелких частичек порошка) большинство металлов безвредно. *Пирофорность*, т.е. способность к самовозгоранию при соприкосновении с воздухом, может привести к воспламенению порошка и даже взрыву. Поэтому при работе с порошками строго соблюдают специальные меры безопасности.

Физические свойства частиц характеризуют форму, размеры и гранулометрический состав, удельную поверхность, плотность и микротвердость.

Форма частиц. В зависимости от метода изготовления порошка получают соответствующую форму частиц: сферическая – при карбонильном способе, губчатая – при восстановлении, осколочная – при измельчении в шаровых мельницах, тарельчатая – при вихревом измельчении, дендритная – при электролизе, каплевидная – при распылении. Эта форма частиц может несколько изменяться при последующей обработке порошка (размол, отжиг, грануляция). Контроль формы частиц выполняют на микроскопе. Форма частиц значительно влияет на плотность, прочность, однородность и свойства прессованного изделия.

Размер частиц и гранулометрический состав. Значительная часть порошков представляет собой смесь частиц порошка размером от долей микрометра до десятых долей миллиметра. Самый широкий диапазон размеров частиц у порошков полученных восстановлением и электролизом. Количественное соотношение объемов частиц различных размеров к общему объему порошка называют гранулометрическим составом.

Удельная поверхность – это сумма наружных поверхностей всех частиц, имеющих в единице объема или массы порошка. Удельная поверхность порошка зависит от метода его получения и значительно влияет на прессование и спекание.

Плотность. Действительная плотность порошковой частицы, носящая название пикнометрической, в значительной мере зависит от наличия примесей закрытых пор, дефектов

кристаллической решетки и других причин и отличается от теоретической. Наибольшее отклонение плотности порошковых частиц от теоретической плотности наблюдают у восстановленных порошков из-за наличия остаточных окислов, микропор, полостей.

Микротвердость порошковой частицы характеризует ее способность к деформированию. Способность к деформированию в значительной степени зависит от содержания примесей в порошковой частице и дефектов кристаллической решетки. Для измерения микротвердости в шлифованную поверхность частицы вдавливают алмазную пирамиду с углом при вершине 136° под действием нагрузки порядка 0,5... 200 г. Измерение выполняют на приборах для измерения микротвердости ПМТ-2 и ПМТ-3.

Технологические свойства порошков: насыпная плотность, текучесть, прессуемость и формуемость.

Насыпная плотность – это масса единицы объема порошка при свободном заполнении объема.

Текучесть порошка характеризует скорость заполнения единицы объема и определяется массой порошка высыпавшегося через отверстие заданного диаметра в единицу времени. От текучести порошка зависит скорость заполнения инструмента и производительность при прессовании. Текучесть порошка обычно уменьшается с увеличением удельной поверхности и шероховатости частичек порошка и усложнением их формы. Последнее обстоятельство затрудняет относительное перемещение частиц. Влажность также значительно уменьшает текучесть порошка.

Прессуемость и формуемость. Под прессуемостью порошка понимают свойство порошка приобретать при прессовании определенную плотность в зависимости от давления, а под формуемостью – свойство порошка сохранять заданную форму, полученную после уплотнения при минимальном давлении. Прессуемость в основном зависит от пластичности частиц порошка, а формуемость – от формы и состояния поверхности частиц. Чем выше насыпная масса порошка, тем хуже, в большинстве случаев, формуемость и лучше прессуемость. Количественно прессуемость определяется

плотностью спрессованного брикета, формуемость оценивают качественно, по внешнему виду спрессованного брикета, или количественно – величиной давления, при котором получают неосыпающийся, прочный брикет.

ФОРМОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

Целью **формования порошков** является придание заготовкам из порошка формы, размеров, плотности и механической прочности, необходимых для последующего изготовления изделий. Формование включает следующие операции: отжиг, классификацию, приготовление смеси, дозирование и формование.

Отжиг порошков применяют с целью повышения их пластичности и прессуемости за счет восстановления остаточных окислов и снятия наклепа. Нагрев осуществляют в защитной среде (восстановительной, инертной или вакууме) при температуре 0,4...0,6 абсолютной температуры плавления металла порошка. Наиболее часто отжигают порошки, полученные механическим измельчением, электролизом и разложением карбониллов.

Классификация порошков – это процесс разделения порошков по величине частиц. Порошки с различной величиной частиц используют для составления смеси, содержащей требуемый процент каждого размера. Классификация частиц размером более 40 мкм производят в проволочных ситах. Если свободный просев затруднен, то применяют протирочные сита. Более мелкие порошки классифицируют на воздушных сепараторах.

Приготовление смесей. В производстве для изготовления изделий используют смеси порошков разных металлов. Смешивание порошков есть одна из важных операций и задачей ее является обеспечение однородности смеси, так как от этого зависят конечные свойства изделий. Наиболее часто применяют механическое смешивание компонентов в шаровых мельницах и смесителях. Соотношение шихты и шаров по массе 1:1. Смешивание сопровождается измельчением компонентов. Смешивание без измельчения проводят в барабанных,

шнековых, лопастных, центробежных, планетарных, конусных смесителях и установках непрерывного действия.

Равномерное и быстрое распределение частиц порошков в объеме смеси достигается при близкой по абсолютной величине плотности смешиваемых компонентов. При большой разнице абсолютной величины плотностей наступает расслоение компонентов. В этом случае полезно применять отдельную загрузку компонентов по частям: сначала более легкие, с каким-либо более тяжелым, затем остальные компоненты. Смешивание всегда лучше происходит в жидкой среде, что не всегда экономически целесообразно из-за усложнения технологического процесса.

При приготовлении шихты некоторых металлических порошков высокой прочности (вольфрама, карбидов металлов) для повышения формуемости в смесь добавляют пластификаторы – вещества смачивающие поверхность частиц. Пластификаторы должны удовлетворять требованиям: обладать высокой смачивающей способностью, выгорать при нагреве без остатка, легко растворяться в органических растворителях. Раствор пластификатора обычно заливают в перемешиваемый порошок, затем смесь сушат для удаления растворителя. Высушенную смесь просеивают через сито.

Дозирование – это процесс отделения определенных объемов смеси порошка. Различают объемное дозирование и дозирование по массе. Объемное дозирование используют при автоматизированном формировании изделий. Дозирование по массе наиболее точный способ, этот способ обеспечивает одинаковую плотность формирования заготовок.

Для формирования изделий из порошков применяют следующие способы: прессование в металлической пресс-форме, изостатическое прессование, прокатку порошков, мундштучное прессование, шликерное формирование, динамическое прессование.

Прессование порошков в металлической пресс-форме под давлением сжатия приводит к уменьшению объема порошка в результате перераспределения частиц, заполнения пустот и пластической деформации.

Схема конструкции металлической пресс-формы для одностороннего прессования приведена на рис. 7.1.

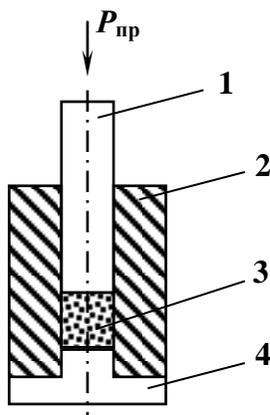


Рис. 7.1. Пресс-форма: 1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – прессуемый порошок; 4 – подставка

Величина давления на боковые стенки зависит от трения между частицами, частицами и стенкой пресс-формы и равна 25...40% вертикального давления пуансона. Из-за трения на боковых стенках по высоте изделия вертикальная величина давления получается неодинаковой: у пуансона наибольшей, а у нижней части – наименьшей (рис. 7.1). По этой причине невозможно получить по высоте отпрессованной заготовки равномерную плотность. Неравномерность плотности по высоте заметна в тех случаях, когда высота больше минимального поперечного сечения. В вертикальном направлении каждый верхний слой оказывается тоньше нижележащего. Изгиб слоев объясняется меньшей скоростью перемещения порошка у стенки из-за трения, чем в центре. Наибольшая плотность получается на расстоянии около 0,2...0,3 наименьшего поперечного размера прессуемого изделия, что связано с действием сил трения между торцом пуансона и порошком.

Для получения более качественных изделий после прессования, получения более равномерной плотности по различным сечениям применяют смазки (стеариновую кислоту и

ее соли, олеиновую кислоту, поливиниловый спирт, парафин, глицерин и др.), уменьшающие внутреннее трение и трение на стенках инструмента. Смазку обычно добавляют в порошок, что обеспечивает наилучшие производственные показатели.

Одностороннее прессование применяют для прессуемых изделий с соотношением высоты к наименьшему размеру поперечного сечения $d : H/d = 2...3$. При большем соотношении размеров применяют двустороннее прессование (рис. 7.2).

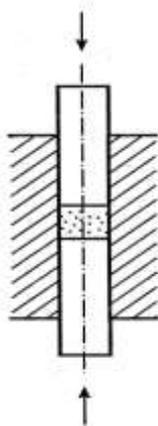


Рис. 7.2. Схема двустороннего прессования порошковых материалов

При прессовании в металлических пресс-формах используют гидравлические универсальные или механические прессы. Давление прессования зависит в основном от требуемой плотности изделий, вида порошка и метода его производства.

Изостатическое прессование – это прессование в эластичной или деформируемой оболочке под действием всестороннего сжатия, что обеспечивает не только равномерную плотность, но и устраняет анизотропию свойств. Таким методом получают прессовки больших габаритов, с большим отношением длины к диаметру (ширине). Если сжимающее усилие создается жидкостью прессование называют **гидростатическим** (рис. 7.3).

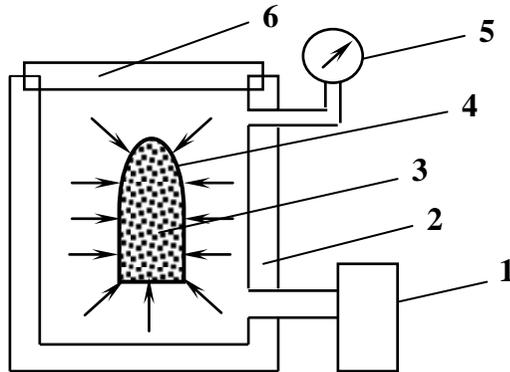


Рис. 7.3. Схема установки для гидростатического формования порошка: 1 – гидронасос высокого давления; 2 – камера прессования (гидростат); 3 – порошок; 4 – эластичная оболочка; 5 – манометр; 6 – крышка

При гидростатическом прессовании порошок засыпают в резиновую оболочку и затем помещают ее после вакуумирования и герметизации в сосуд с жидкостью, в котором поднимают давление до требуемой величины. Из-за практического отсутствия трения между оболочкой и порошком спрессованное изделие получают с равномерной плотностью по всем сечениям, а давление прессования в этом случае меньше, чем при прессовании в стальных пресс-формах. Перед прессованием порошок подвергают виброуплотнению. Гидростатическим прессованием получают цилиндры, трубы, шары, тигли и другие изделия сложной формы. Этот способ выполняют в специальных установках для гидростатического прессования.

Недостатком гидростатического прессования является невозможность получения спрессованных деталей с заданными размерами и необходимость механической обработки при изготовлении изделий точной формы и размеров, а также малая производительность процесса.

Мундштучное прессование – это формование заготовок из смеси порошка с пластификатором путем продавливания ее через отверстие в матрице. В качестве пластификатора применяют парафин, крахмал, поливиниловый спирт, бакелит. Этим методом получают трубы, прутки, уголки и другие изделия большой длины. Схема процесс представлена на рис. 7.4.

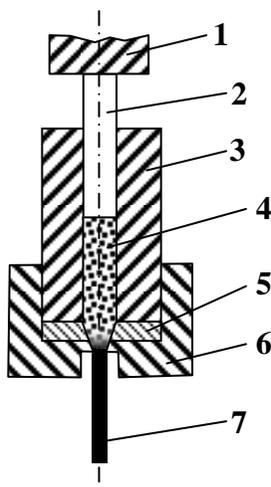


Рис. 7.4. Схема мундштучного прессования: 1 – плунжер гидравлического пресса; 2 – пуансон; 3 – стальной стакан; 4 – порошок; 5 – мундштук; 6 – матрица; 7 – заготовка

Обычно мундштучное прессование выполняют при подогреве материала. В этом случае обычно не используют пластификатор. Порошки алюминия и его сплавы прессуют при 400...500°С, меди – 800...900°С, никеля – 1000...1200°С, стали – 1050...1250°С. Для предупреждения окисления при горячей обработке применяют защитные среды (инертные газы, вакуум). После прессования оболочки удаляют механическим путем или травлением в растворах, инертных спрессованному металлу.

Шликерное формование – представляет собой процесс заливки шликера в пористую форму с последующей сушкой. Шликер в этом случае – это однородная концентрированная

взвесь порошка металла в жидкости. Шликер готовят из порошков с размером частиц 1...2 мкм (реже до 5...10 мкм) и жидкости – воды, спирта. Взвесь порошка однородна и устойчива в течение длительного времени. Форму для шликерного литья изготавливают из гипса, нержавеющей стали, спеченного стеклянного порошка. Формирование изделия заключается в направленном осаждении твердых частиц на стенках формы под действием направленных к ним потоков взвеси (порошка в жидкости). Эти потоки возникают в результате впитывания жидкости в поры гипсовой формы под действием вакуума или центробежных сил, создающих давление в несколько МПа. Время наращивания оболочки определяется ее толщиной и составляет 1...60 мин. После удаления изделия из формы его сушат при 110...150°С в сушильных шкафах.

Плотность изделия достигает 60%, связь частиц обусловлена механическим сцеплением. Этим способом изготавливают трубы, сосуды и изделия заданной формы.

Динамическое прессование – это процесс прессования с использованием импульсных нагрузок. Процесс имеет ряд преимуществ: уменьшаются расходы на инструмент, уменьшается упругая деформация, увеличивается плотность изделий. Отличительной чертой процесса является скорость приложения нагрузки. Источником энергии являются: взрыв заряда взрывчатого вещества, энергия электрического разряда в жидкости, импульсное магнитное поле, сжатый газ, вибрация. В зависимости от источника энергии прессование называют взрывным, электрогидравлическим, электромагнитным, пневмомеханическим и вибрационным. Установлено значительное выделение тепла в контактных участках частичек, облегчающее процесс их деформирования и обеспечивающее большее уплотнение, чем при статическом (обычном) прессовании. Уплотнение порошка под воздействием вибрации происходит в первые 3...30 с. Наиболее эффективно использование вибрации при прессовании порошков непластичных и хрупких материалов. С применением виброуплотнения удается получить равноплотные изделия с отношением высоты к диаметру 4...5:1 и более.

СПЕКАНИЕ

Спеканием называют процесс развития межчастичного сцепления и формирования свойств изделия, полученных при нагреве сформованного порошка. Плотность, прочность и другие физико-механические свойства спеченных изделий зависят от условий изготовления: давления, прессования, температуры, времени и атмосферы спекания и других факторов.

В зависимости от состава шихты различают твердофазное спекание (т.е. спекание без образования жидкой фазы) и жидкофазное, при котором легкоплавкие компоненты смеси порошков расплавляются.

Твердофазное спекание. При твердофазном спекании протекают следующие основные процессы: поверхностная и объемная диффузия атомов, усадка, рекристаллизация, перенос атомов через газовую среду.

Все металлы имеют кристаллическое строение и уже при комнатной температуре совершают значительные колебательные движения относительно положения равновесия. С повышением температуры энергия и амплитуда атомов увеличивается и при некотором их значении возможен переход атома в новое положение, где его энергия и амплитуда снова увеличиваются и возможен новый переход в другое положение. Такое перемещение атомов носит название диффузии и может совершаться как по поверхности (поверхностная диффузия), так и в объеме тела (объемная диффузия). Сокращение суммарного объема пор возможно только при объемной диффузии. При этом происходит изменение геометрических размеров изделия – усадка.

Усадка при спекании может проявляться в изменении размеров и объема. Поэтому различают линейную и объемную усадку. Обычно усадка в направлении прессования больше, чем в поперечном направлении.

Горячее прессование – это процесс одновременно прессования и спекания порошков при температуре $0,5...0,8$ от температуры плавления ($T_{пл}$) основного компонента шихты. Это позволяет использовать увеличение текучести шихты при

повышенных температурах с целью получения малопористых изделий. В этом случае силы давления формования суммируются с внутренними физическими силами приводящими к уплотнению. Наиболее существенными результатами горячего прессования являются максимально быстрое уплотнение и получение изделия с минимальной пористостью при сравнительно малых давлениях. Изделия после горячего прессования обладают более высоким пределом текучести, большим удлинением, повышенной твердостью, лучшей электропроводностью и более точными размерами, чем изделия полученные путем последовательного прессования порядка и спекания. Указанные свойства тем выше, чем больше давление прессования. Горячепрессованные изделия имеют мелкозернистую структуру.

Горячее прессование нагретого порошка или заготовки выполняют в пресс-форме. Нагрев осуществляют обычно электрическим током (рис. 7.5).

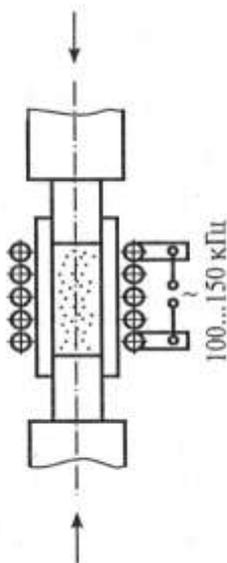


Рис. 7.5. Схема двухстороннего горячего прессования порошковых материалов с нагревом

Материалом для изготовления пресс-форм служат жаропрочные стали, графит, силицированный графит, имеющий повышенную механическую прочность. В настоящее время расширяется применение пресс-форм из тугоплавких оксидов, силикатов и других химических соединений. Для предупреждения взаимодействия прессуемого материала с материалом пресс-формы внутреннюю поверхность ее покрывают каким-либо инертным составом (жидкое стекло, эмаль, нитрид бора и др.) или металлической фольгой. Кроме того, для предупреждения окисления прессуемого изделия применяют защитные среды (восстановительные или инертные) или вакуумирование. Горячее прессование выполняют на специальных гидравлических прессах, имеющих устройства для регулирования температуры при прессовании.

Интенсификация процесса спекания достигается специальными приемами. Для этого используют химические и физические способы активирования спекания. Химическое активирование заключается в изменении состава атмосферы спекания. В настоящее время широко применяют физические способы активирования спекания: циклическое изменение температуры, воздействие вибраций или ультразвука, облучение прессовок, наложение сильного магнитного поля.

Жидкофазное спекание. При жидкофазном спекании в случае смачивания жидкой фазой твердой фазы увеличивается сцепление твердых частичек, а при плохой смачиваемости жидкая фаза тормозит процесс спекания, препятствуя уплотнению. Смачивающая жидкая фаза приводит к увеличению скорости диффузии компонентов и облегчает перемещение частиц твердой фазы. При жидкофазном спекании можно получить практически беспористые изделия.

ИЗДЕЛИЯ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

Металлокерамические подшипники являются в ряде случаев эффективными заменителями антифрикционных подшипниковых сплавов – бронзы, латуни и др. В подшипниках скольжения находят применение следующие

металлокерамические материалы: бронзографит, пористое железо и пористый железографит.

Одно из основных преимуществ металлокерамических вкладышей заключается в наличии в них пор, способствующих образованию устойчивой масляной пленки в подшипнике. В результате предварительной пропитки вкладыша (втулки) в нагретом масле большое количество капилляров вкладыша заполняется маслом и благодаря этому трущаяся поверхность обеспечивается смазочной пленкой в течение длительного времени.

Пористые материалы. К группе пористых относятся антифрикционные, фрикционные материалы, фильтры и так называемые "потеющие" материалы.

Бронзовые фильтры обычно изготавливаются из порошков со сферической формой частиц, полученных путем распыления жидкого металла. Температура спекания составляет 800...900°C. Продолжительность спекания от 30 минут до 1 часа. Бронзовые фильтры с размером частиц порошка 50...130 мкм используются для грубой очистки, 2...30 мкм – для тонкой. Бронзовые фильтры находят широкое применение в промышленности для очистки жидкого горючего в дизелях и реактивных двигателях, смазочных материалов и сжатых газов от твердых примесей размерами 5...200 мкм, а также для очистки разбавленных кислот и щелочей, расплавленного парафина и т.д.

Пористые материалы, изготавливаемые из порошков электролитического и карбонильного никеля методом прессования и последующего спекания при температуре 1000...1100°C, предназначены для работы в качестве фильтров и пористых электродов. Последние находят широкое применение в электрохимии и катализе. Так, щелочные аккумуляторы, электроды которых представляют собой высокопористые никелевые пластины, по сравнению с обычными аккумуляторами имеют меньший вес и габариты. Большое применение находят фильтры из нержавеющей стали, которые обладают более высокой коррозионной стойкостью и значительно дешевле чистого никеля. Для изготовления фильтров применяют порошки из нержавеющей сталей X17H2, X18H9, X30 и др. Технология их изготовления: прессование или

прокатка с последующим спеканием при температуре 1200...1250°C в течение 2...3 часов. Фильтры из нержавеющей стали показали хорошие результаты при очистке жидкого литья, горячего доменного и мартеновского газов. Как преграда для распространения пламени они находят применение в автогенной технике, в производстве ацетилена, в газопламенной обработке металлов, в резервуарах низкокипящих и взрывоопасных жидкостей. Применение пористых материалов для борьбы с обледенением самолетов позволяет снизить на 50% расход антифриза. Использование пористого титана в различных отраслях техники обусловлено рядом его ценных свойств, главным из которых является высокая коррозионная стойкость во многих агрессивных средах и высокая удельная прочность. Титановые пористые материалы получают из порошков с размером частиц менее 60 мкм. С наполнителем, а также из электролитического порошка с размером частиц до 1 мм без наполнителя. Такие изделия спекают в специальной атмосфере при температуре 950...1150°C в течение 1,5...2 часов. Пористый титан стоек в азотной кислоте и щелочных растворах, обеспечивает тонкость очистки 5 мкм и менее.

Перспективно применение в промышленности тепловых труб, обеспечивающих выравнивание температурного поля в различных аппаратах и установках и изотермические условия обработки тех или иных материалов. Так, использование низкотемпературных тепловых труб в электрических машинах для охлаждения роторов и статоров двигателей, генераторов, а также обмоток трансформаторов позволило увеличить их мощность на 30 – 50%. Успешно используются тепловые трубы для охлаждения высоковольтных выключателей большой мощности. Тепловые трубы и паровые камеры имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными элементами передачи тепла, например, циркуляционными теплообменниками: они не имеют подвижных деталей, бесшумны, не требуют расхода энергии на перекачку теплоносителя из зоны конденсации в зону испарения, обладают малым термическим сопротивлением по сравнению с металлическими стержнями таких же геометрических параметров и имеют небольшой вес.

Контрольные вопросы

- 1. Что называют порошковой металлургией?*
- 2. Перечислите основные этапы технологического процесса производств заготовок методом порошковой металлургии.*
- 3. Какие вы знаете способы получения металлических порошков?*
- 4. Какие методы применяют для формования изделий из металлических порошков?*
- 5. В чем сущность спекания сформованных порошков?*
- 6. Назовите изделия из металлических порошков.*
- 7. Перечислите основные операции порошковой металлургии.*

Лекция № 8

Тема: «СВАРНЫЕ ЗАГОТОВКИ И КОНСТРУКЦИИ»

1. Особенности процессов сварки.
2. Классификация процессов сварки.
3. Сварные соединения и швы.
4. Классификация сварных швов.
5. Обозначения сварных швов.
6. Сварка металлических конструкций.
7. Сварка пластмасс.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ

Процесс сварки – это комплекс нескольких одновременно происходящих процессов, основными из которых являются: тепловое воздействие на металл в околошовных участках, плавление, металлургические процессы, кристаллизация металла шва и взаимная кристаллизация металлов в зоне сплавления.

Тепловое воздействие на металл на околошовных участках и процесс плавления определяются способами сварки, его режимами.

Свариваемость – характеристика металла, определяющая его пригодность к образованию сварного соединения. Принято рассматривать технологическую и физическую свариваемости.

Технологическая свариваемость данного металла определяется способом и режимами сварки.

Физическая свариваемость определяется процессами, происходящими в зоне сплавления свариваемых металлов, в результате которых образуется неразъемное сварное соединение. Сближение частиц и создание условий для их взаимодействия осуществляют выбранным способом сварки, а протекание соответствующих физико-химических процессов определяется свойствами соединяемых металлов. Эти свойства металлов характеризуют физическую свариваемость.

Свариваемые металлы могут иметь одинаковые и различные химические составы и свойства. В первом случае это однородные по химическому составу и свойствам металлы, во

втором случае – разнородные. Взаимная растворимость и образование сварного шва происходят при расплавлении однородных металлов и их сплавов, например, стали, меди, алюминия и др. Все однородные металлы обладают физической свариваемостью. Более сложным является соединение разнородных металлов. Это объясняется разными физическими и химическими свойствами (температура плавления, теплопроводность и др.), а также несходством их атомного строения. Свойства разнородных металлов иногда не в состоянии обеспечить необходимые физико-химические процессы в зоне сплавления, поэтому эти металлы не обладают физической свариваемостью. Одни металлы, например железо и свинец, не смешиваются при расплавлении и не образуют сварного соединения, другие – железо и медь, железо и никель, никель и медь – хорошо смешиваются при сварке и образуют сварные соединения.

Соединение металлов при сварке достигается за счет возникновения атомно-молекулярных связей между элементарными частицами соединяемых деталей. Сближению атомов мешают неровности поверхностей в местах, где намечено осуществить соединение деталей, и наличие на них загрязнений в виде оксидов, органических пленок и адсорбированных газов, поэтому для их устранения применяют нагрев, нагрев и давление или только давление.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ

Сварку металлов классифицируют по физическим, техническим и технологическим признакам.

Выделяют три основных физических признака: вид вводимой энергии, наличие давления и тип инструмента – носителя энергии.

В зависимости от вида энергии сварочные процессы (сварка, резка и пайка) делятся на три класса:

– *термический* – сварка осуществляется плавлением с использованием тепловой энергии: дуговая, плазменная, электронно-лучевая, лазерная, электрошлаковая, газовая, высокочастотная и др.;

– *термомеханический* – сварка осуществляется с использованием тепловой энергии и давления: контактная, диффузионная, газопрессовая и др.;

– *механический* – сварка производится с использованием механической энергии и давления: ультразвуковая, сварка трением, холодная, взрывом и др.

К *техническим признакам* относят способ защиты зоны сварки, непрерывность процесса и степень механизации сварки.

По способу защиты металла различают сварку в воздухе, вакууме, защитных газах, под флюсом, по флюсу, в пене и с комбинированной защитой; по непрерывности процесса – непрерывные и прерывистые виды сварки; по степени механизации – ручные, механизированные, автоматизированные и автоматические.

Классификация способов сварки по технологическим признакам производится в зависимости от формы сварного соединения, рода и полярности тока, вида плавящегося или неплавящегося электрода и т. д. В соответствии с этим различают газовую, электрошлаковую, электронно-лучевую, диффузионную, ультразвуковую, холодную и другие виды сварки.

СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И ШВЫ

Соединения – конструктивные скрепления частей изделий. Различают разъемные соединения (болтовые), которые можно разбирать и снова собирать, и неразъемные (сварные и заклепочные).

Сварным соединением называют неразъемное соединение двух элементов, полученное с помощью сварки. В сварное соединение входят сварной шов, прилегающая к нему зона основного металла со структурными и другими изменениями в результате термического воздействия сварки (зона термического влияния) и примыкающие к ней участки основного металла.

Сварной узел представляет собой часть сварной конструкции, в которой с помощью сварки неразъемно соединено несколько деталей.

Сварной конструкцией называется металлическая конструкция, изготовленная из отдельных деталей или узлов с помощью сварки.

Работоспособность сварного изделия определяют тип сварного соединения, форма и размеры сварных соединений и швов, их расположение относительно действующих сил, плавность перехода от сварного шва к основному металлу и др.

Типы сварных соединений.

Различают следующие основные типы сварных соединений: *стыковое, угловое, тавровое, нахлесточное* (рис. 8.1). В зависимости от типа сварного соединения сварные швы бывают стыковыми, угловыми и т. д.

При выборе типа сварного соединения учитывают условия нагружения сварной конструкции при эксплуатации (статические или динамические нагрузки), способ и условия изготовления сварной конструкции (ручная сварка, автоматическая в заводских или монтажных условиях), удобства и возможности при сборке и сварке, экономию основного металла, сварочной проволоки, электродов и др.

Стыковые соединения. Наибольшее распространение в машиностроительных, строительных и других конструкциях получили стыковые сварные соединения (рис. 8.1 а, б). В соединениях такого типа после сварки кромки элементов встык поверхность одного элемента является продолжением поверхности другого. Различают следующие стыковые соединения: без скоса кромок, с отбортовкой, с односторонним скосом (V-образное) и с двусторонним скосом (X-образное). Стыковые сварные соединения по сравнению с соединениями других типов имеют следующие преимущества: возможность сварки элементов неограниченной толщины; равномерное распределение напряжений при передаче усилий от одного элемента конструкции к другому; более высокая прочность при статических и переменных нагрузках в условиях нормальной и высоких температур; минимальный расход металла на образование сварного соединения; надежность и удобство контроля.

Недостатки стыкового соединения: необходимость более точной сборки элементов соединения под сварку, сложность

обработки кромок под сварку профильного проката (уголки, швеллеры, тавры, двутавры).

Угловые соединения. К угловым соединениям (рис. 8.1, в) относят соединения, элементы которых расположены под углом и сварены в месте примыкания их краев. Они широко применяются в машиностроительных, а также строительных конструкциях (балках, мачтах, фермах и т. п.). При толщине свариваемых элементов менее 3 мм угловое соединение выполняют заподлицо; при толщине более 3 мм применяют соединение со сдвинутыми кромками; а при толщине элементов более 8 мм угловое соединение сваривают с двух сторон. Швы угловых соединений желательно выполнять в нижнем положении ("в лодочку"). В таком положении обеспечиваются лучшие условия формирования сварного шва.

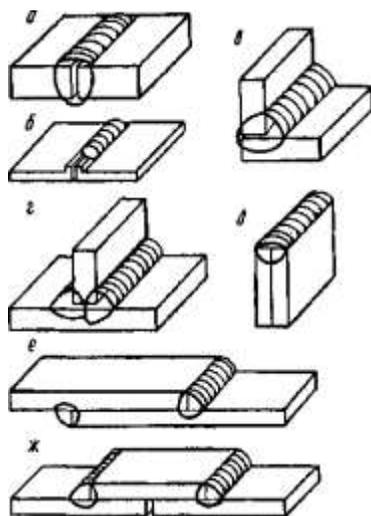


Рис. 8.1. Типы сварных соединений: а – стыковое; б – стыковое с отбортовкой; в – угловое; г – тавровое; д – торцевое; е – нахлестанное; ж – с накладкой

Тавровые соединения. Тавровым называют сварное соединение, в котором торец одного элемента примыкает под углом и приварен к боковой поверхности другого элемента (рис.

8.1, г). Сечение этого соединения имеет вид буквы Т, отсюда и название "тавровое". При тавровом соединении угол между полкой и стенкой может быть как прямым, так и отличаться от него. Сочетание толщин также может быть различным. Они часто встречаются в строительных конструкциях. Различают несколько видов тавровых соединений: без скоса и со скосом кромок с одной или двух сторон. Угол скоса кромок в тавровых соединениях под прямым углом обычно принимают равным $55...60^\circ$, а зазор между соединяемыми элементами – $0,5...1$ мм. В сварных конструкциях из листового и профильного проката толщина свариваемых элементов в тавровых соединениях составляет $2...30$ мм.

Торцевые соединения. Торцевым называют сварное соединение, в котором свариваемые элементы расположены параллельно впритык, а шов выполняют общим на торцах обеих деталей (рис. 8.1, д).

Нахлесточные соединения. Нахлесточным является сварное соединение, в котором свариваемые элементы расположены параллельно и частично перекрывают друг друга, т. е. один лист металла накладывается на другой (рис. 8.1, е, ж). Величина перекрытия составляет $3...240$ мм и зависит от толщины свариваемого металла (величина нахлестки должна быть не менее трех толщин тонкой детали). Они могут быть как с односторонними, так и с двусторонними швами. Соединение внахлестку широко используют при изготовлении резервуаров, мачт, ферм, колонн и других конструкций.

Преимущества соединений внахлестку: более простая подготовка элементов под сварку по сравнению с другими соединениями; удобство сборки и небольшие деформации, возникающие в конструкциях при сварке.

Недостатки соединений внахлестку: расход металла на нахлестку; необходимость сварки с двух сторон; возникновение в соединении очагов коррозии; большой расход наплавленного металла и затраты времени на сварку.

Соединения внахлестку наиболее распространены для элементов малых и средних толщин (менее 10 мм).

Помимо стыковых, тавровых, нахлесточных, угловых соединений, при сварке применяют соединения в кромку (при

толщине свариваемых элементов до 3 мм) и прорезные соединения, имеющие прорезь в одной из деталей, прикрепляемой внахлестку. Прорезные соединения имеют круглые и удлиненные отверстия. Если диаметр отверстия превышает 30 мм, то сварку по внутреннему контуру отверстия выполняют без его полного заполнения.

КЛАССИФИКАЦИЯ СВАРНЫХ ШВОВ

Сварной шов является элементом сварного соединения, который образуется после кристаллизации (затвердевания) расплавленного металла сварочной ванны по линии перемещения сварочной дуги при сварке.

Сварные швы классифицируют по ряду признаков:

– по расположению действующего на сварной шов усилия (рис. 8.2.) – на фланговые (рис. 8.2, а), торцевые, или лобовые (рис. 8.2, б), комбинированные (рис. 8.2, в) и косые (рис. 8.2, г). Это относится к угловым швам нахлесточных соединений. Лобовой шов расположен перпендикулярно к усилию, фланговый – параллельно, а косой – под углом;

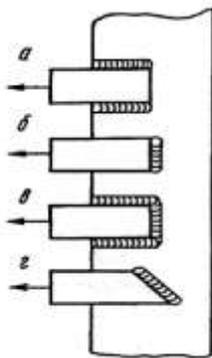


Рис. 8.2. Виды сварных швов по отношению к направлению действующих усилий: а – фланговый; б – лобовой; в – комбинированный; г – косой

– по расположению в пространстве – на нижние (рис. 8.3, а), горизонтальные (рис. 8.3, б), вертикальные (рис. 8.3, в) и потолочные (рис. 8.3, г).

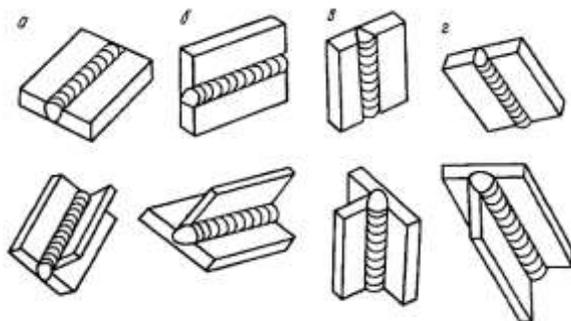


Рис. 8.3. Пространственное положение стыковых и угловых сварных швов: а – нижнее; б – горизонтальное; в – вертикальное; г – потолочное

– по форме наружной поверхности – на нормальные, усиленные и ослабленные (рис. 8.4).

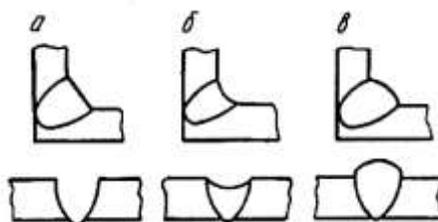


Рис. 8.4. Виды сварных швов по типу усиления: а – нормальный; б – ослабленный; в – усиленный

Как правило, все швы выполняют с небольшим усилением (выпуклыми). Если требуются швы без усиления, это должно быть указано на чертеже. Ослабленными (вогнутыми) выполняют угловые швы, что также отмечается на чертеже. Такие швы требуются для улучшения работы сварных

соединений, например при переменных нагрузках. Стыковые швы ослабленными не делают, вогнутость в этом случае является браком.

Увеличение размеров сварных швов по сравнению с заданными приводит к повышению расхода наплавленного металла. В результате возрастает себестоимость сварных конструкций, повышается трудоемкость сварочных работ, увеличивается потребность в сварочных материалах и оборудовании;

– *по ширине* – на ниточные и уширенные. Ниточные швы обычно выполняют при сварке тонкого металла, а уширенные – при наплавочных работах;

– *по числу слоев* – на однослойные и многослойные (рис. 8.5). Однослойные швы, как правило, бывают однопроводными, а многослойные – многопроводными.

При сварке каждый слой многослойного стыкового шва отжигается при наложении последующего слоя. В результате такого теплового воздействия на металл сварного шва улучшаются его структура и механические свойства. Толщина каждого слоя в многослойных швах примерно равна 5...6 мм;

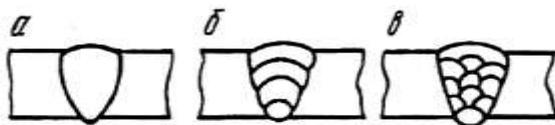


Рис. 8.5. Виды сварных швов по количеству наложения слоев: а – однослойный; б – многослойный; в – многослойный многопроходной

– *по протяженности* – на сплошные и прерывистые (рис. 8.6). В основном швы выполняют сплошными. Прерывистые швы обычно используют при малых нагрузках, действующих на конструкцию;

– *по назначению* – на прочные, плотные (непроницаемые для газов или жидкостей) и прочноплотные. Сварные

соединения, особенно стыковые, должны быть равнопрочны с основным металлом и прочноплотными;

– по *форме* – на стыковые, тавровые, нахлесточные, угловые, по кромке и прорезные;

– по *конфигурации* – на прямолинейные, кольцевые и криволинейные;

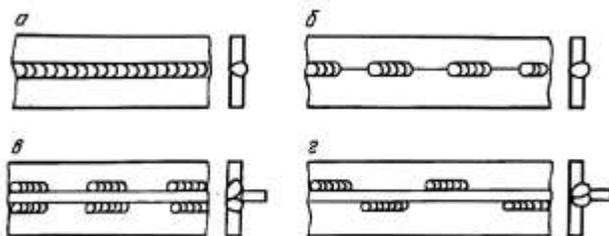


Рис. 8.6. Виды сварных швов по протяженности: а – сплошной; б – прерывистый; в – цепной прерывистый; г – шахматный прерывистый

– по *условиям работы* – на рабочие и связующие. Рабочий шов – это сварной шов, передающий рабочие усилия в конструкции (рис. 8.7, а).

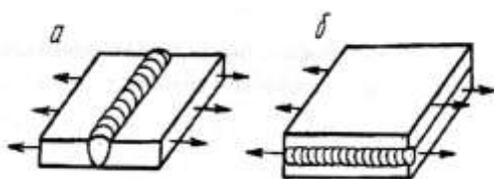


Рис. 8.7. Сварные швы: а – рабочие, б – связующие

Связующий сварной шов (рис. 8.7, б) не предназначен для передачи усилий при работе сварной конструкции. Поэтому дефекты в таких швах не приводят к выходу из строя сварной конструкции. Наплавленный металл связующих швов под действием внешних сил деформируется вместе с основным

металлом, в них возникают примерно одинаковые напряжения. Наплавленный металл и основной металл работают совместно. Напряжения, возникающие в сварных связующих швах, не влияют на прочность конструкции.

Элементы металлических конструкций нередко соединяют проплавными швами (рис. 8.8). Проплавной шов – это сварной шов, образующийся в результате сквозного проплавления одного из соединяемых элементов. Соединение, выполненное проплавным швом, называют *проплавным*. Проплавной сварной шов применяют в нахлесточном или тавровом соединении, если толщина проплавляемых деталей не превышает 10 мм. На рис. 8.8 показаны проплавные швы в нахлесточном (а) и тавровом (б) соединениях.

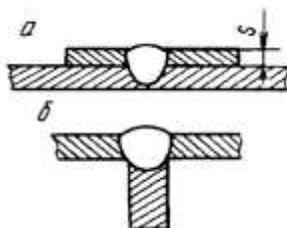


Рис. 8.8. Проплавные швы: а – нахлесточного соединения; б – таврового соединения; s – толщина проплавляемой детали

– по способу удержания расплавленного металла во время сварки – на швы, выполненные без подкладок и подушек, на съемных и остающихся подкладках, на медных, флюсомедных, керамических и асбестовых подкладках, а также на флюсовых и газовых подушках;

– по форме свариваемой конструкции – на швы, выполненные на плоских и объемных деталях, а по расположению на изделии – на продольные и поперечные;

– по расположению свариваемых узлов или деталей относительно друг друга – на швы, выполненные под острым, прямым или тупым углом, а также расположенные в одной плоскости;

– по применяемому виду сварки – на швы ручной дуговой сварки, дуговой сварки в защитных газах, швы газовой сварки и т.д.

При сборке конструкций под сварку часто используют сборочные швы – *прихватки*, которые служат для предварительного закрепления элементов конструкции между собой. Длина и сечение прихваток зависят от массы собираемых элементов и их толщины: чем они больше, тем больше длина и сечение прихваток. Для сборки конструкций из тонкого металла прихватки обычно выполняют коротким (точечным) швом.

Для обеспечения качественного провара и формирования сварного шва выполняют *подготовку кромок под сварку* (рис. 8.9). Элементами геометрической формы подготовки кромок под сварку являются угол разделки кромок β , угол скоса одной кромки α , зазор между стыкуемыми кромками b , притупление c . Существующие способы ручной дуговой сварки позволяют сваривать без разделки кромок металл ограниченной толщины – до 5 мм. Поэтому при сварке металла большой толщины необходимо разделять кромки для доступа сварочной дуги в глубь соединения и полного проплавления кромок на всю их толщину. Стандартный угол разделки кромок в зависимости от способа сварки и типа соединения изменяется от $45...47^{\circ}$ до $12...14^{\circ}$. От типа разделки и величины разделки кромок зависят количество дополнительного металла для заполнения разделки, а значит, и производительность сварки. Так, например, X-образная разделка кромок по сравнению с V-образной позволяет уменьшить объем наплавленного металла в 1,6...1,7 раза. Притупление обычно составляет 2 ± 1 мм. Его назначение – обеспечить правильное формирование шва и предотвратить прожоги в корне шва.

Зазор e обычно равен 1...2 мм. Наличие зазора необходимо для провара корня шва.

Элементами геометрической формы стыкового шва являются ширина шва e , глубина провара h , выпуклость (вогнутость) шва q , а элементами углового шва – катет k (рис. 8.9).

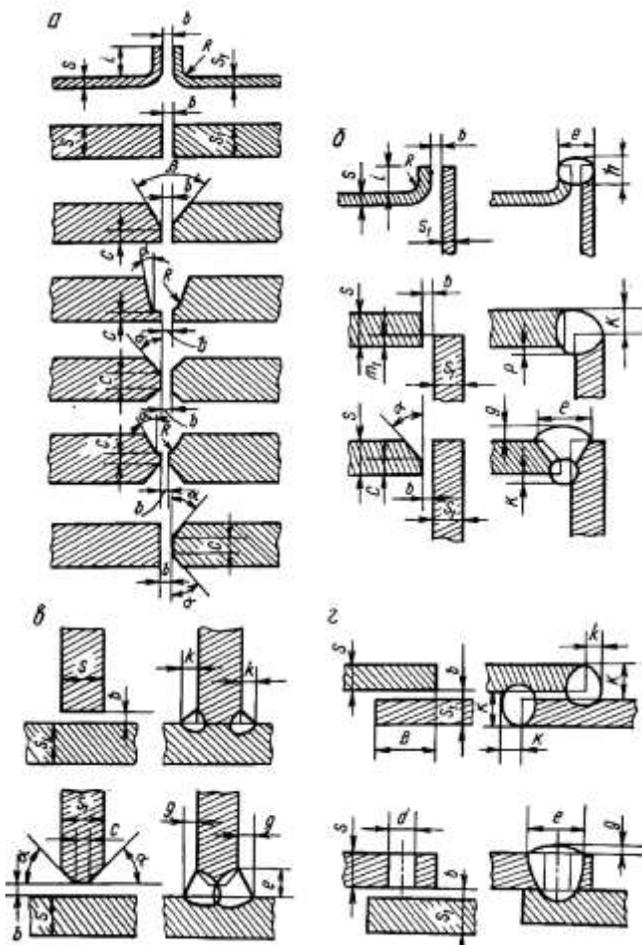


Рис. 8.9. Элементы геометрической формы подготовленных кромок под сварку: а – стыковых швов; б – угловых; в – тавровых; г – нахлесточных швов; б – зазор; В – размер нахлестки; с – притупление; d – диаметр отверстия; e – ширина шва; k – катет шва; t_1 – величина смещения кромок; S и S_1 толщина металла; q – выпуклость шва; α – угол скоса кромки; β – угол разделки кромок

Глубина проплавления (провара) h представляет собой наибольшую глубину расплавления основного металла в сечении шва.

Характеристикой формы валика или стыкового шва без разделки кромок служит *коэффициент формы проплавления (провара)*, который определяется как отношение ширины e валика к глубине проплавления h .

Характеристикой формы стыкового шва с разделкой или углового шва является *коэффициент формы шва*, который определяется как отношение ширины шва e к его толщине s .

Ширина сварного шва и глубина провара зависят от способа сварки, режимов сварки, толщины свариваемых элементов и других факторов.

Симметричный стыковой шов отличается от других стыковых швов тем, что обе его части, выполненные с двух сторон относительно сечения, имеют одинаковые форму и размеры. Существенное преимущество симметричных швов – меньшие, чем в односторонних швах, деформации, возникающие при сварке.

ОБОЗНАЧЕНИЯ СВАРНЫХ ШВОВ

Основные типы, конструктивные элементы, размеры и условные *обозначения сварных соединений и швов* на чертежах, а также форма и размеры подготовки свариваемых кромок из различных конструкционных материалов, применяемых при дуговой сварке, регламентируются стандартами.

Видимый шов изображают сплошной линией, невидимый – штриховой. От изображения шва проводят линию-выноску с односторонней стрелкой, указывающей место расположения шва. На чертежах поперечных сечений границы шва изображают сплошными основными линиями, а конструктивные элементы кромок в границах шва – сплошными тонкими линиями (рис. 8.10).

Обозначения сварных швов наносят над полкой линии-выноски для лицевой стороны шва и под полкой – для обратной.

В эти обозначения входят следующие элементы:

- обозначение стандарта типа и конструктивных элементов сварных соединений;
- буквенно-цифровое обозначение шва по стандарту;
- условное обозначение способа сварки;
- знаки профиля шва и его катета для швов угловых, тавровых и нахлесточных соединений;
- длина и расположение участков прерывистого шва;
- вспомогательные знаки.

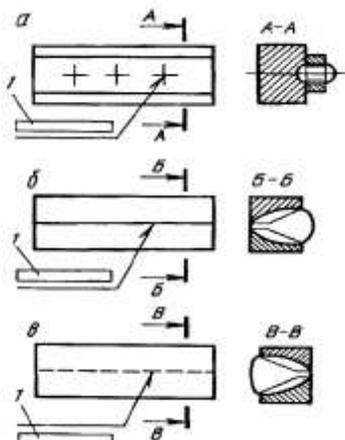


Рис. 8.10. Условные изображения видимых и невидимых швов сварных соединений: а – видимый электрозаклепочный; б – видимый стыковой односторонний; в – невидимый стыковой односторонний; I – условное обозначение шва по ГОСТу

СВАРКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Классификация сварных конструкций. Сварные конструкции классифицируют по методу получения заготовок – на листоварные, кованосварные, штамповарные; по назначению – на машиностроительные, строительные, вагонные, судовые, авиационные и др.; в зависимости от толщины свариваемых элементов – на тонкостенные и толстостенные; по

применяемым материалам – на стальные, алюминиевые, титановые и т.д.

Рассмотрим основные типы сварных элементов и конструкций.

Балки – конструктивные элементы, работающие в основном на поперечный изгиб. Жестко соединенные между собой балки образуют рамные конструкции.

Колонны – элементы, работающие преимущественно на сжатие или на сжатие с продольным изгибом.

Решетчатые конструкции – представляют собой систему стержней, соединенных в узлах таким образом, что стержни испытывают главным образом растяжение или сжатие. К ним относят фермы, мачты, арматурные сетки и каркасы.

Оболочковые конструкции, как правило, испытывают избыточное давление, к ним предъявляют требование герметичности соединений. Это различные емкости, сосуды и трубопроводы.

Корпусные транспортные конструкции подвергаются динамическим нагрузкам. Они должны удовлетворять требованиям высокой жесткости при минимальной массе. Основные конструкции данного типа – кузова автомобилей, корпуса судов, вагонов.

Детали машин и приборов работают преимущественно при переменных, многократно повторяющихся нагрузках. К ним предъявляют требование точных размеров, обеспечиваемое главным образом механической обработкой. Примерами таких изделий являются станины, валы, колеса.

СВАРКА ПЛАСТМАСС

Классификация способов сварки пластмасс. По виду использования энергии сварку пластмасс можно разделить на 3 класса: 1) термический; 2) механический; 3) термомеханический.

Если соединение образуется в результате расплавления или размягчения кромок и присадочного материала, то такой класс сварки относят к *термическому*.

Совместное использование нагрева и давления является признаком *термомеханического* класса.

К чисто *механическому* классу относят способы сварки, когда тепловая энергия внутри изделия получается в процессе превращения механической энергии.

К термическому классу следует отнести сварку нагретым газом, сварку экструдированной присадкой (расплавом) и их разновидности. К термомеханическому классу относятся контактная тепловая сварка, к механическому – сварка ультразвуком, трением, вибротрением.

Сварку нагретым газом осуществляют с использованием присадки или без нее. При сварке с присадкой нагретым газом, подаваемым в специальную горелку, разогревают кромки и часть присадочного материала, который подают в сварочную зону. Присадочный материал в ряде случаев прижимают к кромкам специальным роликом. Наиболее часто в качестве нагретого газа используют воздух.

При сварке без присадки размягченные кромки сдавливают. Поэтому наиболее рациональным типом соединения в этом случае будет нахлесточное, например, при сварке пленочных материалов. Сварка нагретым газом применяется для соединения деталей из поливинилхлорида, полиэтилена, полипропилена, полиамидов, полистирола, винилпласта и т.п.

Сварка экструдированной присадкой. Схемы сварки по бесконтактному и контактному экструзионному способу приведены на рис. 8.11.

В первом случае расплавленный материал из экструдера подается в свариваемый зазор, нагревает кромки до свариваемой температуры и, застывая, прочно соединяет их. С помощью ролика свариваемый шов прокатывают, что улучшает его прочность и форму.

Во втором случае мундштук экструдера касается кромок и за счет этого повышается эффективность использования тепловой энергии. Мундштук экструдера выполняет роль прижимного ролика, обеспечивая необходимый контакт присадочного материала с поверхностью кромок. При толщине более 3 мм их разделяют, применяя V образную или X-образную разделку.

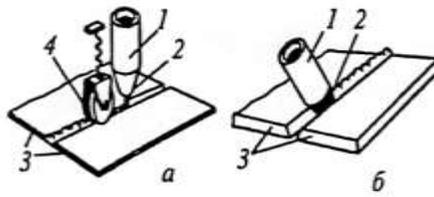


Рис. 8.11. Схема бесконтактной (а) и контактной (б) экструзионной сварки расплавом: 1 – экструдер; 2 – мундштук экструдера; 3 – свариваемые детали; 4 – прокатывающий ролик

Контактная тепловая сварка относится к термомеханическому классу. Детали в месте соединения нагревают до температуры вязкотекучего состояния нагретым инструментом, затем сдавливают (рис. 8.12).

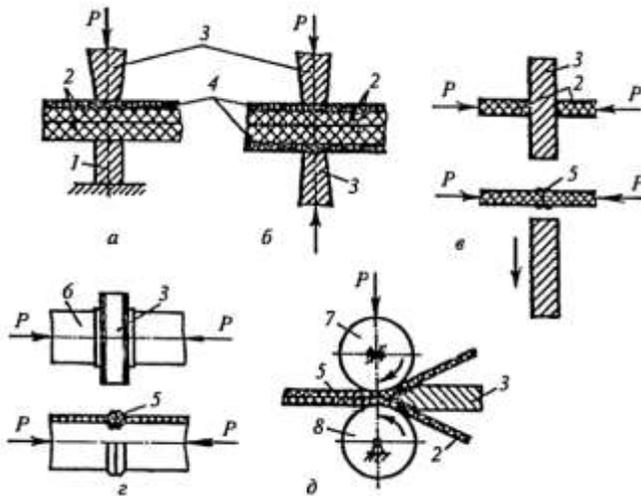


Рис. 8.12. Сварка нагретым инструментом: 1 – опора; 2 – свариваемые листы; 3 – нагретый инструмент; 4 – изоляционная прокладка; 5 – сварной шов; 6 – свариваемые трубы; 7 – ведущий ролик; 8 – ролик-опора

В качестве нагретого инструмента используют стальные пластины, ленты, ролики, электропаяльники, диски и т.п. Нагретый инструмент перед осадкой удаляют.

На рис 8.12,а представлена сварка с односторонним нагревом; на рис 8.12, б – с двусторонним нагревом, при котором нагреватель соприкасается с внешней поверхностью (проплавление); на рис 8.12, в – сварка листов; на рис. 6.12, г – сварка труб, нагреватель соприкасается непосредственно со свариваемыми поверхностями (оплавление); на рис. 8.12, д – сварка пленок нагретым клином с механизированной подачей свариваемых пленок.

Контрольные вопросы

- 1. Дайте определение процессу сварки.*
- 2. Что такое свариваемость?*
- 3. Как классифицируют процессы варки?*
- 4. Назовите типы сварных соединений и швов.*
- 5. Что является элементами геометрической формы стыкового шва?*
- 6. Как на чертежах обозначаются видимые и невидимые сварные швы?*
- 7. Какие вы знаете типы сварных элементов и конструкций?*
- 8. Перечислите методы сварки пластмасс.*

Лекция № 9

Тема: «МЕТОДЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПЛАСТИЧЕСКИХ МАСС»

1. *Ведение*
2. *Классификация методов формообразования изделий из пластмасс.*
3. *Формование изделий методом экструзии.*
4. *Литье под давлением.*
5. *Вальцевание.*
6. *Каландрование.*
7. *Ротационное формование.*
8. *Прессование.*
9. *Формование изделий из листовых термопластов.*

ВВЕДЕНИЕ

Процессы формообразования изделий из пластмасс сводятся к получению на основе полимеров материала, переводу этого материала в состояние в котором он легко принимает форму и, наконец, к фиксированию заданной формы изделия.

Для формования материала его подвергают плавлению, растворяют в соответствующей жидкости или перерабатывают в виде порошка. После того, как материал переведен в состояние, в котором он легко деформируется, с помощью специального оборудования ему придают требуемую форму.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПЛАСТМАСС

Переработка пластмасс представляет собой совокупность различных технологических процессов, с помощью которых исходный полимер превращается в изделие заданной формы. Методы переработки пластмасс подразделяются на: подготовительные, основные и завершающие.

К методам предварительной подготовки относятся смешивание, вальцевание, таблетирование, гранулирование, сушка и предварительный подогрев.

К основным методам формообразования изделий из пластмасс относятся:

продавливанием полимера через формующий канал;

– *литье под давлением* – процесс формования изделий путем нагрева материала, заполнения им формы (впрыска), выдержки под давлением и отверждения;

– *прессование* заключается в нагревании под давлением, находящегося в пресс-форме материала;

– *каландрование* – процесс непрерывного продавливания полимерного материала через зазор между несколькими параллельно расположенными вращающимися валками;

– *экструзия* – процесс формования изделий продавливанием полимера через формующий канал;

– *ротационное формование* – метод изготовления полых изделий;

– *методы компрессионного формования* – процессы переработки листовых и пленочных материалов путем нагрева и придания формы.

Завершающие методы: механическая обработка изделий, сварка, склеивание.

ФОРМОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ЭКСТРУЗИИ

Одним из наиболее применяемых методов формообразования изделий из пластмасс является экструзия.

Экструзия – это изготовление из гранулированного, порошкообразного или зернистого полимера бесконечного формованного профилированного изделия. При экструзии расплав полимера непрерывно выдавливается через формообразующее отверстие в виде профиля определенного сечения. Методом экструзии получают профильные изделия: трубы, уголки, полосы, стержни и др.

В экструзионной установке наиболее значимым элементом является сам *экструдер*, называемый также *шнековым прессом*. Принцип работы экструдера состоит в том, что в нагреваемом цилиндре вращается шнек, который уплотняет, расплавляет и гомогенизирует

полимерную массу, а затем выдавливает ее сквозь выходное отверстие формующей головки. Сам по себе экструдер не является машиной для переработки полимеров, а представляет собой лишь пластифицирующее устройство. Экструдер, укомплектованный формующей головкой, устройствами калибровки, охлаждения, отвода и намотки – это технологическая установка для переработки полимеров.

Наряду с одношнековыми машинами также используются и многошнековые экструдеры. Из многошнековых машин для переработки порошкообразных полимеров, в первую очередь ПВХ, особое значение приобрел двухшнековый экструдер.

Экструзии поддаются все термопласты. Единственное условие – все подлежащие переплавке полимеры в состоянии расплава должны обладать высокой степенью вязкости. Это необходимо для того, чтобы выходящий из формующей головки расплав не растекался, а сохранял на короткое время приданную ему форму. Высокая вязкость расплава достигается либо высокой степенью полимеризации, либо введением в полимер определенных добавок. Из всех термопластов экструзией чаще всего перерабатывается ПВХ, за ним ПЭ, ПП, ПА. Схема работы экструдера представлена на рис. 9.1.

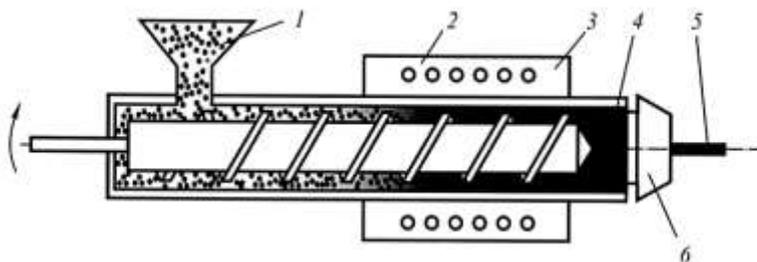


Рис. 9.1. Схематическое изображение экструдера

В бункер 1 загружают материал в виде гранул. Цилиндр обогревается электроннагревателями 2. Вращением шнека 3 материал перемещается в цилиндре в направлении формующей головки 6. Перемещаясь по цилиндру, материал нагревается, плавится и нагнетается в формующую головку. По мере выхода из отверстия головки экструдированный профиль 5 охлаждается и затвердевает,

сохраняя форму и размеры выходных щелей головки. Современные экструдеры оборудуют средствами контроля и регулировки параметров процесса.

Экструзионная головка – это формообразующий инструмент. Она устанавливается на конце цилиндра и сконструирована таким образом, чтобы расплав полимера принимал желаемую форму сечения. При этом необходимо следить, за тем, чтобы проточный канал (от входной зоны потока до прямолинейного участка) по возможности плавно переходил к форме сечения изготавливаемого изделия. Это позволяет расплаву выходить из головки с одинаковой скоростью, а не оставаться в застойных участках. При переходе расплава полимера из материального цилиндра в головку он проходит через узкий участок, обеспечивающий рост давления в цилиндре. Дополнительную возможность дросселирования дает решетка.

Головка разделена на три части: входная зона; переходной участок или участок распределения расплава; прямолинейная направляющая зона.

В первой зоне расплав переходит от круглого сечения цилиндра к сечению канала, который приблизительно повторяет внешние контуры профиля. На переходном участке расплаву придается форма профиля.

Прямолинейная направляющая зона служит только для успокоения потока расплава.

Формующие головки для изготовления труб и профилей. Для изготовления труб и полых профилей используются головки, во внутренних гнездах которых устанавливаются *дорны* – рассекатели (рис. 9.2). Дорн жестко фиксируется в головке в специальных держателях с радиально расположенными спицами.

Для того, чтобы потоки, разделяемые дорнодержателями могли вновь объединиться, за держателем следует зона сжатия, которая, как правило, исполнена простым уменьшением диаметра проточного канала

Одинаковая по всему периметру толщина стенки трубы обеспечивается радиально регулируемым винтами. Подаваемый через отверстие в витке сжатый воздух способствует ее последующей калибровке.

Полимерные профили, изготовленные методом экструзии, делятся на три группы:

1. Профили с полыми камерами (полые профили).
2. Открытые профили.

3. Сплошные стержневые профили.

В соответствии с этим сконструированы и экструзионные головки.

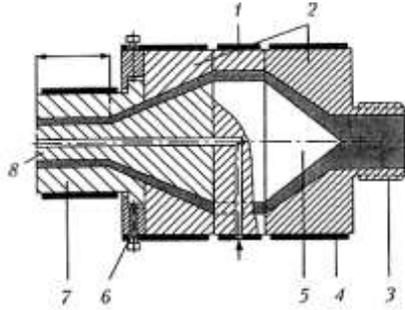


Рис. 9.2. Дорн экструзионной головки для производства труб:

1 – держатель дорна; 2 – корпус; 3 – крепежный элемент;
4 – нагревательный элемент; 5 – наконечник дорна; 6 – центрирующий элемент; 7 – фильера; 8 – дорн

Производство рукавных пленок методом экструзии с раздувом. Линия для изготовления рукавных пленок методом экструзии с раздувом состоит из экструдера с формующей головкой, охлаждающего кольца, направляющих складывающих щек или направляющих роликов, тянущих и отжимных валков и намоточного устройства (рис. 9.3).

Расплав, образующийся в экструдере, выдавливается через экструзионную головку с кольцевым формующим каналом. Полученная таким образом тонкостенная труба с помощью сжатого воздуха подвергается пневматическому растяжению. Внутри рукава устанавливается избыточное давление. Воздух внутри рукава запирается с помощью сжимающих валков. Чтобы пленочная заготовка сохраняла цилиндрическую форму и имела равномерную толщину, тонкостенную трубу подвергают быстрому и равномерному охлаждению с помощью холодного воздуха, подаваемого в охлаждающее устройство. С помощью направляющих роликов или складывающих щек осуществляется складывание рукава, который после тянущих валков подается на намоточное устройство.

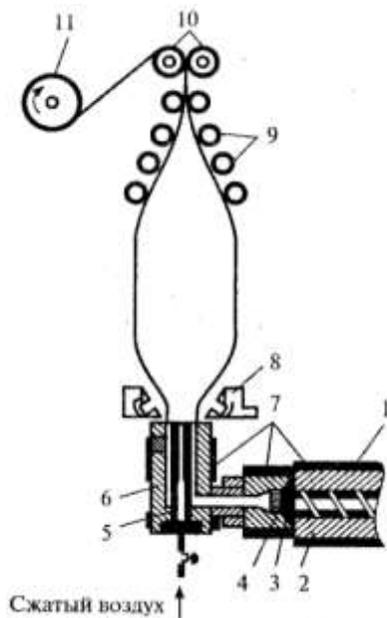


Рис. 9.3. Схема изготовления пленки раздуванием трубы вверх:
 1 – шнек; 2 – цилиндр экструдера; 3 и 4 – фильтрующая сетка и решетка; 5 – дорн; 6 – оформляющая головка; 7 – электрические нагреватели; 8 – охлаждающее устройство; 9 – направляющие ролики; 10 – тянущие сжимающие вальцы; 11 – намоточное устройство.

Производство плоских пленок. Для изготовления плоских пленок и листов используются экструзионные головки, в которых поток расширяется в поперечном направлении. Ширина потока в этом случае может быть до 3 м. Сложность конструирования такой оснастки состоит в том, чтобы добиться равномерной скорости потока расплава по всей ширине формирующей щели при его выходе из головки.

Данную проблему решают щелевые головки малой габаритной длины с упругой дроссельной планкой, которая и выравнивает скорость потока. На рис. 9.4. представлена схема плоскощелевой головки.

Поток расплава, выходящий из цилиндра экструдера, попадает в круглый поперечный канал. Оттуда расплав вытекает через продольный шлиц, минуя дроссельную планку. Скорость потока может быть

откорректирована на любом участке регулировочными винтами. Губки щелевой головки обеспечивают необходимую гладкость поверхности расплава и выступают в роли прямолинейной направляющей.

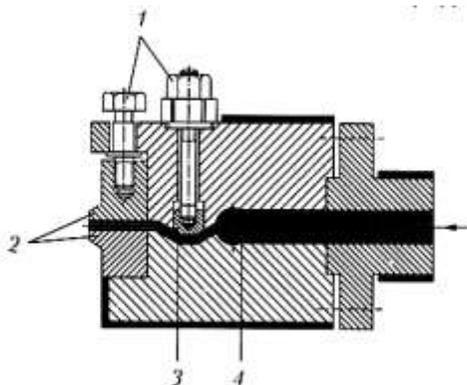


Рис. 9.4. Плоскощелевая головка: 1 – регулировочные винты, 2 – губки; 3 – упругий элемент дросселя; 4 – распределительный канал

Плоские пленки получают экструзией через плоскощелевую головку с охлаждением заготовки на валках, поливом на холодный барабан или поливом в водяную ванну.

Пленка выходит из головки экструдера вертикально вниз и попадает в водяную ванну, где быстро охлаждается. На качество пленок значительное влияние оказывает расстояние от формирующих губок плоскощелевой головки до поверхности (зеркала) воды. Это расстояние не должно превышать 6...12 мм. В процессе экструзии необходимо следить за тем, чтобы поверхность воды всегда была спокойной.

К преимуществам этих методов относятся:

1. Высокая прозрачность пленок.
2. Отсутствие опасности склеивания вследствие интенсивного охлаждения.
3. Упрощение намотки без складок.

Экструзионно-раздувное формование. Под *раздувным формованием* понимают раздувание экструдированного термопластичного участка рукава внутри разъемной поллой формы до тех пор, пока рукав не примет конфигурацию ее внутренней полости. Таким образом, речь идет о двухступенчатом процессе. Первый этап –

экструзия рукава (заготовки) как правило, из обращенной вниз угловой головки, а второй этап представляет собой раздувание этого рукава внутри сомкнутой формы и превращение его в полое изделие. Необходимые для этого машины в соответствии с принятой номенклатурой изделий подразделяются на оборудование, предназначенное для изготовления:

- упаковочных полых изделий (объем до 5 л);
- бутылок (объем от 0,1 до 10 л);
- контейнеров (объем от 10 до 200 л);
- контейнеров больших размеров (объем от 600 до 3000 л).

Из полимеров для раздувного формования чаще всего используется ПЭТФ, ПЭ, используемые в сфере производства тары.

Раздувные формы, как правило, разделены на две части и имеют полость, соответствующую контурам полого изделия.

Обычно разделение раздувных форм проходит по оси симметрии раздуваемого изделия. При этом получают две одинаковые или зеркальные части формы (полуформы) с плоской поверхностью разъема (рис. 9.5).

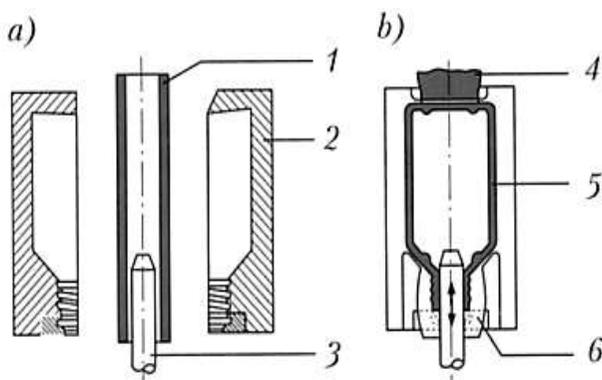


Рис. 9.5. Раздувная форма с раздувным дорном: а – форма открыта; б – форма закрыта; 1 – рукав; 2 – форма; 3 – раздувной дорн; 4 – отжимной участок рукава; 5 – бутылка; 6 – калибровка горловины

Для обеспечения лучшего соединения формы используют две или четыре направляющие колонки и направляющие втулки.

Помимо подвода воздуха задача выдувного дорна состоит еще и в калибровке размера отверстия горловины раздуваемой емкости. Кроме того, в процессах изготовления бутылок с резьбой он обеспечивает достаточную степень вдавливания полимера в канавки между нитками резьбы формы.

Раздувные формы изготавливаются из стали или литых цветных сплавов (сплав электролитного цинка алюминиевый сплав).

ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Литье под давлением – это самый распространенный способ получения изделий из полимерных материалов. Он применяется как в производстве небольших деталей, например, шестеренок для часов, так и для изготовления изделий большого размера (мусорные баки, автомобильные бамперы). В большинстве случаев изготовленные по этой технологии изделия не требуют дополнительной обработки.

Литье под давлением включает в себя пластикацию гранулированного или порошкообразного материала (формовочной массы) и его перемещение под высоким давлением и на высокой скорости в формующую полость литьевой машины, где он затвердевает за счет охлаждения или «сшивки», что позволяет извлечь готовое изделие из формы.

Все стадии изготовления полостью автоматизированы.

Пластмассовые изделия изготавливают на литьевых машинах – термопластавтоматах. Пластифицированный в литьевой машине полимерный материал впрыскивается в полость литьевой формы непосредственно через литниковый канал.

Формовочные массы. В технологии литья под давлением полимерное сырье обычно используется в виде гранулята или порошка. В зависимости от конструкции литьевой машины может осуществляться переработка термопластов, реактопластов и эластомеров.

Термопласты приобретают пластичность за счет нагрева и могут быть переработаны несколько раз. Они могут иметь естественный цвет, быть окрашены, армированы или содержать порообразователь.

Реактопласты и эластомеры также сшиваются под воздействием тепла, однако в отличие от термопластов, повторному расплавлению не поддаются.

Технология литья под давлением. Литье под давлением представляет собой периодический процесс переработки полимеров. Литье под давлением осуществляется с помощью специальных машин с плунжерным или шнековым инжекционным устройством (рис. 9.6).

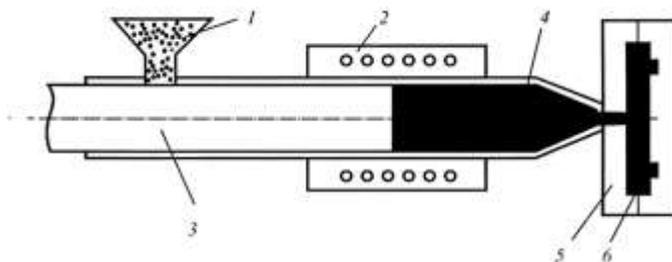


Рис. 9.6. Схема литья под давлением: 1 – гранулят; 2 – электронагреватели; 3 – поршень (плунжер); 4 – расплав; 5 – пресс-форма; 6 – отливка

Переработка термопластов литьем под давлением основана на нагревании материала до вязкотекучего состояния, перемещения его под давлением в форму, и последующем охлаждении отливки, обеспечивающем ее формоустойчивость. Термопластичный полимер *1* в виде гранул поступает из приемного бункера в цилиндрическую полость инжекционной машины, где с помощью нагревателя *2* поддерживается заданная температура. Периодически приводимый в движение поршень (или шнек) *3* выдавливает полимерную массу в разъемную охлаждаемую пресс-форму *5*, где формируется готовое изделие *6*. Современные литьевые машины (термопластавтоматы) могут формировать изделия с массой до 100 кг.

Форма для литья под давлением. Литьевая форма в основном состоит из неподвижной и подвижной частей, литниковой втулки, выталкивающего устройства и охлаждающей системы.

На неподвижной плите машины расположена матрица, а на подвижной – пуансон. Поверхности матрицы и пуансона непосредственно соприкасающиеся с расплавом, называются оформляющими. Эти поверхности после смыкания образуют полость, где формируется изделие.

В литейной форме предусмотрена литниковая втулка и литниковая система, состоящая из центрального литникового стержня, разводящих и выпускных литников.

В современных формах стремятся создать безлитниковые системы, которые вообще исключают операцию отрыва литника от отливки. В этом случае отпадает необходимость во вторичной переработке литников. В указанных системах затвердевает только выпускной литник, который удаляется из канала вместе с изделием. Остальные литники во время обогреваются, материал в них находится в расплавленном состоянии и не извлекается из формы. Система безлитникового литья предполагает применение специальных сопел или обогреваемых литниковых каналов (литье в «горячеканальные» формы).

ВАЛЬЦЕВАНИЕ

Вальцевание – метод получения пленочных и листовых материалов. Сущность процесса вальцевания состоит в многократном пропускании материала через зазор между вращающимися навстречу друг другу обогреваемыми металлическими валками. Под действием повышенной температуры и значительных усилий в зазоре материал деформируется (сжатие со сдвигом), размягчается, перемешивается и гомогенизируется. При вальцевании происходит пластикация материала – резкое увеличение его пластичности.

Наиболее широко процесс вальцевания используют для получения листов и пленок, для смешивания некоторых ингредиентов с полимерами, для разогрева и размягчения готового полимера.

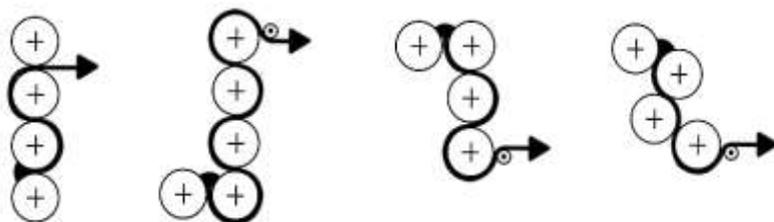
КАЛАНДРОВАНИЕ

Каландрование – процесс непрерывного формования термопластических масс в виде бесконечной ленты (пленки) путем его пропускания через зазор между несколькими параллельно расположенными вращающимися валками. Каландрование осуществляют с помощью специальных агрегатов – каландров.

В промышленности пластических масс каландрование применяют для получения пленок из ПВХ и его сополимеров, полиэтилена, эфиров целлюлозы. В процессе изготовления листов, как правило, используют 4-х- или 5- валковые каландры.

В зависимости от расположения валков различают каландры типа **I, L, F** и **S** (рис. 9.7).

В начале линии каландрования предусмотрено изготовление сухой смеси ПВХ с соответствующими добавками, в том числе пластификатора. Затем поступающая из смесителя пластифицированная порошковая смесь за счет пластикации превращается в однородный расплав. Для этого используются специальные машины – пластосмесители.



*Рис. 9.7. Каландры типа **I, L, F, S***

После пластификации формовочная масса по транспортной ленте передается на смесительные вальцы, которые используются для гомогенизации и дегазации массы. По трассе транспортной ленты целесообразна установка металлодетектора, предназначенного для обнаружения металлических предметов, случайно попавших внутрь массы и способных повредить поверхность валков. Затем полимерная масса подается на каландр. Температура рабочих валков постепенно понижается. Температура нижнего валка, предназначенного для охлаждения полотна на несколько градусов ниже, а окончательное остывание происходит на специально охлаждаемых валках.

На рис. 9.8. представлена схема технологического процесса получения пленок.

Высокие требования, предъявляемые к изготовлению листов (пленок), диктуют необходимость использования на всех этапах производства изделий электрических и гидравлических средств управления и регулировки.

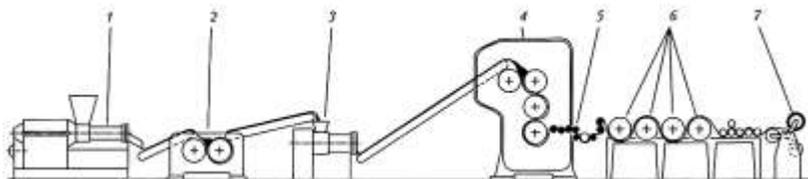


Рис. 9.8. Технологическая схема для получения листов (пленок) из пластифицированного ПВХ на каландре: 1 – экструдер; 2 – смесительные вальцы; 3 – шнековый пресс с фильтром; 4 – F – образный каландр; 5 – приемное устройство; 6 – охлаждающие валки; 7 – участок намотки листов (пленки).

РОТАЦИОННОЕ ФОРМОВАНИЕ

Ротационное формование – метод изготовления полых изделий из порошков и паст термопластичных полимерных материалов. При ротационном формовании дозированную порцию материала загружают в полулю металлическую форму приводят во вращение в одной или в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. При вращении формы материал равномерно распределяется по ее внутренней поверхности, гомогенизируется, и на горячих стенках формы образуется монолитное покрытие, которое удерживается за счет адгезии и центробежных сил.

После гомогенизации расплавленной композиции форму охлаждают. Изделия извлекают из формы, используя упругую деформацию материала (неразъемные формы). Для изделий из жестких материалов применяют разъемные формы.

Для нагрева форм в современных технологических установках в основном используется масло. Каждая форма оборудована подводящей и отводящей линиями (рис. 9.9). Для изготовления одногнездовых форм с двойной стенкой в основном используется листовая сталь.

Ротационным формованием можно перерабатывать практически все порошкообразные или пастообразные термопласты, а кроме того, жидкие мономеры с соответствующими добавками катализаторов и инициаторов. Для изготовления изделий с толстыми стенками лучше всего подходят менее термочувствительные формовочные массы, например, полиэтилен.

Ротационным формованием могут быть изготовлены полые изделия, стенки которых содержат армирующие наполнители, например, стекловолокно. Благодаря ротационному формованию появилась возможность изготовления полых изделий, стенки которых подобно многослойным конструкциям содержат средние слои, находящиеся между двумя монолитными защитными слоями, в ходе одной технологической операции. При этом вся многослойная стенка может быть изготовлена из разных материалов (например, внешний вспененный слой из ПЭ, а внутренний из ПА). Для изготовления небольших изделий, например, игрушек, используются пасты ПВХ.

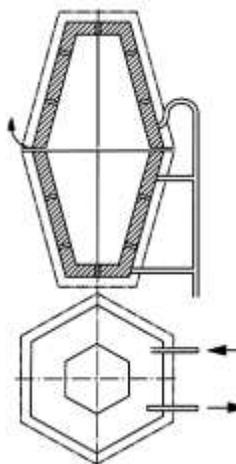


Рис. 9.9. Одногнездовая форма с двойной стенкой.

ПРЕССОВАНИЕ

Прессование – один из распространенных методов получения изделий из пластмасс, в первую очередь из термореактивных полимеров. Существуют следующие разновидности прессования; компрессионное (прямое), литьевое (трансферное), роторное, непрерывное профильное или штанг-прессование.

Под прямым прессованием понимают такую переработку формовочной массы, при которой она под давлением и воздействием

температуры заполняет формующую полость разомкнутой пресс-формы, при смыкании которой образуется изделие.

Литьевое прессование отличается от прямого тем, что сырье закладывается не в формующую камеру, а в загрузочную часть пресс-формы, откуда после расплавления под давлением доставляется через литниковую систему в формующие полости.

По отношению к прямому прессованию литьевое прессование в последнее время все больше отходит на второй план.

На рис. 9.10. изображена схема прямого прессования.

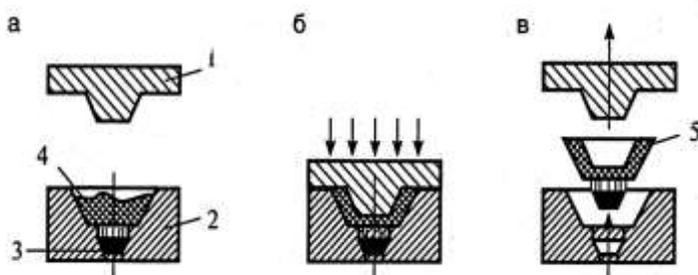


Рис. 9.10. Схема прессования: а – загрузка шихты; б – прессование; в – извлечение изделия; 1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – выталкиватель; 4 – пресс-материал; 5 – готовое изделие

В исходном положении пресс-форма (пуансон и матрица) разомкнута настолько широко, что в нее может быть легко загружен пресс-материал, а после завершения цикла извлечено готовое изделие. После смыкания формы пресс-материал будет пластифицирован и равномерно распределен в гнезде пресс-формы. В ходе выдержки под давлением происходит формование и отверждение изделия. После извлечения изделия из пресс-формы ее необходимо очистить от облоя, образующегося в ходе прессования.

ФОРМОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЛИСТОВЫХ ТЕРМОПЛАСТОВ

Листовой и пленочный термопластичный материал прессуется с помощью сжатого воздуха или вакуума. При пневмоформовании (рис. 9.11) листовую заготовку закрепляют

по контуру формы и нагревают до температуры, при которой полимер переходит в высокоэластичное состояние. После этого под действием подогретого сжатого воздуха лист оформляется в изделие. При *вакуум-прессовании* (рис. 9.12) лист термопласта закрепляют по контуру формы и нагревают. Давление, необходимое для формирования изделия, создается за счет разности между атмосферным давлением и разрежением, создаваемым в полости между листом и поверхностью формы. После охлаждения, необходимого для фиксации формы изделия, его удаляют из матрицы.

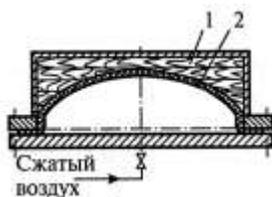


Рис. 9.11. Схема пневматического прессования: 1 – матрица; 2 – изделие

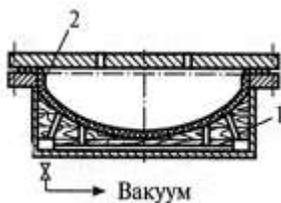


Рис. 9.12. Схема вакуум-прессования

Контрольные вопросы

1. На какие группы подразделяются методы переработки пластмасс?
2. Что такое экструзия?
3. Что понимают под раздувным формованием?
4. Чем вальцевание отличается от каландрования?

5. *Какие изделия получают методом ротационного формования?*
6. *Назовите разновидности прессования пластмасс.*
7. *Какие Вы знаете методы формования изделий из листовых термопластов?*

Лекция № 10

Тема: « МЕТОДЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»

1. *Введение.*
2. *Классификация методов формования изделий из стеклопластиков.*
3. *Формообразование изделий методом контактного формования и напыления.*
4. *Формование изделий под давлением.*
5. *Метод намотки и центробежного формования.*

ВВЕДЕНИЕ

Армирование полимеров высокопрочными волокнами позволяет значительно улучшить их прочностные свойства, увеличить теплостойкость и изменить в необходимом направлении некоторые другие свойства получаемых композиционных материалов. Наибольшее практическое применение получили материалы на основе полиэфирных, эпоксидных, фенольных и кремнийорганических смол.

В качестве армирующих наполнителей используют стеклянные, углеродные, хлопковые волокна. Наибольшее распространение получило стеклянное волокно, в связи с чем эти материалы и называют стеклопластиковыми. В последние годы для повышения жесткости материалов применяют волокна на основе углерода, бора, карбидов металлов.

Формование изделий из стеклопластиков имеет особенности, связанные с введением армирующего наполнителя. Его совмещение со связующим может осуществляться как в процессе формования изделий, так и предварительно, причем самому наполнителю форму будущего изделия можно придавать до совмещения со связующим. В настоящее время известно более 20 методов формования.

Рассмотрим методы формообразования композитов на примере стеклопластиков.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ФОРМОВАНИЯ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ

Все методы формования можно подразделить на *основные* и *вспомогательные* технологические процессы.

К *вспомогательным* процессам относятся:

1. Производство стекловолокнистых рулонных материалов (холсты, ленты, ткани).
2. Производство объемных (тканых и нетканых) заготовок изделия.
3. Производство литевых прессовочных композиций и предварительно пропитанных рулонных материалов.

Рулонные стекловолокнистые материалы широко применяют в качестве наполнителей для формования крупногабаритных изделий из стеклопластиков.

Стекловолокнистые объемные заготовки пропитывают связующим в процессе формования изделия (обычно методами прессования или пропитки в замкнутой форме). Литевые и прессовочные композиции представляют собой смеси рубленого стекловолокнистого наполнителя со связующим. В зависимости от типа последнего и метода получения композиции могут представлять собой гранулированный, пастообразный или волокнистый материал, пригодный для переработки на прессах и литевых машинах.

Ткани и холсты, предварительно пропитанные связующим, как и пресс-композиции, пригодны для формования изделий, поскольку содержат и наполнитель и связующее. При производстве таких материалов стеклоткани пропитывают связующим на пропиточных машинах.

Основные технологические процессы или собственно методы формования могут быть классифицированы как:

1. Методы открытого формования.
2. Методы закрытого формования.

При *открытом способе формования* одна из поверхностей изделия оформляется в контакте с жесткой поверхностью формы, другая поверхность обычно остается свободной или формуется с помощью резиновой диафрагмы или других гибких элементов.

К открытым способам формования относятся:

1. Контактное формование.
2. Напыление.
3. Намотка.
4. Центробежное формование и др.

При использовании *методов закрытого формования* обе поверхности изделия формируются жесткими элементами формы так, что толщина стенки изделия может быть выдержана с высокой точностью. При этом вся поверхность изделия обычно не требует дополнительной механической обработки. К таким способам относятся:

1. Прессование.
2. Пропитка наполнителя в замкнутой форме и др.

Основные методы формования можно классифицировать по давлению формования, которое в зависимости от особенностей метода может изменяться от 0 до 700 МПа. По мере возрастания давления формования методы располагаются в такой последовательности:

- контактное формование и напыление;
- центробежное формование;
- намотка;
- формование с помощью эластичной диафрагмы;
- пропитка наполнителя в замкнутой форме;
- прессование.

Метод центробежного формования используют для производства труб. Метод намотки применяется для формования труб и изделий оболочкового типа (например, емкостей с узкой горловиной, которые трудно или невозможно получить другими методами).

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ КОНТАКТНОГО ФОРМОВАНИЯ И НАПЫЛЕНИЯ

Наиболее прост с точки зрения аппаратурного оформления метод контактного формования (рис. 10.1), который осуществляют на негативных и позитивных формах с ручной выкладкой рулонного армирующего наполнителя по поверхности формы 1 с одновременной пропиткой его связующим с

помощью кистей или распылительного пистолета. Пропитанный материал 2 прикатывается рифленным валком 3 для удаления пузырьков воздуха и уплотнения материала. После уплотнения изделие 4 может покрываться пленкой и дополнительно прикатываться гладким валком для разглаживания неровностей и удаления избытка связующего. Во избежание прилипания изделия к формирующей поверхности последнюю перед формованием обычно покрывают разделительным покрытием.

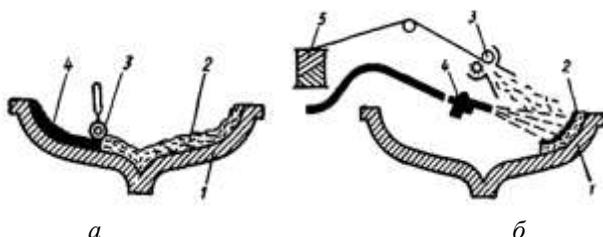


Рис. 10.1. Схемы формообразования стеклопластиков методами контактного формования (а) и напыления (б)

Сущность метода напыления заключается в одновременном нанесении на поверхность формы рубленого волокна и связующего. На рис. 10.1, б приведена принципиальная схема получения изделий из стеклопластиков методом напыления.

Стекложгут 5 проходит режущее устройство 3 и напыляется на поверхность формы 1. В эту же зону формы, называемую фокусом, распылительным устройством 4 подается связующее. После нанесения слоя заданной толщины композиция 2 уплотняется на поверхности формы прикатывающими валками. Отверждение изделий при повышенной температуре может осуществляться с помощью инфракрасных нагревателей или горячего воздуха. В качестве материалов для изготовления форм можно применять металлы, древесину, гипс, армированные пластики.

Прикатывающие валки позволяют уплотнить уложенный и пропитанный стеклонеполнитель, а также удалить воздушные включения из материала формируемого изделия. Такие операции

выполняются с помощью рифленых валков, основные типы которых приведены на рис. 10.2. Величина развиваемого контактного давления на рифленых валках зависит от площади поверхности контакта, определяемой формой поверхности валка.

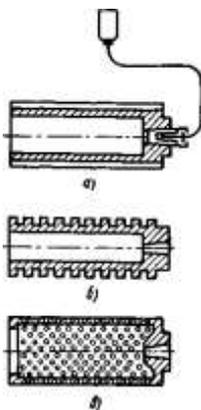


Рис. 10.2. Рифленые валки: а – с продольными канавками; б – с кольцевыми канавками; в – из перфорированного листа

Наиболее просты в изготовлении и удобны в работе валки с кольцевыми проточками шириной 3...10 мм, выполненными с шагом 6...12 мм. Усилие, создаваемое на валке, составляет обычно 5...16 Н. Валки крепят на рукоятке консольно для удобства их смены в процессе прикатки сложных поверхностей.

Одним из недостатков метода контактного формования является относительно большое колебание содержания связующего в получаемых материалах, что объясняется непостоянным усилием, которое оказывает оператор на прикатывающий валок. Применение валков с пневматической передачей давления позволяет улучшить качество изделий, а при использовании обогреваемых валков – регулировать вязкость связующего и уменьшать время отверждения.

Один из наиболее простых способов ускорения процесса контактного формования заключается в укладке на форму предварительно пропитанной сырой ткани. Пропитку ткани

можно выполнять на обычных пропиточных машинах (при этом сушильную камеру не используют) или специальных устройствах, состоящих из системы тянущих, отжимных и направляющих валков и пропиточной ванны. Пропитку можно осуществлять также автоклавным способом. При этом рулон ткани погружают в ванну со связующим, помещенную в автоклаве. При повышении давления связующее вытесняет воздух из рулона, постепенно пропитывая ткань. Соотношение между связующим и наполнителем при автоклавной пропитке определяется плотностью намотки рулона. Однако укладка сырой ткани – достаточно трудоемкий процесс, при котором очень трудно обеспечить нормальные санитарные условия труда.

Более совершенным способом контактного формования является так называемый *симплекс-процесс*, сущность которого заключается в том, что пропитка уложенного холста или ткани происходит одновременно с уплотнением формуемого изделия. Связующее подается по шлангу непосредственно в прикатывающие рифленые валки.

ФОРМОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

При открытых методах формования одна из формуемых поверхностей изделия остается свободной и не отличается высоким качеством. Прикатывающие валки, применяемые в методах контактного формования и напыления, даже при использовании связующих без инертных растворителей не всегда позволяют обеспечить достаточную степень уплотнения стенки изделия. Дополнительного уплотнения изделий можно достичь при опрессовке эластичной диафрагмой, которая прижимается к свободной поверхности изделия с помощью вакуума или давления. Диафрагму обычно выполняют из резины в виде листов или мешков, близких по форме к контурам изделия.

Формование изделий с помощью эластичной диафрагмы. При уплотнении сжатым воздухом формуемое изделие 2 (рис. 10.3, а) на форме 1 покрывают пленкой 3 в

качестве разделительного покрытия. Плиту 5 с закрепленной диафрагмой 4 болтами 6 соединяют с формой. При подаче через отверстие в плите сжатого воздуха диафрагма обжимает свободную поверхность изделия, уплотняя его. При уплотнении под вакуумом (рис. 10.3, б) диафрагму 4 струбцинами 5 герметично закрепляют по периметру формы 1. На формируемое изделие 2 устанавливают дренажный слой 3 и по канавке а через ловушку б из полости формы откачают воздух. При этом диафрагма обжимает поверхность изделия, уплотняя его. Избыток связующего собирается в ловушке.

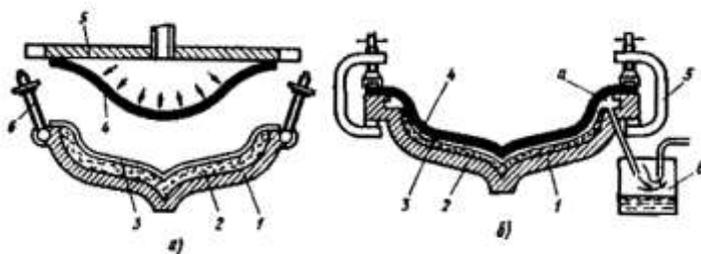


Рис. 10.3. Схемы формования изделий из стеклопластиков с помощью эластичной диафрагмы: а – под давлением; б – под вакуумом.

Вакуумирование облегчает удаление из композиции воздуха, а также летучих составляющих. Наличие дренажного слоя способствует удалению летучих компонентов со всей поверхности изделия.

Формование изделий с помощью эластичной диафрагмы осуществляют обычно на специальных прессах, верхняя плита которых выполнена в виде полого короба, к нему крепится резиновая диафрагма. Нижний стол пресса выполняют перфорированным (для удаления воздуха из пространства между изделием и диафрагмой). Нагревательные элементы устанавливают в верхнем коробе; возможна их установка и в самих формах. Под нижним столом пресса расположены вакуум-насос, компрессор и системы управления. Верхняя плита пресса опускается под действием собственной массы, поднимается

двумя пневмоцилиндрами. Для запириания прессы служат пневмозажимы, расположенные по контуру нижнего стола; при запириании диафрагма зажимается между кромкой стола и коробом. Прессы снабжают системой терморегулирования и реле времени для обеспечения заданного технологического цикла.

Методы прессования и пропитки стекловолоконного наполнителя в замкнутой форме относятся к закрытым методам формования и позволяют с высокой точностью фиксировать толщину стенки изделия, а также обеспечивают получение высококачественной поверхности всего изделия (рис. 10.4).

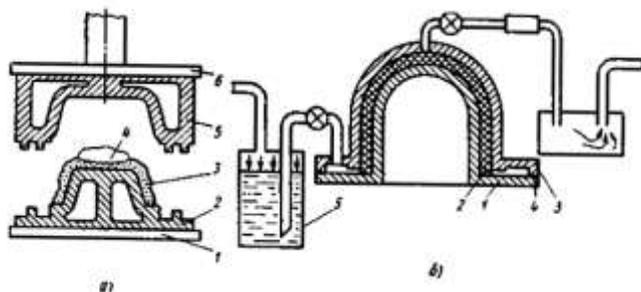


Рис. 10. 4. Схемы формования изделий из стеклопластиков: а – прессованием; б – пропиткой наполнителя в замкнутой форме

На пуансон 2 (рис. 10.4, а), укрепленный на неподвижной плите 1 прессы, укладывают требуемое число слоев наполнителя 3. Связующее 4 под давлением матрицы 5, укрепленной на подвижной плите 6 прессы, распределяется по всей полости формы, пропитывая наполнитель. Пресс-канты матрицы и пуансона в процессе смыкания обрезают излишки наполнителя по периметру изделия. Конечное положение смыкания, определяющее толщину стенки изделия, гарантируется упорами. Избыток связующего выдавливается из полости формы через зазор в пресс-кантах. Соосное смыкание матрицы и пуансона обычно обеспечивается направляющими втулками.

Метод *прессования* получил наибольшее распространение при производстве изделий из предварительно пропитанных фенольными смолами стеклохолстов и стеклотканей. Заготовку будущего изделия собирают из предварительно раскроенных по шаблонам кусков ткани или холста с добавлением небольшого количества инертного растворителя или жидкого связующего для склейки кусков между собой.

Метод прессования изделий из стеклопластиков наиболее производителен и по технологическому оформлению близок к обычному методу прессования реактопластов. Однако он имеет специфические особенности, обусловленные свойствами исходных компонентов, что отражается на конструкции как самих прессов, так и формирующего инструмента.

Одно из достоинств метода *пропитки наполнителя в замкнутой форме* (рис. 10.4, 6) состоит в том, что полученные изделия почти не содержат воздушных включений. Метод нашел применение при формировании различных оболочек, кузовов автомобилей, емкостей и других изделий, для которых требуется высокое качество. В соответствии с этим методом непропитанный сухой наполнитель 2 выкладывают послойно на пуансоне 1. После этого пуансон 1 и матрица 3 смыкаются, сжимая наполнитель до окончательных размеров изделия. Герметичность полости формы достигается установкой уплотняющего кольца 4. Благодаря разрежению, создаваемому в полости формы, связующее засасывается из бака 5 и пропитывает наполнитель.

Метод достаточно производителен и рекомендуется для выпуска изделий средними и крупными партиями. Оборудование для формирования изделий этим методом включает системы для подготовки и транспортировки связующего, формы, конструкции которых в зависимости от типа и размеров изделий могут быть довольно разнообразными. В качестве материала для форм используют стальной и алюминиевый прокат, а также алюминиевое литье. При эксплуатации такие формы подвергаются значительным механическим нагрузкам, возникающим при сжатии наполнителя и пропитке его связующим, поэтому при проектировании форм следует обращать особое внимание на их общую жесткость, а также

жесткость и надежность систем смыкания, являющихся, как правило, элементом формы. Для смыкания полуформ можно использовать струбины, откидные болты, быстродействующие клиновые затворы и т. д.

МЕТОД НАМОТКИ

Метод намотки – один из наиболее перспективных методов формования изделий из стеклопластиков, так как позволяет создавать ориентированную структуру наполнителя в изделиях с учетом их формы и особенностей эксплуатации. Высокая прочность изделий, полученных намоткой, достигается за счет ориентированной укладки наполнителя и, как следствие этого, его высокого содержания в материале изделия, которое при однонаправленной укладке стекложгута может достигать 90%. Однако метод намотки из-за специфических особенностей может быть применим в основном для изделий оболочкового типа, имеющих форму тел вращения. Наибольшее применение метод намотки нашел в ракетной технике и авиации для формования корпусов ракет и ракетных двигателей, а также элементов фюзеляжей самолетов, в химической промышленности – для производства аппаратов и емкостей, а также трубопроводов. При намотке наполнителя на оправку технологическое натяжение зависит от необходимого контактного давления между слоями.

Следует отметить, что для обеспечения одного и того же контактного давления величина технологического натяжения должна быть тем выше, чем больше радиус оправки. Возможности увеличения технологического натяжения ограничиваются прочностью наполнителя. На оправках большого радиуса для создания необходимого контактного давления применяют прижимные ролики.

Особое место метод намотки занимает в производстве труб, так как позволяет полностью механизировать процесс и сделать его непрерывным. Трубы, полученные намоткой, имеют гладкую внутреннюю поверхность и характеризуются высокими прочностными показателями. Для увеличения герметичности в процессе формования обычно применяют различные

дополнительные методы уплотнения стенки трубы, например спиральную намотку различных лент, внутреннюю пневмо-опрессовку и др. Использование вакуумной техники при намотке позволяет значительно уменьшить пористость получаемых материалов. Наиболее герметичны пластмассовые трубы, в которых внешний слой из стеклопластика несет силовую нагрузку, а внутренний – из термопласта (например, ПВХ) обеспечивает герметичность и химическую стойкость.

Оборудование для намотки можно разделить на две группы: машины периодического действия, которые в основном предназначены для формования оболочек самых различных форм, и машины непрерывного действия для производства труб. Конструкции намоточных станков весьма разнообразны. Из них можно выделить три основные группы, различающиеся по характеру движения оправки и раскладчика (рис. 10.5).

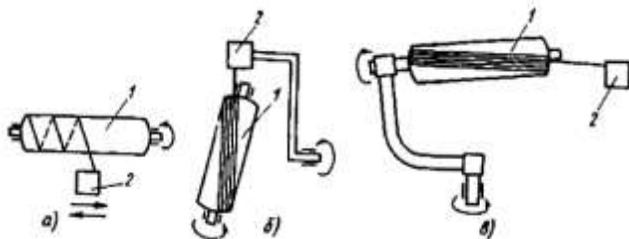


Рис. 10.5. Типы намоточных станков: а – с возвратно-поступательным движением раскладчика; б – с вращением раскладчика; в – с неподвижным раскладчиком и вращающейся в двух плоскостях оправкой.

Наиболее просты по устройству станки (рис. 10.5, а) с вращающейся оправкой 1 и возвратно-поступательно движущимся раскладчиком 2, с которого наполнитель подается на оправку. В станках планетарного типа (рис. 10.5, б) раскладчик вращается в плоскости, составляющей небольшой угол с осью оправки. На таких установках оправки вращаются в основном с малыми скоростями. Наконец, станки третьей группы, применяемые для формования небольших изделий,

имеют оправку, вращающуюся в двух плоскостях (рис. 10.5, в). В этом случае раскладчик неподвижен. Современные станки для намотки обычно оснащают системой программного управления. Намоточное оборудование включает устройства для подачи стекловолоконистого наполнителя с контролируемым натяжением, что особенно важно при «мокрой» намотке.

Получение стекловолоконистого наполнителя определенной макроструктуры является одной из основных задач процесса формования изделий из стеклопластиков. Весьма широкие возможности для этого имеют вертикальные установки, предназначенные для производства труб (рис. 10.6). При вертикальном расположении оправки упрощается пропитка наполнителя связующим и исключается возможность деформации оправки под влиянием ее собственной массы. При формовании труб на этой установке сочетается спиральная перекрестная намотка лент и жгутов с продольной укладкой последних.

Непрерывный процесс намотки осуществляется на движущуюся снизу вверх оправку 1, собранную из шестиметровых стальных полированных труб. Оправка движется подающими 2 и приемными 15 центрирующими валками. Установка имеет шесть столов, через которые проходит оправка. При прохождении через эластичную диафрагму, образующую дно бака со связующим, который расположен на первом столе 3, оправка покрывается слоем связующего. На последнюю при вращении стола наматывается стекловолоконистая лента 4. Расположенная в центре второго стола 5 эластичная диафрагма 6 отжимает излишки связующего, и на поверхность оправки наматывается стекложгут 7, пропитанный в кольцевой ванне. Аналогичный процесс происходит при прохождении третьего стола 8, вращающегося в противоположную сторону по отношению к столу 5. На четвертом неподвижном столе 9 происходит укладка продольной арматуры. Пропитанный стекложгут, образующий этот слой, проходит направляющее устройство 10, обеспечивающее равномерное распределение жгутов вокруг трубы. На пятом столе 11 наматывается наружный слой стекловолоконистой ленты подобно тому, как это происходит

на столе 3, но с вращением в противоположную сторону. Намотка осуществляется под натяжением и способствует удалению излишков связующего и уплотнению стенки формируемой трубы. На шестом вращающемся столе 12 деревянными лопатками 13 снимаются излишки смолы, и на трубу наматывается целлофановая лента 14. Сырая труба, выходящая из центрирующих валков, разрезается по месту стыка оправок и направляется в вертикальные цилиндрические паровые сушилки для полимеризации. Отвержденные трубы снимаются с оправок специальными приспособлениями. Внутренний диаметр получаемых труб от 50 до 150 мм.

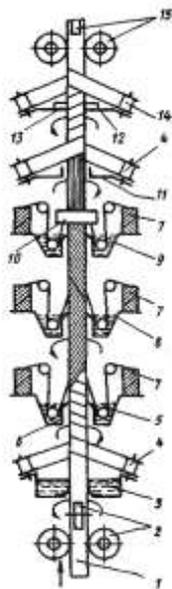


Рис. 10.6. Схема вертикальной установки для формования труб на движущейся оправке

МЕТОД ЦЕНТРОБЕЖНОГО ФОРМОВАНИЯ

Метод центробежного формования используют в основном для получения труб. В качестве наполнителя

используют стеклохолсты, стеклоткани, а также рукава, плетеные из стекложгута.

На первом этапе наполнитель укладывается в форму и затем под действием центробежных сил уплотняется на стенках вращающейся формы.

На втором этапе уплотненный наполнитель пропитывается связующим с последующим его отверждением. Во вращающуюся форму связующее может быть введено как с одного или обоих концов формы, так и по всей длине трубы.

Введенное связующее под действием центробежных сил растекается по поверхности наполнителя, пропитывая его.

Трубы, полученные методом центробежного формования, отличаются высокой герметичностью, имеют зеркальную внутреннюю поверхность и, следовательно, минимальные гидравлические потери.

Высокая химическая стойкость труб обеспечивается благодаря наличию внутреннего слоя из чистого связующего.

Таким методом можно футеровать пластмассовые и металлические трубы.

Контрольные вопросы

- 1. Как классифицируют методы формования стеклопластиков?*
- 2. Какие методы относятся к открытым способам формования?*
- 3. Какие методы относятся к закрытым способам формования?*
- 4. В чем заключаются методы контактного формования и напыления?*
- 5. Что такое симплекс-процесс?*
- 6. Перечислите методы формования стеклопластиков под давлением.*
- 7. В чем заключается метод намотки?*
- 8. Какие способы формования стеклопластиков применяют для изготовления труб?*

Лекция № 11

Тема: «ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ XXI ВЕКА. НАНОТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ»

1. *Введение в нанотехнологию.*
2. *Современные наноматериалы.*
3. *Современные нанотехнологии.*
4. *Нанотехнологии в машиностроении.*
5. *Методы синтеза низкоразмерных частиц.*
6. *Получение компактных нанокристаллических материалов.*

ВВЕДЕНИЕ В НАНОТЕХНОЛОГИЮ

В последнее время термин «нанотехнология» (сокращенно «нанотэк») стал очень популярным. Термин «нано» происходит от греческого слова «нанос» (карлик). Название новой науки возникло в результате добавления к общему понятию «технология» приставки «нано», означающей изменение масштаба изучаемых объектов в 10^9 (миллиард) раз, т.е. 1 нанометр = 1нм = 10^{-9} м, что составляет одну миллионную привычного нам миллиметра. **Нанотехнологию** можно определить как набор технологий или методик, основанных на манипуляции с отдельными атомами и молекулами.

На рис. 11.1 приведены размеры некоторых известных естественных и искусственных объектов природы в диапазоне размеров от 10 метров до 1 ангстрема. Напомним, что 1 ангстрем ($1 \text{ \AA} = 10^{-10}$ м) в 10 раз меньше нанометра и соответствует диаметру самого маленького из атомов – атома водорода.

К нанотехнологии принято относить область исследований и практических приложений, оперирующих объектами с характерным размером от 1 до 100 нм. Верхняя граница нанобласти соответствует элементам в, так называемых, больших интегральных схемах (БИС), широко применяемых в полупроводниковой и компьютерной технике. С другой стороны известно, что многие биологические объекты тоже относятся к наноразмерным образованиям: вирусы имеют размер 10 нм, а 1 нм соответствует размеру белковых молекул. Наноразмерные

объекты занимают промежуточное положение между объемными частицами материалов и атомами (или молекулами) и проявляют новые, совершенно неожиданные свойства.

В настоящее время частицы по размерам принято классифицировать на три типа: наноразмерные – ультрадисперсные – от 1 до 30 нм, высокодисперсные – от 30...50 до 100...500 нм и частицы микронных размеров – фолликулы – от 500 до 10000 нм.



Рис. 11 1. Место наноразмерных объектов в окружающем мире

Спектр нанообъектов чрезвычайно широк и непрерывно расширяется – новые каталитические и сенсорные системы в химии, структуры с нанометровой геометрией для записи

информации, преобразователи различных видов энергии, сверхпроводниковые материалы, машиностроительные материалы с уникальными характеристиками, новые лекарственные препараты и их носители. Вполне обоснованно можно полагать, что технологии XXI века будут основаны на объектах наноразмерного масштаба.

СОВРЕМЕННЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ

В последнее время значительное внимание уделяется наноматериалам.

Наноматериалами называются такие материалы, основные физические характеристики которых определяются содержащимися в них нанобъектами.

К наноматериалам относятся не только материалы на основе наночастиц – *нанофазные материалы*, но и так называемые «*наноструктурированные*» материалы, в которых случайным образом распределены наноразмерные частицы или их кластеры (нанокompозиты).

Практический интерес к наноматериалам обусловлен возможностью значительной модификации и даже принципиального изменения характеристик служебных свойств известных материалов при переходе в наноструктурное состояние, новыми возможностями, которые открывает нанотехнология в создании материалов и изделий из структурных элементов нанометрового размера.

В настоящее время не существует устоявшейся классификации частиц по размерам. Рассмотрим существующие классификации по различным признакам.

Поликристаллические сверхмелкозернистые материалы со средним размером зерен от 300 до 40 нм называют субмикрокристаллическими, а со средним размером зерен менее 40 нм – нанокристаллическими.

Условная классификация материалов по размеру D частиц (зерен) показана на рис. 11.2.

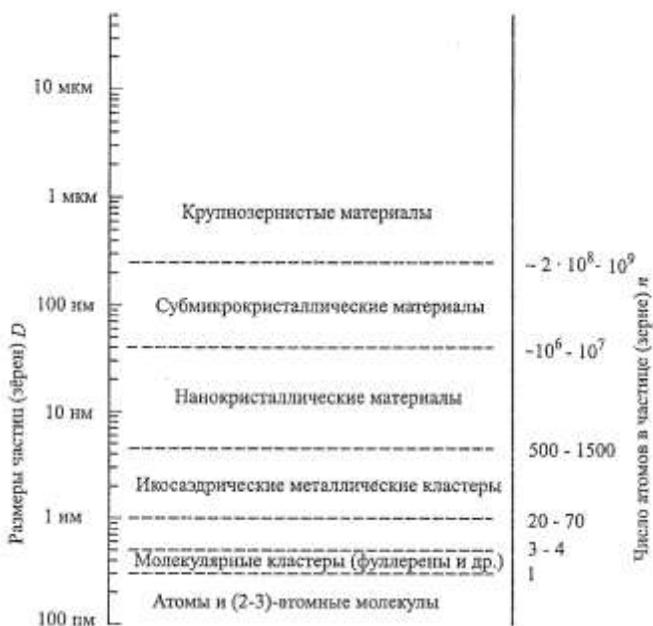


Рис. 11.2. Классификация веществ и материалов по размеру D частиц (зерен)

Наноматериалы можно классифицировать также по геометрической форме и размерности структурных элементов, из которых они состоят. Основными типами нанокристаллических материалов по размерности являются кластерные материалы, волокнистые материалы, пленки и многослойные материалы, а также поликристаллические материалы, зерна которых имеют сравнимые размеры во всех трех направлениях (рис. 11.3).

Кластеры – это малые атомные агрегации, представляющие собой группу из небольшого числа взаимодействующих атомов (ионов, молекул). Кластеры являются промежуточным звеном между изолированными атомами и молекулами, с одной стороны, и массивными (объемными) частицами твердого тела, с другой стороны.

Отличие свойств малых частиц от свойств массивного материала известно уже давно и используется в различных

областях техники. Например, в авиации применяют радиопоглощающие керамические материалы, в матрице которых беспорядочно распределены тонкодисперсные металлические частицы.



Рис. 11.3. Типы нанокристаллических материалов: 0D – нульмерные кластеры; 1D – одномерные нанотрубки, волокна и прутки; 2D – двумерные пленки и слои; 3D – трехмерные поликристаллы

Нитевидные монокристаллы (усы) и поликристаллы (волокна) обладают очень высокой прочностью – например, усы графита имеют прочность ~ 24,5ГПа или в 10 раз выше прочности стальной проволоки. Благодаря этому их используют в качестве наполнителей композиционных материалов аэрокосмического применения.

Суспензии металлических наночастиц (обычно железа, меди и их сплавов) размером от 30 нм до 1...2 мкм используют как присадки к моторным маслам для восстановления изношенных деталей автомобильных и других двигателей непосредственно в процессе работы.

Разработаны самоочищающиеся стекла Pilkington Activ. Секрет такого стекла состоит в его специальном нанопокрытии, которое действует в два этапа: 1) разложение органических загрязнений под воздействием УФ-лучей; 2) смывание загрязнений дождевой водой.

В строительстве применяют структурированную воду. Под влиянием внешних активирующих воздействий, например, электромагнитного излучения, атомы воды объединяются в кластеры. Прочность бетонов, замешанных на структурированной

воде, на 50...70% выше обычных, что особенно важно для монолитного строительства.

В 1984-1985 гг. была обнаружена новая полиморфная модификация углерода – фуллерены C_{60} и C_{70} , а в 1991 – удалось обнаружить трубчатые структуры углерода, т.н. углеродные нанотрубки. Углеродные нанотрубки похожи на свернутые в рулоны «листы», образованные из шестигранных структур или колец (типа пчелиных сот) из атомов углерода (рис. 11.4).

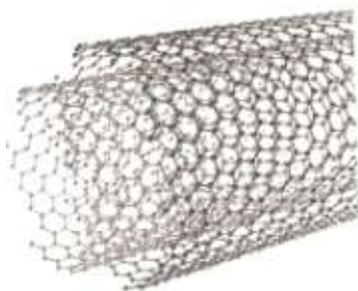


Рис. 11.4. Компьютерная графическая модель двухслойной углеродной нанотрубки со спиральным распределением шестиугольных колец атомов углерода

Углеродные нанотрубки обладают высокой механической прочностью и могут быть использованы для создания высокопрочных композитов. Нанотрубки применяют для создания различных механических наноустройств и как наноинденторы при измерении микротвердости материалов. Углеродные нанотрубки имеют полупроводниковую или металлическую проводимость. Благодаря этому их применяют как проводящие элементы в электронных нанотехнологиях.

Нанотрубки карбида кремния SiC , благодаря большой твердости и высокой температуре плавления, могут быть использованы в машиностроении для получения материалов повышенной прочности.

Полимерные композиты с металлическими наночастицами используют в виде электропроводящих пленок. Введение ионов металлов в полимерные волокна позволяет получать окрашенные

световоды, которые можно использовать в компьютерной технике.

Многослойные наноструктуры нашли применение в производстве микроэлектронных устройств. Примером могут служить слоистонеоднородные наноструктуры – сверхрешетки, в которых чередуются твердые сверхтонкие слои двух различных веществ – например, оксидов.

Большой интерес представляют магнитные наноструктуры, в которых проявляется гигантское магнитосопротивление. Они представляют собой многослойные пленки из чередующихся слоев ферромагнитного и немагнитного металлов.

Сфера применения наноматериалов огромна: защитные покрытия, новые магнитные материалы, преобразователи различных видов энергии, сверхпроводниковые материалы, пленки для микроэлектроники, машиностроительные материалы с уникальными характеристиками и др.

СОВРЕМЕННЫЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ

Термин «*нанотехнология*» впервые был введен японским профессором Норио Танигучи в 1974 году. В настоящее время термин «нанотехнология» используется в широком смысле, охватывая и объединяя научные исследования, технологические процессы и системы машин и механизмов, способные создавать новые функциональные материалы и выполнять сверхточные операции в масштабе нескольких нанометров.

Нанотехнология – это набор технологий или методик, основанных на манипуляциях с отдельными атомами и молекулами, т.е. методик управления структурой и составом вещества в масштабах 1...100 нм. Нанотехнология может быть определена как совокупность прикладных исследований нанонауки и их практических применений, включая промышленное производство и социальные приложения.

Когда речь идет о развитии нанотехнологий, имеются в виду три основных направления:

– изготовление электронных схем с активными элементами, размеры которых сравнимы с размерами молекул и атомов;

– непосредственное манипулирование атомами и молекулами и «сборка» из них новых материалов, конструкций и устройств;

– разработка и изготовление наномашин, т.е. механизмов и роботов размером с молекулу.

В настоящее время основной отраслью промышленности, где нанотехнологии уже нашли реальное применение, является электроника. Контроль изделий на уровне атомов стал обыденным делом при производстве DVD-дисков, где осуществляется постоянный нанотехнологический контроль матриц. К 2010 году начнется производство наноэлектронных чипов, например, запоминающих устройств емкостью в десятки гигабайт.

Особое место среди технологических приемов формирования в твердом теле наноструктурных элементов занимает *ионно-трековая нанотехнология*. Это разновидность ядерной технологии, при которой тяжелые ионы проходят через конденсированную среду и формируют узкие ионные треки диаметром 5...10 нм. Впервые экспериментально ионные треки были обнаружены в 1959 году после облучения тонких листов слюды – мусковита. Возникновение треков является следствием радиационного повреждения. Зоны, возникающие вдоль треков, поддаются селективному травлению с образованием каналов. Полые трековые области можно заполнять атомами любого сорта с помощью гальванического осаждения. Например, облучение полимерных пленок ионами криптона Kr^+ , последующее электрохимическое осаждение меди в образовавшиеся трековые каналы и растворение полимерной матрицы в щелочи, дает возможность получать индивидуальные нанопроволоки. Можно получать также металлические микрощетки (нанопроволочные структуры на массивной подложке), используемые как микроволновые фильтры. В этом случае на одну из поверхностей полимерной пленки предварительно напыляют медный слой, после чего проводят облучение полимерной мембраны, электрохимическое осаждение меди в образовавшиеся треки и растворение полимера.

Высокая объемная концентрация треков в твердом теле позволяет формировать на их основе наноструктуры с

существенно большей плотностью элементов, чем достигается в современных интегральных микросхемах. Ионно-трековая технология пока еще является малораспространенной, но очень перспективна в производстве наноструктур.

Фотолитография – процесс переноса изображения с маски (фотошаблона) на полупроводниковую подложку. Для этого на поверхности подложки создается пленочное покрытие из светочувствительного полимерного материала, покрытие облучают через маску с изображением элементов схемы и затем покрытия проявляют (травят в растворителе) так, что изображение схемы переносится на подложку.

С середины 80-х годов в фотолитографии используется ультрафиолетовое излучение с длиной волны 248 нм, получаемое с помощью лазера. Рисунок схемы задается ультрафиолетовым излучением, которое проходит через соответствующую маску и фокусируется с помощью специальной системы линз. Ультрафиолетовые лучи от лазера проходят через свободные пространства на маске. Под их действием светочувствительный слой в соответствующих местах пластины приобретает способность к растворению и затем удаляется органическими растворителями. Такая технология позволяет применять шаблон с минимальной шириной проводников 100 нм.

Молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ) – современный метод выращивания высококачественных тонких пленок и создания гетероструктур. (Эпитаксия – наращивание монокристаллического слоя материала на подложке из того же материала при температуре ниже температуры плавления). Этот метод является усовершенствованием способа получения металлических пленок путем вакуумного испарения и осаждения.

МЛЭ заключается в осаждении испаренных элементарных компонентов на подогретую десорбированную (очищенную от оксидного слоя) монокристаллическую подложку. Схематически этот процесс изображен на рис 11.5, иллюстрирующем выращивание пленки твердого раствора алюминий-галлий-мышьяк на подложке GaAs.

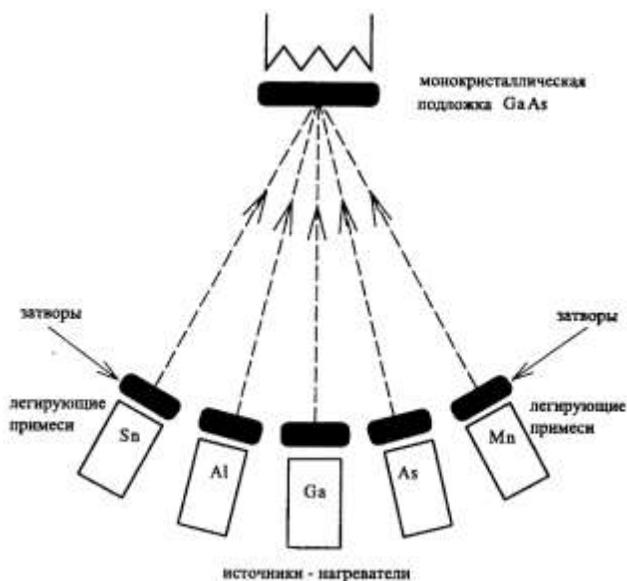


Рис. 11.5. Схема установки для молекулярно-лучевой эпитаксии: выращивание пленки твердого раствора алюминий-галлий-мышьяк на подложке GaAs

Предварительно оксид на подложке GaAs десорбируется в вакуумированной установке МЛЭ при температуре 850-870К. После десорбции подложка становится почти атомно чистой и пригодной для эпитаксиального роста. Каждый нагреватель содержит тигель, являющийся источником одного из составных элементов пленки. Температуру нагревателей подбирают так, чтобы давление паров испаряемых материалов было достаточным для формирования соответствующих молекулярных пучков. Испаряемое вещество с относительно высокой скоростью переносится на подложку в условиях высокого вакуума. Нагреватели располагают так, чтобы максимумы распределений интенсивности пучков пересекались на подложке. Подбором температуры нагревателей и подложки получают пленки со сложным химическим составом. Дополнительное управление процессом выращивания осуществляется с помощью заслонок, расположенных между нагревателем и подложкой.

Использование заслонок позволяет резко прерывать или возобновлять поступление любого из молекулярных пучков на подложку.

Эпитаксиальный рост соединений происходит в следующей последовательности: адсорбция соответствующих атомов и молекул, миграция на поверхности и диссоциация адсорбированных молекул, присоединение атомов к подложке, приводящее к росту пленки. Структура выращенной пленки определяется кристаллической структурой подложки. Метод МЛЭ с помощью масок позволяет выращивать на поверхности локальные структуры. Уникальным свойством МЛЭ является возможность выращивания сверхрешеток – полупроводниковых гетероструктур с резкими границами, гладкими на атомарном уровне. Метод МЛЭ позволяет создавать структуры на, так называемых, активных центрах или квантовых точках.

В настоящее время перспективными направлениями практического применения наноматериалов и нанотехнологий считают следующие:

- *Сверхмощные и сверхминиатюрные компьютеры.* В ближайшем будущем можно ожидать значительного уменьшения размеров ЭВМ, одновременно с ростом их рабочих характеристик.

- *Сверхчувствительные и высокостабильные биодатчики.* Ученые всерьез заняты разработкой медицинских микророботов (величиной с отдельную биологическую клетку), которые можно «запускать» в организм человека для диагностики и уничтожения требуемых вирусов или клеток пораженных тканей.

- *Высокоэффективные топливные элементы.* Известно, что выхлопные газы автомобилей (углекислый газ и т.д.) относятся к важнейшим факторам возникновения парникового эффекта и загрязнения окружающей среды, вследствие чего во всем мире ведутся активные поиски новых источников энергии, способных заменить бензин в двигателях внутреннего сгорания. Наиболее перспективными в этом аспекте представляются, так называемые, «топливные элементы», особенно водородные (поскольку при сгорании водорода образуется лишь экологически безвредная вода). Развитие таких «экологически безопасных технологий» всегда сдерживалось их низкой эффективностью. Однако

созданные углеродные нанотрубки способны адсорбировать значительные количества водорода, что позволяет надеяться на быстрый прогресс в этом направлении.

НАНОТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Основными направлениями развития *нанотехнологий в машиностроении* является создание функциональных материалов различного назначения – триботехнических, конструкционных, с повышенной стойкостью к воздействию динамических и статических нагрузок и т.п. Интенсивно развивается направление по созданию новых видов обрабатывающего инструмента на основе керамических и металлокерамических наноматериалов. Перспективны новые типы смазочных материалов (СМ) и смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС) с наномодификаторами различного состава и механизма действия. Интенсифицируются работы по созданию СМ с особыми характеристиками проводимости и электромагнитной восприимчивостью для тяжело нагруженных узлов трения, скользящих контактов и управляемых демпфирующих устройств. Разработаны промышленные технологии получения композиционных функциональных покрытий на уплотнительных изделиях, детали прецизионных пар трения, инструмент для обработки металлов резанием и давлением. Расширяются исследования по созданию наноконпозиционных материалов с регулируемой биологической активностью для изготовления имплантантов, фильтровальных устройств, упаковочных материалов, магнитных материалов и т.д.

Основной проблемой при внедрении нанотехнологий в промышленность является не столько получение новых материалов, сколько развитие методов изготовления изделий и их обработки. Например, уменьшение размеров кристаллического зерна материала в 10 раз приводит к увеличению прочности материала примерно в три раза, а при дальнейшем уменьшении зерна мы сталкиваемся с так называемым эффектом сверхпластичности и т.п. Обработка поверхности объектов с нанометровой точностью является очень непростой задачей, но

именно такая обработка обеспечивает требуемые функциональные характеристики.

Рассмотрим основные методы и технологии получения и компактирования низкоразмерных частиц.

МЕТОДЫ СИНТЕЗА НИЗКОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ

Синтез нанокристаллических порошков производят следующими основными методами: а) получением из газовой фазы; б) осаждением из коллоидных растворов; в) термическим разложением и восстановлением соединений; г) механосинтезом; д) детонационным синтезом; е) электровзрывом.

Получение из газовой фазы (конденсация паров). В методе испарения (сублимации) – конденсации нанопорошок получается при испарении металла, сплава или полупроводника при контролируемой температуре в атмосфере благородного газа низкого давления с последующей конденсацией пара вблизи холодной поверхности или на ней. Испарение металла может происходить из тигля, или же металл поступает в зону нагрева и испарения в виде проволоки, впрыскиваемого металлического порошка или в струе жидкости. Подвод энергии может осуществляться пропусканием электрического тока через проволоку, электродуговым разрядом в плазме, индукционным нагревом токами высокой и сверхвысокой частоты, лазерным излучением, электронно-лучевым нагревом. Конденсация парогазовой смеси с температурой 5000...10000⁰К происходит в камере, заполненной холодным инертным газом. Состав и размер наночастиц можно контролировать изменением давления и состава атмосферы (инертный газ или газ-реагент).

Основными закономерностями образования нанокристаллических частиц методом испарения и конденсации являются следующие:

1. Образование наночастиц происходит при охлаждении пара в зоне конденсации, которая тем больше, чем меньше давление газа.

2. При увеличении давления газа от 10 до нескольких сотен Па средний размер частиц увеличивается, и в области давлений более 2500 Па – приближается к предельному значению.

3. При одинаковом давлении газа переход от менее плотного инертного газа к более плотному (от гелия к ксенону), сопровождается ростом размера частиц в несколько раз.

Газофазный синтез позволяет получать частицы размером от 2 до нескольких сотен нанометров. Установка для получения высокодисперсных металлических порошков методом испарения и конденсации называется левитационно-струйным генератором и представлена на рис. 11.6.

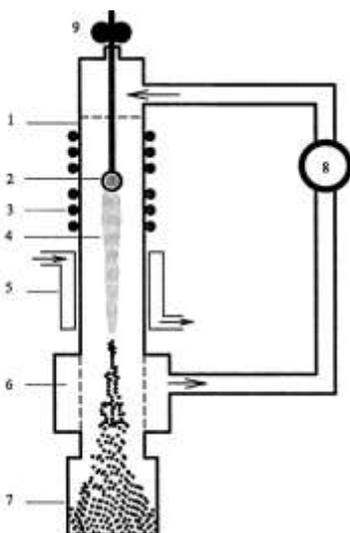


Рис. 11.6. Схема получения высокодисперсных металлических порошков в левитационно-струйном генераторе: 1 – испаритель; 2 – капля; 3 – индуктор; 4 – аэрозоль; 5 – холодильник; 6 – фильтр; 7 – контейнер; 8 – насос; 9 – механизм подачи проволоки

В левитационно-струйном генераторе испарение происходит с поверхности жидкой металлической капли 2 в ламинарном потоке инертного газа. Капля бесконтактно удерживается в зоне нагрева неоднородным высокочастотным электромагнитным полем, создаваемым индуктором 3. Аэрозоль испаренного металла 4 поступает в охлаждающее устройство 5,

затем в фильтр 6, улавливающий частицы, которые собираются в контейнере 7. Расход металла в капле пополняется непрерывной подачей проволоки в зону нагрева 1 с помощью механизма подачи проволоки 9. давление инертного газа регулируется насосом 8.

С помощью левитационно-струйного генератора можно получить высокодисперсные порошки различных металлов и сплавов, в которых размер частиц составляет от 5...10 до 100...200 нм.

Особый интерес в газофазном синтезе представляет метод получения кластеров алмаза из газовой фазы (CO_2 , метана, ацетилена, пропана и других углеводородов). Для синтеза алмаза создают газовую фазу, пересыщенную по содержанию углерода. Синтез ведут при давлении от нескольких Па до нескольких сотен ГПа и температуре 870...1070⁰ К. В результате на границе раздела твердое тело-газ возникает избыточная поверхностная энергия, которая способствует конденсации углерода из газовой фазы и образованию зародышей алмаза. Благодаря малой скорости роста ($\sim 100 \text{ нм}\cdot\text{час}^{-1}$) удается получать наноразмерные алмазные частицы. Алмазные наночастицы нашли наибольшее применение при создании алмазных и алмазоподобных пленок и покрытий на твердых подложках. Для получения алмазных (алмазоподобных) покрытий также применяется плазмохимический метод. Нанокристаллические порошки карбидов, оксидов и нитридов получают с помощью импульсного лазерного нагрева металлов в разряженной атмосфере метана (в случае нитридов), кислорода (в случае оксидов), азота или аммиака (в случае нитридов). Для получения керамических нанопорошков из металлоорганических соединений прекурсоров применяют метод конденсации паров. *Прекурсор* – химический компонент или участник промежуточных реакций при синтезе какого-либо вещества. Схема аппаратуры для получения нанокристаллических керамических порошков представлена на рис. 11.7.

В аппаратуре испарителем является трубчатый реактор, в котором прекурсор смешивают с несущим инертным газом и разлагают. Образующийся непрерывный поток кластеров или наночастиц попадает из реактора в рабочую камеру и конденсируется на холодном вращающемся цилиндре, затем

снимется скребком и через воронку собирается в коллекторе. Полученные этим способом нанопорошки по своим характеристикам (дисперсный состав, агломерируемость, температура спекания) не отличаются от порошков, синтезируемых стандартным методом испарения и конденсации.

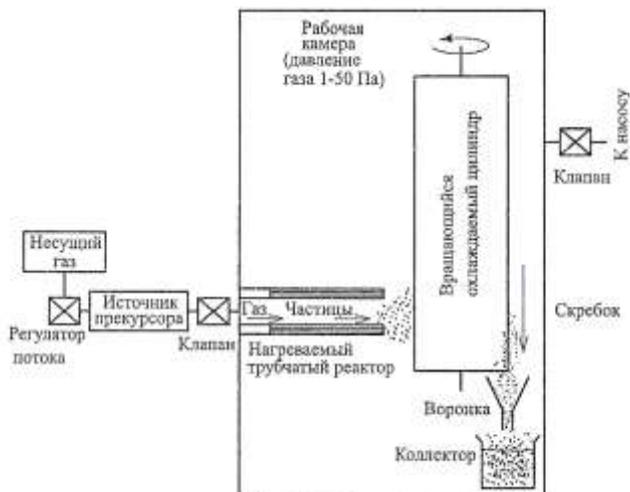


Рис. 11.7. Схема аппаратуры для получения нанокристаллических керамических порошков методом конденсации паров с использованием металлоорганических прекурсоров как источника конденсируемого пара

Для получения нанопорошков тугоплавких соединений (нитридов, карбидов, боридов и оксидов) чаще всего применяется *плазмохимический синтез*. При таком синтезе используют низкотемпературную (4000...8000°K) азотная, аммиачная, углеводородная или аргоновая плазму дугового, тлеющего, высоко- либо сверхвысокочастотного разряда. В качестве исходного сырья применяют химические элементы, их галогениды и другие соединения. Частицы плазмохимических порошков представляют собой монокристаллы с размером от 10 до 100 нм. На первом этапе образуются активные частицы, а на втором – выделяются продукты взаимодействия.

Химический синтез реагирующей газовой смеси проводят с использованием лазерного нагрева. Лазерный нагрев обеспечивает контролируемое зародышеобразование и исключает возможность загрязнения. Размер наночастиц уменьшается с ростом интенсивности лазерного излучения. Плазмохимический синтез эффективен при получении молекулярных кластеров. Молекулярные кластеры – сравнительно новая структурная модификация вещества, они занимают совершенно особое место среди веществ, имеющих наноструктуру. Наиболее известны среди них фуллерены – новая полиморфная модификация углерода наряду с графитом и алмазом. Это очень твердые материалы с малой плотностью (значительно меньше, чем плотность воды). Фуллерены названы в честь американского архитектора Бакминстера Фуллера, который задолго до получения фуллеренов запатентовал так называемый геодезический купол, состоящий из 5- и 6- членных колец.

Фуллерены получают электродуговым распылением, электронно-лучевым испарением или лазерным нагревом графита в атмосфере гелия; давление газа при этом составляет $1,33 \cdot 10^4$ Па. В результате горения дуги образуется сажа, которая конденсируется на холодной поверхности. Собранную сажу обрабатывают в кипящем толуоле или бензоле. После выпаривания раствора образуется черный конденсат, который состоит из смеси фуллеренов C_{60} и C_{70} .

Молекула C_{60} имеет наиболее высокую симметрию и, как следствие, наибольшую стабильность. По форме молекула фуллерена C_{60} напоминает крышечку футбольного мяча и имеет структуру усеченного икосаэдра с диаметром около 0,7 нм. Фуллерен C_{70} имеет форму замкнутого сфероида (рис. 11.8).

Кристаллические фуллерены могут быть полупроводниками и сверхпроводниками, обладают ферромагнитными свойствами, уникальным сочетанием прочности и эластичности. Превращение кристаллического фуллерена в алмаз происходит даже при комнатной температуре при давлении 20 ГПа (отметим, что для получения алмаза из графита требуются температура 900^0K и давление 30...50 ГПа).

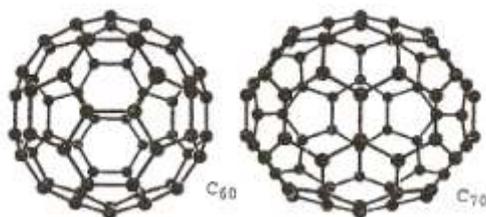


Рис. 11.8. Структура фуллеренов C_{60} и C_{70}

Плазмохимический синтез с разными способами создания плазмы – один из наиболее перспективных методов получения разнообразных наноструктурных материалов.

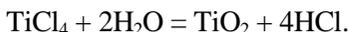
Осаждение из коллоидных растворов было, по-видимому, первым методом получения дисперсных наночастиц. Коллоидные растворы – это высокодисперсные двухфазные системы, состоящие из дисперсионной среды и дисперсной фазы (линейные размеры дисперсной фазы лежат в пределах от 1 до 100 нм). Примером коллоидного раствора может быть кисель, белок в воде. Твердые коллоидные растворы – многие известные природные минералы и драгоценные камни. Коллоидные растворы иначе называют золями. Их получают дисперсионными и конденсационными методами. Диспергирование чаще всего производят при помощи особых «коллоидных мельниц». При конденсационном методе коллоидные частицы образуются за счет объединения атомов или молекул в агрегаты.

Способ получения наночастиц из коллоидных растворов заключается в их синтезе из исходных реагентов раствора и прерывании реакции (роста размеров наночастиц) в определенный момент времени, например, скачкообразным изменением pH раствора. Затем систему переводят из жидкого коллоидного состояния в твердое дисперсное.

Методом осаждения из коллоидных растворов получают металлические кластеры, кластеры сульфидов, оксидов и карбидов металлов.

Коллоидные наночастицы оксидов металлов (оксидов титана, циркония, алюминия, иттрия) получают гидролизом

солей. Например, наночастицы TiO_2 образуются при гидролизе тетрахлорида титана:



Наночастицы можно получать также с помощью ультразвуковой обработки коллоидных растворов, содержащих крупные частицы.

Для получения металлических наночастиц *восстановлением* из солей широко используют микроэмульсии типа «вода-масло» (обратные мицеллы). В этом случае капли воды (раствора) нанометровых размеров, диспергированные в масляной (органической) фазе и стабилизированные поверхностно-активными веществами, выполняют роль микрореакторов для синтеза наночастиц, а размер капель является естественным ограничителем размера наночастиц. Микроэмульсии применяют для синтеза наночастиц серебра, золота, платины, кобальта, железа.

Полупроводниковые оксидные и сульфидные наночастицы получают из коллоидных растворов, состоящих из агломерированных наночастиц прокаливанием при температуре 1200...1500 К. Например, высокодисперсный порошок карбида кремния ($D \sim 40$ нм) получают гидролизом органических солей кремния с последующим прокаливанием в аргоне при температуре 1800 К.

Для получения высокодисперсных порошков из коллоидных растворов применяют *криогенную сушку*. Раствор распыляют в камеру с криогенной средой, где он замерзает в виде мелких частиц. Затем давление газовой среды уменьшают и материал нагревают. В результате образуются тончайшие пористые гранулы. После их прокаливания получают нанопорошки.

Среди всех методов получения нанопорошков метод осаждения из коллоидных растворов обладает наиболее высокой селективностью и позволяет получать стабилизированные нанокластеры с очень узким распределением по размерам.

К методам получения нанопорошков относятся также методы *термического разложения (пиролиза)* элементо- и металлоорганических соединений, гидроксидов, карбонидов, нитратов и других соединений металлов. При пиролизе таких

соединений получают дисперсные порошки металлов со средним размером частиц 100...300 нм.

Один из вариантов пиролиза – разложение металлоорганических соединений в трубе при ударном нагреве газа. Нагрев приводит к разложению металлоорганических соединений за несколько микросекунд после прохождения ударной волны, на фронте которой температура может достигать 1000...2000°K. В результате этого свободные атомы образуют пересыщенный пар, который конденсируется с образованием металлических кластеров.

Комбинацией термического разложения и конденсации является сверхзвуковое истечение газов из камеры, в которой поддерживают повышенные постоянные давления и температура, через сопло в вакуум. Газ при расширении охлаждается и превращается в пересыщенный пар, в котором образуются кластеры, содержащие от двух до миллиона атомов. Нагрев соединений осуществляют с помощью лазерного излучения, низкотемпературной плазмы и другими высокоэнергетическими методами.

Основным недостатком термического разложения является сравнительно невысокая селективность процесса, так как продукт реакции обычно представляет собой смесь целевого продукта и других соединений.

Методом восстановления получают высокодисперсные порошки из гидроксидов, хлоридов, нитратов и карбонатов металлов в токе водорода при температуре ниже 500°K. В результате восстановления образуются частицы с размером 20...40 нм или 80...100 нм.

Достоинствами этого метода являются низкое содержание примесей и узкое распределение частиц порошков по размерам.

Методы механохимического синтеза. *Механосинтез* – наиболее производительный способ получения больших количеств нанокристаллических порошков различных материалов: металлов, сплавов, керамики, композитов.

Основой механосинтеза является механическая обработка твердых смесей, в результате которой происходит измельчение и пластическое деформирование агрегатов веществ, ускоряется

массоперенос, осуществляется перемешивание компонентов смеси на атомарном уровне и образование новых соединений.

Механосинтез можно разделить на два основных вида: механический размол и механическое сплавление. Механический размол используют для измельчения исходного материала. Механическое сплавление обеспечивает измельчение, перемешивание, массоперенос и химическое взаимодействие порошков нескольких чистых элементов, соединений или сплавов. В результате механического размола и механического сплавления может быть достигнута полная растворимость в твердом состоянии различных элементов, взаимная растворимость которых в равновесных условиях пренебрежительно мала.

Для размола и механохимического синтеза используют мельницы планетарного типа, шаровые и вибрационные. Средний размер частиц получаемых нанопорошков составляет от 5 до 200 нм. Так, при помоле в шаровой мельнице карбидов титана, ванадия, циркония в течение 48 часов можно получить порошки со средним размером частиц $\sim 1 \dots 7$ нм. Механическая обработка титаната бария в планетарной мельнице позволила получить нанокристаллический порошок со средним размером частиц $5 \dots 25$ нм. Механохимический синтез порошков боридов, карбидов, оксидов переходных металлов может осуществляться «взрывным» методом в вибромельницах. Средний размер, полученных таким образом частиц, составляет $6 \dots 20$ нм.

Представляет интерес метод получения нанокompозитной смеси механохимическим синтезом. В заполненной аргоном шаровой мельнице в течение 100 часов размалывается смесь крупнозернистых порошков (75 мкм) вольфрама, графита и кобальта. В результате получается нанокompозитная смесь WC-Co из зерен кобальта и карбида вольфрама со средним размером $11-12$ нм.

Детонационный синтез. При детонационном синтезе используют энергию взрыва бризантных взрывчатых веществ. Например, при воздействии ударной волны на смесь графита с металлами получают нанокристаллические алмазные порошки со средним размером частиц 4 нм.

Известен метод получения мелкодисперсных алмазных частиц при детонации конденсированных взрывчатых веществ с отрицательным кислородным балансом, т.е. разлагающихся с выделением свободного углерода, из которого и образуется алмазная фаза. При так называемом «сухом синтезе» охлаждение алмазных частиц происходит в газовой среде (в инертной атмосфере). В другом варианте детонационного синтеза алмазных порошков из конденсированных взрывчатых веществ с отрицательным кислородным балансом, называемом «водным синтезом», используют водяной охладитель полученных алмазных частиц.

В российской и отечественной промышленности освоен конверсионный метод получения алмазного порошка путем взрыва боеприпасов в специальных камерах. В результате развивающихся при взрыве высоких давления и температуры происходит синтез наноразмерных частиц алмаза из углеродсодержащих продуктов, катализируемый частицами и парами металла, образующимися из оболочек боеприпасов.

Характерной особенностью алмазных порошков, получаемых детонационным синтезом, является чрезвычайно малая дисперсия размеров наночастиц – основная доля частиц имеет размер 4...5 нм.

Детонационным синтезом получают нанопорошки оксидов металлов Al, Mg, Ti, Zn. Слой исходного вещества (например, высокопористая металлическая среда) подвергается ударно-волновому воздействию от контактного заряда взрывчатого вещества. В ударной волне происходит сжатие и подогрев высокопористого металла. После выхода ударной волны на свободную поверхность материал попадает в газовую атмосферу взрывной камеры, например, в активную кислородсодержащую среду O_2+N_2 . На стадии разлета частиц происходит окисление металла с образованием ультрадисперсного оксида. При содержании углеродсодержащей атмосферы CO_2 можно получить нанотрубки и сферические частицы углерода.

Получение полимерных нанопорошков. Рассмотрим методы получения полимерных порошков на примере ультрадисперсного политетрафторэтилена (УПТФЭ). Известные способы получения порошкообразного политетрафторэтилена можно разделить на

шесть групп: 1) синтетическую, 2) механическую, 3) радиационную, 4) лазерную, 5) термическую, 6) термогазодинамическую.

Сущность *синтетического способа* состоит в синтезе из тетрафторэтилена суспензионным или эмульсионным методами суспензий и органогелей политетрафторэтилена с размерами частиц 3...5 мкм. Способ достаточно производителен и используется в промышленной практике. Однако, он сложен в технологическом отношении, требуют реагентов высокой чистоты, что обуславливает высокую стоимость продукта. Кроме того, лимитирована возможность получения частиц более мелкого размера. Выделение частиц из суспензий в сухом виде приводит к их агломерированию в более крупные.

Механические способы состоят в измельчении массивных образцов политетрафторэтилена (ПТФЭ) с помощью специальных мельниц или при соударении частиц в сверхзвуковых газовых потоках. Измельчение эффективно для хрупких материалов, таким ПТФЭ становится ниже температуры жидкого азота (77К). Необходимость низких температур делает этот механический способ низким по производительности, сложным в техническом плане и дорогостоящим. Размеры частиц порошка имеют большой разброс и находятся в диапазоне 5...100 мкм; кроме того затруднено регулирование размера частиц и получение монофракционного продукта.

Радиационный способ измельчения основан на слабой устойчивости ПТФЭ к излучению. Деструкция массивных образцов ПТФЭ происходит вследствие разрыва макромолекул под действием интенсивного облучения потоком частиц. Облучение приводит к уменьшению молекулярного веса в 10...30 раз и обеспечивает получение частиц порошка размером до 5 мкм. Очевидно, что метод не может претендовать на высокую промышленную производительность и низкую себестоимость. Некоторое время он рассматривался как перспектива переработки отходов фторопласта, однако масштабно не был реализован.

Лазерный способ предполагает локальную деструкцию массивного образца ПТФЭ под действием лазерного облучения. Возможность его широкого применения ограничена по ряду

причин: высокая себестоимость, низкая производительность, сложность технологического оборудования.

Термический способ основан на реполимеризации мономера – газообразного тетрафторэтилена (ТФЭ), образующегося в процессе термодеструкции. Процесс возможен при избыточном давлении тетрафторэтилена и наличии условий конденсации. Однако выход конечного продукта чрезвычайно низок, менее одного процента, что исключает практическое использование термического способа для промышленного производства порошкообразного ПТФЭ.

Все вышеперечисленные способы имеют ограничения для получения качественного дисперсного ПТФЭ. Для улучшения качества порошка иногда используется совокупность способов, в частности, дополнительная механическая обработка порошка, полученного радиационным способом, может уменьшить размеры частиц до 1...3 мкм, однако это не решает технических и экономических сложностей.

В Институте химии Дальневосточного отделения Российской Академии наук (Владивосток) разработан термогазодинамический (ТГД) метод, который частично решает отмеченные выше проблемы и может обеспечить промышленное производство ультрадисперсного политетрафторэтилена (УПТФЭ), регулируемого по качеству.

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПАКТНЫХ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Фундаментальный и прикладной интерес представляют компактные нанокристаллические материалы. Наиболее распространенными **методами компактирования нанопорошков** являются традиционные методы порошковой технологии, т.е. различные методы прессования и спекания, модифицированные применительно к нанопорошкам. Компактирование нанопорошков можно проводить холодным статическим прессованием с односторонним или двусторонним приложением давления; горячим прессованием; холодным или горячим изостатическим прессованием в гидро- или газостатах; магнитно-импульсным, ударным и взрывным прессованием, а

также метод вакуумного компактирования наночастиц конденсацией из газовой фазы и др.

Методы компактирования нанокристаллических порошков.

Известен метод получения компактных нанокристаллических материалов, предложенный немецким профессором Х. Гляйтером (рис. 11.9).



Рис. 11.9. Схема установки для получения компактных нанокристаллических материалов методом испарения и компактирования

Метод основан на *испарении и конденсации* нанокристаллических частиц, осаждаемых на холодную поверхность вращающегося цилиндра. Испарение и конденсацию

проводят в атмосфере разреженного инертного газа, обычно гелия.

Для компактирования нанопорошков достаточно эффективным является *магнитно-импульсный метод*, при котором генерируются импульсные волны сжатия с амплитудой до 5 ГПа и длительностью в несколько микросекунд. Метод основан на концентрировании силового действия магнитного поля мощных импульсных токов. Принципиальная схема одноосного магнитно-импульсного прессования показана на рис. 11.10.

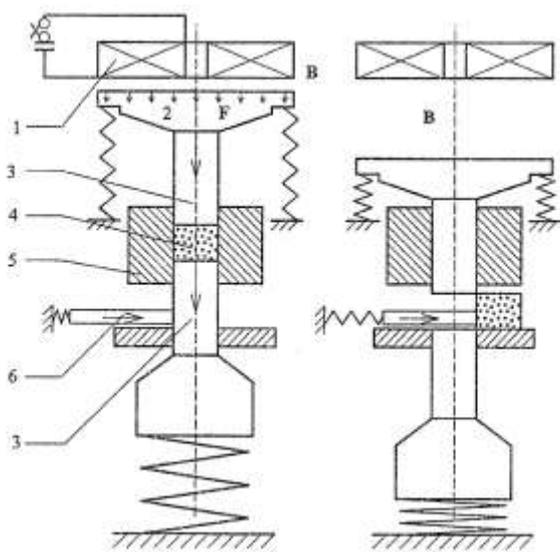


Рис. 11.10. Схема одноосного магнитно-импульсного прессования нанопорошков: а – стадия сжатия; б – стадия выемки готового образца, 1 – индуктор; 2 – концентратор; 3 – верхний и нижний пуансоны; 5 – матрица; 6 – устройство выемки образца

Индуктор 1 создает импульсное магнитное поле В. Механический импульс силы F , сжимающий порошок, генерируется в результате взаимодействия импульсного магнитного поля с проводящей поверхностью концентратора 2.

Концентратор приводит в действие верхний пуансон 3, которым сжимается порошок. Перемещение концентратора основано на использовании диамагнитного эффекта выталкивания проводника из области импульсного магнитного поля. Матрицу с образцом помещают в вакуумную камеру, и все операции с порошком осуществляют в вакууме. Импульсные волны сжатия сопровождаются интенсивным нагревом порошка за счет быстрого выделения энергии трения частиц в процессе упаковки.

Вещество, испаренное или распыленное из одного или нескольких источников, конденсируется в виде наночастиц в атмосфере разреженного инертного газа и с помощью конвекции переносится на поверхность вращающегося и охлаждаемого жидким азотом цилиндра. Нанопорошок скребком удаляют с поверхности цилиндра, собирают в пресс-форму и последовательно компактируют сначала при низком, а затем при высоком давлении прессования. Полученные этим способом наноматериалы состоят из частиц со средним размером от 1...2 до 80...10 нм, с плотностью полуфабрикатов из металлов до 97%, из нанокерамики – до 85%.

Магнитно-импульсный метод прессования может быть использован для получения изделий и заготовок различной формы, причем в большинстве случаев они не требуют какой-либо дополнительной механической обработки. Магнитно-импульсным методом удается получать компактные керамические нанокристаллические материалы из наокристаллических порошков Al_2O_3 и TiN с плотностью до 95%.

Одним из основных методов является *прессование нанопорошков*. В процессе прессования используют давления до 10 ГПа. Прессование может быть холодным и горячим. В случае холодного прессования получаемые компактные нанокристаллические изделия обладают достаточно высокой пористостью. Их плотность составляет 70...90% от плотности, характерной для монолитного вещества. Горячее прессование с повышенной продолжительностью процесса спекания позволяет получать, например, компактные керамические материалы с относительной плотностью до 99%.

Перспективным и эффективным методом компактирования керамических нанопорошков без применения пластификаторов

является *холодное ультразвуковое прессование*. Воздействие на порошок мощного ультразвука в процессе прессования уменьшает межчастичное трение порошка о стенки пресс-формы, разрушает агломераты и крупные частицы, повышает поверхностную активность частиц порошка и равномерность их распределения по объему. Это приводит к повышению плотности спрессованного изделия и к сохранению наноструктуры. Например, в результате ультразвукового прессования нанопорошка ZrO_2 , стабилизированного оксидом Y_2O_3 , и последующего спекания образцов на воздухе при температуре 1923К получают заготовки с относительной плотностью около 90%. Средний размер частиц в исходном нанопорошке 50 нм, в готовом изделии – от 200 до 440 нм.

Ультразвуковое прессование нанопорошков особенно эффективно для изготовления изделий сложной формы: втулок, конических шестеренок, спиралей и т.д.

Представляет интерес новый *метод спекания керамических наноматериалов* с помощью сверхвысокочастотного (СВЧ) излучения. Этот метод основан на сверхвысокочастотном нагреве спекаемого образца. Нагрев осуществляют излучением миллиметрового диапазона (диапазон частот от 24 до 84 ГГц). Объемное поглощение сверхвысокочастотной энергии обуславливает одновременный равномерный нагрев образца по сечению. Поскольку скорость нагрева не ограничена теплопроводностью, как в традиционных методах спекания, этот способ позволяет получать спеченную керамику с однородной микроструктурой.

Осаждение на подложку. Осаждением на холодную или подогретую поверхность подложки получают пленки и покрытия, т.е. непрерывные слои нанокристаллического материала. В этом способе, в отличие от газового синтеза, образование наночастиц происходит непосредственно на поверхности подложки, а не в объеме инертного газа вблизи охлаждаемой стенки. Осаждение на подложку может происходить из паров, плазмы или коллоидного раствора.

При осаждении из паров металл испаряется в вакууме, в кислород- или азот- содержащей атмосфере, и пары металла или образовавшегося соединения (оксида, нитрида) конденсируются

на подложке. Размер кристаллитов в пленке можно регулировать изменением скорости испарения и температуры подложки. Чаще всего этим способом получают нанокристаллические пленки металлов.

При осаждении из плазмы для поддержания электрического разряда используют инертный газ. Непрерывность и толщину пленки, размеры кристаллитов в ней регулируют изменением давления газа и параметров разряда. В качестве источника металлических ионов при осаждении из плазмы используют металлические катоды, обеспечивающие высокую степень ионизации.

Широкое применение нашли ионно-плазменные покрытия из нитрида и карбонитрида титана. Нагрев подложки до 500...800К позволяет сохранить нанокристаллическую структуру покрытия.

При осаждении из плазмы в основном применяют реактивные рабочие среды (смеси аргона с азотом или углеводородами при давлении 0,1 Па) и металлические катоды. Основной недостаток ионно-плазменного дугового распыления – образование мелких капель металла из-за частичного плавления катода и возможность попадания металлических капель в осаждаемые пленки, поэтому в практике применяют различные методы сепарирования осаждаемой фазы.

Эффективным методом нанесения покрытий и пленок является *импульсное электроосаждение*. Оно широко применяется для получения наноструктурированных металлов. Подложку помещают в раствор, содержащий ионы осаждаемого элемента. Между слоем осажденного металла на подложке и электродом, погруженным в раствор, создают изменяемую во времени (пульсирующая) разность потенциалов. Пульсирующее напряжение способствует созданию однородного покрытия. С помощью импульсного электроосаждения получают алмазоподобные углеродные пленки. Такие пленки были получены электролизом раствора метилового спирта с использованием источника импульсного напряжения.

Традиционными методами нанесения пленок являются *химическое и физическое осаждение из газовой фазы*. Осаждение из газовой фазы обычно связано с высокотемпературными

газовыми реакциями хлоридов металлов в атмосфере водорода и азота или водорода и углеводородов. Температурный интервал химического осаждения пленок составляет 1200...1400К. Использование лазерного излучения позволяет снизить температуру процесса до 600...900К, что способствует образованию нанокристаллических пленок.

При *кристаллизация аморфных сплавов* нанокристаллическая структура создается в аморфном сплаве путем его кристаллизации. Аморфные сплавы (их называют также «металлическими стеклами») получают разными методами, основой которых является быстрый переход компонентов сплава из жидкого агрегатного состояния в твердое. Следствием аморфной структуры являются высокая магнитная проницаемость и низкая коэрцитивная сила, исключительно высокая механическая прочность и большая твердость аморфных металлических сплавов. Наиболее распространенным способом аморфизации металлических сплавов является спиннингование (melt spinning). Спиннингование представляет собой процесс получения тонких лент аморфных металлических сплавов с помощью сверхбыстрого охлаждения расплава на поверхности вращающегося диска или барабана.

Исследования аморфных сплавов показали, что их магнитные и механические свойства можно существенно улучшить, если, с помощью кристаллизации создать в них нанокристаллическую структуру. Для кристаллизации ленту из аморфного металлического сплава отжигают при контролируемой температуре. Для создания нанокристаллической структуры отжиг проводится таким образом, чтобы возникло большое число центров кристаллизации, а скорость роста кристаллов была низкой. Считают, что барьером для роста кристаллов является аморфная фаза.

Процесс кристаллизация аморфных сплавов активно изучают в связи с возможностью создания нанокристаллических ферромагнитных сплавов систем Fe-Cu-M-Si-B (M – Nb, Ta, W, Mo, Zr), имеющих очень низкие значения коэрцитивной силы и высокую магнитную проницаемость, т.е. магнитномягких материалов.

Японские ученые получили однородную нанокристаллическую структуру в аморфных сплавах системы Fe-Cu-Nb-Si-B, при кристаллизации в диапазоне температур 700...900К. Последовательное изменение микроstructures сплавов в процессе кристаллизации схематически изображено на рис. 11.11.

В этом сплаве в аморфной матрице равномерно распределены зерна ОЦК-фазы α -Fe(Si) размером ~ 10 нм и кластеры меди с размером менее 1 нм.



Рис. 11.11. Схема формирования наноструктуры в аморфном сплаве системы Fe-Cu-Nb-Si-B в процессе его кристаллизации

К **методам интенсивной пластической деформации** относят: кручение под высоким давлением; равноканальное угловое прессование (РКУ- прессование); РКУ- вытяжку; всестороннюю ковку. Сущность этих методов заключается в многократной интенсивной пластическом деформировании сдвига обрабатываемых материалов. Использование интенсивного пластического деформирования позволяет, наряду с уменьшением среднего размера зерна, получать массивные образцы с практически беспористой структурой материала, чего не удастся достичь традиционным компактированием высокодисперсных порошков. Пластическое деформирование известно как эффективное средство формирования структуры металлов, сплавов и некоторых других материалов. В процессе

деформирования повышается плотность дислокаций, происходит измельчение зерна, возрастает концентрация точечных дефектов и дефектов упаковки. Совокупность этих изменений способствует образованию специфической микроструктуры материала.

Основными методами, с помощью которых достигаются большие деформации, приводящие к заметному измельчению зерна без разрушения образцов, являются кручение под высоким давлением и равноканальное угловое прессование (рис. 11.12).

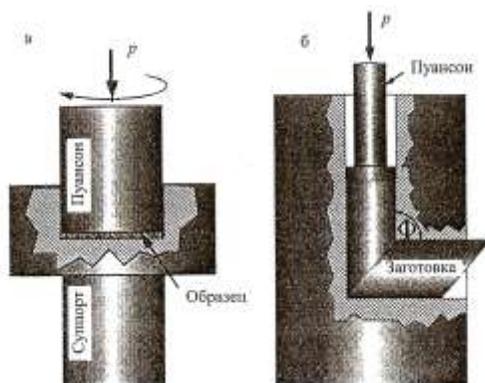


Рис. 11.12. Схемы основных методов интенсивного пластического деформирования: а – кручение под высоким давлением; б – равноканальное угловое прессование

В методе кручения под высоким давлением полученные образцы имеют форму дисков (рис. 11.12, а). Образец помещают между боками и сжимают под приложенным давлением в несколько ГПа. Один из бойков вращается, и силы поверхностного трения деформируют образец.

Принцип РКУ-прессования показан на рис. 11.12, б. В этом методе используются исходные заготовки с круглым или квадратным поперечным сечением. При реализации РКУ-прессования заготовку неоднократно продавливают в специальной оснастке через два канала с одинаковым поперечным сечением, которые пересекаются под углом Φ .

Метод всестороннейковки основан на использовании многократного повторения операций свободнойковки: осадка-протяжка со сменой оси прилагаемого деформируемого усилия. Данный способ позволяет получать наноструктурное состояние в достаточно хрупких материалах, поскольку обработку начинают с повышенных температур и обеспечивают небольшие удельные нагрузки на инструмент.

Контрольные вопросы

- 1. Как классифицируют частицы по размерам ?*
- 2. Что называется наноматериалами?*
- 3. Что такое фуллерены и нанотрубки?*
- 4. Дайте определение «нанотехнологии».*
- 5. Объясните сущность ионно-трековой нанотехнологии.*
- 6. Что такое «эпитаксия»?*
- 7. Назовите методы синтеза нанокристаллических порошков?*
- 8. Перечислите методы компактирования нанопорошков.*

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. *Комаров О.С.* Технология конструкционных материалов. Под ред. О.С.Комарова. Минск.: Новое знание, 2005.
2. *Черниченко В.С.* Материаловедение. Технология конструкционных материалов. Под ред. В.С.Черниченко. М.: Омега-Л, 2006.
3. *Струк В.А.* Материаловедение. Минск.: ИВЦ Минфина, 2008.
4. *Афонькин М.Г., Магницкая М.В.* Производство заготовок в машиностроении. Л.: Машиностроение, 1990.
5. *Горохов В.А.* Технология обработки материалов. Минск.: Беларуская навука, 2000.
6. *Фетисов Г.П., Карлман М.Г., Матюши В.М.* Материаловедение и технология металлов: Учебн. Для студентов машиностроит. спец. вузов. М.: Высш. Шк., 2000.
7. *Косилова А.Г.* Справочник технолога-машиностроителя: справочник. Под. ред. А.Г. Косиловой, Р.В.Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985.
8. *Смирнов А.И.* Анализ перспектив развития методов формообразования в машиностроении. М.: Машиностроение, 1989.
9. *Шварц О., Эбелинг Ф., Фурт Б.* Переработка пластмасс. Под общ. ред. А.Д. Паниматченко. СПб.: Профессия, 2005.
10. *Лупачев В.Г.* Ручная дуговая сварка. Минск.: Высш. шк., 2000.
11. *Раковский В.С., Саклинский В.В.* Порошковая металлургия в машиностроении. М.: Машиностроение. 1983.
12. *Гусев А.И.* Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М.: Физмалит, 2005.
13. *Н. Кобаяси.* Введение в нанотехнологию. Под. общ. ред. Л.Н. Патрикеева. – М.: Бином, 2005.
14. *Цыплаков О.Г.* Основы формования стеклопластиков. Л.: Машиностроение, 1978.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Армирование** 50, 172
Блюм 63
Блюминг 63
Вальцевание 165
Высадка 85
Вытяжка 92, 99 100
 обжатием 99
 ротационная 100
Газопроницаемость 19
Горизонтально-ковочные машины 84
Гибка 71, 89 - 92
Гидравлические прессы 84
Горячештамповочные кривошипные прессы 83
Дефекты отливок 51, 52
 газовые раковины 52
 недолив 52
 перекос 52
 песчаные раковины 51
 трещины, 52
 усадочные раковины 52
Жидкотекучесть 17
Заготовки 6, 10, 13, 14, 15, 135
Каландрование 155, 165
Калибровка 85
Кластеры 189
Клетки 60
 дуо 60, 61
 кварто 60, 61
 многовалковые 60, 62
 трио 60
 специальные 60, 62
 универсальные 60, 62
Ковка 10, 70
Компактирование нанопорошков 209 - 218
Композиционные материалы 15, 172
Компрессионное формование 156, 168
Контактное формование 174 - 177
Коробление 19
Левитационно-струйный генератор 199
Литье пластмасс 155, 163 - 165
Литейная модель 20
 опока 19,
 технология 16
Модельная плита 20
Модельный комплект 21
Молот 71
 газогидравлический 74
 гидравлический 74
 ковочный 72
 паровоздушный 72
 штамповочный 83
Намотка 174, 181 - 184
Наноматериалы 188 - 192
Нанотехнологии 186, 192 - 218
 ионно-трековая 193
 молекулярно-лучевая эпитаксия 194 - 196
 фотолитография 194
Нанопорошки 198 - 209
Нанотрубки 190, 191
Напыление 174 - 175

Обжим 94
Огнеупорность 19
Операции листовой штамповки 88, 89
 разделительные 88
 формообразующие 89
Осадка 70
Отбортовка 93
Отливка 7, 8, 16, 17
Пластические массы 14, 155
Пластическое деформирование 55, 103
Пластичность 19
Податливость 19
Поковка 69
Порошки металлические 115
Порошковая металлургия 114
Правка 85
Прекурсор 200
Прессование пластмасс 155, 169
Прессование порошков 124 - 129
 в металлической пресс-форме 124
 гидростатическое 126
 динамическое 129
 изостатическое 126
 магнитно-импульсное 212
 мундштучное 128
 шликерное 128
Прокат 13
 листовой 62, 63
 сортовой 62, 63
Прокатный стан 59
 автоматический 65
 пилигримовый 64
Прокатка 58
 поперечная 59
 поперечно-винтовая 59
 продольная 59
Протяжка 700
Прошивка 71
Равностенность 49
Радиусы закруглений 50
Раскатка 71
Ротационное формование 155, 167
Сварка 14, 136, 137
 пластмасс 151 - 154
Сварные конструкции 150
Сварные соединения 138
 нахлесточные 141
 стыковые 139
 тавровые 140
 торцевые 141
 угловые 140
Сварные швы 138, 142 - 150
Симплекс-процесс 177
Синтез нанопорошков 198 - 209
 газофазный 198 - 201
 детонационный 206
 механосинтез 205
 осаждением 203
 пиролизом 204
 плазмохимический 201
Скручивание 71
Сляб 63
Слябинг 63
Смесь 19, 21, 22
 жидкостекольная 22
 единая 21
 наполнительная 21
 облицовочная 21

стержневая 21
формовочная 19, 21
холоднотвердеющая 22
Спекание порошков 130
жидкофазное 132
твердофазное 130
Специальные способы литья
28
вакуумным всасыванием 28,
46
выжиманием 28, 46
в оболочковые формы 27, 28
кокильное литье 28, 33
жидкой прокатки 28, 47
намораживанием 28, 48
непрерывное литье 28, 45
под давлением 28, 41
по выплавляемым моделям
28, 30
центробежное литье 28, 43
Стеклопластики 172 - 185
Стержневой ящик 20
Трещины 18
горячие 18
холодные 18
Трубы 64 - 66
бесшовные 64
сварные 66
Уклоны 49
Усадка 17
линейная 18
объемная 18
Усадочные раковины 18

Усадочная пористость 18
Форма
литейная 17, 19, 21, 22, 24, 25
металлическая 28
песчаная 20
Формование порошков 123
Формование
стеклопластиков 177 - 180
под вакуумом 177, 178
под давлением 177, 179
прессованием 180
пропиткой 180, 181
Формовка 22
машинная 24
ручная 22
рельефная 91
Формообразование 4
фасонных поверхностей 103
резанием 109
Фуллерены 191, 202
Центробежное формование
174, 184
Штамп 57, 94, 95
разделительный 95, 96
формообразующий 95, 97, 98
Штамповка 10, 11, 75
взрывом 101
выдавливанием 86
горячая объемная 11, 76
холодная объемная 12, 85
холодная листовая 12
Экструзия 156 - 161

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
<i>Лекция № 1.</i> Основные принципы выбора заготовок для деталей машин	4
<i>Лекция № 2.</i> Технология формообразования отливок	16
<i>Лекция № 3.</i> Формообразование заготовок пластическим деформированием. Производство проката	55
<i>Лекция № 4.</i> Технология формообразования поковок	69
<i>Лекция № 5.</i> Формообразование заготовок листовой штамповкой	88
<i>Лекция № 6.</i> Формообразование поверхностей деталей поверхностным пластическим деформированием и резанием	103
<i>Лекция № 7.</i> Формообразование заготовок из порошковых материалов	114
<i>Лекция № 8.</i> Сварные заготовки и конструкции	136
<i>Лекция № 9.</i> Методы формообразования изделий из пластических масс	155
<i>Лекция № 10.</i> Методы формообразования изделий из композиционных материалов	172
<i>Лекция № 11.</i> Перспективные технологии XXI века. Нанотехнологии в машиностроении	186
Рекомендуемая литература	219
Предметный указатель	220

Учебное издание

Гаврилова Валентина Владимировна
Ищенко Мария Владимировна
Струк Василий Александрович
Овчинников Евгений Витальевич

**ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ
ЗАГОТОВОК ИЗДЕЛИЙ**

Курс лекций

Компьютерная верстка: В.В. Гаврилова

Подписано в печать
Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать RISO. Усл. печ. л. 8,25. Уч.-изд. л. 9,14.
Тираж экз. Заказ №.

Учреждение образования
«Гродненский государственный аграрный университет»
Л.И. №02330/0548516 от 16.06.2009
230008, г. Гродно, ул. Терешковой, 28

Отпечатано на технике издательско-полиграфического отдела
Учреждения образования «Гродненский государственный
аграрный университет»
230008, г. Гродно, ул. Терешковой, 28