

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

А.М. ДМИТРИЕВ, Ф.В. ГРЕЧНИКОВ, Н.В. КОРОБОВА

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ПРЕССЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ ДАВЛЕНИЕМ И ИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

2-е издание, переработанное и дополненное

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов
по университетскому политехническому образованию
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению 150200 «Машиностроительные технологии
и оборудование», специальности 150201 «Машины и технология
обработки металлов давлением»*

САМАРА
Издательство СГАУ
2010

УДК 621.97(075)

ББК 34.623

Д 534

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. В. П. Ступников
д-р техн. наук, проф. Е. Н. Сосенушкин

Дмитриев А.М.

Д 534 Специализированные прессы для обработки материалов давлением и их технологическое применение: учеб. пособие / А.М. Дмитриев, Ф.В. Гречников, Н.В. Коробова; 2-е изд., перераб. и доп. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2010. – 104 с.

ISBN 978-5-7883-0765-7

Приведены сведения о прогрессивных технологических процессах листовой штамповки, штамповки выдавливанием в разъемные матрицы, производства деталей из металлических порошков. Кратко рассмотрено современное состояние нанотехнологий. Показано, что все рассмотренные технологические процессы целесообразно осуществлять с использованием специализированных гидропрессов. Описаны разработанные специализированные гидропрессы, приведены примеры изготовленных на них деталей.

Показана перспективность применения специальных методов штамповки наряду с универсальными. Для их реализации приведено применяемое в промышленности специализированное технологическое оборудование.

Рекомендуется для инженерно-технических работников, студентов и преподавателей вузов, специализирующихся в кузнечно-штамповочном производстве.

УДК 621.97(075)

ББК 34.623

Учебное издание

*Дмитриев Александр Михайлович, Гречников Федор Васильевич,
Коробова Наталья Васильевна*

**СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ПРЕССЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ
ДАВЛЕНИЕМ И ИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ**

Учебное пособие

Редактор Л. Я. Чегодаева
Доверстка Т. Е. Половнева

Подписано в печать 4.02.2010. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 6,5. Тираж 50 экз. Заказ 10.

Самарский государственный аэрокосмический университет.
443086, Самара, Московское шоссе, 34

Издательство Самарского государственного аэрокосмического университета.
443086, Самара, Московское шоссе, 34

ISBN 978-5-7883-0765-7

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2010

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ СОЗДАНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРЕССОВ ДЛЯ ВЫТЯЖКИ ДЕТАЛЕЙ ПУЛЕОБРАЗНОЙ ФОРМЫ ИЗ ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК.....	5
2. ПРЕСС ДЛЯ ДВУХСТОРОННЕГО ВЫДАВЛИВАНИЯ В РАЗЪЕМНЫЕ МАТРИЦЫ ПОКОВОК ДЕТАЛЕЙ С БОКОВЫМИ ОТРОСТКАМИ.....	11
3. МАЛОГАБАРИТНЫЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПРЕССЫ.....	19
3.1. Расширение области применения холодной объемной штамповки выдавливанием с активными силами трения.....	19
3.2. Штамповка композиционных материалов.....	32
3.3. Производство высококачественных деталей из порошковых сталей.....	41
3.4. Формование конических втулок.....	47
3.5. Производство длинномерных (прутковых) изделий из металлического порошка.....	50
3.6. Формование высокоплотных порошковых деталей на прессах, создающих активные силы контактного трения.....	53
3.7. Производство нанопорошковых заготовок.....	58
4. СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ.....	60
4.1. Штамповка в гидростатах.....	60
4.2. Газостатическая обработка заготовок.....	74
4.3. Штамповка деталей из трубных заготовок.....	77
4.4. Штамповка обкатыванием.....	79
4.5. Штамповка с раскаткой.....	88
4.6. Импульсные методы штамповки.....	89
4.7. Навивка пружин на автоматах.....	97
4.8. Изготовление отрезкой от прутка цилиндрических заготовок высокой точности.....	101
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	103
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	104

ВВЕДЕНИЕ

Еще в бытность студентами, консультируясь в МГТУ имени Н.Э. Баумана на кафедре, осуществляющей подготовку специалистов по машинам и технологии обработки металлов давлением, с Заслуженным деятелем науки и техники РСФСР, лауреатом Премии Правительства РФ в области науки и техники, д.т.н., проф. А.Г. Овчинниковым, авторы предлагаемого учебного пособия осознали перспективность создания специализированных прессов и специальных методов штамповки.

Для выполнения штамповки высококачественных деталей, имеющих заданную прочность, волокнистую структуру или наноструктуру, при применении универсальных прессов требуются штампы сложных конструкций. Такие штампы должны осуществлять перемещение нескольких деформирующих заготовку инструментов при специально задаваемом маршруте перемещения каждого инструмента. В результате штампы снабжают дополнительными к имеющимся у универсального пресса приводами. Для размещения таких штампов на универсальных прессах приходится выбирать прессы не по величине номинальной деформирующей силы, а по размерам штампового пространства. Как следствие необходимости большого штампового пространства универсальные прессы имеют многократное превышение номинальной силы штамповки и мощности привода по сравнению с теми силами и мощностями, которые нужны для осуществления выполняемой технологической операции.

Как будет видно ниже из текста, поскольку штамп должен иметь дополнительный по отношению к приводу универсального пресса второй привод, то приводы целесообразно совместить в единое целое и получится новый, специализированный пресс. В конструкции этого специализированного пресса можно исключить часть элементов универсального пресса, которые не нужны для выполнения на нем данного конкретного технологического процесса. Как следствие достигается большое сокращение энергозатрат в производстве, установочной мощности и металлоемкости оборудования.

Некоторые типы разработанных авторами специализированных прессов для выполняемых на них специфических технологических процессов описаны в предлагаемом издании.

1. ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ СОЗДАНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРЕССОВ ДЛЯ ВЫТЯЖКИ ДЕТАЛЕЙ ПУЛЕОБРАЗНОЙ ФОРМЫ ИЗ ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК

Рассматривается вытяжка деталей, имеющих значительный конический придонный участок, переходящий в цилиндрический участок (рис. 1: 1 – пуансон, 2 – заготовка, 3 – матрица, 4 – выталкиватель).

Деталь с таким большим отношением высоты к диаметру невозможно получить непосредственно из плоской заготовки, поэтому вытяжку проводят за несколько переходов. На первом переходе из плоской заготовки вытягивают стакан; на последующих переходах проводят вытяжку из цилиндрических полуфабрикатов, полученных на предыдущих переходах; на заключительном переходе из полуфабриката, имеющего конический придонный участок небольшой длины, вытягивают деталь с протяженным коническим участком.

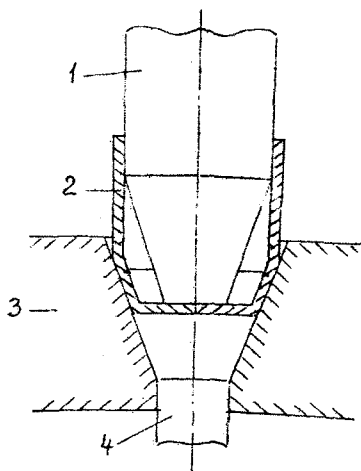


Рис. 1. Схема вытяжки детали пулеобразной формы

Особенность деформирования заготовки на последнем переходе заключается в том, что на начальном этапе участок заготовки, находящийся вне контакта с пуансоном и матрицей, имеет значительную протяженность. В начале деформирования на этом переходе пуансон воздействует на центральную зону донной части заготовки. По мере продвижения пуансона дно заготовки прогибается, одновременно увеличивается ширина зоны контакта с матрицей, причем внутренняя поверхность заготовки постепенно приближается к поверхности пуансона.

Образующая заготовки в зазоре между пуансоном и матрицей непрямолинейна, поэтому вытяжку таких деталей осуществляют в так называемую глухую

матрицу, чтобы на последнем этапе деформирования достичь прямолинейности образующей путем правки заготовки между коническими поверхностями пуансона и матрицы.

В определенных условиях часть заготовки, находящаяся в зазоре между пуансоном и матрицей, может терять устойчивость под действием сжимающих тангенциальных напряжений. Это выражается в образовании продольных складок. Однако образование таких складок меньше, чем во фланце плоской заготовки на первом переходе вытяжки. Это объясняется тем, что часть заготовки, находящейся в зазоре между пуансоном и матрицей, на промежуточных стадиях деформирования заключена между донной и цилиндрической частями, в которых потери устойчивости не происходит. В тех случаях, когда при вытяжке наблюдается значительная потеря устойчивости, при которой подчеканка на заключительной стадии деформирования не позволяет выправить образующиеся складки, конический участок детали изготавливают за несколько переходов [1].

Чтобы исключить описанные трудности, авторами разработан способ вытяжки через вальцы (рис. 2) и конструкция устройства для его осуществления.

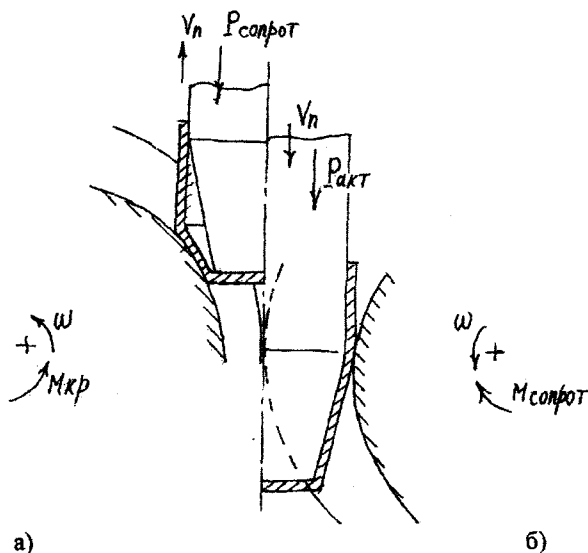


Рис. 2. Схема вытяжки рассматриваемой детали через вальцы

При вытяжке по разработанному способу на первом этапе вальцы совершают движение в направлении, показанном на рис. 2, а стрелками ω и $M_{кр}$. В то же время пуансон может совершать незначительное движение назад, оказывая сопротивление, величина которого (P_c) достаточна для того, чтобы происходи-

ло формоизменение заготовки. На втором этапе пуансон движется вниз, проталкивая заготовку через вальцы, которые поворачиваются по стрелке ω (рис. 2, б) в направлении, противоположном направлению поворота на первом этапе, при этом вальцы оказывают сопротивление их повороту, величина которого (M_c) достаточна для формоизменения заготовки.

Необходимость в двухэтапном деформировании вызвана следующим. Если нет первого этапа и заготовку, имеющую дно диаметром, незначительно меньшим диаметра ее цилиндрической части, устанавливают в вальцы, развернутые так, что диаметр образованного ими отверстия соответствует наименьшему диаметру детали, и проводят вытяжку проталкиванием заготовки через матрицу, то острые кромки фильеры вальцов врезаются в дно заготовки, что приводит к браку.

Для осуществления последующей вытяжки конических деталей в матрице с непрерывно расширяющейся полостью разработана конструкция опытно-промышленного штампа, показанная на рис. 3.

Особенностью штампа является выполнение матрицы в виде двух соответствующим образом спрофилированных вальцов. Профиль матрицы (вальцов) таков, что при прохождении через нее конического пуансона диаметр матрицы (полости, образованной вальцами) в каждый момент вытяжки равен диаметру пуансона в сечении его плоскостью, проходящей через оси вальцов, плюс двойная толщина стенки вытягиваемой детали.

В процессе вытяжки под действием пуансона, продвигающего и одновременно формующего в матрице (вальцах) заготовку, вальцы поворачиваются таким образом, чтобы каждому положению пуансона соответствовал определенный участок их рабочего профиля.

Для формования заготовки необходимо, чтобы описанная матрица изменяла свой профиль с достаточным давлением на заготовку. В показанном на рис. 3 штампе предусмотрено специальное устройство, создающее такое давление (сопротивление повороту вальцов).

Штамп имеет нижнюю плиту 1, на которой установлена опора 3, в пазах опоры 3 размещены вальцы 5.

Вальцы имеют (рис. 4) рабочую полость, в которой осуществляется формовка заготовки, отверстие для оси и зубчатую часть, взаимодействующую с зубчатой рейкой, через которую создается сопротивление повороту вальцов и, таким образом, оказывается давление на заготовку при изменении диаметра матрицы.

Вальцы поворачиваются на осях, установленных в выточках опоры 3 и зафиксированных в них винтами для предотвращения выдавливания моментом, создаваемым силой, действующей в полости матрицы. Оси вальцов установлены в отверстиях вальцов и в опоре с переходной посадкой H7/k6, чтобы не допускать свободного поворота вальцов, например при установке заготовки.

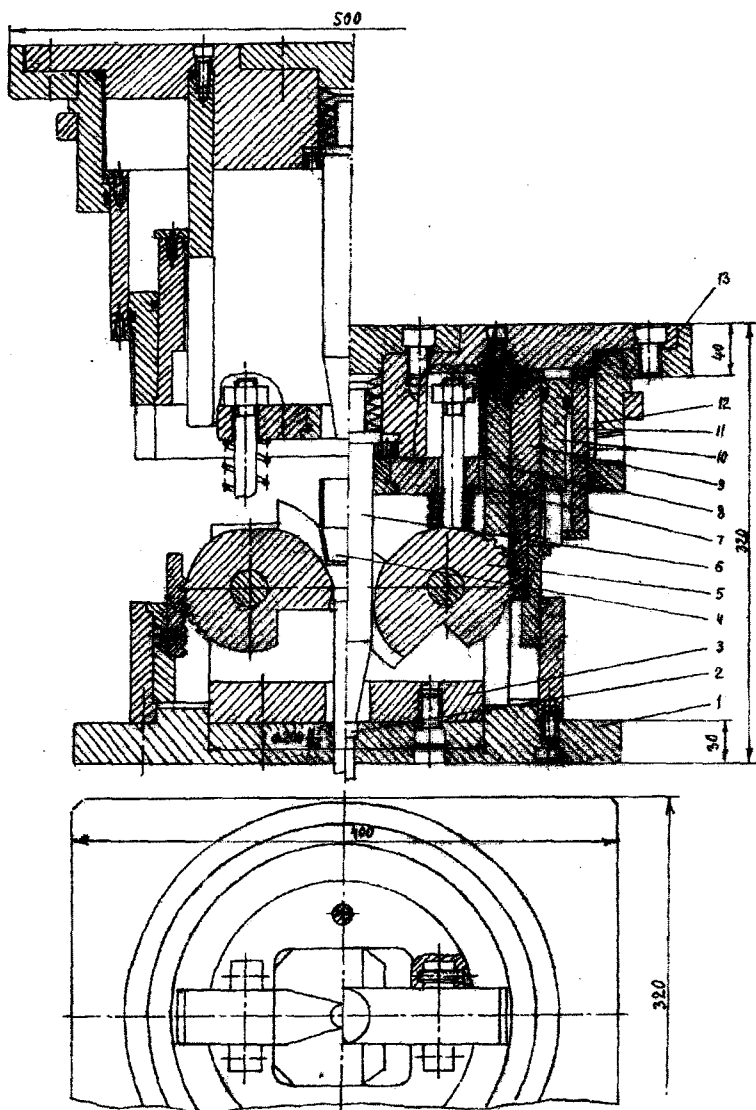


Рис. 3. Конструкция штампа для вытяжки в вальцах

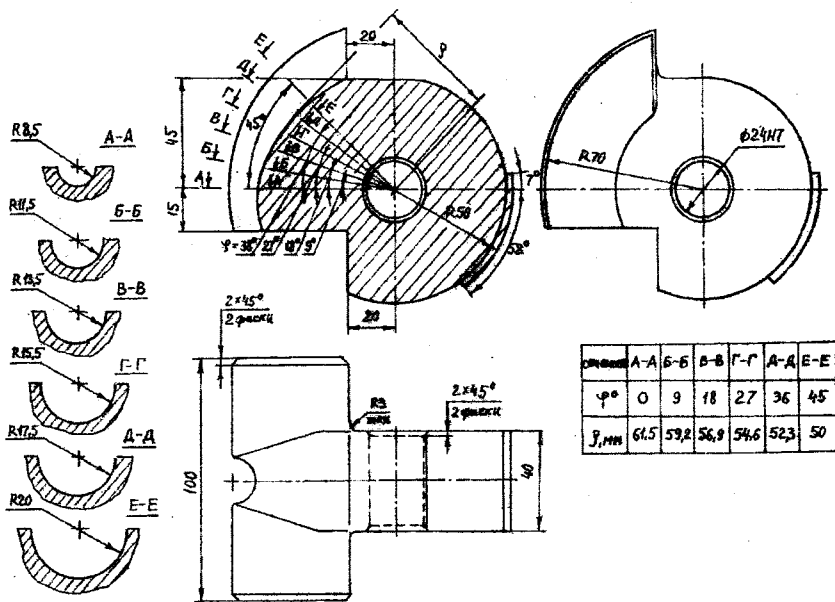


Рис. 4. Чертеж вальца, образующего половину полости матрицы штампа

Заготовка 4 формируется в вальцах с помощью пуансона 6, установленного в верхней плите 13 штампа. Для съема детали с пуансона предусмотрен съемник, размещенный и закрепленный стопорным винтом в траверсе 7, перемещающейся по ввинченным в опору 3 шпилькам при воздействии на траверсу плиты штампа при ходе вниз и под действием пружин при ходе ползуна пресса вверх. Пружины поднимают траверсу со съемником на высоту, достаточную для того, чтобы снятая с пуансона деталь свободно размещалась между матрицей и съемником и ее можно было бы беспрепятственно извлечь из штампа.

В случае если деталь остается после штамповки не на пуансоне, а в матрице, ее можно вытолкнуть выталкивателем 2 штампа, на который воздействует выталкиватель пресса.

Поворот вальцов 5 во время рабочего хода пресса и сопротивление повороту при проталкивании заготовки через вальцы осуществляется гидро- или пневмоцилиндром 11 и передается через зацепление между зубчатыми рейками и зубчатыми сегментами вальцов. Под действием рейки, опирающейся на гильзу 9 телескопического плунжера пневмоцилиндра, вальцы поворачиваются навстречу движению пуансона, и обжимается концевая часть заготовки. После осуществления заданного поворота вальцов навстречу движению пуансона открывается полость цилиндра 11, и вальцы получают возможность поворачи-

ваться уже под действием пуансона в направлении, противоположном направлению их первоначального поворота. Поворот вальцов на этой стадии происходит с сопротивлением, сила которого равна произведению площади торца плунжера на давление в цилиндре. Момент сопротивления повороту каждого вальца равен произведению половины этой общей силы на расстояние от средней плоскости зубчатого зацепления до оси вращения вальца.

В разработанной конструкции штампа плунжер гидроцилиндра выполнен телескопическим, состоящим из трех частей – гильз, две из которых (внутренняя 8 и наружная 10) выполнены из бронзы, одна (средняя 9) – из стали. Корпус цилиндра 11 – стальной.

Соосность верхней и нижней частей штампа обеспечивается путем посадки стальной опоры вальцов в бронзовой втулке 8 с гарантированным зазором Н7/б6. При этом возникла сложность осуществления контакта зубчатых сегментов вальцов с зубчатыми рейками, поскольку втулка расположена между ними. Чтобы такой контакт был возможен, во втулке выполнены пазы, через которые проходят имеющие форму диска средние части вальцов, соединяющие их профильные части с зубчатыми.

Наличие указанных пазов не позволяет реализовать традиционное расположение гильз (внутренняя выступает из средней, средняя – из наружной) при полностью раскрытом состоянии телескопического цилиндра, так как в этом случае полость цилиндра через пазы во втулке соединялась бы с атмосферой и цилиндр был бы неработоспособен.

В предлагаемом решении внутренняя гильза своим уплотнительным кольцом обеспечивает герметичность цилиндра, средняя гильза достигает крайнего нижнего положения всей телескопической системы (крайние положения гильз ограничены заплечиками).

Чтобы обеспечить удобство загрузки заготовки в штамп и извлечения штампованной детали, в средней гильзе выполнены окна. При этом предусмотрены элементы, предохраняющие гильзы от поворота в окружном направлении вокруг общей оси.

Предлагаемый штамп предназначен для эксплуатации на универсальных прессах. При использовании кривошипных прессов цилиндры противодавления в штампе подсоединяют к пневмосети, а при использовании гидравлических прессов – к их гидроприводам через предохранительный клапан.

Однако для размещения описанного штампа требуются прессы с большими размерами штампового пространства и большим ходом ползуна. В то же время сила, необходимая для выполнения штампочной операции, невелика. Поэтому создается ситуация, когда исходя из размеров необходимого штампового пространства для установки на пресс описанного штампа, приходится выбирать пресс с многократным превышением номинальной силы по сравнению с силой, необходимой для выполнения штампочной операции. Соответственно, у такого прессы установочная мощность также значительно превышает мощность, требующуюся для выполнения штамповки. В результате пресс эксплуатируется с низким КПД.

Значительно более экономичным является отказ от использования прессы вообще. Вместо этого штамп укомплектовывают автономным гидроцилиндром (или даже пневмоцилиндром), способным создать необходимую для штамповки заготовки силу.

В результате получают устройство, которое является и не прессом, и не штампом. Оно предназначено (как обычный штамп) для штамповки конкретной детали и не нуждается в установке на универсальный пресс. Среди прочих преимуществ такого устройства отметим отсутствие необходимости установки его на фундамент и возможность эксплуатации на верхних этажах зданий.

2. ПРЕСС ДЛЯ ДВУХСТОРОННЕГО ВЫДАВЛИВАНИЯ В РАЗЪЕМНЫЕ МАТРИЦЫ ПОКОВОК ДЕТАЛЕЙ С БОКОВЫМИ ОТРОСТКАМИ

Предлагаемая конструкция машины возникла из требования выполнения более прогрессивного технологического процесса при штамповке изделий с боковыми отрезками, рис. 5.

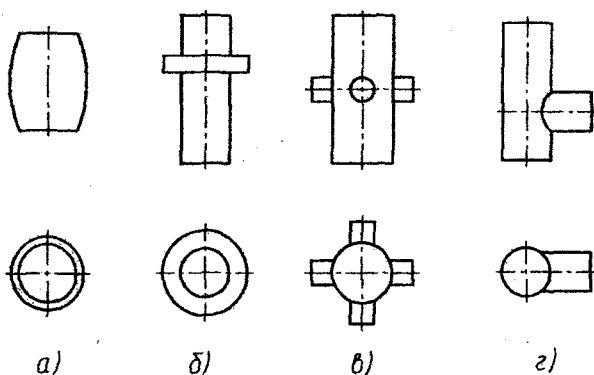


Рис. 5. Типовые поковки, изготавливаемые выдавливанием в разъемную матрицу: а) для роликов подшипников; б) типа шестерен; в) типа крестовин; г) типа фитингов трубопровода

В частности, деталью с боковыми отрезками является крестовина карданного вала, которая производится на всех заводах автомобильной промышленности, тракторного и сельскохозяйственного машиностроения. На этих предприятиях крестовину штампуют в открытых штампах. При этом 30-40% металла уходит в заусенец.

Боковое выдавливание имеет ряд преимуществ по сравнению со штамповкой в открытых штампах. При выдавливании коэффициент выхода годного близок к 1,0, нет перерезания волокон при обрезке заусенца, волокна прини-

мают форму бокового отростка. Это приводит к повышению качества изделия с точки зрения механических характеристик.

При штамповке поковок, типа показанных на рис. 5, б, высадкой проблема состоит в возможности потери устойчивости заготовки. Если набираемый с *средней части фланец имеет большой диаметр, что бывает при штамповке шестерен, то заготовка при штамповке высадкой будет иметь большое отношение ее высоты к диаметру, что не позволит осуществить ее высадку без потери устойчивости.*

При штамповке в разъемной матрице необходимо создавать как силу выдавливания, так и силу, сжимающую полуматрицы между собой (см. рис. 6, 8), поскольку металл, затекающий в боковые отростки (рис. 5, в, г) или во фланец, как на рис. 5, б, разжимает полуматрицы.

В зависимости от диаметров боковых отролков и их количества сила Q , зажимающая полуматрицы, может составлять от $0,5P$ до $0,75P$; при выдавливании крестовины: $Q = (0,5...0,75)P$. Иногда Q может достигать $1,5P$, где P — сила выдавливания.

Поскольку пуансон движется отдельно от устройства смыкания полуматриц, а ползун пресса один, то приходится создавать штампы очень сложной конструкции, которая осуществила бы движение и пуансона, и полуматриц с большими силами и по отдельным графикам перемещения. Поэтому целесообразно создание специализированных двухползунных прессов.

На схеме, показанной на рис. 6, когда заготовка выдавливается сверху, боковой отролок в верхней своей половине сечения имеет большую длину, чем в нижней. Это связано с течением материала заготовки. В начале заполняется нижняя часть отролка, а потом металл затекает в верхнюю часть.

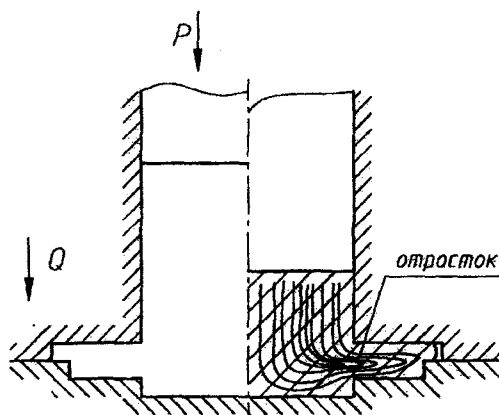


Рис. 6. Одностроннее выдавливание в разъемную матрицу

Недостатки выдавливания по схеме на рис. 6: очень большая высота заготовки, проталкиваемой по поверхности контейнера, и, как следствие, высокая сила контактного трения, что приводит к перегрузке пуансона.

Кроме того, как видно на рис. 7, из-за течения металла на границе нижней цилиндрической части имеют место большие сдвиги слоев, что может привести к разрушению заготовки (отрыву нижней цилиндрической части).

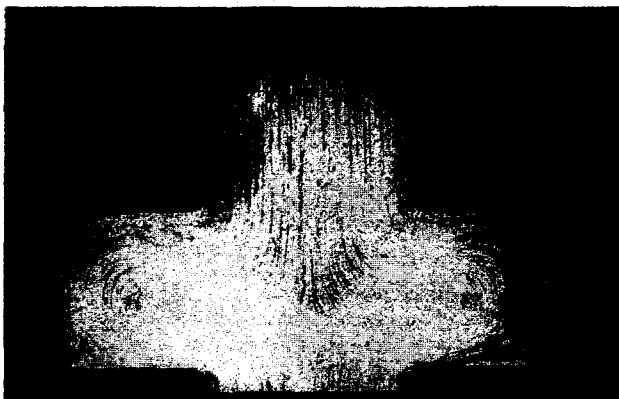


Рис. 7. Стесненная форма очага пластической деформации при одностороннем выдавливании

Как видно из рис. 7, при одностороннем выдавливании очаг пластической деформации смещен относительно оси боковых отростков, течение металла стеснено.

При одностороннем выдавливании полуматрица, расположенная против пуансона, изнашивается быстрее, чем вторая полуматрица. При двухстороннем выдавливании износостойкость обеих полуматриц одинакова.

При одностороннем выдавливании на нижней границе очага пластической деформации имеют место значительные смещения частиц металла, что делает невозможной штамповку материалов, обладающих невысокой пластичностью. При двухстороннем выдавливании этот недостаток отсутствует.

Недостатки могут быть устранены при выдавливании по двусторонней схеме (рис. 8).

Преимущества двухстороннего выдавливания: меньшая высота заготовки, выдавливаемой каждым пуансоном, следовательно, меньшая нагрузка на каждый из пуансонов.

Вследствие этого удельная деформирующая сила при двухстороннем выдавливании снижается на 20-50% (в зависимости от соотношения центральной части и боковых отростков) по сравнению с односторонним. Эффект снижения силы повышается при упрочнении материала в процессе выдавливания. Согласно диаграмме усталостной прочности снижение силы, действующей на пуансон и матрицу, приводит к значительному удлинению срока их службы.

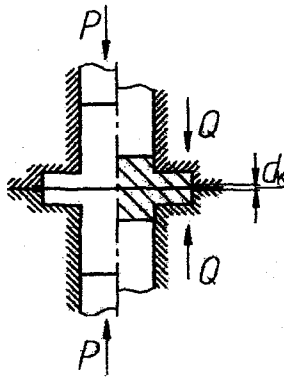


Рис. 8. Двухстороннее выдавливание в разъемную матрицу

При двухсторонней схеме деформирования напряженное состояние ближе к однородному, чем при односторонней. Это обуславливает более высокую пластичность заготовки.

Кроме того, как видно на рис. 9, имеет место равномерное затекание материала в отрезки, нет участков с повышенным сдвигом между слоями.

Поскольку отрезок заполняется металлом равномерно, то компенсатор с диаметром d_k для выдавливания излишков металла делают посередине диаметра отрезка.

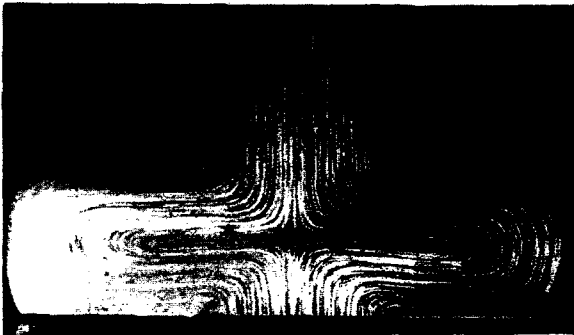


Рис. 9. Равномерное течение материала и симметричный очаг пластической деформации при двухстороннем выдавливании

График силы по ходу при выдавливании в разъемную матрицу в зависимости от величины радиуса скругления у торца бокового отрезка схематично приведен на рис. 10, а; на рис. 10, справа, показано, о каком радиусе скругления ведется речь.

При заполнении торцов отростков сила значительно возрастает, рис 10, б. Поэтому целесообразно проводить выдавливание только на стадии истечения металла в отросток и отказаться от стадии заполнения кромок на торцах отростков или сделать большие радиусы скругления.

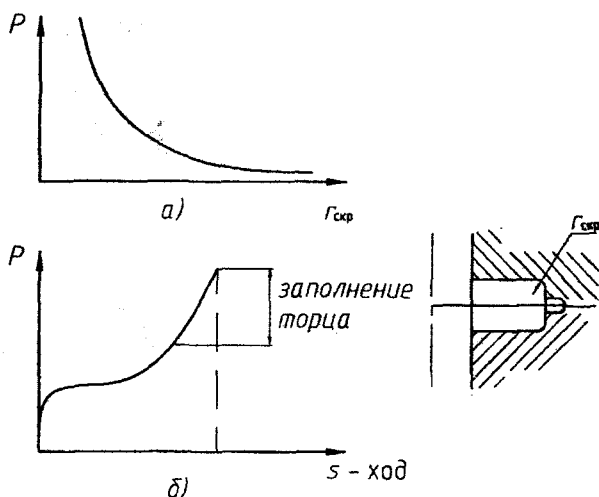


Рис. 10. Изменение силы выдавливания в зависимости от радиуса скругления на торце бокового отростка

Для выдавливания в разъемную матрицу требуются громоздкие штампы, выбор универсального пресса должен производиться по размерам штампового пространства для размещения такого штампа. В результате выбранный пресс оказывается с большим запасом по силе штамповки, а также громоздким и используемым с низким КПД. Особенно это проявляется при двухстороннем выдавливании.

Сказанное выше подтверждает целесообразность создания специализированных прессов или пресс-молотов для выдавливания в разъемные матрицы. Для реализации способа двухстороннего выдавливания, который является более совершенным по сравнению с односторонним, требуется создание машин с двухсторонним ходом ползунов.

Нами разработан проект такой машины (рис. 11). Штамповка на ней выполняется автоматически.

Из расчета технологического процесса были заданы следующие исходные данные для проектирования автомата:

Номинальная сила	1 МН
Энергия удара	17,5 кДж
Сила, сжимающая разъемные матрицы	0,4 МН
Суммарный ход ползунов	200 мм

Ход деформирования
Число ходов в минуту

60 мм
12

При проектировании автомата (рис. 11) были заданы технические условия из расчета процесса двухстороннего бокового выдавливания крестовины, штампуемой на заводе «Ростсельмаш». Размеры крестовины в плане 94 мм × 94 мм.

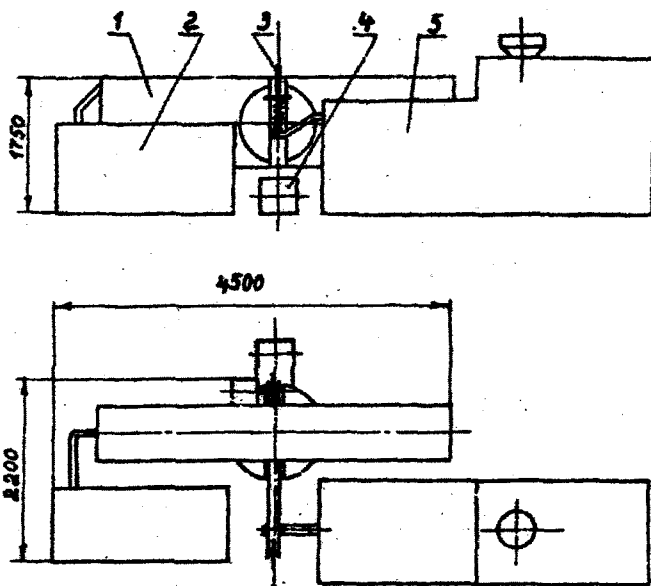


Рис. 11. Автомат для двухстороннего бокового выдавливания в разъемные полуматрицы

Автомат (рис. 11) состоит из бесшаботного гидровинтового молота 1, гидропривода 2, механизма подачи заготовок в штамп 3, конвейера 4, на который поступают готовые поковки, индукционного нагревателя 5.

В основу автомата положен бесшаботный гидровинтовой молот с горизонтально движущимися ползунами (рис. 12). Специализация молота состоит в том, что каждый из ползунов выполнен двойным. Наружные части ползунов 4 связаны с полуматрицами 6, а внутренние 2 — с пуансонами 5 штампов. Наружная часть каждого ползуна приводится в движение от внутренней посредством установленных между ними пружин 3. После смыкания полуматриц штампа подается жидкость высокого давления в гидроцилиндры 1, связанные с наружными частями ползунов и удерживающие полуматрицы в сомкнутом состоянии во время заполнения их полости металлом. Внутренние части ползунов продолжают движение, и пуансоны производят выдавливание заготовки.

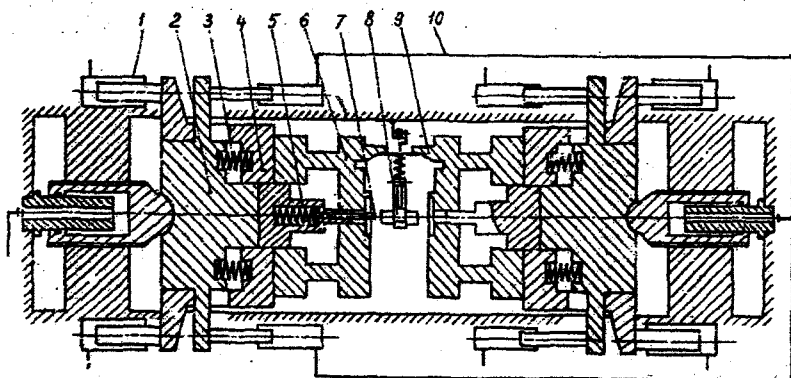


Рис. 12. Бесшаботный гидровинтовой пресс-молот

Для обеспечения постоянного места смыкания полуматриц предусмотрена гидравлическая связь 10 между ползунами машины. Для этого рабочая жидкость, вытесняемая при рабочем ходе машины из гидроцилиндров возвратного хода ведущего (левого по схеме) ползуна, поступает в гидроцилиндр рабочего хода ведомого (правого по схеме) ползуна. При возвратном ходе машины рабочая жидкость подается в гидроцилиндры возвратного хода правого ползуна, а из гидроцилиндра рабочего хода этого ползуна жидкость поступает в гидроцилиндры возвратного хода левого ползуна.

Для подачи заготовок в штамп использован механизм, выполненный в виде цепного транспортера с подвешенными на нем двадцатью клещами. Транспортер соединен с ползуном машины через редуктор. В конструкцию редуктора введена муфта обгона. Такая конструкция позволяет осуществлять продвижение транспортера на шаг при возвратном ходе ползунов и его выстой при рабочем ходе в положении, когда клещи с заготовкой 8 находятся против контейнера матрицы.

Во время рабочего хода кулачки 9, установленные в штампе, раскрывают клещи. В одном из пуансонов размещен ловитель 7, подпружиненный в направлении оси пуансона. Этим ловителем заготовка из клещей проталкивается в контейнер противоположной полуматрицы.

Полуматрицы смыкаются, и производится деформирование заготовки. При возвратном ходе ползунов пресса следующие клещи с заготовкой входят в штамповое пространство, а готовая поковка выталкивается ловителем на ленточный транспортер, размещенный под штамповым пространством.

Раскрытие клещей для захвата заготовки от индуктора осуществляется неподвижно установленным против полости индуктора кулачком 11, под которым проходят клещи (рис. 13).

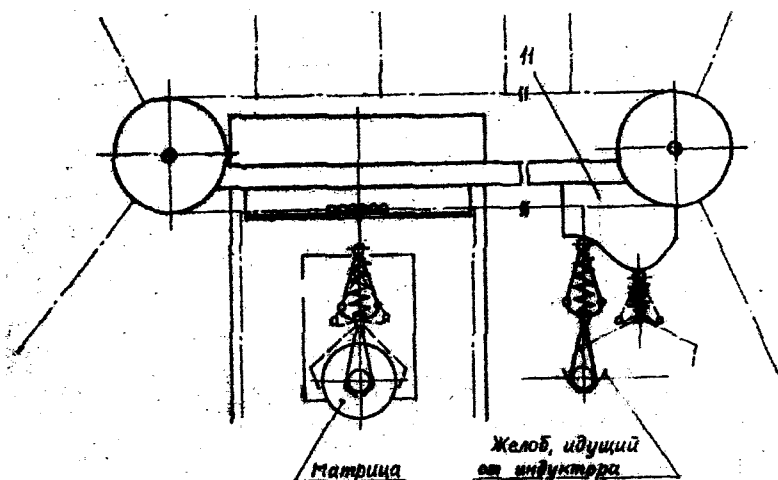


Рис. 13. Раскрытие клещей для захвата нагретой заготовки от индуктора

Во время работы машины штамповое пространство закрывается ограждением сферической формы. Цель ограждения двоякая. Во-первых, оно изолирует движущиеся части машины, не допуская возможности соприкосновения человека с ними или попадания в штамповое пространство посторонних предметов. Во-вторых, оно снижает шум, возникающий при работе машины. Для снижения шума металлический кожух покрыт слоем звукопоглощающего материала – стекловолокна.

Был проведен экономический расчет штамповки крестовины на описанном автомате применительно к программе завода «Ростсельмаш». На заводе «Ростсельмаш» крестовину получают односторонним боковым выдавливанием на универсальном кривошипном прессе. Пресс оснащен сложными механизмами, и штамповка осуществляется автоматически. Размещение громоздкого штампа и механизма подачи заготовки и удаления поковки потребовали применения прессы с номинальной силой 4 МН вместо 1 МН, необходимого для штамповки. Несмотря на значительные затраты при замене процесса открытой штамповки на штамповку односторонним выдавливанием на таком автоматизированном универсальном прессе «Ростсельмаш» получил экономию, которую в современных ценах следует считать равной 6 млн. 900 тыс. рублей в год. Разработанный автомат позволяет получить экономию по сравнению с автоматизированным прессом завода «Ростсельмаш» 3 млн. 600 тыс. руб. в год, а при замене открытой штамповки (при расчете на ту же программу) 10 млн. 500 тыс. руб. в год.

3. МАЛОГАБАРИТНЫЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПРЕССЫ

В доперестроечный период машиностроительную продукцию выпускали предприятия, укомплектованные оборудованием, произведенным на специализированных прессостроительных заводах. Специализированные прессостроительные заводы были заинтересованы в выпуске крупного универсального оборудования. Об этом свидетельствуют номенклатурные каталоги выпускаемой продукции этих предприятий.

Предполагалось, что на прессе с большим запасом по силе и установочной мощности при необходимости можно изготовить мелкие штампованные изделия, если установить соответствующие штампы. Это характерно не только для отечественной промышленности, но и для зарубежной. Одному из авторов довелось участвовать в обсуждении заказа из США, в котором серебряный клапан для флейты предполагалось штамповать выдавливанием на гидропрессе силой 8 МН, хотя потребная для штамповки сила была в 50 раз меньше.

Целесообразность создания мелких прессов подтвердил опыт Оренбургского завода гидропрессов, выпустившего в конце 80-х годов прошлого века партию прессов силой 50 кН. Эти прессы вызвали активный спрос потребителей, и обладатели этих прессов успешно эксплуатируют их и в настоящее время.

При использовании крупных универсальных прессов для штамповки мелких деталей предъявляются повышенные требования к жесткости штампов. Направляющие ползуна крупного пресса невозможно отрегулировать с точностью, требуемой при производстве мелких поковок. Необходимую точность приходится обеспечивать за счет направляющих элементов штампов. Последние должны компенсировать перекосы и смещения ползуна крупного пресса, чтобы не допустить поломки деформирующего заготовку инструмента.

При создании малогабаритного пресса его во многих случаях целесообразно разрабатывать для изготовления определенной детали или группы деталей. При этом возможно вообще отказаться от штампа и даже ползуна пресса, как это будет показано ниже.

Габариты вновь создаваемого пресса и трудоемкость его изготовления становятся близки к трудоемкости изготовления и стоимости штампа для универсального пресса. Необходимость иметь универсальный пресс, размещать, обслуживать его при таком подходе отпадает.

Ниже на примере развития новой технологии – выдавливания с активным действием сил контактного трения – показан изложенный нами общий подход к конструированию системы пресс-штамп.

3.1. Расширение области применения холодной объемной штамповки выдавливанием с активными силами трения

Использование активных сил контактного трения позволяет расширить область применения перспективной технологии холодной объемной штамповки.

До настоящего времени последняя находит значительно более узкое применение, чем горячая объемная штамповка. Это объясняется следующим.

Остаточное формоизменение поликристаллического тела складывается из пластической деформации его зерен (изменения их формы и размеров) и их относительного смещения. В соответствии с этим различают внутрикристаллитную и межкристаллитную деформации поликристалла.

Увеличение деформации сверх значения, соответствующего пределу текучести, приводит в поликристалле к тому, что зерна получают вытянутую форму в направлении наиболее интенсивного течения металла. Одновременно с изменением формы зерен в процессе деформации происходит поворот кристаллографических осей отдельных зерен в пространстве. Как следствие, при значительной деформации возникает преимущественная ориентировка кристаллографических осей зерен поликристалла, называемая текстурой деформации, а также увеличивается количество несовершенств кристаллической решетки. При деформации поликристалла, как и при деформации отдельных зерен, возрастание количества внутризеренных несовершенств кристаллической решетки приводит к увеличению сопротивления пластической деформации и упрочнению металла.

Процессы внутрикристаллитной деформации являются основными процессами, обуславливающими изменение формы поликристаллического тела. Значительная пластическая деформация может происходить в случае достаточно прочных границ зерен, когда межкристаллитные перемещения незначительны и играют второстепенную роль.

Однако межзеренные перемещения могут играть и значительную роль в формоизменении тела, если возникающие повреждения границ зерен "залечиваются" полностью или в значительной мере в процессе деформации. Это явление наблюдается при высоких температурах. Увеличение пластичности при нагреве до температур горячей деформации является следствием увеличения подвижности атомов. Поэтому с нагревом до ковочных температур доля межкристаллитной деформации в общей деформации металла увеличивается.

Общим положением для всех металлов и сплавов является то, что наибольшую пластичность они имеют при температурах рекристаллизации, т.е. в условиях горячего деформирования, которым одновременно соответствуют и малые значения показателей прочности, а следовательно, и сопротивления деформированию. Рекристаллизация при пластической деформации заключается в появлении зародышей, возникновении и росте новых зерен взамен деформированных. Возможность рекристаллизации обусловлена тем, что увеличение температуры деформируемого металла поднимает энергетический потенциал атомов настолько, что последние получают возможность перегруппировок и интенсивного обмена местами.

В результате этого обработка давлением в условиях горячей деформации требует приложения к заготовке меньших деформирующих сил и позволяет получать большое формоизменение заготовки без разрушения.

В то же время, для заготовок малых размеров трудно выдержать заданный температурный режим деформирования (учитывая охлаждение при соприкос-

новении с холодным инструментом и потери тепла в окружающую среду, возрастающие с ростом отношения площади поверхности заготовки к ее объему). Поэтому горячую обработку давлением обычно применяют для крупных и средних заготовок (листов с толщиной не менее 10 мм и заготовок из сортового проката массой более 0,1 кг).

Изготовленные горячей штамповкой поковки содержат окалину на поверхности. Кроме того, из-за интенсивного окисления слой металла под окалиной имеет химический состав, отличающийся от состава основной массы поковки. Это приводит к необходимости предусматривать большие напуски на размеры поковки, удаляемые при последующей обработке резанием.

Заготовки малых размеров и тонколистовые заготовки обрабатывают в условиях холодной деформации.

В существовавшем до недавнего времени разграничении областей горячей и холодной объемной штамповки существовал, наряду с техническим, психологический фактор. Крупные машиностроительные предприятия обладали парком нагревательного оборудования, металлорежущих станков. Металл стоил дешево. Ветераны технологических бюро, в течение многих лет разрабатывавшие процессы горячей объемной штамповки, не были заинтересованы в своей переквалификации, и приходящих на предприятия молодых специалистов подталкивали к горячей штамповке.

В настоящее время при организации новых предприятий отказ от приобретения парка нагревательных устройств и парка станков для обточки припусков на горячештампованных поковках, с учетом возрастания стоимости металла, делают холодную объемную штамповку значительно более привлекательной.

Как показывает опыт международных научно-технических конференций, область холодной штамповки в странах Запада также постоянно расширяется.

Чтобы уменьшить анизотропию свойств заготовок, изготавливаемых холодной штамповкой из металлопроката, перспективна штамповка деталей из металлических порошков, поскольку химическую однородность отдельных частиц порошка, их размеры и кристаллическое строение обеспечить значительно проще.

Другое преимущество порошковой металлургии для изготовления металлических деталей заключается в том, что оказывается возможным получать новые технические материалы, которые нельзя или невыгодно получать другими способами. К числу преимуществ порошковой металлургии, кроме перечисленного, относится возможность использования отходов (окалина, стружка) для получения порошков.

Холодное выдавливание позволяет изготавливать поковки, размеры и качество поверхности которых удовлетворяют требованиям, предъявляемым к машиностроительным деталям, или близки к ним. Благодаря этому последующая обработка резанием и отходы металла сведены к минимуму. Однако для выполнения холодного выдавливания необходимо создавать удельные силы, величина которых в ряде случаев составляет четыре и более значений напряжения текучести материала деформируемой заготовки. Это обстоятельство

является одной из причин, затрудняющих применение операции холодного выдавливания для среднеуглеродистых сталей, так как стойкость инструмента (в первую очередь пуансонов) является недостаточной, чтобы технологический процесс был конкурентноспособным по сравнению с другими.

Практикой установлено, что величина удельной силы, воспринимаемая пуансонами из сталей Р9М4, Р6М3, Р6М5, ЭП761, твердость которых HRC 61-63, не должна превышать 2500 МПа.

В настоящее время для снижения деформирующей силы наряду с применением различных смазок и способов обработки поверхности заготовок, позволяющих уменьшить силы контактного трения, проводят выдавливание с активными силами трения.

На рис. 14 приведена схема выдавливания с активными силами трения.

На схеме 1 – пуансон, 2 – заготовка, 3 – матрица, 4 – выталкиватель. Если скорость перемещения матрицы v_1 больше скорости истечения металла $v_{ист}$, то направление сил трения на контакте с матрицей способствует течению металла и позволяет снизить удельную силу выдавливания на 15-25%. Снижение удельной силы на такую величину позволяет вдвое и более повысить стойкость выдавливающих пуансонов.

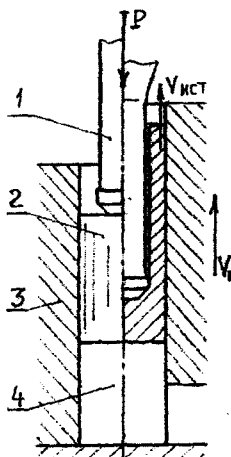


Рис. 14. Схема выдавливания с активными силами трения

Выдавливание по приведенной на рис. 14 схеме можно осуществлять на универсальных прессах в штампах, имеющих дополнительную траверсу с отдельным гидроприводом для перемещения матрицы в процессе выдавливания. Однако такие штампы громоздки, для их установки приходится выбирать прессы с большими размерами штампового пространства и, соответственно, большими, чем необходимо, номинальной силой и установочной мощностью электропривода. Это снижает КПД работы прессов.

Практика конструирования штампов для выдавливания с активными силами трения показала, что поскольку в любом случае требуется дополнительная траверса с отдельным гидроприводом, целесообразно отказаться от установки такого штампа на универсальный пресс, а предусмотреть в самом штампе гидроцилиндр, создающий деформирующую заготовку силу. Конструкция автономного штампа или специализированного пресса для выдавливания с активными силами контактного трения приведена на рис. 15.

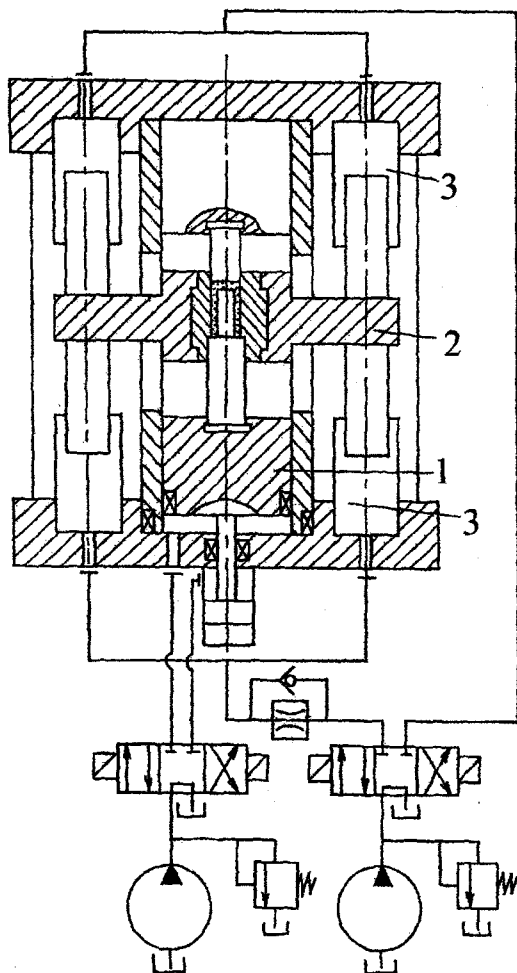


Рис. 15. Конструкция пресса для выдавливания с активными силами трения

В прессе, если матрицу, установленную в траверсе 2, с помощью гидроцилиндров 3 перемещать в направлении течения материала со скоростью, превышающей скорость течения, силы трения на границе заготовки с матрицей будут способствовать течению и разгрузят пуансоны. Функцию ползуна пресса выполняет плунжер 1 главного гидроцилиндра, непосредственно на котором без штамповой плиты размещен выдавливающий пуансон.

Фотография пресса, имеющего номинальную силу 2 МН, приведена на рис. 16. Масса этого пресса (без приводов) составляет 2 т.

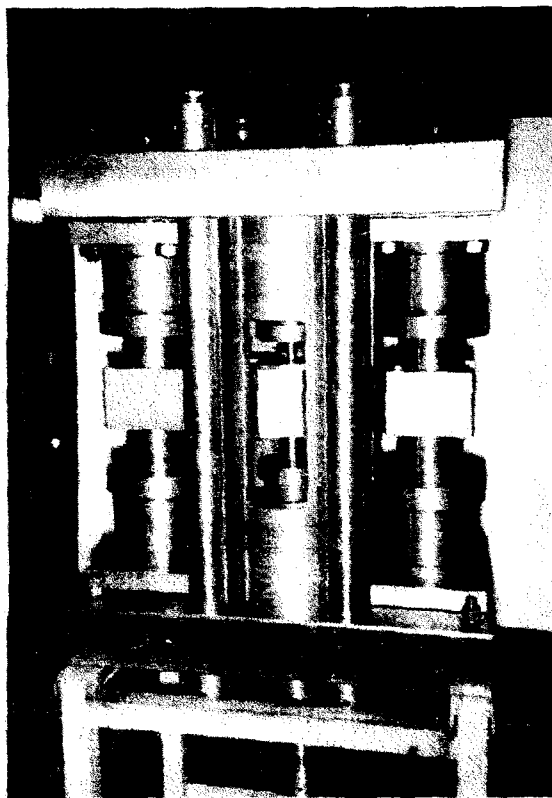


Рис. 16. Пресс для выдавливания с активными силами трения

При эксплуатации описанного пресса (рис. 15) выявлено, что траверса 2 имеет недостаточную жесткость и высоту посадочной поверхности в гильзе. В результате в процессе выдавливания возможен перекос траверсы при несинхронной работе гидроцилиндров 3, что приводит к несоосности внутренней и наружной поверхностей выдавливаемого изделия.

Для устранения этого недостатка целесообразно конструировать прессы для выдавливания с принудительным перемещением матрицы в соответствии со схемой, приведенной на рис.17.

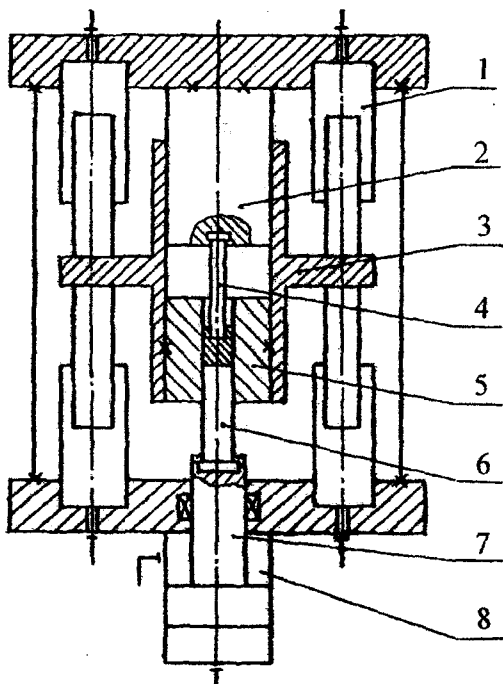


Рис. 17. Схема пресса с повышенной жесткостью траверсы для перемещения матрицы

В этой конструкции главный гидроцилиндр 8 выполнен вне гильзы 3 и размещен под столом прессы. На его плунжере 7 установлен пуансон 6. Второй пуансон 4 установлен на опоре 2. Матрица 5 скреплена с гильзой 3, которая перемещается боковыми гидроцилиндрами 1 по опоре 2.

Описанная выше конструкция специализированного прессы для выдавливания с активными силами трения имеет тот недостаток, что для его изготовления требуется применение координатно-расточных станков. Более технологична в изготовлении конструкция прессы (рис. 18), в которой все гидроцилиндры размещены на одной общей оси. При ее изготовлении требуются в основном токарные, круглошлифовальные и простые фрезерные работы.

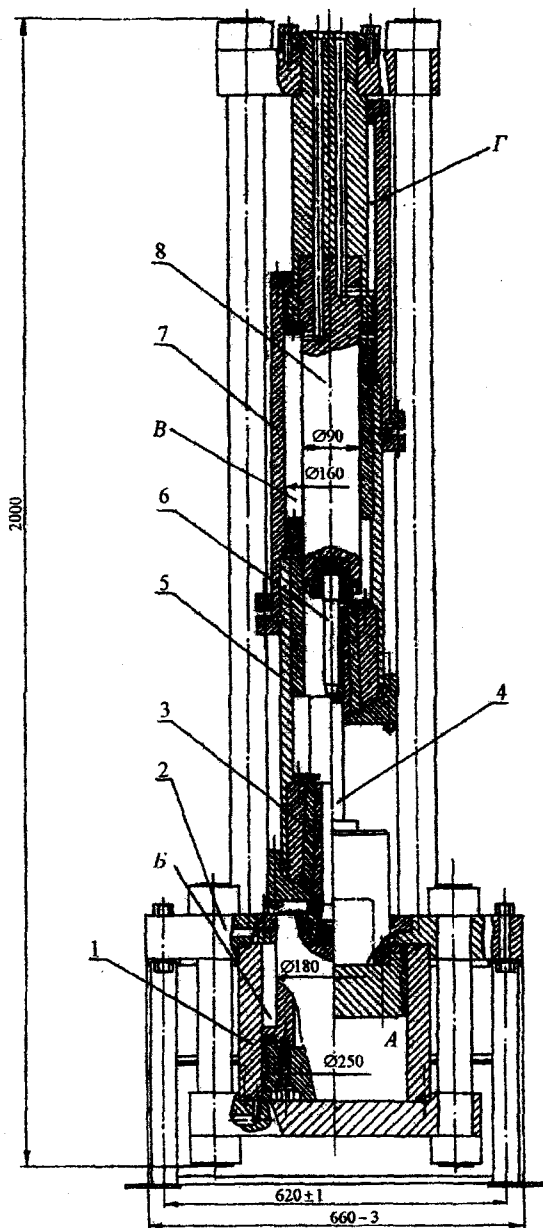


Рис. 18. Конструкция прессы для выдавливания с активными силами трения

В прессе главный гидроцилиндр 1 расположен под столом 2. Плунжер главного гидроцилиндра является ползуном пресса и штамповой плитой. На нем установлен пуансон 4. Второй пуансон 6 закреплен на опоре 8, которая служит штоком гидроцилиндра 7. К гильзе гидроцилиндра 7 крепят траверсу 5 пресса, служащего для перемещения матрицы 3 в процессе деформирования.

Рабочие части пресса приводятся в движение от двух насосов. При подаче рабочей жидкости в поршневую полость А главного гидроцилиндра поршень совершает рабочий ход, а при подаче рабочей жидкости в штоковую полость В – обратный ход. Прямой и обратный ходы траверсы осуществляются при подаче рабочей жидкости, соответственно, в полости Г и В гидроцилиндра привода траверсы пресса, служащей для перемещения матрицы.

В конструкции пресса предусмотрено надежное направление гильзы 5 по опоре 8, что позволяет свести к минимуму несоосность верхнего пуансона и матрицы.

Фотографии пресса приведены на рис. 19, 20.

Техническая характеристика пресса для выдавливания с активными силами трения (скорость прессования 2,7 мм/с)

Номинальная сила, МН	1,6
Номинальное давление рабочей жидкости, МПа	32
Наибольшая высота штампуемой детали, мм	160
Наибольший диаметр штампуемой детали, мм	40
Скорость перемещения матрицы, мм/с:	
вверх	12,7
вниз	6,8
Габариты, мм	650 x 500 x 2000
Масса без привода, кг	1200
Установочная мощность, кВт	8,5

По этому принципу сконструирован другой пресс (рис.21). Масса этого пресса, имеющего силу 1 МН, всего 350 кг. В прессе шток вспомогательного гидроцилиндра 4 является одновременно штоком главного гидроцилиндра 2 с поршнем 3, а гильза вспомогательного гидроцилиндра является дополнительным плунжером главного гидроцилиндра.

При подаче рабочей жидкости в нижнюю полость главного гидроцилиндра пуансон 6, установленный на поршне 5 вспомогательного гидроцилиндра, деформирует заготовку относительно неподвижного пуансона 8, закрепленного на верхней поперечине станины 1. По мере уменьшения объема верхней полости главного гидроцилиндра из него вытесняется гильза вспомогательного гидроцилиндра, перемещая матрицу 7. Скорость движения матрицы регулируется путем дополнительной подачи жидкости в верхнюю полость главного гидроцилиндра от гидропривода или путем ее выпуска из этой полости через дроссель. Жидкость из нижней полости вспомогательного гидроцилиндра сливается через осевое отверстие в общем штоке гидроцилиндров. Для возвратного хода жидкость подается через это отверстие. В результате гильза вспомогательного гидроцилиндра с матрицей перемещается вниз, изделие при этом выталкивается из матрицы. После упора гильзы 4 в поршень главного гидроцилиндра

происходит их совместное перемещение вниз до исходного положения для нового рабочего хода. При этом деталь съемником (на схеме не показан) снимается с пуансона 8.



Рис. 19. Пресс для выдавливания с активными силами трения на производственном участке

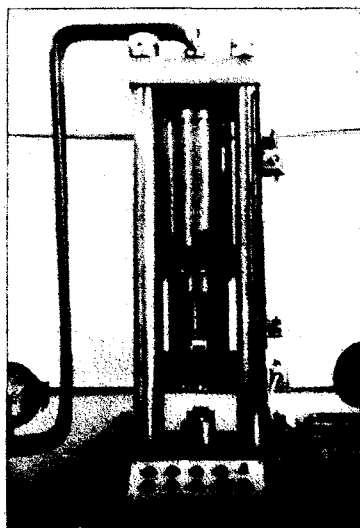


Рис. 20. Верхняя часть пресса для выдавливания с активными силами трения

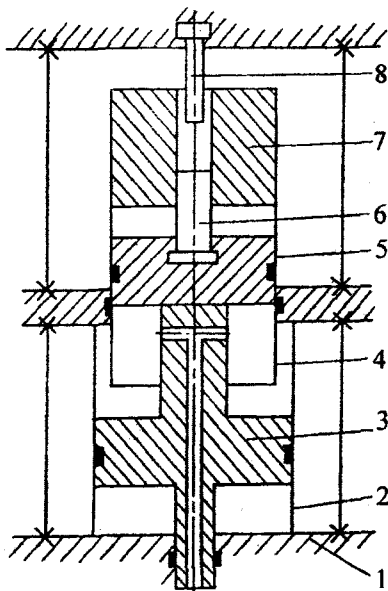


Рис. 21. Конструкция особо малогабаритного пресса для выдавливания с активными силами трения

На описанных прессах отработана технология штамповки сдвоенных втулок, показанных на рис. 22 и 23.

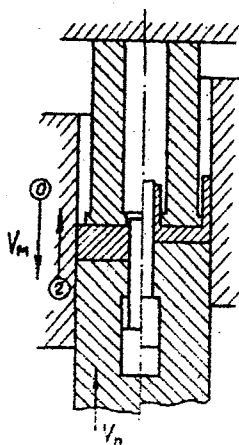


Рис. 22. Схема выдавливания сдвоенных втулок

При штамповке по схеме на рис. 22 деформирующая сила создается пуансоном, перемещаемым со скоростью $v_{п.}$ В зависимости от направления перемещения матрицы (на схеме условно обозначено $v_m = 0$ или $v_m = 2$) можно направить течение металла, соответственно, во внутреннюю стенку или во внешнюю стенку детали и регулировать соотношение высот стенок (рис. 23).

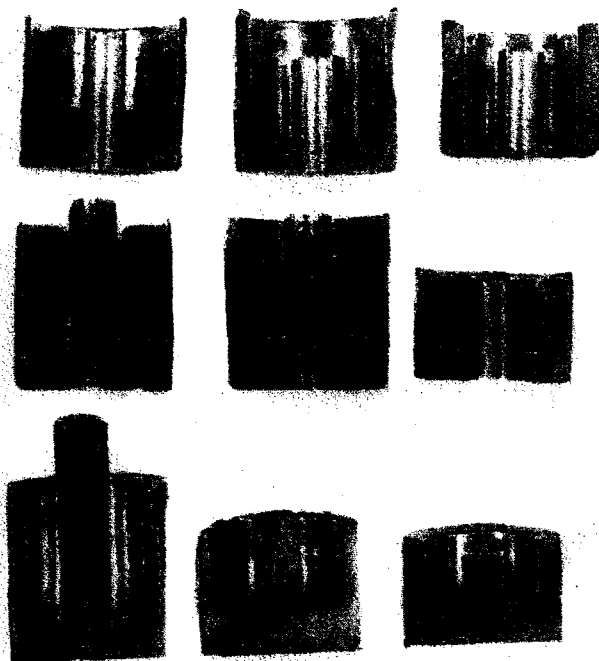


Рис. 23. Втулки из стали 15, изготовленные выдавливанием с использованием сил контактного трения для управления соотношения высот стенок

При этом силы трения также используются для снижения удельной деформирующей силы, что позволяет осуществлять холодное выдавливание деталей даже из легированных сталей (рис.24).

На прессах рассмотренного типа повышается возможность использования так называемых компенсационных полостей в штампах (рис. 25) для уменьшения удельных сил, действующих на пуансоны, и создания условий холодного выдавливания легирующих сталей.

На рис. 25 показана схема выдавливания стакана со ступенчатой внешней поверхностью из заготовки, имеющий внешний диаметр $2R$, пуансоном с диаметром $2r$.

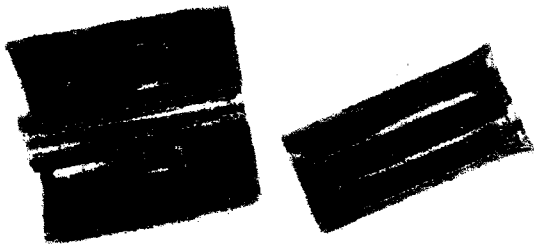


Рис. 24. Втулки, изготовленные холодным выдавливанием из стали 20X

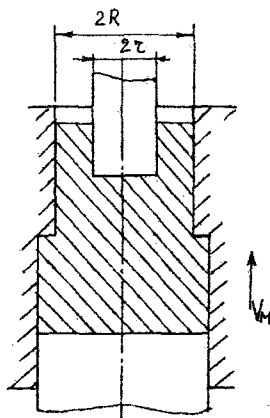


Рис. 25. Схема выдавливания с расширяющейся компенсационной полостью в матрице

Исходная заготовка имеет диаметр, равный $2R$. Матрица в исходном положении опирается на нижний пуансон, и полость, в которую укладывают заготовку, также равна $2R$. По мере внедрения верхнего пуансона в матрицу последнюю передвигают вверх со скоростью v_m . При этом на внешней поверхности заготовки действуют активные силы контактного трения, а на уровне ступени матрицы последовательно открывается компенсационная полость, уменьшающая гидростатическое давление в заготовке и снижающая удельную силу выдавливания. Это способствует существенному повышению стойкости инструмента.

Подводя итог, отметим, что изготовление описанных прессов возможно на предприятиях, которым эти прессы нужны для эксплуатации. Трудоемкость изготовления прессы незначительно превышает трудоемкость изготовления штампа для выдавливания к универсальному прессу. Коэффициент полезного действия специализированных прессов выше, чем универсальных. Масса спе-

специализированных прессов существенно меньше, чем универсальных, что позволяет использовать их на верхних этажах зданий.

3.2. Штамповка композиционных материалов

Такие материалы, которые состоят из двух или более компонентов, не вступающих между собой в химическую реакцию настолько активно, чтобы мог образоваться третий химический элемент, называются *композиционными*.

Матрицей называется тот компонент композиционного материала, которого больше, другие называются *армирующими*. Среди композиционных существенное место занимают порошковые материалы. Из них 95% имеют железную основу. Эту основу легируют различными добавками.

Порошковые материалы всегда дороже литых (компактных) материалов с аналогичным химическим составом. Порошковые изделия хорошо работают в узлах трения. Из порошков можно сделать такие композиции, которые невозможно получить в виде расплава или литого компактного материала. Порошковые изделия могут иметь и другие специальные служебные свойства.

Способы измельчения металлических материалов в порошок

1. *Механическое измельчение*: применяются вихревые мельницы. Проволоку режут на цилиндры $\varnothing 6$ мм, высотой $h = 6$ мм. Далее эти цилиндры засыпают в мельницы ($2\text{м} \times 2\text{м} \times 1.5\text{м}$ – габариты). Внутри мельниц вращается ротор: 3000 об/мин. Засыпанная масса приводится во вращение, внутри этой массы находятся билы (чугунные шары). Они разбивают эти цилиндры в порошок. Полученные частицы имеют дискообразную форму.

2. *Способ восстановления из окалины*: в результате длительных химических процессов получают очень хрупкую пористую массу типа губки, которую потом механическим способом измельчают в порошок. Частицы имеют снежинкообразную форму.

3. *Метод распыления*. Используется шахта высотой 4-5 этажей. Наверху стоит печь, в которой плавят слиток, затем расплав стекает в эту шахту. По мере падения капли пролетают мимо форсунок, из которых с силой выбрасываются струи воды или воздуха. Внизу расположен охлаждаемый поддон. Капли попадают на поддон с полированной поверхностью и остывают на нем, имеют форму мелкой дроби.

Маркировка: ПДЖ<...>2.160.28, где ПДЖ – порошок железный; <...> – способ получения:

В – восстановлен; Р – распылен воздухом; РВ – распылен водой; 2 – химическая чистота железа; 160 – максимальный размер частиц в микронах (мкм); 28 – $\gamma = 2,8 \text{ г/см}^3$ – плотность насыпная. Чем меньше цифра после <...>, тем порошок чище и качественнее. В промышленности часто используют 3 и 4 чистоту порошка. Rz и WPL – иностранные аналоги.

Если в контейнер засыпать порошок и не прикладывать усилия, то он уложится с плотностью $\gamma = 2,8 \text{ г/см}^3$ (рис. 26, слева).

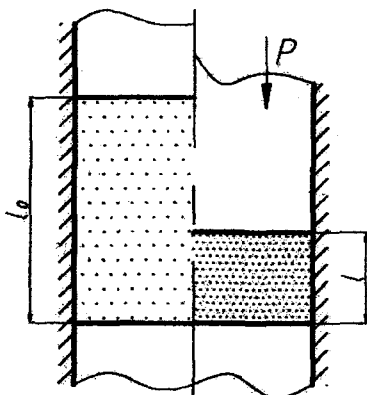


Рис. 26. Схема уплотнения засыпанного порошка в закрытой матрице

Засыпная высота l_0 в 2,5 раза превышает высоту уплотненного брикета l .

Прессы для производства порошковых материалов должны иметь большой ход подвижных частей и большое штамповое пространство, поскольку высота изделия в 2,5 раза меньше засыпной высоты.

Комплекс механических характеристик изделия включает в себя характеристики прочности: предел прочности σ_B , предел текучести σ_T ; характеристики пластичности: относительное удлинение, %, — δ , относительное сужение площади поперечного сечения, %, — ψ , ударная вязкость.

Чтобы деталь хорошо работала, необходимо, чтобы она обладала одновременно высокой прочностью и высокой пластичностью. Прикладываемая удельная сила (давление) — $6...8 \text{ т/см}^2$ ($600...800 \text{ МПа}$). Если удельная сила меньше 6 т/см^2 или больше 8 т/см^2 , то после нагружения цельной детали не получается. При указанных давлениях ($600...800 \text{ МПа}$) изделие имеет остаточную пористость $15...18\%$. Из-за остаточной пористости не получают комплекс механических характеристик, включающий в себя высокие прочность и пластичность.

Причина разрушения при давлениях свыше 800 МПа показана на рис. 27. Образующиеся макропоры оказывают сопротивление уплотнению. Они, как все арочные конструкции, очень устойчивы к действию сжимающих напряжений p . Раньше, чем эти поры закроются, под действием p на поверхности пор зарождаются трещины, и заготовка разрушается.

При такой остаточной пористости никакие легирующие добавки практически не оказывают влияния на качество детали. Эффект легирования проявляется при пористости $< 5\%$ (в меньшей степени и при $< 10\%$).

С целью повышения плотности окончательной детали сначала формируют цилиндрические заготовки, потом спекают их и используют спеченные заготовки как отрезанные от прутка заготовки в операциях обычной штамповки (технология штамповки из спеченных заготовок). Возможна и горячая объем-

ная штамповка (ГОШ), и холодная объемная штамповка (ХОШ) порошковых заготовок. Однако при горячей штамповке, если она ведется на обычных прессах, имеет место большой отход (снижение КИМ), окисляются поверхности детали и отдельных порошинок, что снижает комплекс механических характеристик изделия.

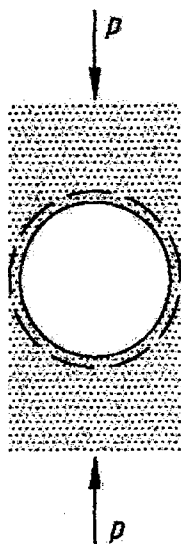


Рис. 27. Образование микротрещин в порошковой заготовке вокруг показанной сферой поры

Спекание всегда ведут в печах с защитной или восстановительной атмосферой. В качестве защитной используют азот, аргон, эндогаз. В качестве восстановительной атмосферы – водород или диссоциированный аммиак.

В газостатах всегда защитная атмосфера и высокая температура. Происходит ГОШ и достижение 100% спекания.

Плюсы восстановительной атмосферы: высокое качество порошковых заготовок.

Минусы восстановительной атмосферы: взрывоопасность, экологическая вредность.

Температура спекания: $T = 950...1300$ °С. Продолжительность спекания: $t = 30...180$ мин.

T и t зависят от того, делаем мы деталь из чистого Fe – порошка или из порошковой стали.

Эти стали могут быть гомогенно легированными и негомогенно легированными.

Гомогенно легированные получены путем превращения в порошок стального слитка.

Негомогенно легированные получены путем смешения железного порошка (основы) с добавками порошков легирующих элементов. Смешение производят в смесителях барабанного типа, которые вращаются со скоростью порядка 60 об/мин, продолжительность смешения от 20 мин до 3...4 ч. Порошковая смесь, полученная в смесителе, называется *шихтой*. В шихту всегда добавляют смазочный материал (порошок парафина, стеарат цинка). Стеарат цинка добавляют в объеме 0,5...1 % по массе шихты. Если даже чистый *Fe* порошок (без легирующих добавок) перемешивается со стеаратом цинка, то это тоже называется шихтой. Из шихты в матрице формуют заготовки и спекают их. Чтобы шихта превратилась в порошковую сталь, необходимы температура $T = 1200...1250$ °С и большая продолжительность спекания, иногда $t = 3...4$ часа. При таком спекании негомогенно легированная сталь приблизится по свойствам к гомогенно легированной.

При производстве деталей из чистого железа можно применить холодную объемную штамповку, используя спеченную заготовку простой формы как обычную компактную заготовку, отрезанную от прутка. Если заготовка из легированной стали, то возникают проблемы, имеющие место при холодной объемной штамповке компактных стальных заготовок (из литых материалов). Основная проблема – это настолько большие удельные силы, действующие на инструмент, что инструмент не может осуществить формоизменение заготовки и разрушается. При лучших современных инструментальных сталях удельная сила, действующая на инструмент, не должна превышать 2500 МПа (250 кг/мм²). Возможность деформирования заготовки зависит от напряжения σ_s . При этом σ_s – напряжение текучести, меняется в зависимости от прочности материала.

Для определения σ_s порошковых заготовок могут использоваться различные методы.

Один из методов – воспользоваться методикой расчета удельной силы осадки порошковой заготовки в закрытой матрице. При этом формула осадки сложнее формулы Зибеля $q = \sigma_s(1 + \mu d/3h)$. В данном случае формула Зибеля записана, чтобы продемонстрировать способ определения σ_s : напряжение текучести умножено на скобку. Далее удельная сила определяется экспериментально. Потом $q_3 = q_T$ и далее: $\sigma_s = q_3 / (1 + \mu d/3h)$.

Если получен отрицательный результат относительно возможностей холодной объемной штамповки (ХОШ) заготовки, то её пытаются штамповать с нагревом, однако нагрев свыше 600 °С приводит к окислению не только внешней поверхности заготовки, как у компактных материалов, но и к окислению поверхности зерен. Поэтому горячую объемную штамповку (ГОШ) порошковых заготовок используют очень редко, за исключением штамповки в газостабах. Поскольку заготовки простейшей формы, применяемые для последующей пластической деформации, имеют пористость, равную 15...18 %, при производстве из них деталей методом ХОШ можно достичь плотности 95...98 % от

теоретической плотности материала ($\gamma_{\text{железа}} = 7,85 \text{ г/см}^3$). При ГОШ можно достичь плотности 100 %, но при этом окисляются частицы.

С проблемой уменьшения удельных сил при штамповке спеченных порошковых заготовок можно справиться путем проведения деформирования с активным действием сил контактного трения. На рис. 28 приведена схема штамповки спеченной порошковой заготовки в плавающей матрице.

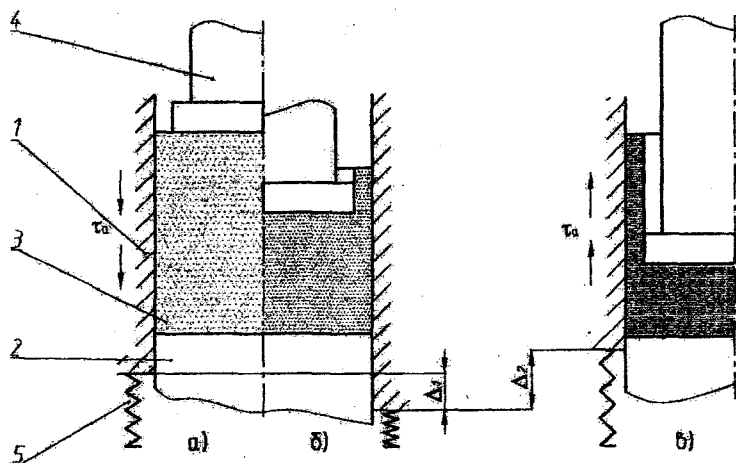


Рис. 28. Схема уплотнения порошковой заготовки в плавающей матрице: а) осадка; б) начало выдавливания; в) окончание выдавливания; 1 - матрица; 2 - нижний пуансон (выталкиватель); 3 - спеченная порошковая заготовка; 4 - пуансон; 5 - пружина, расположенная под нижним торцом

На начальной стадии (а) пуансон 4 уплотняет спеченную порошковую заготовку 3, высота заготовки уменьшается. При этом вследствие трения на поверхности контакта заготовки с матрицей матрица перемещается вниз на расстояние Δ_1 , и сила трения τ_a способствует лучшему уплотнению заготовки. После того как заготовка уплотнилась, начинается вытекание материала (б). Сила трения между стенкой стакана и поверхностью полости матрицы направлена вверх (в) и способствует вытеканию материала из-под торца пуансона 4. При этом матрица под действием сил трения τ_a поднимается на расстояние Δ_2 . Сила пружин 5 незначительна, их назначение - только уравновесить массу матрицы. Перемещение матрицы происходит за счет сил трения по поверхности контакта матрицы с заготовкой. При этом удельная сила, действующая на пуансон 4, может быть снижена на величину до 10 % по сравнению с выдавливанием в неподвижно закрепленной матрице.

Наличие пружины 5 отличает выдавливание в плавающей матрице спеченных порошковых заготовок от выдавливания компактных заготовок. Это связано с тем, что для лучшего уплотнения порошковой заготовки матрица на

начальном этапе совершает перемещение вниз на Δ_1 , а при штамповке компактных заготовок этого не требуется.

Кроме снижения удельной деформирующей силы выдавливание с активными силами контактного трения позволяет улучшить качество изготавливаемой детали.

Для уменьшения пористости стенки изделия при выдавливании на прессе, показанном на рис. 15, матрицу вначале принудительно перемещают в том же направлении, в каком движется формирующий полость пуансон. При этом создают силами трения дополнительное препятствие течению материала в стенку стакана, рис. 29. Только после того как будет исключена пористость заготовки, матрицу направляют в сторону течения материала в стенку стакана, разгружая пуансон при деформировании заготовки.

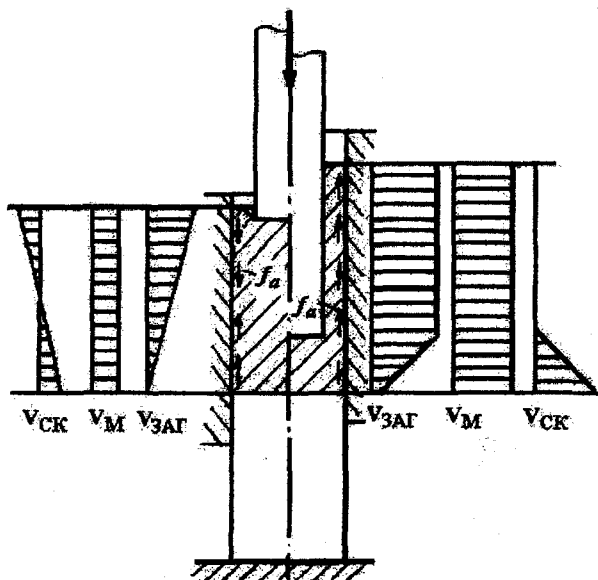


Рис. 29. Выдавливание с активными силами трения стаканов из спеченных порошковых заготовок

На рис. 30 видно, что вначале выдавливания пуансон выполняет только небольшую наметку полости на верхнем торце заготовки, после чего происходит осадка заготовки, при которой исключается остаточная пористость в материале. После завершения выбора остаточной пористости, когда заготовка становится практически компактной, пуансон продолжает свое внедрение в заготовку, и из нее выдавливается стакан. Такое формоизменение особенно важно для увеличения плотности стенок стакана в их верхней части. Если бы на начальном этапе выдавливания не создавали бы силы трения, препятствующи-

щие вытеканию заготовки в стенку, то пуансон внедрялся бы в заготовку, не осаживая ее, и верхняя часть стенки стакана имела бы почти такую же остаточную пористость, как в исходной заготовке, т.е. 13-15%.

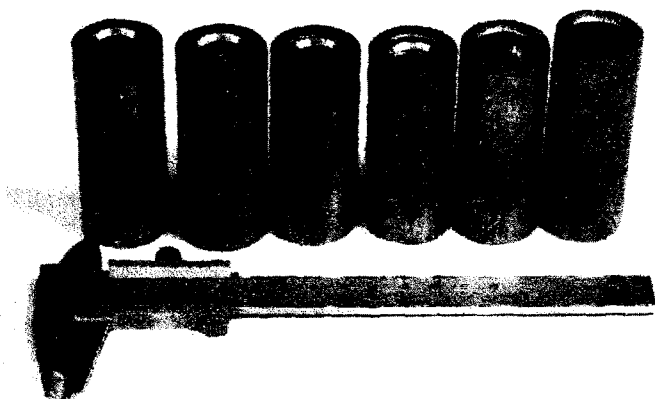


Рис. 30. Поэтапное формоизменение спеченной порошковой заготовки при выдавливании из нее стакана при активном действии сил трения

В результате получают деталь с высокой равномерной плотностью, рис. 31.

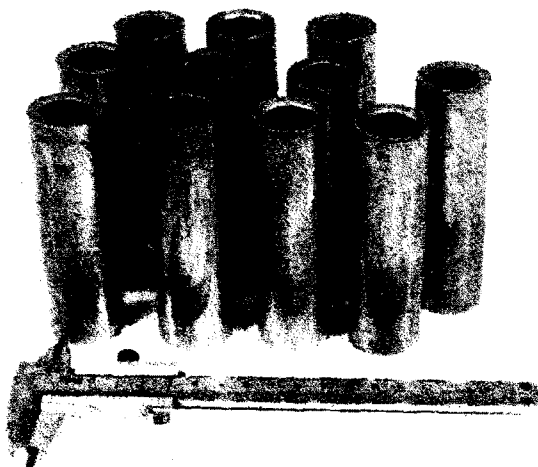


Рис. 31. Стаканы, изготовленные выдавливанием из спеченных порошковых заготовок

Кривая усталостной прочности. По ней можно определить, во сколько раз увеличится стойкость пуансона при снижении удельной силы выдавливания, например на 10 %, рис. 32.

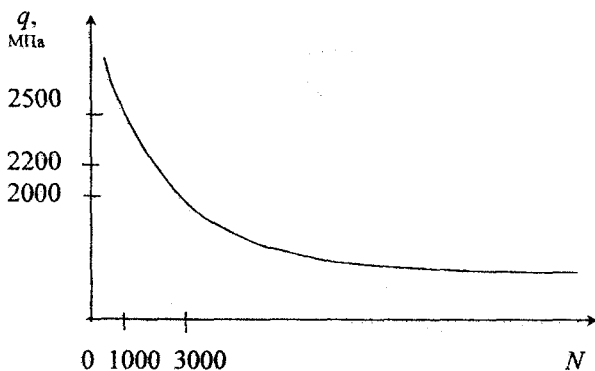


Рис. 32. Кривая усталостной прочности пуансонов: q - удельная сила; N - количество циклов, которые может выдержать инструмент

Выдавливание в плавающей матрице может быть осуществлено в обычных штампах, если в контейнере с матрицей сверху и снизу последней предусмотреть свободное пространство, чтобы матрица могла перемещаться в осевом направлении. При этом, если выдавливанию подвергается пористая заготовка, матрица должна быть подпружинена снизу, как было показано на рис. 28.

Конструкция штампа усложняется не столько из-за движения матрицы, сколько из-за проблем, связанных с опорой нижнего пуансона на нижнюю плиту штампа.

В штампе с неплавающей (обычно закрепленной) матрицей применяется приведенная ниже конструкция, рис.33.

Поскольку $q \leq 2500$ МПа, а σ_T нижней плиты штампа равна 150...200 МПа, $D \geq 4d$, прокладка 3 должна быть выбрана из таких соображений, чтобы уменьшить давление на нижнюю плиту примерно в 15 раз. А сам выталкиватель 2 в данной конструкции опирается на закаленную вставку матрицы. При выдавливании в плавающей матрице такую опору осуществить нельзя.

При выдавливании в плавающей матрице удельная сила снижается на 5...10 %.

В то же время, если осуществить принудительный привод матрицы с правильно подобранной скоростью (контролируемой), можно снизить удельную силу q на пуансоне на величину до 30...35 %. Для выдавливания с принудительным приводом матрицы применяется пресс (или штамп с автономным приводом), приведенный на рис. 15.

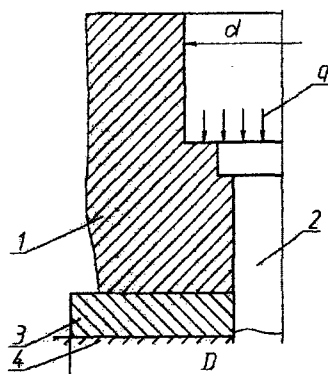


Рис. 33. Опора нижнего пуансона о матрицу в штампах с неплавящейся (жестко закрепленной) матрицей: 1 – матрица; 2 – выталкиватель; 3 – прокладка; 4 – плита

В случае производства деталей из порошков эффективность этого устройства увеличивается по сравнению с выдавливанием из компактных материалов. При ХОШ для деталей из компактных материалов в качестве смазочного материала используют фосфатирование заготовок и омыливание. Коэффициент трения снижают до $\mu = 0,07 \dots 0,08$. При выдавливании спеченных порошковых заготовок фосфатирование и омыливание применять нельзя, поскольку если пористую заготовку опустить в ванну с раствором, то она впитает этот раствор, и потом при штамповке этот раствор из нее течет (выдавливается). Раствор пробивает каналы в заготовке (прочности не будет никакой), поэтому порошковые заготовки смазывают пастой – дисульфида MoS_2 . На поверхность заготовки изнутри выходят несмазанные частицы, поэтому $\mu = 0,2$. При этом возрастает эффект штамповки с активными силами трения.

Снижение q на пуансоне позволяет осуществлять штамповку легированных спеченных порошковых заготовок.

Порошковые стали обозначают следующим образом. Например, СП50МНР–2: 50 – содержание углерода 0,5 % (делим число на 100); М – Мп; Н – Ni; Р – фосфор; 2 – группа, которая характеризует плотность заготовки.

Если стоит группа 1, то остаточная пористость составляет менее 3 %. Группа 2 соответствует остаточной пористости 3...5 %. Если цифра после указания легирующего компонента отсутствует, то его количество не превышает 1 %.

Возможно проведение поверхностного легирования спеченной заготовки с целью повышения механических характеристик поверхностного слоя, рис. 34.

Заготовку 2 помещают в матрицу 5. Заготовка опирается на подпружиненный плунжер 3. Диаметр заготовки d_2 немного меньше (на 0,5...1 мм), чем d – диаметр нижней части полости матрицы. Верхний пуансон 4 имеет посадку по

поверхности верхней части полости матрицы. Между заготовкой 2 и внутренней поверхностью верхней части полости матрицы засыпают композицию 1, состоящую из стеарата цинка, графита и др. (все порошки). При опускании пуансона 4 заготовка проталкивается в нижнюю часть полости матрицы, а уплотняемый порошковый материал, который окружал заготовку, создает на поверхности заготовки слой обмазки. Далее эти заготовки поступают на операцию ХОШ, при которой действуют удельные силы 2000...2500 МПа, и материал обмазки вдавливается в поры в поверхностном слое заготовки. При этом очень хорошо снижается μ . Для лучшего протекания процесса целесообразно подогреть матрицу до 250...300 °С. Поскольку после штамповки детали производится термическая обработка для снятия остаточных напряжений, то в процессе этой обработки происходит взаимодействие легирующих элементов и материала основы (железо), и на поверхности получается порошковая сталь.

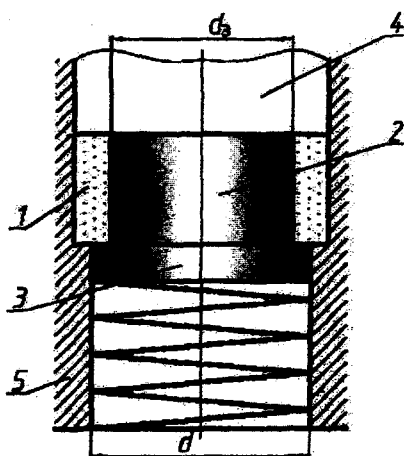


Рис. 34. Схема нанесения обмазки на поверхность заготовки

По этому методу были изготовлены детали из железного порошка, легированного следующими компонентами: 0,6 % С; 1 % Ni; 2 % Mn; 3 % Cu.

Удельная сила последующей штамповки такой заготовки выдавливанием составила: $q = 2350$ МПа.

3.3. Производство высококачественных деталей из порошковых сталей

К реализации операций формования заготовок порошковых деталей сложных форм, когда необходимо создание комбинированного нагружения заготовок, имеют место два подхода. Первый – использование существующих прессов

и применение штампов специальных конструкций, создающих комбинированное нагружение заготовки. Второй – создание специализированных прессов, имеющих приводы механизмов, перемещающих с требуемыми силами и рабочими ходами инструменты для заданного нагружения и деформирования заготовки. Первый подход реализуют японские фирмы Kotaki, Yoshisuka, фирма Mannesmann-Pulvermetall (ФРГ) и др. Сторонники второго подхода специалисты фирмы Bolding Lima Hamilton (США) считают, что максимальное число независимых движений пресса позволяет значительно расширить его технологические возможности и упростить конструкцию штамповых инструментов [2, 3].

В России идут по второму пути, создавая пресс-автоматы с рядом независимых движений. Однако технические характеристики этих пресс-автоматов: высоты засыпных камер, ходы рабочих органов по отношению к номинальной силе пресса таковы, что на этих пресс-автоматах целесообразно изготавливать только плоские детали. Для изготовления высоких деталей приходится создавать сложные штампы к универсальным гидравлическим прессам, имеющим большие ходы ползуна, или разрабатывать новые конструкции специализированных прессов.

В настоящее время работами Дж. Барка, В. Вейса, С.С. Кипарисова, Б.Д. Копыского, А.Г. Овчинникова, А.М. Дмитриева показано, что для получения высокоплотных изделий из железных порошков и порошковых сталей необходимо осуществлять деформирование в условиях, при которых реализуется эффект сдвигов между зернами [4].

При формовании деталей непосредственно из легированного железного порошка с последующим спеканием необходимы меньшие удельные силы, чем при выдавливании спеченных порошковых заготовок. Однако при достижении относительной плотности, равной 83...88 % от плотности компактного материала, в заготовке образуются расслойные трещины. Такие трещины не «залечиваются» при дальнейшем деформировании. Невысокая плотность деталей не позволяет использовать преимуществ легирования.

Для получения высокоплотных деталей непосредственно из порошковой шихты необходимо осуществлять деформирование в условиях, при которых в заготовке происходят интенсивные сдвиги между частицами (рис. 35).

Если кроме давления p приложить сдвигающее напряжение τ , пора легко закроется и перепрессовочных трещин не будет.

Наиболее надежно чистую поверхность частиц можно получить при их сближении благодаря растяжению поверхности контакта. Хрупкие пленки при растяжении поверхности частиц лопаются, и в трещины выходят свежие неокисленные объемы металла, которые и участвуют в диффузии.

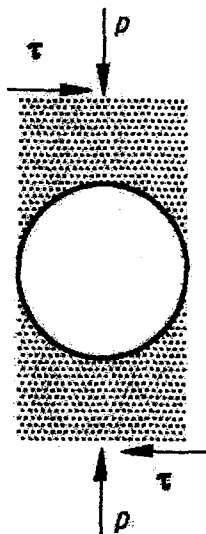


Рис. 35. Закрытие показанной сферой поры при приложении к заготовке сдвигающих напряжений τ

Метод дает возможность повышения легирования сталей, изготовления деталей из любых композиций, при этом удельная сила на инструменте не превышает 1000 МПа ($q \leq 1000$ МПа).

Для формирования порошковой детали со сдвигом частиц относительно друг друга применяют штампы, конструкция которых схематично представлена на рис. 36.

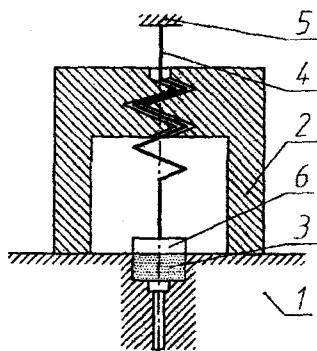


Рис. 36. Штамп для нагружения заготовки осевым сжатием и сдвигом

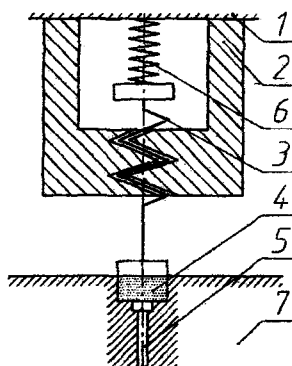


Рис. 37. Штамп усовершенствованной конструкции

Нижняя плита 1, в которой размещена матрица с засыпанным порошком, установлена на столе пресса. Гайка 2 также опирается на стол пресса. На винт с пуансоном 6 на нижнем торце и антифрикционной прокладкой 4 на верхнем торце сверху действует ползун пресса. Изготовленная деталь выталкивается из матрицы выталкивателем 5. Угол наклона винтовой пары – 18° и более, иначе потери в резьбе будут очень большие, и винт не будет проворачиваться.

Недостатки: строго фиксированное соотношение поступательного и вращательного движений инструмента, очень большие потери силы пресса от трения. При силе пресса 500 кН на заготовку передается не больше 250... 300 кН. Значительно более рациональной является конструкция устройства, показанного на рис.37.

К ползуну 1 пресса прикреплена гайка 2. Внутри гайки 2 находится винт 3 с пуансоном на нижнем торце. Порошковая заготовка 4 находится в матрице в полости нижней плиты штампа 7. Между верхним торцом винта и ползуном пресса размещен упругий элемент 6. Выталкиватель 5 служит для извлечения изделия из матрицы. Если пружину 6 убрать, то осевая сила будет определяться трением в резьбе винтовой пары.

Достоинства: вся сила пресса (500 кН) передается на порошковую заготовку, а соотношение между поступательным и вращательным движениями пуансона будет зависеть от жесткости упругого элемента 6 при постоянном угле наклона винтовой пары.

Соотношения осевого напряжения σ_n и напряжения сдвига τ , позволяющие обеспечить $\gamma=7,1 \text{ г/см}^3$, относительная плотность, приблизительно 91%, показаны на рис. 38. Аналогичные кривые можно построить для других плотностей деталей.

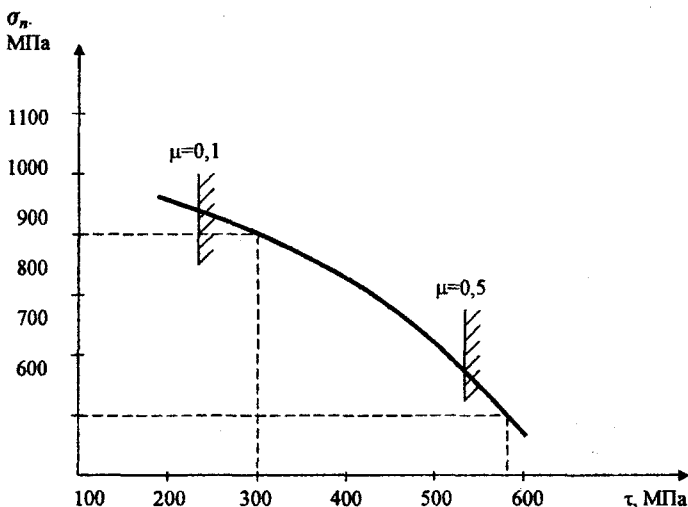


Рис. 38. Соотношения напряжений σ_n и τ , позволяющие обеспечить одинаковую плотность заготовки из порошка ПЖВ2.160.28

На рис. 39 приведена конструкция штампа, позволяющая при использовании лишь одной пары винт – гайка с несамотормозящей резьбой получать винтовое перемещение пуансона с различными углами подъема.

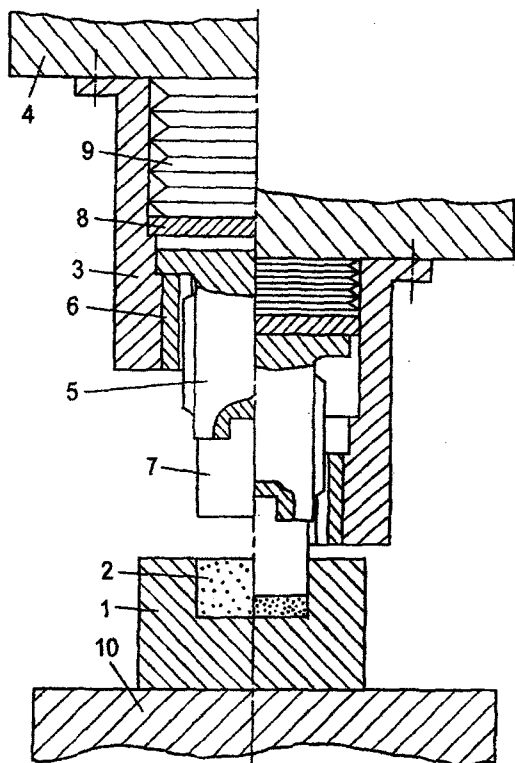


Рис. 39. Конструкция штампа для уплотнения заготовки поворачивающимся пуансоном

Штамп содержит корпус 1 с полостью 2 для порошка, траверсу 3, закрепленную на верхней плите 4. В полости траверсы 3 размещена винтовая пара: винт 5, гайка 6, причем гайка 6 закреплена в траверсе 3, а винт 5 в начальном положении удерживается от выпадения из гайки 6 при помощи своего фланца. На нижнем торце винта 5 закреплен пуансон 7. Внутри траверсы 3 с первоначальным зазором относительно верхнего торца винта 5 расположена ограничительная плита 8, над которой размещен упругий элемент 9, предварительное сжатие которого осуществляется при закреплении траверсы 3 к верхней плите 4 и регулируется толщиной ограничительной плиты 8.

Штамп работает следующим образом. После засыпки порошка в полость 2 корпуса 1 верхняя плита 4 с траверсой 3, гайкой 6, винтом 5, опирающимся в

первоначальном положении своим фланцем на торец гайки, и пуансоном 7 движется вниз. При соприкосновении пуансона 7 с порошковой заготовкой винт 5 начинает перемещаться относительно гайки 6, совершая вынужденное вращательное движение. При этом происходит подравнивание верхнего слоя порошка под действием веса вращающегося винта и пуансона. После того, как верхний торец винта упирается в ограничительную плиту, он перестает вращаться и, перемещаясь совместно с траверсой 3 и гайкой 6, производит формование порошка. Как только сила на верхнем торце винта 5 станет больше силы предварительного сжатия упругого элемента 9, винт 5 перемещается вместе с ограничительной плитой 8 относительно гайки 6 в траверсе 3, в результате чего окончательное формование осуществляется при осевом перемещении пуансона 7 с одновременным его вращением.

При этом соотношение вращательного и поступательного перемещений пуансона зависит не только от угла подъема резьбы пары винт – гайка, но и от жесткости применяемого упругого элемента. Это дает возможность совершать пуансоном винтовое движение с углами подъема намного меньшими предельных для несамотормозящей резьбы.

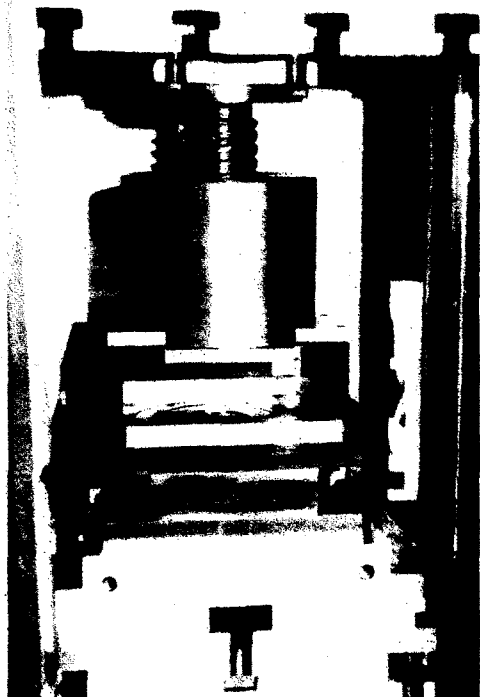


Рис. 40. Штамп для формования порошковых деталей поворачивающимся пуансоном

По окончании формования заготовки при обратном ходе верхней плиты 4 ограничительная плита 8 и винт 5 под действием упругого элемента и сил тяжести возвращаются в первоначальное положение и продолжая подниматься вместе с траверсой 3 и гайкой 6 освобождают формованную деталь, которая извлекается из корпуса 1 при помощи выталкивателя.

При эксплуатации описанного штампа (рис. 40) возникали трудности с возобновлением при каждом рабочем цикле смазки в зазорах в резьбе между винтом и гайкой, а также между верхним торцом винта 5 и ограничительной плитой 8. Поэтому несмотря на большой опыт, накопленный в научной школе, к которой относятся авторы, по созданию машин с винтовым приводом, в дальнейшей своей работе авторы предпочли применять описываемые в данном разделе прессы, не использующие винтовой привод.

3.4. Формование конических втулок

Возможно уплотнение заготовок на универсальных прессах до плотности 0,91...0,95 от теоретической плотности материала. Это относится к деталям с конической внешней поверхностью (рис.41).

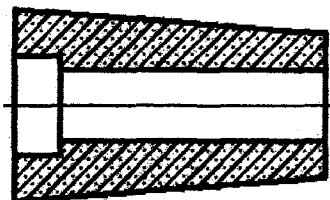


Рис. 41. Порошковая деталь с конической внешней поверхностью

Как правильно расположить показанную на рис. 41 деталь в штампе (рис. 42 или рис. 43)?

Если деталь расположить, как показано на рис. 42, при уплотнении образуется трюб 5, при дальнейшем повышении давления возникают перепрессовочные трещины сверху трюба, а внизу порошок остается неуплотненным. Поэтому общее правило: при работе с порошковыми материалами необходимо, чтобы под действием приложенной силы материал перемещался в расширяющуюся часть матрицы.

Согласно схемам на рис. 43 порошок засыпается через верхнее отверстие полости матрицы. При этом порошковый материал легко заполняет расширяющуюся полость. После заполнения порошком всего объема полости матрицы оправку перемещают вверх выталкивателем прессы (рис. 43, а). Под действием сил контактного трения и благодаря наличию уступа на оправке порошок хорошо заполняет узкую часть полости матрицы. При этом засыпное отверстие полости матрицы перекрывается оправкой. На следующем этапе осевая сила передается на матрицу (рис. 43, б).

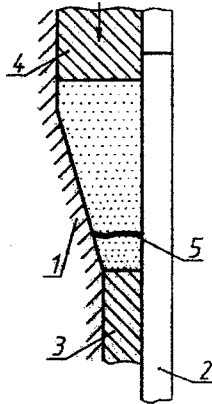


Рис. 42. Вариант расположения порошковой детали в штампе: 1 - матрица; 2 - оправка; 3 - выталкиватель; 4 - пуансон; 5 - граница тромба

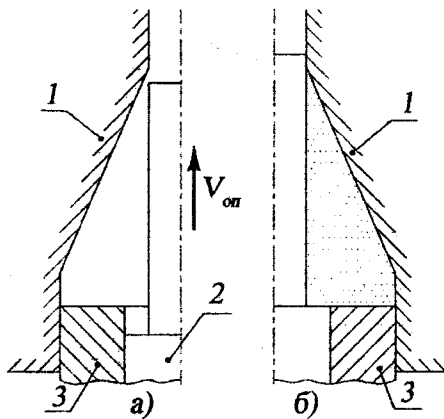


Рис. 43. Вариант расположения и уплотнения порошковой детали в штампе: а) начало уплотнения, б) окончание уплотнения; 1 - матрица; 2 - оправка со ступенью; 3 - пуансон

При таком уплотнении на заготовку действуют напряжения τ_k (рис. 44). За счет τ_k в материале заготовки возникают сдвиговые напряжения, что приводит к закрытию пор и отсутствию перепрессовочных трещин. Можно создать большие осевые давления, превышающие 1000 МПа, для уплотнения железного порошка при отсутствии перепрессовочных трещин. Характерно, что наибольшая плотность достигается в самой тонкой части стенки втулки (это самое главное, т.к. потом втулка идет на спекание, а после спекания толстую часть можно доуплотнить штапковкой).

В развитие способов формирования порошковых заготовок при создании активных сдвигов между частицами заготовки предложена схема, приведенная на рис. 45. Формование по этой схеме осуществляется с помощью штампа, сходного с описанным в разделе 1 и показанного на рис. 3.

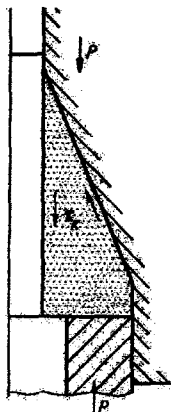


Рис. 44. Схема действия сдвиговых напряжений τ_k при уплотнении по схеме на рис. 43

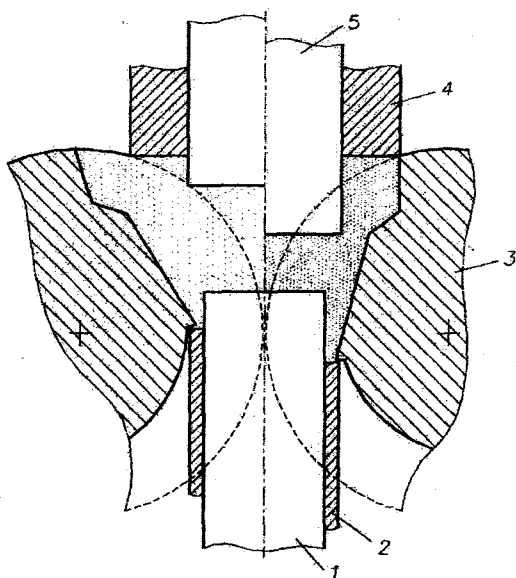


Рис. 45. Формование порошковой заготовки в матрице, образованной вальцами

Формование производится одновременно сближающимися пуансоном 5 и оправкой 1 и поворачивающимися вальцами, в которых выполнена полость с заданным профилем. При принудительном повороте вальцов 3 от ползуна пресса объем этой полости уменьшается, и происходит формование порошковой детали. В рассматриваемом способе привод вальцов может быть осуществлен аналогично описанному в разделе 1. Втулочный пуансон 2 формирует нижний торец детали, а втулочный пуансон 4 – верхний торец.

3.5. Производство длинномерных (прутковых) изделий из металлического порошка

В предыдущих разделах рассматривалось производство деталей ограниченной длины из железного порошка. В связи с большой уплотняемостью порошка из большой порошковой заготовки удается изготовить невысокое изделие.

Технологи пытаются на уплотненную заготовку засыпать новую порцию порошка. В этом случае срачивания заготовок не произойдет. Попытки сделать торец пуансона рельефным, чтобы следующая порция порошка попала во впадины торца предыдущей заготовки также не позволили достигнуть хорошего соединения заготовок по их границе.

В технологических процессах производства длинномерных изделий применяют способы, описанные ниже. Схема формования согласно одному из них приведена на рис. 46.

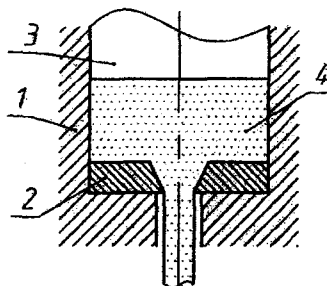


Рис. 46. Мундштучное формование: 1 – контейнер; 2 – матрица; 3 – пуансон; 4 – порошковая заготовка

При этом в качестве смазки применяют материалы, которые одновременно выполняют функцию клея, например, клейстер. Также каучук, растворенный в бензине. Подчеркнем, что это связующее наносится не на место контакта двух порций порошка, о которых говорилось ранее, а вводится в порошковую шихту. Из этой шихты формируют длинномерное изделие.

Другой способ формования приведен на рис. 47.

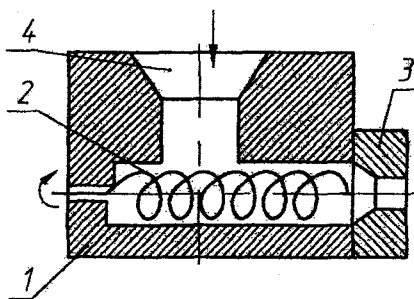


Рис. 47. Формование вращающимся шнеком: 1 – контейнер; 2 – шнек; 3 – матрица; 4 – воронка для засыпки порошка

Недостатками формования с использованием в качестве пластификатора клейстера или растворенного в бензине каучука является следующее:

- удаление пластификатора при спекании заготовки сопровождается сильным газовыделением;
- после испарения пластификатора изготовленное изделие имеет существенную пористость.

В современных технологиях хорошее соединение на контакте между отдельными участками заготовки получают с помощью формования, сопровождающегося интенсивными сдвигами между элементами заготовки.

Один из способов создания сдвигов при формовании длинномерных изделий приведен на рис. 48. Способ относится к изготовлению длинномерных заготовок при добавлении порошка в матрицу отдельными дозами. В этом случае при уплотнении без сдвигов заготовка распадается на отдельные столбики, соответствующие по массе каждой из засыпаемых доз порошка.

При формовании со сдвигами после засыпания порошка пуансон уплотняет его. Уже уплотненный порошок продвигается к расширяющейся части матрицы, в которой частично сформованная заготовка разрушается и перемещается в расширенную часть матрицы.

В процессе формования порошок подходит к воронке и, проходя через воронку, окончательно уплотняется. Прутки после спекания подвергают испытанию на излом. В местах разрушенных границ между засыпанными дозами прочность на границах всего на 20% ниже, чем в основном материале, и в 8 раз выше, чем при прессовании по схеме, когда не было применено описанного способа.

При необходимости изготовления изделий большой длины применяют конструкцию штампа, приведенную на рис. 49.

Достоинство: в отличие от схемы на рис. 48 создаются еще более интенсивные сдвиги, связанные с изменением течения металла с вертикального на горизонтальное.

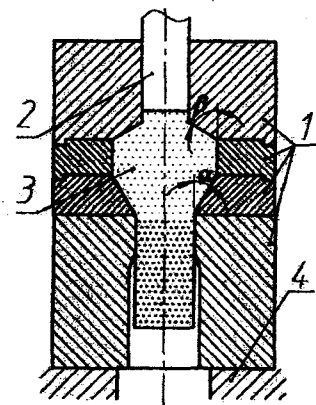


Рис. 48. Способ создания сдвигов в порошковой заготовке: 1 – сборная матрица; 2 – пуансон, продвигающий пористые порошки; 3 – заготовка; 4 – стол пресса; $\alpha = 10^\circ$, $\beta = 50^\circ$

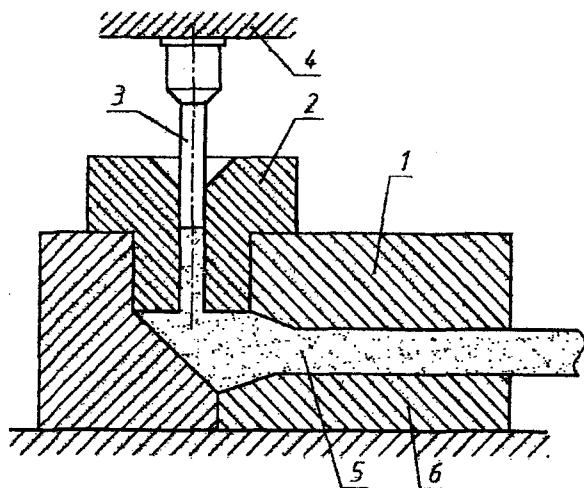


Рис. 49. Способ формования изделий большой длины при подаче порошка отдельными дозами: 1 – матрица; 2 – питатель с воронкой; 3 – пуансон; 4 – ползун пресса; 5 – изделие; 6 – стол пресса

Среди методов выдавливания в разъемную матрицу с созданием в заготовке интенсивных сдвигов отметим следующий (рис. 50, а). Согласно этому методу заготовку выдавливают из полости верхнего пуансона таким образом, чтобы она заполнила все пространство в разъемной матрице. Разъем нужен для последующего извлечения изделия (рис. 50, б).

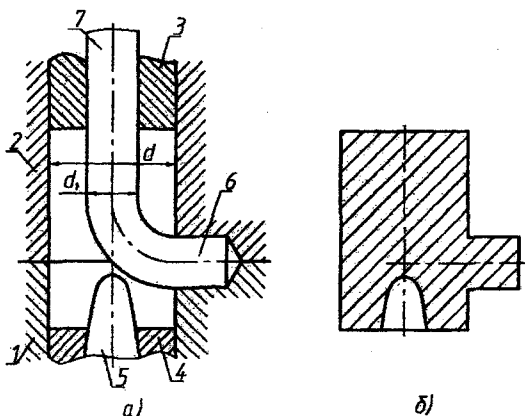


Рис. 50. Выдавливание изогнутой заготовки в разъемную матрицу:
 1 – нижняя часть матрицы; 2 – верхняя часть матрицы; 3 – втулка для направления пуансона 7; 4 – втулка для центрирования оправки; 5 – оправка, формирующая полость в детали; 6 – выдавливаемая заготовка

Преимущества: при выдавливании из заготовки диаметром d_1 , по сравнению с заготовкой диаметром d требуется меньшая деформирующая сила.

Недостатки: разъем надо было сделать по вертикали, а не по горизонтали.

3.6. Формование высокоплотных порошковых деталей на прессах, создающих активные силы контактного трения

Формование высокоплотных деталей со сдвигом частиц может проводиться на прессах для выдавливания с активными силами контактного трения, конструкция которых представлена на рис. 15, 17, 18, 21.

Формование осевым сжатием с одновременным созданием в заготовке сдвигов слоев материала осуществляется на этих прессах по схеме, приведенной на рис. 50.

На первом этапе (рис. 51, а) осуществляется уплотнение порошка движением пуансона со скоростью v_n с одновременной раздачей заготовки путем перемещения матрицы, имеющей ступенчатую рабочую полость, навстречу пуансону со скоростью v_m .

При раздаче создаются сдвиги слоев материала заготовки. На втором этапе (рис. 51, б) осуществляется обжим брикета по боковой поверхности перемещением матрицы со скоростью v_m при воздействии силой P_n со стороны верхнего пуансона.

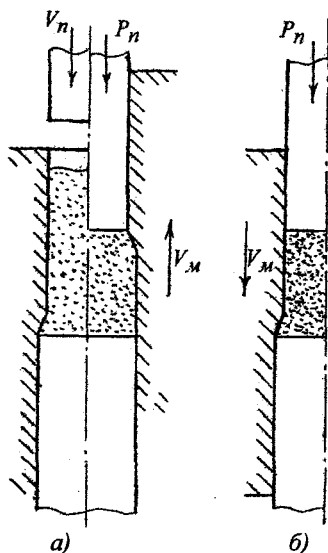


Рис. 51. Схема формования порошковой заготовки осевым сжатием с созданием сдвигов слоев материала

При этом создаются дополнительные сдвиги слоев материала заготовки. При формовании по таким схемам достигается средняя плотность формованных деталей 90 % и выше.

Конструкция наиболее компактного и многофункционального из прессов для рассмотренных технологий схематично изображена на рис. 52.

Этот пресс, кроме холодного выдавливания с активными силами трения, предназначен для формования высокоплотных стаканов из железного порошка. В прессе главный гидроцилиндр 1 является одновременно станиной. Главный гидроцилиндр содержит два поршня: 2 и 9. Шток 3 поршня 2 является гильзой вспомогательного гидроцилиндра с поршнем 4 и штоком 5, на котором установлен пуансон 7, второй пуансон 6 установлен на штоке 3.

Поршень 9 неподвижно соединен с матрицедержателем 8, в котором находится матрица 10. Третий пуансон 11 (контрпуансон) установлен на станине 1.

Пресс работает следующим образом. В матрицу 10 засыпают металлический порошок, смешанный с пластификатором. Подачей жидкости в рабочие полости гидроцилиндров инструменты отводят в положение, при котором торец пуансона 6 находится выше торца пуансона 7 и является оправкой, формирующей полость в заготовке. Матрица находится в нижнем положении (рис. 52 – правая половина).

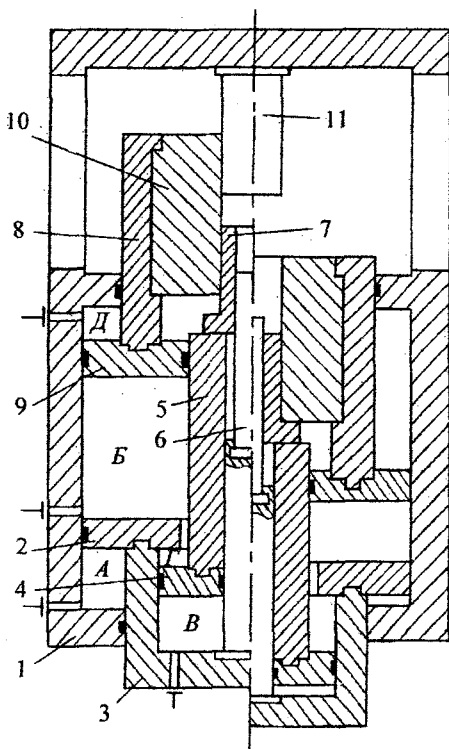


Рис. 52. Компактный многофункциональный гидропресс

При рабочем ходе вначале подается жидкость в полость *Б*, при этом полость *Д* соединяется со сливом, а входы в полости *А* и *В* закрыты. Матрица *10* поднимается, и пуансон *11* закрывает ее горловину. Затем подают рабочую жидкость в полость *В*, при этом полость *Б* соединяют со сливом. Входы в полости *А* и *Д* закрыты. Пуансон *7* поднимается и уплотняет стенку формуемого стакана. После окончания уплотнения стенки подают рабочую жидкость в полость *Д*, при этом полость *Б* соединяют со сливом, а входы в полости *А* и *В* закрыты. При этом матрица перемещается вниз и активными силами контактного трения дополнительно уплотняет стенку формуемого стакана. Затем подают рабочую жидкость в полость *А* при соединенной со сливом полости *Б* и закрытых входах в полости *В* и *Д*. При этом пуансоны *6* и *7* калибруют дно стакана.

После окончания формования последовательной подачей жидкости в одну из полостей каждого гидроцилиндра при соединении другой со сливом и одновременном перекрытии входов в оставшиеся две полости производят раскрытие штампа и извлечение изделия.

Преимуществом этого пресса является его работа от одного насоса. В конструкциях, показанных на рис. 15, 17, 18, 21, малые габариты прессов недостаточно ощущаются из-за массивных гидроприводов (см. рис. 19).

Таким образом, современные технологические процессы производства высококачественных деталей из металлических порошков обеспечены прессовым оборудованием, производимым отечественными и зарубежными предприятиями.

Схема формования стакана с созданием сдвигов в материале заготовки на гидропрессах рассматриваемого типа выглядит следующим образом (рис. 53).

Стаканы изготавливают с фланцем, который является технологическим припуском. Матрица имеет полость, состоящую из участков двух диаметров: диаметр одного участка равен диаметру внешней поверхности стакана, а диаметр другого – диаметру фланца стакана.

На первом этапе формования матрица перемещается вниз (рис. 53, а), при этом засыпную полость образует участок большего диаметра, а силы трения на поверхности контакта порошка с матрицей способствуют заполнению полости матрицы. После окончания засыпки порошка и предварительного его уплотнения верхним пуансоном осуществляется движение матрицы вверх (рис. 53, б), при этом сформованный на первом этапе стакан перемещается в участок полости матрицы меньшего диаметра. В результате происходит дополнительное уплотнение стенок стакана (рис. 53, в). На донную часть заготовки постоянно действует сила, создаваемая верхним пуансоном.

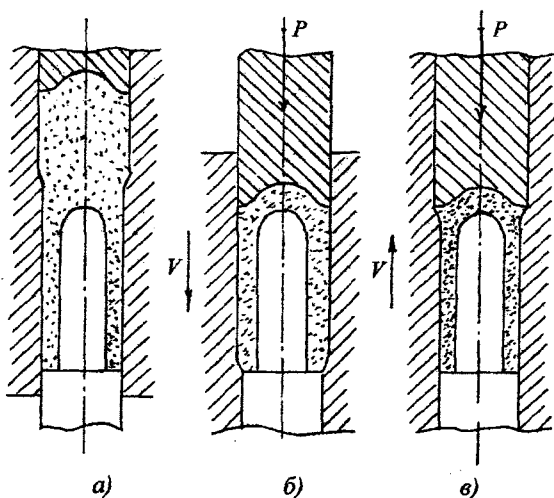


Рис. 53. Схема формования стаканов с созданием интенсивных сдвигов в материале порошковой заготовки

Ниже приведены фотографии (рис. 54, 55) некоторых деталей, изготовленных на созданных, рассмотренных выше прессах с использованием описанных схем деформирования.



Рис. 54. Порошковые втулки с тонкой стенкой из ПЖВ2.160.28

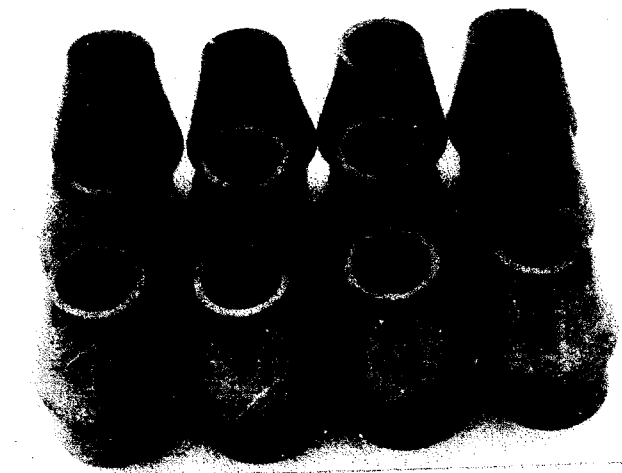


Рис. 55. Порошковые втулки со ступенчатой фланцевой частью из ПЖРВ3.160.24

3.7. Производство нанопорошковых заготовок

Среди сформулированных Правительством РФ приоритетных направлений развития науки на ближайшие годы ведущее место занимают наноматериалы и нанотехнологии. Это направление, интенсивно развивающееся в мировой науке и практике в последнее десятилетие и часто называемое технологией XXI века, не является абсолютно новым для обработчиков давлением. Мы, в отличие от физиков, материаловедов и представителей других научных направлений, технически подготовлены к производству наноматериалов в промышленном масштабе.

Приставка "нано" означает – одна миллиардная часть (1 нанометр (нм) = 10^{-9} м). Под термином "нанотехнология" понимают создание и использование материалов, структура которых регулируется в нанометровом масштабе, т.е. в диапазоне размеров атомов и молекул.

Исследования последних лет продемонстрировали важную роль наноструктур в различных областях науки и техники. Характерные размеры элементов структуры нанообъектов лежат в диапазоне 10^{-9} - 10^{-7} м, соответствующем средним размерам атомов и молекул в обычных материалах. Нанотехнологический подход означает целенаправленное регулирование свойств объектов на молекулярном уровне. Придавая материалам и системам принципиально новые качества, нанотехнология может обеспечить прогресс практически во всех существующих областях деятельности.

Наночастицами считают такие, у которых доля поверхностных атомов превышает 10% от их общего количества. Поверхность является "стоком" большинства дефектов кристаллической структуры почти бесконечной емкости. В результате выхода дефектов на поверхность структура внутри зерен приближается к классической структуре монокристалла.

Формирование нанокристаллических структур позволяет получать конструкционные материалы с уникально высокими свойствами. Например, их микротвердость в 2-7 раз выше, чем твердость крупнозернистых аналогов, причем это не зависит от метода получения материала. Прочность нанокристаллических материалов при растяжении в 1,5-2 раза выше, чем у крупнозернистых аналогов. Для больших зерен рост прочности и твердости при уменьшении их размера обусловлен введением дополнительных границ зерен, которые являются препятствиями для движения дислокаций. При малых наноразмерных зернах рост прочности происходит благодаря низкой плотности имеющихся дислокаций и трудности образования новых [5].

Для керамических нанокристаллических материалов обнаружена повышенная пластичность при низких температурах, ее можно использовать в промышленных процессах экструзии и прокатки. Для всех наноматериалов имеет место увеличение теплоемкости с уменьшением размера зерна, но наибольший

ее прирост наблюдается для наноматериалов, полученных формированием порошков. Коэффициент объемного термического расширения увеличивается с уменьшением размера зерна. Коэффициент граничной диффузии в наноматериалах значительно выше, чем в крупнозернистых, что позволяет легировать их нерастворимыми или слаборастворимыми при обычных условиях элементами за счет более развитой зеренной структуры.

Развитие науки о наноматериалах и нанотехнологиях произошло таким образом, что первыми о разработке этой проблемы сообщили физики и материаловеды [6, 7].

Физики пошли по пути конструирования новых материалов, совершенствования их структуры и свойств, создания наноматериалов и наносистем на основе молекулярной архитектуры, что неразрывно связано с применением адекватных (атомного разрешения) диагностических средств. Рентгеновские методы сыграли ключевую роль в развитии современной науки о материалах. Однако применение рентгеновского излучения для анализа наноматериалов и наноструктур связано с решением ряда сложных задач в области физики рассеяния рентгеновских лучей. В настоящее время эти проблемы находятся в стадии их успешного решения.

Что касается металлургов, то в их работах по технологии наноматериалов ключевую позицию заняли методы интенсивной пластической деформации (ИПД). При этом они "открыли" способы равноканального углового (РКУ) прессования и уплотнения заготовки пуансоном, совершающим одновременно поступательное и вращательное движения. Во-первых, не можем не отметить, что эти методы были открыты специалистами в области обработки давлением на десятилетия раньше [8, 9]. Во-вторых, у обработчиков давлением создано и работает в промышленности оборудование для реализации этих методов [10].

Многие "старые" научно-технические направления вливаются в современное понятие "нанотехнологии". Такие методы получения консолидированных наноструктурных материалов, как порошковая технология, консолидируемая кристаллизация из аморфного состояния, ИПД и технология нанесения наноструктурных покрытий и пленок также относятся к нанотехнологии [11].

Многие технические решения в «доперестройчный» период развития отечественной науки не опубликованы широко, поскольку они имели оборонное предназначение. Поэтому до настоящего времени для получения наноматериалов не нашла применения и достаточного литературного освещения схема, приведенная на рис. 43. Эта схема имеет существенные преимущества по сравнению с вновь "открытыми" материаловедами схемами ИПД: равноканальным угловым прессованием и уплотнением заготовки пуансоном, совершающим одновременно поступательное и вращательное движения. Основное преимущество – возможность создания простого и надежного прессового оборудования.

Такое оборудование создано и описано выше в настоящем издании.

4. СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

4.1. Штамповка в гидростатах

Пытаясь обойти проблему, в первую очередь, прочности инструмента во время штамповки труднодеформируемых материалов (W, Mo и т.п.), предложили производить штамповку не воздействием пуансона на заготовку, а воздействием жидкости высокого давления. Чтобы быть конкурентно-способным со штамповкой стальным инструментом, способ обработки в гидростатах должен обеспечивать давление 2000-3000 МПа.

Проблемы:

1) требуются уплотнения соединений в 100 раз более прочные, чем уплотнения в обычных гидропрессах;

2) необходим подбор жидкостей, которые не затвердевали бы при давлениях, создаваемых в гидростатах;

3) надо учитывать упругие деформации и прочность контейнеров, внутри которых находится рабочая жидкость.

Стандартных, серийно выпускаемых гидростатов нет. Один из созданных гидростатов схематично изображен на рис. 56.

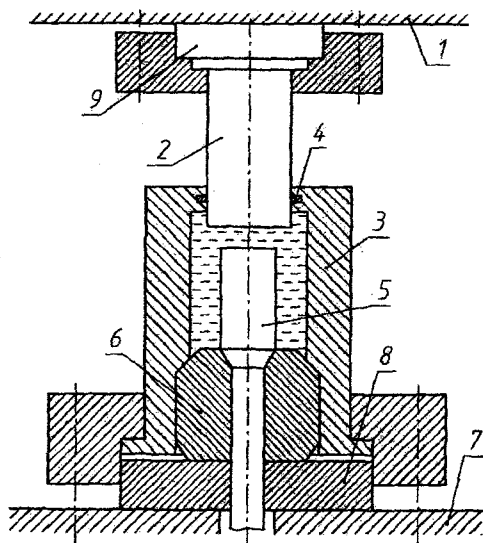


Рис. 56. Схема одной из конструкций гидростата: 1 – ползун пресса; 2 – пуанжер; 3 – контейнер; 4 – уплотнение пуанжера в контейнере; 5 – заготовка; 6 – матрица (коническая посадка); 7 – стол пресса; 8 – прокладка закаленная; 9 – прокладка закаленная (для снижения контактного давления в 15...20 раз)

Помимо гидростатов, расположенных в рабочем пространстве пресса, были созданы гидростаты с приводом от насосных станций и с использованием мультипликаторов для повышения рабочего давления до 2000...2500 МПа. Однако недостатком гидростатов с индивидуальными насосными станциями является необходимость создания трубопроводов, способных выдерживать чрезвычайно высокие давления. В связи с этим большинство гидростатов, которые были созданы, размещали в штамповом пространстве пресса, и давление в контейнере создавали воздействием ползуна на плунжер. В дальнейшем мы рассмотрим гидростат с двумя контейнерами, в которых верхний будет предназначен для создания давления жидкости, а нижний, горизонтально расположенный и непосредственно (без трубопровода) соединенный с верхним контейнером, будет предназначен для прессования заготовки. Необходимость таких конструктивных решений вызвана тем, что в простейшем варианте (изображенном на рис. 18) имеются недостатки, связанные с ограниченными конструкцией пресса габаритными размерами изделия и величиной рабочего хода плунжера.

Требования к рабочим жидкостям:

- 1) не затвердевать при давлении до 2500 МПа;
- 2) обладать наименьшей сжимаемостью. Из-за сжимаемости жидкости рабочий ход гидростата сокращается.

Этим требованиям хорошо отвечает жидкость, состоящая из глицерина и 30 % этиленгликоля.

Упругая деформация контейнера также способствует сокращению рабочего хода гидростата.

Для того чтобы жидкость могла сосредоточить в себе заданные (требуемые) давления, необходимо, чтобы в начальный момент прессования заготовка перекрывала отверстие матрицы. Поэтому заготовку всегда делают с заходным концом, назначение которого перекрыть отверстие в матрице и не допустить вытекание туда рабочей жидкости до достижения требуемого давления 2000...2500 МПа. После достижения требуемого давления рабочая жидкость начинает вытекать из матрицы вокруг выдавливаемого материала заготовки и создавать активные силы контактного трения. Именно поэтому гидростатическую обработку применяют для деформирования таких хрупких материалов, как W, Mo, Co.

Когда начинается вытекание жидкости в зазор между матрицей и заготовкой, давление в контейнере падает. Потом снова нарастает и снова падает (рис. 57). Такие колебания давления приводят к ступенчатому вытеснению заготовки из матрицы, что создает поперечные риски на поверхности изделия, и оно может треснуть.

Способы снижения колебаний давления: повышение скорости прессования (до 0,02...0,025 м/с), уменьшение диаметра контейнера и применение комбинированных схем приложения к заготовке деформирующих сил.

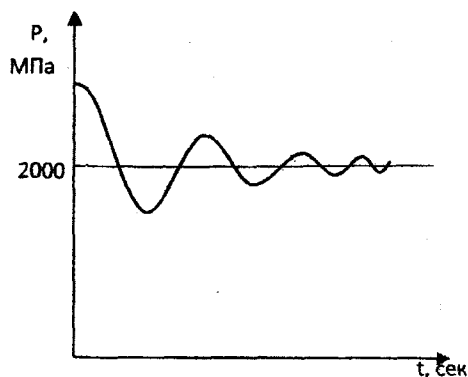


Рис. 57. Колебания давления при штамповке в гидростате

Для радикального снижения колебаний давления применяют схемы с комбинированным нагружением заготовки (рис. 58, 59).

При гидростатическом прессовании проволоки в контейнер помещают катушку проволоки, и на выходе получают проволоку меньшего диаметра. Продвижение проволоки и ее пластическая деформация (утонение) осуществляется посредством жидкости, вытекающей из матрицы вокруг этой проволоки и создающей активные силы трения.

После окончания движения заготовки 5 (см. рис. 56) через матрицу происходит прорыв жидкости (так называемый «выстрел»). Тогда вся накопленная энергия (деформационная) контейнера разряжается, и заготовка выстреливается из матрицы с огромной скоростью. Для улавливания заготовки применяются песок, вата, но изделия сильно искажаются.

С целью предотвращения «выстрела» на верхнем торце заготовки предусматривают выточки (рис. 60, а) или запирающий выходное отверстие контейнера шар (рис. 60, б).

При последовательном прессовании нескольких заготовок опасность «выстрела» на промежуточных этапах (после каждой последовательно прессуемой заготовки) исключается.

Согласно схеме на рис. 61 заготовку прессуют на половину ее длины, затем открывают гидростат, на верхний торец недопрессованной заготовки устанавливают новую исходную (центрируя их вспомогательной втулкой) и продолжают прессование до того момента, пока верхняя заготовка не примет форму изображенной на рис. 61 нижней. Затем на торец недопрессованной нижней заготовки устанавливают новую исходную и т.д.

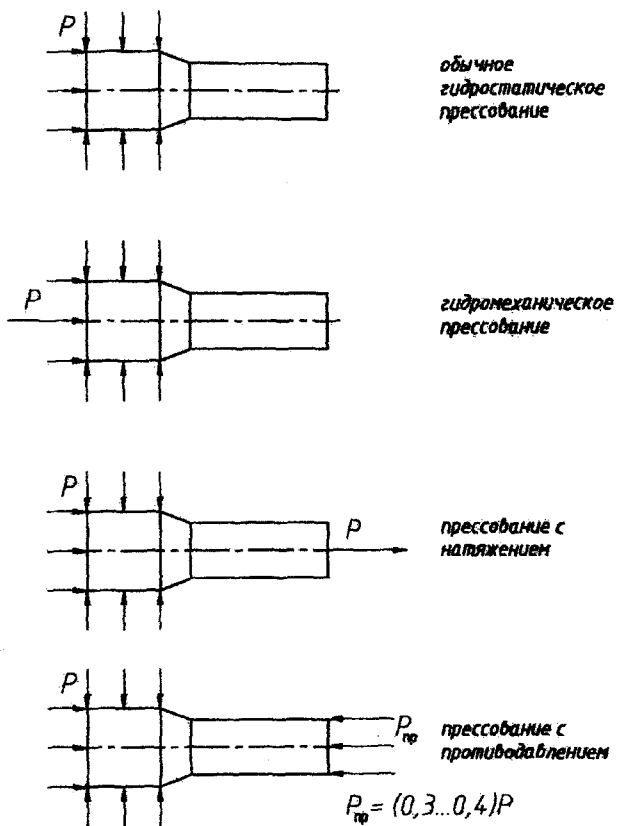


Рис. 58. Схемы прессования с комбинированным нагружением заготовки

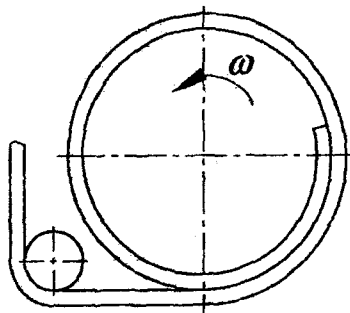


Рис. 59. Создание натяжения при прессовании проволоки

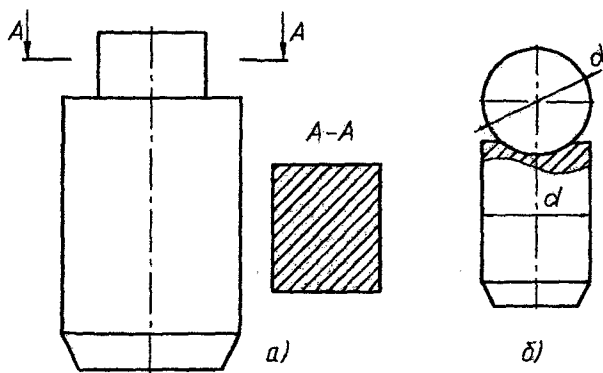


Рис. 60. Способы предотвращения "выстрела" заготовки: а) выточки на верхнем торце; б) запирающий выходное отверстие шар

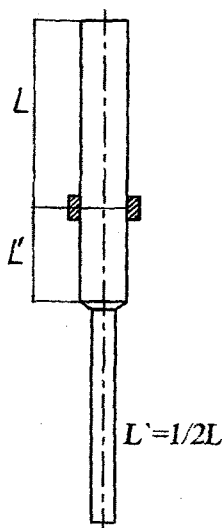


Рис. 61. Последовательное прессование нескольких заготовок

Для увеличения длины прессуемых заготовок при ограниченных размерах штампового пространства пресса, в котором размещен газостат, используют газостат с двумя гидроцилиндрами (рис. 62).

Такой гидростат позволяет прессовать заготовки значительно большей длины, чем гидростат вертикального исполнения.

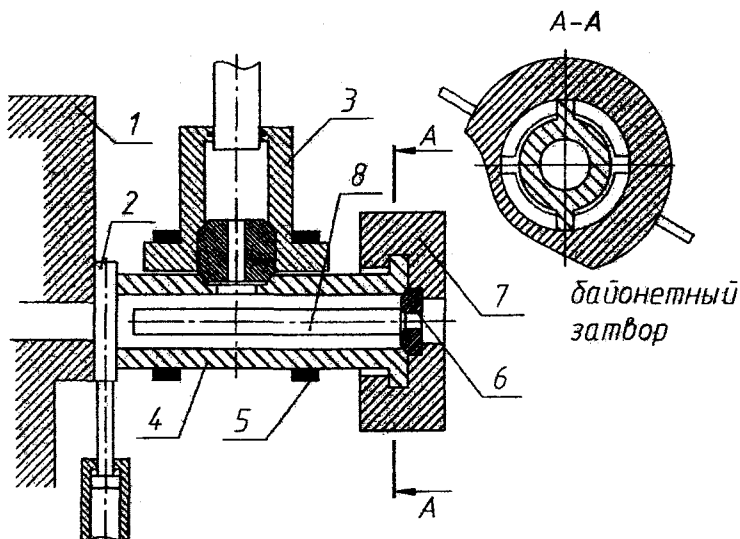


Рис. 62. Гидростат с двумя гидроцилиндрами с приводом от ползуна пресса: 1 – станина пресса; 2 – подвижный затвор, обеспечивающий возможность загрузки заготовки через отверстие в станине; 3 – гидроцилиндр для накопления давления рабочей жидкости; 4 – главный гидроцилиндр; 5 – обмотка из металлической проволоки; 6 – матрица; 7 – крышка байонетного затвора; 8 – заготовка

Требования к деталям гидростатов и конструктивное
исполнение этих деталей

В связи с тем что детали подвергаются давлениям в 2000...2500 МПа, они должны обладать очень высокой прочностью при сохранении пластических свойств.

Контейнеры (матрицы)

Их делают из сталей X12Ф1; X12М; 45ХНМ; 40ХНВА.

Вопросы прочности и пластичности матрицы решают сочетанием автофретирования и закалки.

Матрицы для холодной объемной штамповки проходят следующие этапы обработки: закалка, отпуск, бандажирование с натягом 0,2...0,4; в машиностроении используют бандаж с твердостью HRC 48...52.

Автофретирование – операция, в которой деталь подвергают пластическому деформированию – раздаче – таким образом, чтобы все сечение детали было охвачено пластическими деформациями. Обработку проводят в холодном состоянии. В этом случае прочность деталей увеличивается в 4 раза при сохранении хороших показателей пластичности. Автофретирование применяют и к

трубопроводам. Операция автофретирования сложная, поэтому применяют конструкторские решения. В частности, показанное на рис. 63.

Преимущество такой конструкции перед запрессовкой вставки в бандаж состоит в том, что исключается растрескивание бандажа под действием растягивающих напряжений во время хранения сборной матрицы. Конструкция с обмоткой из ленты не теряет своих свойств, даже если лента порвется в нескольких местах. Благодаря трению между слоями ленты эта конструкция будет сохранять свои свойства. Существует еще вариант того, как можно осуществить бандажирование, не прибегая к напряженной конструкции в процессе хранения (рис. 64).

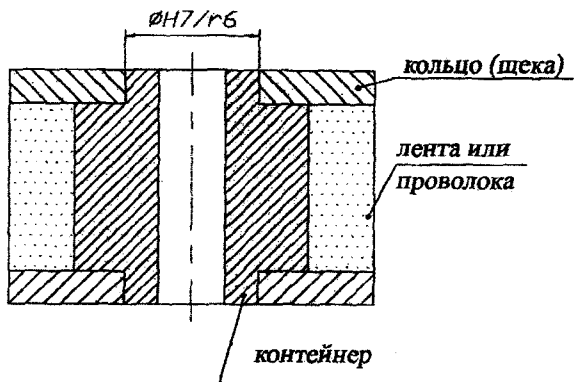


Рис. 63. Конструкция контейнера с бандажом в виде обмотки из ленты

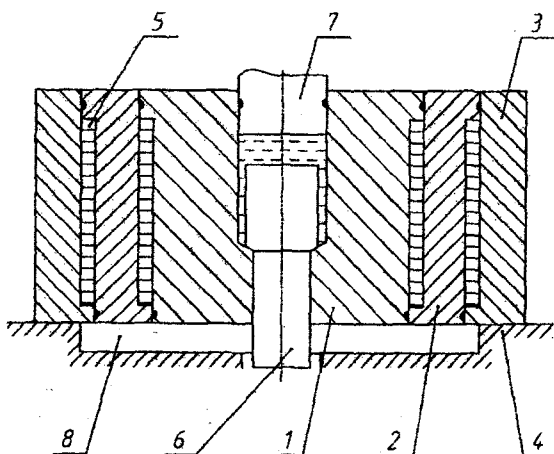


Рис. 64. Контейнер с гидроподдержкой

Плунжер 7 производит прессование заготовки 6 из контейнера 1. При опускании плунжера 7 под действием сил контейнер пытается опуститься вниз в полость 8, предусмотренную в опоре 4. Однако верхний фланец контейнера 1 сжимает жидкость, заключенную между контейнером 1 и бандажом 2. В результате возникает сила, стремящаяся опустить бандаж 2 в полость 8, предусмотренную внутри опоры 4. Эта сила является следствием давления жидкости, заключенной между контейнером 1 и бандажом 2, на нижний фланец бандажа 2. Бандаж 2 своим верхним фланцем сжимает жидкость, заключенную в полости между бандажом 2 и бандажом 3. Бандаж 3 не может опуститься вниз, так как он уперт непосредственно на опору 4.

Таким образом, вся составная конструкция приходит в некоторое уравновешенное состояние, при котором жидкость 5 в полостях между бандажами и контейнером находится под давлением и препятствует разрыву контейнера 1 под действием давления прессования.

Уплотнение плунжера

Плунжеры в гидростатах могут направляться по поверхности контейнера, как показано на предыдущем рисунке, или быть установлены с зазором внутри контейнера. В последнем случае не требуется шлифования внутренней поверхности контейнера на большую глубину (рис. 65).

Плунжер 2 не имеет направления по поверхности контейнера 1. Стальные кольца 3 имеют твердость 48...50 по Роквеллу, 4 – бронзовые кольца (из бериллиевой бронзы БрБ2), а фторопластовое кольцо 5 находится в состоянии, сжатом стальными кольцами 3, и прижимает два кольца 4 из бериллиевой бронзы к поверхностям контейнера и плунжера. Первоначальное сжатие кольца 5 происходит при затяжке нажимной гайки 6. Фторопластовое кольцо выполняет уплотняющую функцию до давления 500 МПа, а при более высоких давлениях эту функцию выполняют бронзовые кольца.

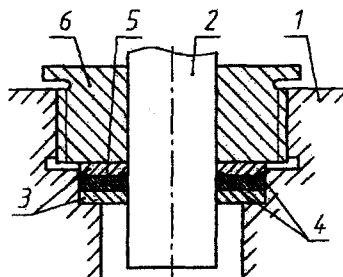


Рис. 65. Уплотнение плунжера, не имеющего посадки в контейнере

Посадка стальных колец по отношению к поверхности контейнера и плунжера должна иметь зазор не более 0,05 мм.

В других конструкциях плунжер направляется внутри контейнера (рис. 66).

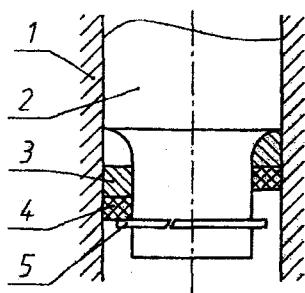


Рис. 66. Уплотнение плунжера, имеющего посадку в контейнере

При таких конструкциях на нижнюю часть плунжера 2 надевают медное кольцо 3, резиновое кольцо 4 и опорную разрезную шайбу 5. Разрезная шайба 5 предназначена для того, чтобы кольца не упали при введении плунжера 2 в контейнер 1.

При возрастании давления p медное кольцо 3 подвергается пластической деформации, оно затекает в зазор между контейнером и плунжером, неизбежно образующийся, т.к. контейнер подвергается упругой деформации растяжения. Таким образом, медное кольцо 3 является одноразовым. Каждый раз при укладке новой заготовки в контейнер на нижнюю часть плунжера одевают новое свежетоженное медное кольцо 3.

При попытке сделать многоразовое уплотнение разработана следующая конструкция (рис. 67).

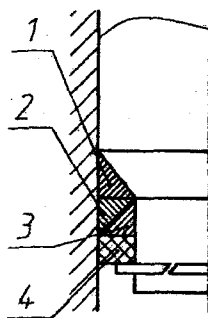


Рис. 67. Многоразовое уплотнение плунжера

Стальные кольца 1, 2, 3 сопряжены между собой по коническим поверхностям под углом 45° , 4 – резиновое кольцо.

Во всех конструкциях присутствуют резиновые кольца для того, чтобы герметизировать соединение при невысоких давлениях, меньше тех величин, при которых начинают работать металлические уплотнения.

Уплотнение матриц внутри контейнера приведено на рис. 68, 69.

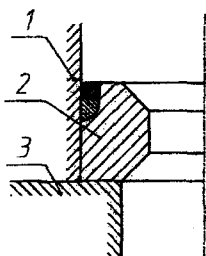


Рис. 68. Уплотнение при установке матрицы внутри контейнера:
1 – контейнер; 2 – матрица; 3 – опора

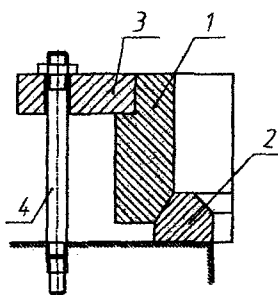


Рис. 69. Уплотнение, когда матрица установлена вне контейнера
и сопрягается с контейнером по конической поверхности: 1 – контейнер;
2 – матрица; 3 – фланец; 4 – стяжная шпилька

Если матрица установлена внутри контейнера (рис. 69), то способы ее уплотнения аналогичны уплотнению плунжера, имеющего направление по контейнеру.

Гидростатическая штамповка порошковых заготовок

Метод мокрого мешка изображен на рис. 70.

Метод называется методом мокрого мешка, поскольку после прессования снимают давление, поднимают крышку 2 и с помощью подъемного устройства из гидростата вверх вынимают оболочку с заготовкой, с которой стекает жидкость.

Требование к методу: резиновая оболочка должна быть толстостенной для того, чтобы заготовка после прессования имела заданную форму, а не шаровидную или каплевидную.

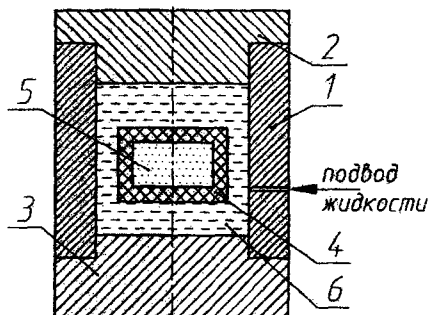


Рис. 70. Метод мокрого мешка: 1 – обойма гидростата; 2 – верхняя крышка; 3 – нижняя крышка; 4 – резиновая оболочка; 5 – порошок в засыпанном состоянии в начале и в виде уплотненной заготовки в конце; 6 – жидкость под высоким давлением (800...1000 МПа)

Метод сухого мешка изображен на рис. 71.

В конце прессования после снятия давления рабочей жидкости в полости между внутренней стенкой детали 1 и внешней поверхностью резиновой оболочки 4 поднимают крышку 2 и выталкивают деталь 5 выталкивателем 3. Поскольку деталь сухая, отсюда следует название «метод сухого мешка».

При использовании метода мокрого мешка резиновая оболочка одноразовая, а в методе сухого мешка оболочка – многократного использования.

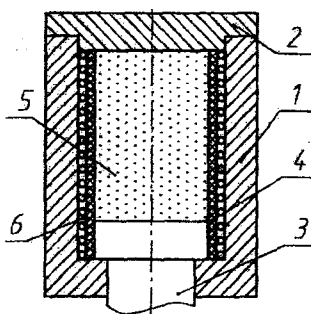


Рис. 71. Метод сухого мешка: 1 – обойма гидростата; 2 – верхняя крышка; 3 – выталкиватель порошковой заготовки; 4 – резиновая оболочка; 5 – порошок в засыпанном состоянии в начале и в виде уплотненной заготовки в конце; 6 – элементы упругой подвески резиновой оболочки внутри корпуса гидростата

Квазистатическое прессование

Способ изображен на рис. 72.

В данной конструкции отсутствует жидкость высокого давления, которая воздействует на заготовку. Нагружение близко к нагружению в гидростате, поэтому процесс называется квазистатическим прессованием.

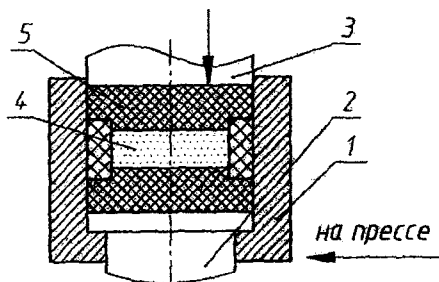


Рис. 72. Квазистатическое прессование: 1 – оболочка; 2 – выталкиватель пресса; 3 – плунжер с приводом от ползуна пресса; 4 – порошок; 5 – элементы, из которых собирается резиновая оболочка

Использование жидкости высокого давления при штамповке на прессе при выдавливании тонкостенных стаканов из толстостенных

Эскиз стакана приведен на рис. 73.

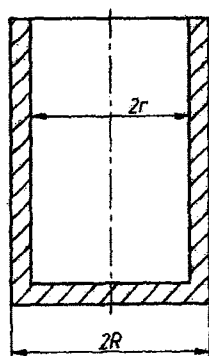


Рис. 73. Обозначения размеров стакана

Толщина стакана связана с отношением R/r , это отношение откладывается на оси абсцисс графика, приведенного на рис. 74.

В рассматриваемом методе в заготовке обычным способом выдавливают полость такого размера, чтобы отношение внешнего радиуса стакана R к ра-

диусу полости r равнялось примерно 1,5. При этом, как видно из графика на рис. 74, удельная сила q наименьшая. Далее проводят штамповку в соответствии с рис. 75.

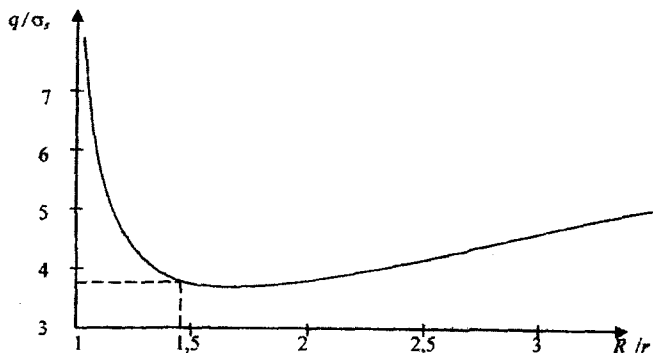


Рис. 74. Зависимость изменения удельной силы $q=P/(\pi r^2)$ от отношения R/r (см. рис. 73)

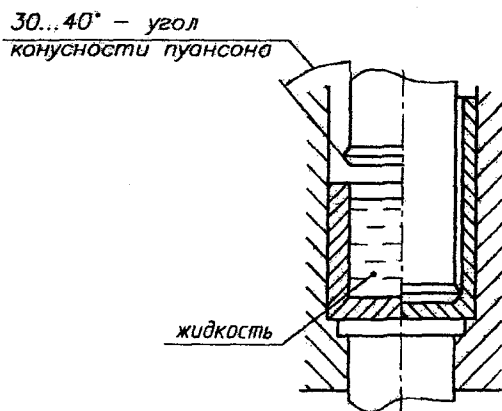


Рис. 75. Выдавливание заготовки с полостью, заполненной жидкостью

Если бы в полости заготовки не было жидкости, то пуансон, входя в более узкую полость, перемещал бы внутреннюю поверхность стенки вниз, и в конце получилась бы деталь, имеющая приблизительно такую же толщину стенки, как и у начальной заготовки, но более толстое дно, причем в рассматриваемом способе слои металла около дна имели бы складки. Жидкость из полости вытесняется в зазор между конической частью пуансона и поверхностью полости детали. Создаются активные силы трения, перемещающие материал заготовки

вверх. Эти силы трения и гидростатический подпор в полости заготовки исключают течение материала в сторону дна.

Прямое выдавливание труднодеформируемых материалов

Для успешного деформирования таких материалов требуется создание высокого гидростатического давления в заготовке. Это может быть осуществлено одним из следующих способов (рис. 76):

а) Заготовка размещается в полости матрицы 1 и выдавливается из нее пуансоном 2. Чтобы предотвратить трещинообразование при штамповке хрупких сплавов, на выходящую из полости матрицы часть заготовки создают противодействие с помощью плунжера 3. Плунжер 3 может быть оперт на выталкиватель пресса 4, однако в этом случае потребуется некоторая доработка гидросхемы и электросхемы пресса, так как последовательность срабатывания плунжера и выталкивателя установлена по технике безопасности и заблокирована.

б) В другом случае используется конструкция, при которой плунжер 3 размещают внутри отдельного гидроцилиндра 5. Плунжер 3 опирается непосредственно на рабочую жидкость, которая стравливается через подпорный клапан 6 или поставленный в обратную сторону дроссель.

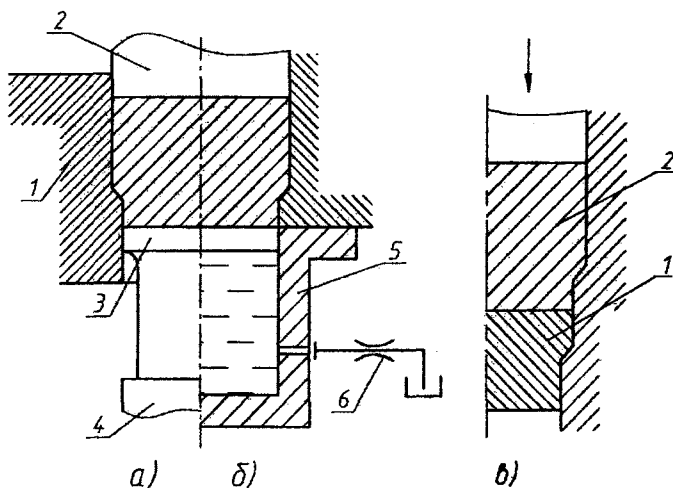


Рис. 76. Способы создания высокого гидростатического давления в заготовке: а) противодействие от гидроцилиндра пресса; б) противодействие от автономного гидроцилиндра; в) противодействие, создаваемое вспомогательной дополнительно выдавливаемой заготовкой; г) двухступенчатая матрица, из нижней части которой выдавливается вспомогательная заготовка (создающая противодействие)

Верхняя заготовка 2 из труднодеформируемого материала, заготовка 1 – из пластичного материала. В процессе выдавливания заготовки 1 создается подпор на заготовку 2. Все эти три способа позволяют предотвратить разрушение выдавливаемой основной заготовки.

4.2. Газостатическая обработка заготовок

Газостаты сопоставляют с горячей объемной штамповкой на прессе (разновидность горячей объемной штамповки).

Преимущество перед горячей объемной штамповкой – исключение образования окалины, так как заготовка находится в защитной атмосфере (газ Ar).

Газостаты изготавливаются по индивидуальному проекту.

Максимальная температура нагрева заготовки в газостате около 2250 °С, максимальное давление – 35 МПа. Чаще всего максимальное давление в газостате менее 20 МПа, его повышают с помощью мультипликатора. Рабочее давление в газостате значительно превышает начальное давление, поскольку газ нагревается до очень высоких температур и расширяется. При этом давление в рабочей камере значительно возрастает. Для каждого газостата составляется индивидуальный график $P=f(t)$ давления в рабочей камере от температуры нагрева газовой среды. Таких графиков может быть несколько, т.к. это зависит от объема газовой камеры (т.е. от объема газа), а объем меняется в зависимости от объема загруженной заготовки.

Обслуживающий персонал находится в другом помещении от газостата с целью обеспечения безопасности.

В связи с тем, что заготовки сначала нагреваются в газостате, потом выдерживаются заданное время обработки и далее охлаждаются вместе с газостатом, время газостатической обработки составляет 15...20 часов. Один из вариантов конструкции газостата приведен на рис. 77, 78.

В данном случае нерешенной остается проблема прижатия крышек к корпусу 1.

В небольших газостатах крышки удерживаются резьбой, т.е. завинчиваются или удерживаются байонетными затворами.

В крупных газостатах используют станину, имеющую подвижную раму, которая наезжает на газостат и не позволяет крышкам размыкаться (рис. 78). Такая конструкция вызвана тем, что сам газостат целесообразно иметь в неподвижном состоянии, поскольку к нему подведены газовые трубы и электрические провода (шины).

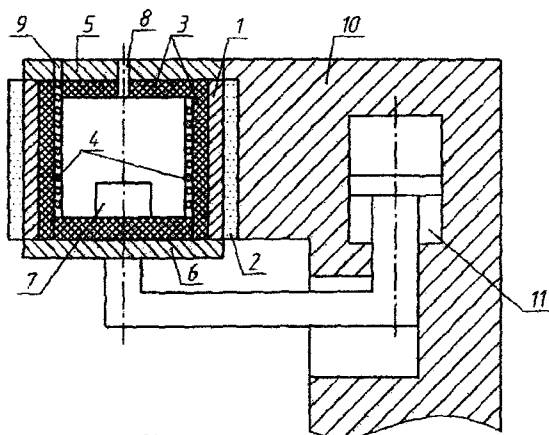


Рис. 77. Рабочая зона гидростата с нижней загрузкой: 1 – корпус газостата; 2 – упрочняющая обмотка (лента металлическая (бандаж)); 3 – теплоизоляция; 4 – нагревательные элементы; 5 – верхняя крышка; 6 – нижняя крышка; 7 – обрабатываемая заготовка; 8 – отверстие для подвода газа; 9 – отверстие для подвода электрических проводов; 10 – станина; 11 – гидроцилиндр для опускания и поднятия нижней крышки 6

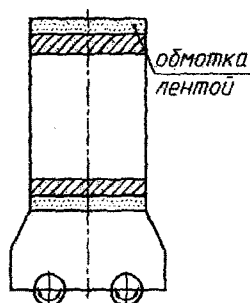


Рис. 78. Подвижная рама станины газостата

Есть разные конструкции газостатов: имеются такие, где загрузка и выгрузка осуществляются через верхнюю крышку. Однако это для заготовок небольшой массы, которые можно опускать в газостат в металлической корзине.

Газостатическая обработка применяется как для деформирования исходных заготовок с целью придания им нужной формы, так и для обработки готовых машиностроительных деталей с целью придания им особых механических свойств.

Отметим также, что газостатическая обработка – один из видов термической обработки, совершаемой с использованием высокого давления и защитной атмосферы. Фактически это печь с уникальными свойствами (одновременно термическая обработка и давление).

Газостатическая обработка порошковых заготовок

С целью получения сплавов с уникальными свойствами, которые невозможно получить у литых сталей, составляют порошковые композиции и изготавливают из них заготовки простой формы или сразу машиностроительные детали с применением газостатов. Заготовки простой формы изготавливают на металлургических предприятиях, например, Днепропетцсталь. Машиностроительные детали изготавливают, например, на ВИЛСе.

Отличительной особенностью при газостатической штамповке деталей является необходимость помещения порошка в оболочку перед загрузкой в газостат. Оболочки делают из малоуглеродистой стали (известны случаи оболочек из стекла, керамики и нержавеющей стали).

Оболочка своей внутренней формой должна полностью соответствовать форме изготавливаемой машиностроительной детали, а внешняя форма оболочки наиболее простая. В этом случае будут разнотолщинность оболочки и разные деформации, что учитывают при проектировании заготовки.

Газостатической обработке чаще всего подвергают порошки, полученные распылением, такие как ПЖРВ – порошок железный, распыленный водой; ПЖР – порошок железный, распыленный воздухом.

Эти порошки имеют сферическую форму частиц. Сферические порошки обладают лучшей теплопроводностью по сравнению с восстановленными из окислы и вихревыми порошками. Однако поверхность частиц покрыта оксидной пленкой, которая препятствует высокой теплопроводности, поэтому исходные порошки в начале подвергают восстановлению в среде водорода. Восстановление наиболее эффективно при температуре приблизительно равной 1000 °С, если порошок железный. После восстановления порошки подвергают вакуумной обработке (дегазации), чтобы удалить остатки продуктов восстановления с поверхности частиц. Для этого создают вакуум и выдерживают в нем порошок в течение 3...5 часов. Только после этого порошок засыпают в капсулу, там его подвергают утряске.

После утряски в течение 10...15 секунд плотность достигает 60...70 % от теоретической плотности материала, дальнейшая утряска повысит плотность максимум на 1...2 %. Если в процессе подготовки и загрузки порошка какую-то операцию делали на воздухе, то капсулу надо вакуумировать. После этого капсулу с порошком запаивают, далее она нагревается в газостате или печи. Если капсула нагревается в печи, то отдельно нагревается сам газостат. Этим достигается экономия времени и энергии.

Наиболее часто загрузка в газостат производится с открытием нижней крышки. Связано это с тем, что аргон легче кислорода, и при открытии нижней крышки горячий газ остается в рабочей камере газостата. При загрузке через

нижнюю крышку не требуется применения металлической корзины, которая в горячем состоянии может расплавиться и потерять форму.

Охлаждение садки всегда производится вместе с газостатом, так как не разработана технология выпуска в атмосферу горячего газа.

При загрузке в горячем состоянии применяют особые требования, чтобы детали газостата не окислялись на воздухе, поэтому газостаты с горячей загрузкой всегда более дорогие, чем газостаты с холодной загрузкой.

После газостатической обработки оболочку с детали удаляют чаще всего травлением (растворяют ее в кислоте или щелочи). Если стекло, то раскалывают. В последние годы пробуют технологии безоболочковой обработки порошковых заготовок. При такой технологии заготовку в начале формуют на прессе или в гидростате, где она приобретает необходимую форму.

4.3. Штамповка деталей из трубных заготовок

Трубные заготовки используются сравнительно редко, так как труба в 2 раза дороже прутка; по ГОСТу труба имеет большой допуск на разностенность, который составляет 10...12 % от толщины стенки; трубу невозможно резать в штампах, так как она деформируется.

Поэтому для производства полых поковок или заготовок трубной формы чаще используют техпроцесс, схематично показанный на рис. 79.

Трубу отрезают или на токарных станках, или пилами, чтобы не допустить ее деформации.

При работе с трубной заготовкой появляется одна из возможностей использования активных сил контактного трения (рис. 80).

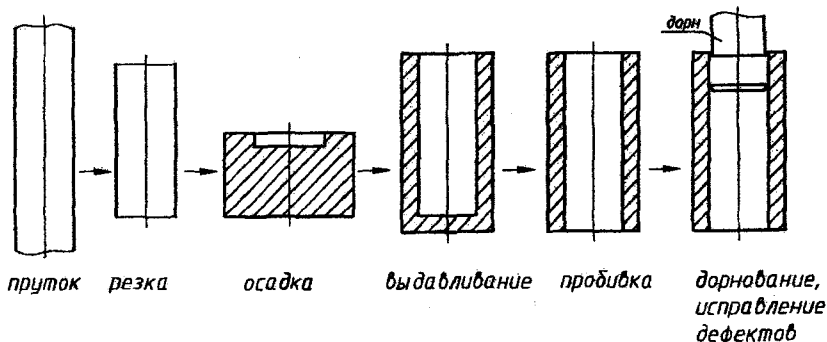


Рис. 79. Технологический процесс штамповки трубной поковки

Так как очаг пластической деформации находится в верхней части, а вытекающий металл из-за разницы поперечных площадей имеет более высокую скорость, то металл в трубной части увлекает за собой оправку, и создаются активные силы трения напротив очага пластической деформации.

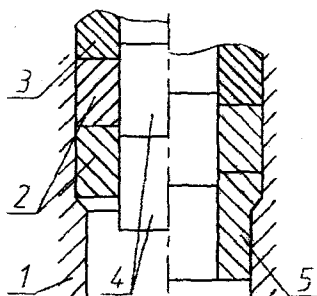


Рис. 80. Штамповка трубных заготовок с активными силами контактного трения по внутренней поверхности: 1 – матрица для прямого выдавливания; 2 – заготовки; 3 – трубный пуансон; 4 – закаленные оправки; 5 – выдавливаемая деталь

Изготовление фланца на трубных заготовках.

Штамповка в разъемной матрице

Штамповкой из трубной заготовки можно изготовить деталь с фланцем (рис. 81), при этом применяют разъемную матрицу. При прохождении пуансона 4 через полость заготовки 5 металл вытесняется в полость матрицы, формирующей фланец.

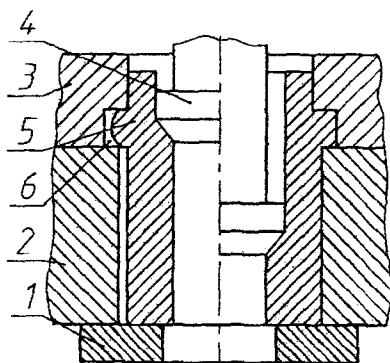


Рис. 81. Штамповка детали с фланцем из трубной заготовки: 1 – опорное кольцо; 2 – нижняя полуформа; 3 – верхняя полуформа; 4 – пуансон; 5 – заготовка; 6 – кольцевой паз

При правильном выборе степени обжатия металл из верхней части трубной заготовки заполняет кольцевую полость 6, и на заготовке образуется фланец.

Отверстие в опорном кольце 1 подбирают так, чтобы в конце рабочего хода коническая часть пуансона могла опуститься в это отверстие, а цилиндрическая часть пуансона могла завершить калибровку нижней части заготовки.

Штамповка из трубных заготовок имеет *преимущество* по сравнению со штамповкой из прутка, которое заключается в том, что удельная сила, действующая на инструмент при штамповке из трубных заготовок, значительно меньше, поэтому если нужно изготовить матрицу сложной формы, то тоже часто используют трубную заготовку.

При выдавливании матриц используют или холодную штамповку, или неполную холодную штамповку, при которой снимаются только остаточные напряжения в деформируемом металле, но отсутствуют процессы рекристаллизации.

На рис. 82 показано выдавливание, совмещенное с обжимом трубной заготовки. Эта операция называется выдавливанием, потому что в момент соприкосновения диаметр полости заготовки меньше диаметра окружности, описанной вокруг шестерни пуансона. Применяется она при изготовлении матриц.

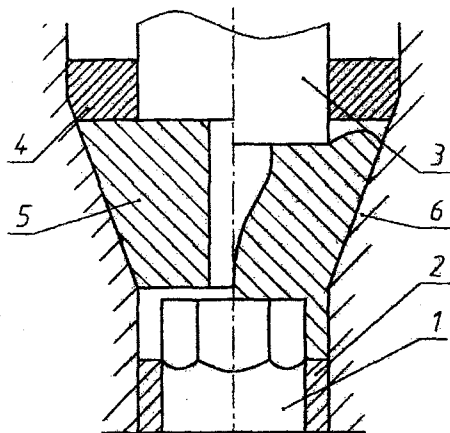


Рис. 82. Выдавливание полости сложной формы в заготовке из легированной стали с целью изготовления штампового инструмента (матрицы): 1 – мастер-пуансон; 2 – центрирующая втулка; 3 – толкатель; 4 – центрирующее кольцо; 5 – заготовка; 6 – матрица с конической полостью

4.4. Штамповка обкатыванием

Эта операция применяется для производства осесимметричных деталей (рис.83).

Схема обкатывания рейками приведена на рис. 84. Детали, изображенные на рис. 83, видны по стрелке А (рис. 84). Рейки сближаются между собой (стрелка В).

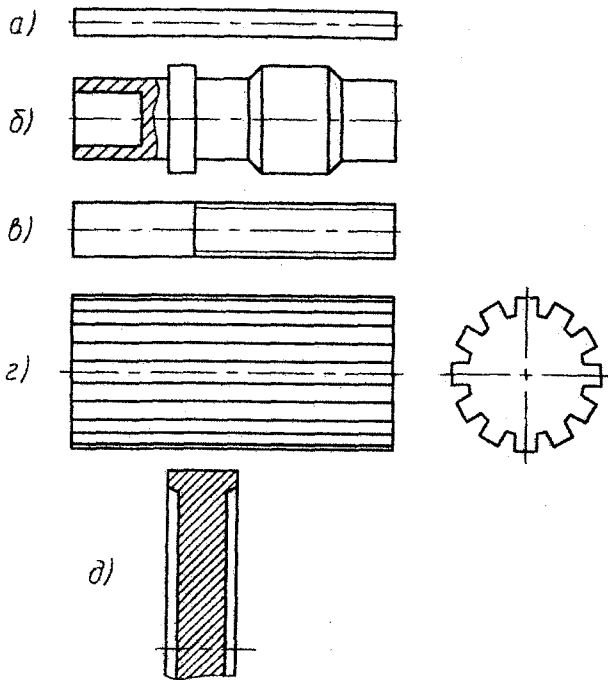


Рис. 83. Детали, изготавливаемые штамповкой с обкатыванием: а) калиброванные оси; б) ступенчатые валы, в том числе полые; в) валы с резьбой; г) валы со шлицами; д) плоские детали с бортом

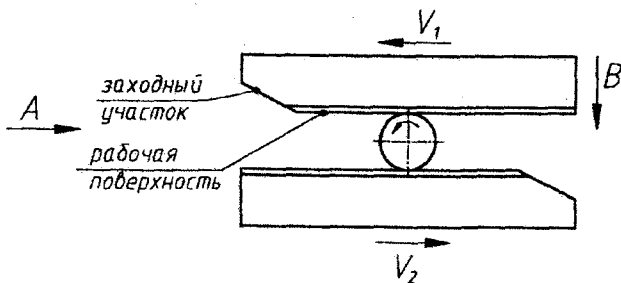


Рис. 84. Обкатывание рейками

Если скорости перемещения реек равны ($V_1=V_2$), то деталь при обработке остается на месте.

Операция обкатывания позволяет изготавливать детали с полостями (рис. 85).

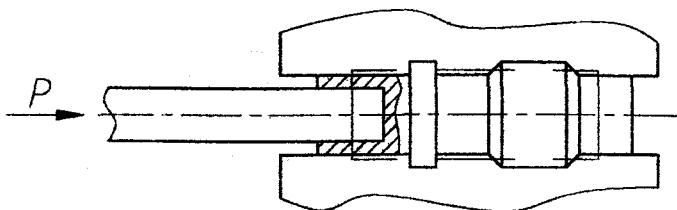


Рис. 85. Формирование полости при обкатывании: пунктиром показана исходная заготовка

Благодаря тому, что рейки имеют заходные участки, они способны захватить заготовку, имеющую диаметр, больший, чем основной диаметр изготавливаемой детали.

В процессе пластической деформации материал заготовки перераспределяется таким образом, что заготовка заполняет полости фланцев и удлиняется. Если при этом по центру заготовки в осевом направлении действует дополнительный пуансон силой P , то в заготовке выдавливается осевая полость. При этом удельная сила, действующая на пуансон, существенно ниже, чем при обычном выдавливании полости в заготовке, находящейся в матрице. Это связано с тем, что в этом случае гидростатическое давление (среднее сжимающее напряжение) существенно меньше, чем при выдавливании заготовки, помещенной в матрицу.

Для штамповки с обкатыванием создают специальные машины. Так как сила меньше, чем при обычной штамповке, то машины менее металлоемкие, чем прессы.

Рейки для обкатывания имеют рельефную поверхность (рис. 86).

При накатывании резьбы заготовка (вал) перемещается в осевом направлении без специального привода, а просто под действием реек.

Для повышения производительности обкатывания рейками применяют устройство, приведенное на рис. 87.

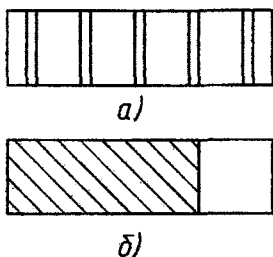


Рис. 86. Примеры рельефа реек: а) для накатывания детали со шлицами; б) для накатывания резьбы

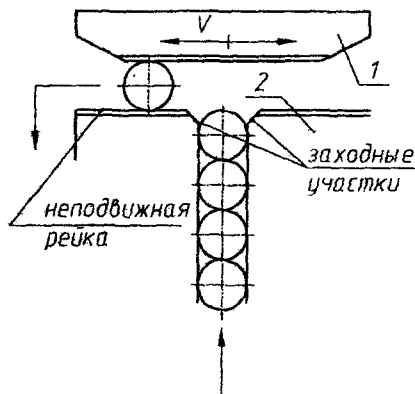


Рис. 87. Устройство для накатывания рейками, исключющее холостой ход:
 1 – подвижная рейка; 2 – неподвижные рейки

Обкатывание вращающимся инструментом

На рис. 88 приведена схема обкатывания двумя, а на рис. 89 – тремя вращающимися валками.

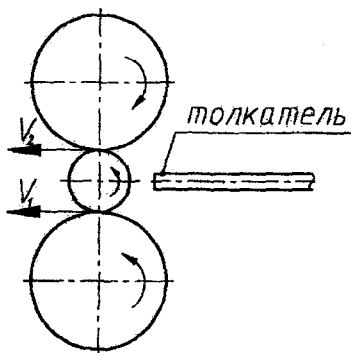


Рис. 88. Схема обкатывания двумя вращающимися валками

Для того чтобы заготовка втягивалась в рабочее пространство между валками, проходила через это рабочее пространство и выпадала с противоположной стороны, скорости валков должны быть разные ($V_2 > V_1$). Это достигается или вращением валков с разными угловыми скоростями, или использованием валков разных диаметров при одинаковых скоростях их вращения.

Если сила трения недостаточна для затягивания заготовки, ставят толкатель.

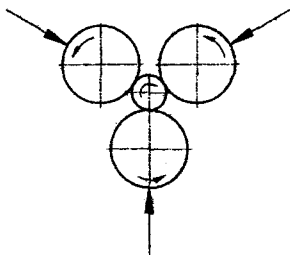


Рис. 89. Схема обкатывания тремя вращающимися валками

Преимущество изображенной на рис. 89 схемы заключается в том, что можно деформировать более хрупкие материалы, так как при обработке увеличивается гидростатическое давление.

Обкатывание в барабанах

Названная операция становится понятна при рассмотрении рис. 90.

Заготовка (рис. 90, а) обрабатывается в сужающемся по мере ее прохождения зазоре между барабаном, вращающимся со скоростью ω_1 и валком, вращающимся внутри барабана со скоростью ω_2 .

Можно использовать только часть барабана (рис. 90, б) в виде неподвижного сегмента.

Именно на схеме с неподвижным сегментом основана операция *гуртовка*. Гуртовка применяется в монетном производстве. Тип изготавливаемых деталей приведен на рис. 83, д.

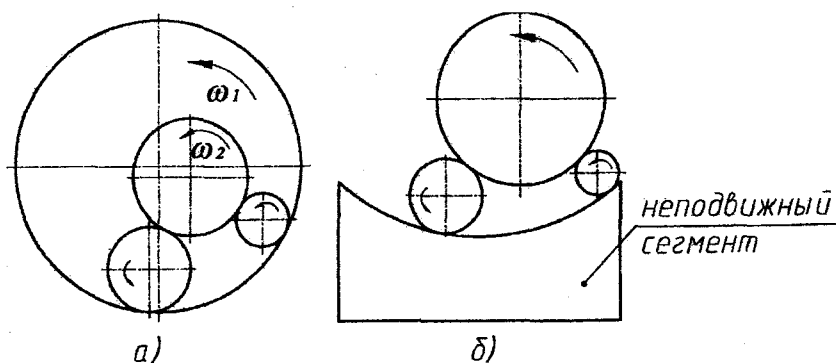


Рис. 90. Обкатывание в барабанах: а) оба барабана вращаются; б) вместо внешнего барабана использован неподвижный сегмент

Валковая штамповка

Так называется выполнение штамповки с обкатыванием на обычных прессах (например, гидравлических) (рис. 91).

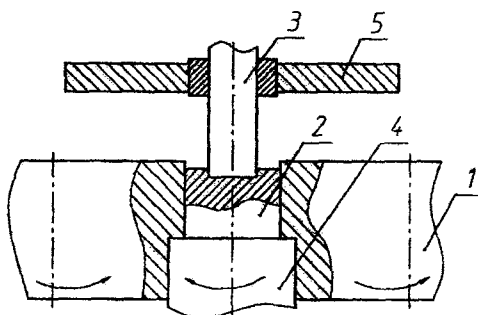


Рис. 91. Валковая штамповка: 1 – валки; 2 – обрабатываемая заготовка; 3 – пуансон; 4 – контрпуансон, задающий вращение; 5 – съемник

При этой операции выполняют глубокие полости в штампуемых заготовках. Внешняя поверхность изготавливаемых изделий может иметь фланцы в любом месте по высоте, а внутренняя поверхность может быть ступенчатой, но всегда расширяющейся в сторону от дна к деформирующему пуансону.

При валковой штамповке, как и при рассмотренной выше операции штамповки обкатыванием вращающимся инструментом, могут быть применены два или три валка. При трех валках создается более высокое всестороннее сжатие заготовки, что предотвращает ее разрушение при штамповке малопластичных материалов.

Поперечно-клиновья прокатка

Способ (рис. 92) предназначен для того, чтобы удлинить часть заготовки меньшего диаметра, расположенную между двумя фланцами, посредством перераспределения материала фланцев в эту удлиняемую часть заготовки.

Поперечно-винтовая прокатка

Все операции, выполненные с использованием прокатных технологий, существенно производительнее, чем штамповка на прессах. Напомним, однако, что для их промышленного применения требуется создание специализированного оборудования.

К таким высокопроизводительным операциям относится поперечно-винтовая прокатка (рис. 93).

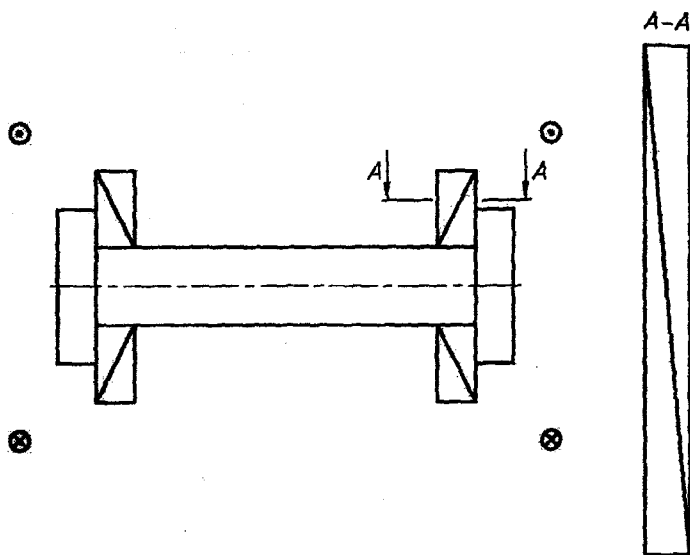


Рис. 92. Поперечно-клиновья прокатка

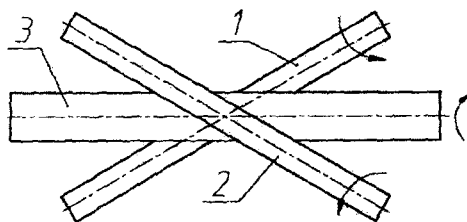


Рис. 93. Поперечно-винтовая прокатка: 1, 2 – валки; 3 – заготовка

Благодаря наклону валков создается сила, продвигающая формуемую заготовку в осевом направлении. Это позволяет изготавливать также полые изделия (рис. 94).

Процесс применяется, в частности, при производстве корпусов снарядов. В это направление большой вклад внесли сотрудники кафедры обработки металлов давлением МГТУ МИСИС.

Поперечно-винтовая прокатка может быть применена для штамповки шариков для подшипников (рис. 95).

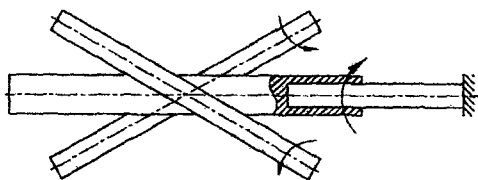


Рис. 94. Производство полых изделий поперечно-винтовой прокаткой

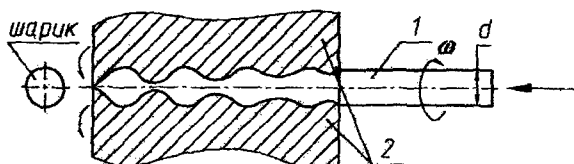


Рис. 95. Производство шариков поперечно-винтовой прокаткой:
1 – заготовка; 2 – валки

Объемная штамповка с обкатыванием (сферодвижная штамповка)

Такой штамповкой изготавливают осесимметричные детали (рис. 96).

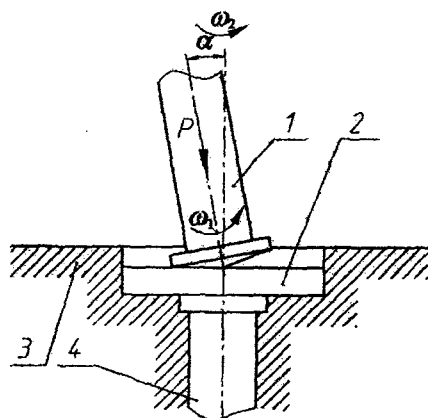


Рис. 96. Объемная штамповка с обкатыванием

Пуансон вращается вокруг своей оси со скоростью ω_1 , совершает обкатывающее движение вокруг оси заготовки 2 со скоростью ω_2 и перемещается поступательно вниз, деформируя заготовку 2 в матрице 3.

Способы штамповки фланцев на трубных заготовках
обкатыванием роликами

При обкатывании роликами 4 (рис. 97) трубную заготовку 3 устанавливают в матрицу 1 на задающий вращение шпиндель – выгалькиватель 2.

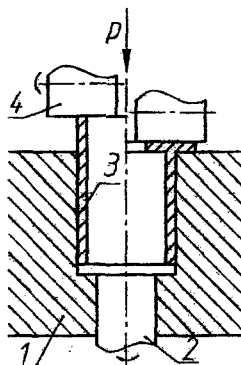


Рис. 97. Схема обкатывания роликами без ограничения формы формируемого фланца: 1 – матрица; 2 – вращающийся шпиндель; 3 – втулка-заготовка; 4 – ролик, совершающий обкатку

Недостатком является возможность вытекания металла во фланец как во внешнюю, так и во внутреннюю стороны.

Для ограничения течения металла внутрь применяют оправку.

С целью ограничения формы фланца при обкатывании применяют способы, схематично изображенные на рис. 98, 99.

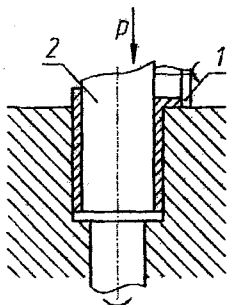


Рис. 98. Схема обкатывания роликом 1, имеющим ступенчатую форму для ограничения размера фланца снаружи, размер внутри ограничен оправкой 2

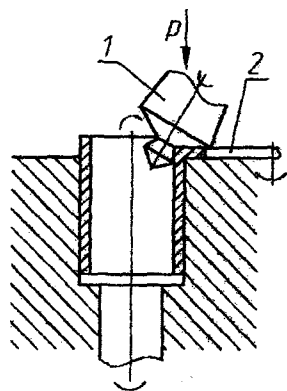


Рис. 99. Схема обкатывания инструментом 1, совершающим сферодвижное перемещение и роликом 2, ограничивающим фланец снаружи

4.5. Штамповка с раскаткой

С помощью раскатки увеличивается диаметр кольцевой заготовки при одновременном уменьшении толщины кольца (рис. 100).

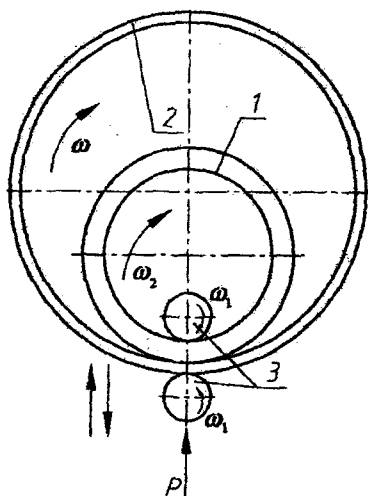


Рис. 100. Раскатка колец: 1 – обрабатываемая заготовка; 2 – калибрующее кольцо из закаленной инструментальной стали; 3 – валки

Верхний валок – неподвижный, нижний поджимает заготовку силой P .

При вращении валков 3 и постепенном подъеме нижнего валка последовательно уменьшается толщина стенки заготовки 1 и увеличивается ее диаметр. Диаметр заготовки увеличивается до тех пор, пока она не упрется в калибровочное кольцо 2.

Раскатка колец может быть также осуществлена по схеме, приведенной на рис. 101.

Заготовка 1 обрабатывается валками 2, которые вращаются со скоростью ω . Заготовка за счет сил трения также приобретает вращательное движение. Высота заготовки уменьшается, а ее диаметр увеличивается до тех пор, пока внешняя поверхность не достигает калибрующего кольца 4. Валки сближаются между собой за счет силы P . В результате обработки заготовка 1 приобретает форму поковки 3.

Поскольку внутри заготовки отсутствует калибровочная оправка, то внутренняя поверхность поковки 3 имеет криволинейную форму.

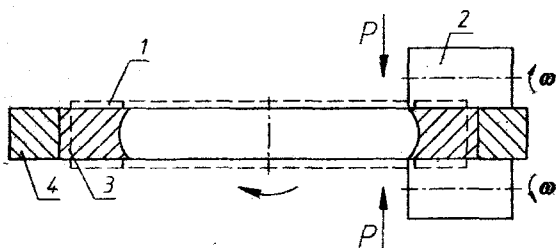


Рис. 101. Раскатка колец при воздействии валков на торцы заготовки

4.6. Импульсные методы штамповки

В отличие от штамповки на прессах, в гидростатах и газостатах штамповка взрывом (ШВ) может применяться в нестационарных условиях. Используется только один инструмент (пуансон или матрица). В качестве второго инструмента используется подвижная среда. Широко применяется ШВ в судостроении. Благодаря высокой скорости деформирования при ШВ уменьшается упругое пружинение и увеличивается предельная пластичность обрабатываемого материала, хорошо заполняются тонкие ребра. Формоизменение при ШВ происходит не столько вследствие скольжения в зернах по плоскостям скольжения, сколько вследствие двойникования.

Взрывчатые вещества включают в себя: бризантные (тротил, динамит, аммонит); метательные (порох); иницирующие (азид свинца, гремучая ртуть); горючие газовые смеси (метан с кислородом, водород с кислородом).

Бризантные вещества (БВВ) детонируют. *Детонация* – это процесс химического превращения взрывчатого вещества в очень тонком слое, распространяющийся со скоростью до 9 км/с.

При использовании порохов и газовых смесей могут быть горение и детонация. В первом случае скорость 10 – 12 м/с, во втором – 3 – 3,5 км/с.

Контактная штамповка БВВ показана на схеме на рис. 102.

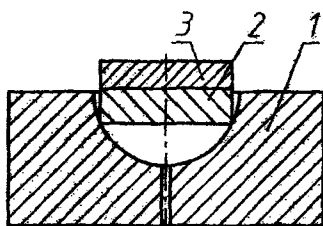


Рис. 102. Схема контактной штамповки БВВ: 1 – матрица; 2 – заготовка; 3 – БВВ

Давление на поверхность заготовки ($10^4 \dots 10^5$) МПа действует в течение нескольких микросекунд. Формоизменение металла связано как с непосредственным воздействием давления, так и с последующим распространением волн напряжений. При таком воздействии заготовка разрушается, поэтому схема в производстве изделий не применяется.

С целью снижения давления применяется штамповка с использованием воздуха в качестве передающей среды (рис. 103).

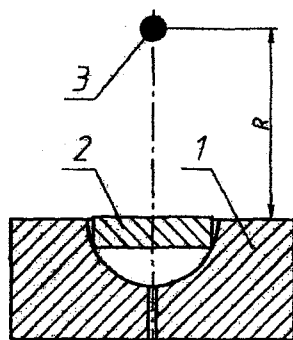


Рис. 103. Схема штамповки с использованием воздуха в качестве передающей среды: 1 – матрица; 2 – заготовка; 3 – БВВ; R – подбираемое расстояние

Давление на поверхность заготовки 100...3000 МПа. Разгон и последующая деформация заготовки определяются внешними силами. Волны напряжений в заготовке незначительны.

В качестве передающей среды могут быть использованы жидкость или сыпучий материал. В этих случаях изображенное устройство помещают в бро-

нированный контейнер, заполненный соответственно водой или сыпучим материалом.

При использовании в качестве передающей среды жидкости или сыпучего вещества давление на заготовку в несколько раз больше, чем при использовании воздуха. Обычно жидкой передающей средой служит вода (рис. 104), которая предотвращает проникновение продуктов взрыва в металл заготовки и уменьшает звуковой эффект. Сыпучие среды (песок, металлические порошки) применяют при штамповке с подогревом.

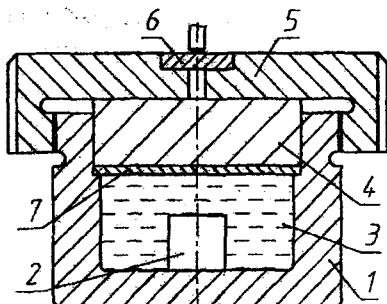


Рис. 104. Штамповка взрывом с использованием воды в качестве передающей среды: 1 – корпус; 2 – заготовка; 3 – вода; 4 – БВВ; 5 – крышка, навинченная на резьбу; 6 – капсюль; 7 – мембрана, разделяющая воду и БВВ

Для БВВ нет необходимости отвода образовавшихся газов.

При штамповке крупных заготовок устройство помещают в специальный бассейн с бронированным корпусом (рис. 105).

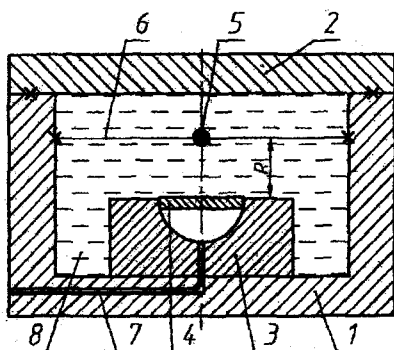


Рис. 105. Штамповка крупногабаритных заготовок: 1 – корпус бассейна; 2 – крышка корпуса, прикрепляемая к корпусу стяжными болтами; 3 – матрица; 4 – деформируемая заготовка; 5 – БВВ (заряд); 6 – устройство крепления заряда; 7 – канал для выхода воздуха; 8 – вода

Расчет технологического процесса состоит в определении массы заряда и расстояния R между зарядом и заготовкой.

Удаление воздуха в процессе штамповки путем его вытеснения самой заготовкой применяется редко. Кратковременность процесса взрывного деформирования приводит к тому, что воздух не успевает выйти из матрицы, и происходит недоштамповка детали. Поэтому воздух из матрицы удаляют с помощью вакуумного насоса. При этом между заготовкой и матрицей прокладывают уплотнительные кольца.

Бассейны бывают цельнометаллическими или железобетонными с металлической облицовкой. Обычно диаметр бассейна в 2 – 3 раза превышает габариты штампуемых деталей. Глубина бассейна должна обеспечить достаточную высоту столба воды над заготовкой и зарядом БВВ.

Металлические бассейны заглубляют в грунт, опуская в бетонированные ямы. При этом пространство между стенками бассейна и бетонированной ямы засыпают песком. Между днищем металлического бассейна и бетонным фундаментом обычно помещают амортизирующие материалы (резину, дерево).

Развитие взрыва в воде и его взаимодействие с заготовкой показано на рис. 106.

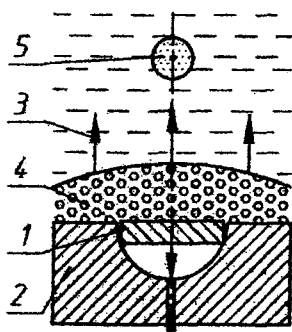


Рис. 106. Схема развития взрыва в воде: 1 – заготовка; 2 – матрица; 3 – отраженная ударная волна; 4 – область кавитации; 5 – газовый пузырь

Ударная волна от взрыва БВВ распространяется в воде по сферическому фронту со скоростью около 1500 м/с. Вслед за распространением ударной волны происходит расширение продуктов детонации – образуется газовый пузырь. Газовый пузырь вначале расширяется, но когда давление в нем становится меньше гидростатического давления в жидкости, он начинает сжиматься. Происходят пульсации газового пузыря.

Механизм передачи энергии к заготовке зависит от расстояния между зарядом и заготовкой. При расстояниях меньше 10 радиусов заряда энергия передается ударной волной, гидротоком и газовым пузырем. При расстояниях

свыше 60 радиусов – только ударной волной. При расстояниях больше 10 радиусов и меньше 60 – ударной волной и гидротоком.

Ударная волна, достигнув заготовки, частично расходится на деформацию заготовки, а частично отражается. Если заготовка податлива, она может оторваться от воды, в этом случае образуется зона кавитации.

Кавитация – образование пустот в движущейся жидкости. При образовании кавитации давление на заготовку падает до нуля, и ее движение замедляется. Однако через некоторое время гидроток догоняет заготовку и сообщает ей дополнительный импульс. Это необходимо учитывать при расчете расстояния от заготовки до заряда БВВ.

Заряд БВВ обычно имеет форму сферы, сплошного или полого цилиндра, конуса, листа, шнура и определяется формой изделия. Например, для изделия с протяженной выемкой нужен заряд в виде шнура или стержня.

Для успешной штамповки необходимо регулировать время воздействия ударной волны, так как существует некоторая максимальная энергия, которую может выдержать заготовка за определенное время.

Возможно осуществление штамповки метанием передающей среды (рис. 107).

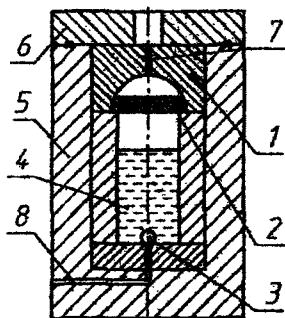


Рис. 107. Схема штамповки метанием воды: 1 – матрица; 2 – заготовка; 3 – заряд БВВ; 4 – вода; 5 – корпус; 6 – крышка корпуса, прикрепленная болтами; 7 – канал для отвода воздуха; 8 – канал для подвода детонирующей струи

Штамповка метанием передающей среды позволяет регулировать нагрузку изменением массы передающей среды, осуществлять штамповку нагретой заготовки с помощью жидкой передающей среды.

Штамповка взрывом в песке осуществляется по схеме, приведенной на рис. 108.

Все устройство размещается в бронированной яме и предназначено для ГОШ заготовки 3. Нагретую заготовку надевают на пуансон и засыпают песком до высоты заряда 4. Затем устанавливают заряд, засыпают песком до нужной высоты и закрывают крышку.

При подрыве заряда 4 происходит как деформирование заготовки 3, так и разрушение корпуса 7. При этом песок ударяет по стенкам бронированной ямы и осыпается на пол вокруг установки.

Штамповка пороховыми зарядами, в отличие от БВВ, осуществляется путем давления на заготовку газов, выделяющихся при сгорании. Это давление существенно ниже, чем при детонации БВВ, поэтому штамповку пороховыми зарядами применяют при деформировании листовых заготовок.

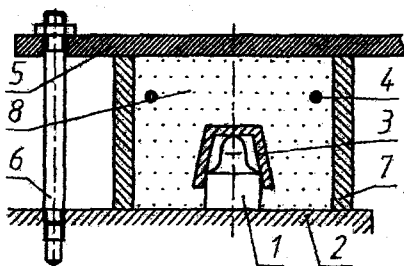


Рис. 108. Схема штамповки взрывом в песке: 1 – пуансон; 2 – основание установки ВШ; 3 – заготовка; 4 – БВВ (кольцевой заряд); 5 – верхняя крышка; 6 – стяжные шпильки; 7 – разрушаемый (одноразовый) корпус; 8 – песчаная передающая среда

В нашем курсе методов и устройств объемной штамповки сжигание порохов применяют в качестве источника энергии в пресс-пушках. Это нечто похожее на копер, но снаряд (боек) разгоняется под действием давления пороховых газов, перемещается по гладкому каналу ствола и ударяет по жидкости, находящейся над заготовкой. Жидкость осуществляет деформирование заготовки. Однако энергии, генерируемой в жидкости, достаточно только для объемной штамповки легкодеформируемых материалов ($p = 300 \dots 500$ МПа).

При штамповке горючими газовыми смесями может быть использован взрыв, подобно детонирующим ВВ, или газовые смеси могут использоваться в условиях горения. Второе, как и пороха, применяется для листовой штамповки, поскольку при горении скорость воздействия на заготовку (и энергия) существенно ниже, чем при детонации. Детонация газовых смесей может быть использована при деформировании небольших заготовок, когда оснастка обеспечивает достаточную прочность.

Схема детонационного газового пресса приведена на рис. 109.

Газовая смесь может быть подготовлена к взрыву в кратчайшее время без специальных устройств. Смесь заполняет емкость, что исключает влияние формы заряда и расстояние до его центра.

В результате воздействия падающей и отраженной волн заготовка пластически деформируется и принимает форму полости матрицы.

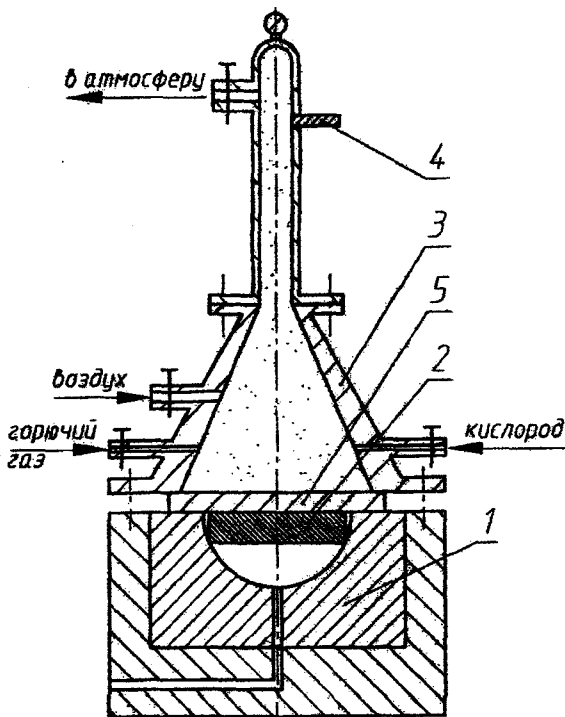


Рис. 109. Схема детонационного газового пресса: 1 – матрица; 2 – заготовка; 3 – камера сгорания; 4 – запальное устройство; 5 – герметизирующая мембрана

Для формования высоких тонкостенных порошковых втулок применяют магнитно-импульсную штамповку (рис. 110).

Когда происходит разряд в индукторе, наводится электрическое поле в втулке 3. Поскольку индуктор не может расшириться (его удерживает обойма 5), то двигаться внутрь приходится втулке 3. Если бы между втулкой и обоймой не было порошковой заготовки, то это была бы обычная операция листовой штамповки – сборка между собой внутренней детали 2 и втулки 3. В данном случае между ними находится порошковая заготовка 1, которая получает уплотнение.

Если бы не было втулки 3, которую еще называют спутником, то поле в порошковой заготовке было бы слабым из-за наличия пор. Это самый эффективный способ уплотнения высоких тонкостенных порошковых втулок, поскольку при уплотнении в штампах сила контактного трения не позволяет хорошо уплотнить среднюю, наиболее удаленную от торцов, часть заготовки.

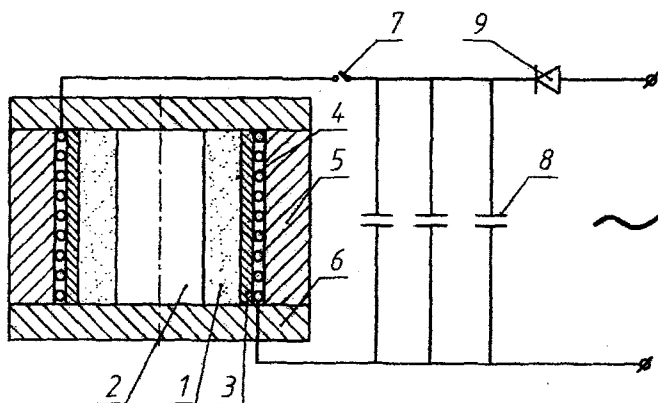


Рис. 110. Схема устройства магнитно-импульсной штамповки порошковых втулок: 1 – засыпанная между оправкой 2 и втулкой 3 порошковая заготовка; 4 – индуктор; 5 – обойма; 6 – крышки; 7 – разрядник; 8 – конденсаторная батарея; 9 – выпрямитель электрического тока

Магнитно-импульсная штамповка отличается возможностью очень точного дозирования силы воздействия на заготовку.

Во всех рассмотренных процессах с использованием приблизительно таких же схем размещения источников ударной волны могут быть использованы не заряды взрывчатого вещества, а электроды.

Тогда процесс носит название электрогидравлической штамповки (рис. 111).

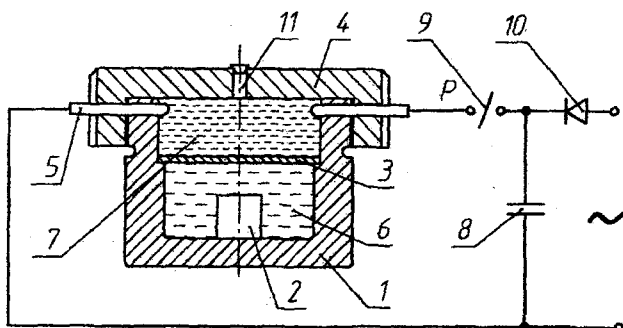


Рис. 111. Схема процесса электрогидравлической штамповки: 1 – корпус; 2 – штампуемая заготовка; 3 – мембрана; 4 – крышка с каналом 11 для залива воды, со шлицами, чтобы завернуть ее по резьбе; 5 – электроды; 6 – жидкость, осуществляющая штамповку; 7 – вода, в которой происходит электрический разряд; 8 – конденсаторная батарея; 9 – разрядник; 10 – выпрямитель электрического тока; 12 – заглушка

Благодаря тому, что предусмотрена мембрана 3, в эксперименте можно использовать разные рабочие жидкости 6 и 7. На контакты при взрывной штамповке на вход подается напряжение от 5 до 40 кВ. В силу прохождения электрического тока, происходит разогрев в некотором канале между электродами. Этот разогрев сопровождается тем, что величина тока возрастает и еще более усиливает разогрев. Температура может достигать 10^4 К. При этом в канале вода преобразуется в плазму. Эффект колебаний, вызываемых плазмой, распространяется на большие расстояния. В целом эффект не меньше, чем от действия бризантного взрывчатого вещества. Канал, который образуется и по которому будет проходить разряд, может иметь неправильную форму. Чтобы упорядочить движение между электродами, ставят инициатор – тонкий провод, припаяваемый к электроду, который перегорает в первую же секунду. Создаваемая энергия составляет $10^2 - 10^5$ Дж, за время $10^{-7} - 10^{-4}$ с.

4.7. Навивка пружин на автоматах

Пружинные материалы должны обладать устойчивыми во времени упругими свойствами, значительной прочностью, а также пластичностью.

Холодным способом навивают пружины из проволоки до 16 мм. Проволоку применяют как предварительно упрочненную до навивки, так и в отожженном состоянии. При изготовлении из упрочненной проволоки пружины после навивки подвергают низкотемпературному отпуску. В результате увеличивается упругий участок нагружения пружины, так как проходит искусственное старение, и по плоскостям скольжения выпадают мелкодисперсные карбидные частицы.

При изготовлении из неупрочненной проволоки пружины подвергают закалке и отпуску.

Для упрочнения самой проволоки применяют два способа: мартенситное превращение в результате закалки и отпуска и деформационный наклеп в результате волочения.

В зависимости от механических свойств установлены 4 класса проволоки: I, II, III, IV. Проволока I класса наиболее прочная.

Из материалов, предназначенных для холодной или горячей навивки с последующей закалкой и отпуском готовой пружины, наиболее распространены прутки или проволока из кремнистых или хромованадиевых сталей 60С2А, 70С3А, 65С2ВА, 50ХФА. Для удешевления производства применяют пружинные стали 65Г, 65ГА.

Если навивка производится в горячую, реализуют процесс ВТМО (высокотемпературной термомеханической обработки). В этом процессе закалку проводят сразу после пластической деформации, не допуская остывания заготовки. При этом закалка наследует полученную в процессе пластической деформации структуру мелких фрагментированных частиц.

Чтобы пружины не были хрупкими, реальный диапазон их твердости HRC42...48, что соответствует $\sigma_B = 1400...1760$ МПа. Формула связи между σ_B и HRC следующая:

$$\sigma_B = [0,13(\text{HRC})^2 - 5,8\text{HRC} + 155]10 \text{ МПа.}$$

Современная технология термообработки пружин позволяет получить узкий диапазон твердости. Поэтому расчет пружин проводят по минимальному значению в диапазоне твердости. От твердости пружины следует отличать значение твердости материала до изготовления пружины, существенное колебание которого недопустимо, так как то колебание оказывает влияние на протекание процесса навивки.

При применении проволоки I класса с более высоким пределом прочности нужна оправка меньшего диаметра. При применении проволоки II класса диаметр оправки нужно увеличить. Важна также стабильность механической прочности по длине проволоки. Поэтому для изготовления пружин из сталей, закаливаемых после навивки, часто проводят стабилизационный отжиг проволоки в печах с защитной атмосферой.

Стабильность упругих свойств пружинных материалов или самих пружин проверяют при холодном или температурном заневоливании на 24...48 часов. Процент потери пружины сопротивления нагрузке не должен превышать заданного.

Наибольшей устойчивостью к релаксации напряжений обладают пружинные стали с содержанием ванадия (50ХФА, 70ХГФА).

Наименьшей устойчивостью к релаксации напряжений при обычной температуре обладают пружины, изготовленные из высоконагартованной проволоки I класса.

Динамическая прочность, выносливость или долговечность – важнейший показатель для пружин с многоцикловой нагрузкой. Чаще всего на выносливость испытывают не проволоку, а сами пружины.

Существуют следующие способы повышения несущей способности и выносливости пружин, рассмотренные ниже.

Заневоливание – сжатие до соприкосновения витков и выдержка в таком состоянии в течение 24...48 часов. Напряжения на наружных поверхностях витков близки к условному пределу текучести, поэтому за длительное время они частично релаксируют. Пружина после разгрузки уменьшается по высоте, но при дальнейшей эксплуатации не меняет своих упругих характеристик.

Пластическая холодная осадка пружин, навитых с шагом большим, чем требуется, также является последней операцией изготовления. Осадку производят до соприкосновения витков, при этом деформация наружных волокон сечения витка превышает упругую деформацию на 50...100 %. Осадку проводят однократную или трехкратную без значительной выдержки во времени. При разгрузке осажённой пружины сердцевина ее витков, деформированная упруго, стремится освободиться от напряжений и вернуться в исходное положение, что не может осуществиться полностью, так как данный процесс тормозится пластически деформированными наружными слоями витков. Происходит действие, так называемых, остаточных напряжений I рода.

Возникшие остаточные напряжения, складываясь с напряжениями от рабочего нагружения, уменьшают последние, что позволяет повысить допустимую нагрузку пружины при эксплуатации.

Термоосадка: пружину перед осадкой нагревают до температуры 300...400 °С, дополнительно реализуется эффект НТМО (низкотемпературной термомеханической обработки).

Дробеструйный или *дробеметный наклеп* наиболее распространен из всех методов поверхностного упрочнения пружин. На поверхности витков создаются остаточные напряжения сжатия, препятствующие раскрытию усталостных трещин и повышающие предел выносливости на 40...80 %.

С увеличением скорости, увеличением диаметра дроби и с уменьшением предела прочности обрабатываемого пружинного материала глубина наклепа увеличивается. После наклепа пружины подвергают низкотемпературному отпуску при 180...220 °С в течение 30 минут.

Гидроабразивную обработку осуществляют воздействием на поверхность пружин струей жидкости, подающейся под давлением и содержащей абразивные зерна. Глубина наклепа меньше, чем при дробеструйной обработке. Но здесь существенней повышается коррозионная стойкость пружин.

Холодной навивкой изготавливают пружины с диаметром проволоки до 16 мм.

Винтовые пружины можно навивать на оправку по схеме «растяжение + изгиб» (рис. 112) и с помощью подающих роликов на упорные штифты по схеме «сжатие + изгиб» (рис.113, 114).

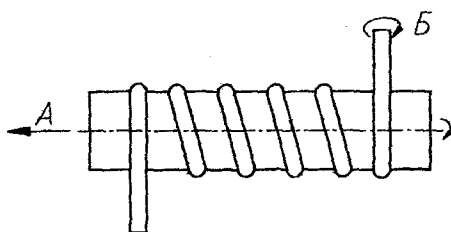


Рис. 112. Навивка пружины на оправку по схеме «растяжение + изгиб»

Навивку на вращающуюся оправку применяют в автоматах для навивки пружин кручения.

Развод витков осуществляют смещением оправки по стрелке А. Если осуществлять скручивание проволоки (по стрелке Б), то можно получить пружины с межвитковым давлением (с предварительной нагрузкой витков).

Недостатком навивки на оправку является невозможность регулирования диаметра без смены оправки.

Способ навивки по схеме «изгиб + сжатие» не имеет этих недостатков и получил наибольшее распространение.

Одноштифтовая (одноупорная) схема навивки показана на рис. 113.

Проволока 1 подается роликами с канавками. Она поджимается к оправке 2 с помощью упора 3.

Упор отводится от вертикальной (по схеме) оси оправки на угол φ_1 . Величину угла φ_1 можно увеличивать до тех пор, пока проволока не потеряет своего контакта с оправкой в правой нижней четверти на схеме. Клин 4 устанавливают между первым витком и направляющей планкой.

Если контакт нарушится, то необходим второй упор, чтобы калибровать диаметр витка пружины. В этом случае переходят к двухштифтовой (двухупорной) схеме навивки, которая показана на рис. 114.

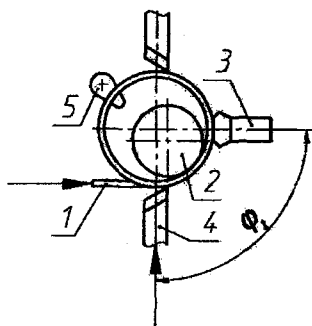


Рис. 113. Навивка (одноштифтовая) по схеме "сжатие + изгиб":
1 - проволока; 2 - оправка; 3 - упор; 4 - клин, задающий шаг пружины;
5 - шаговая лапка, перемещающаяся вдоль оси спирали

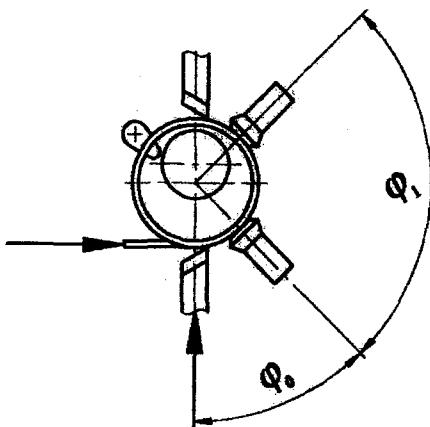


Рис. 114. Навивка (двухштифтовая) по схеме "сжатие + изгиб"

4.8. Изготовление отрезкой от прутка цилиндрических заготовок высокой точности

Схема операции закрытой отрезки с осадкой в ножах приведена на рис. 115.

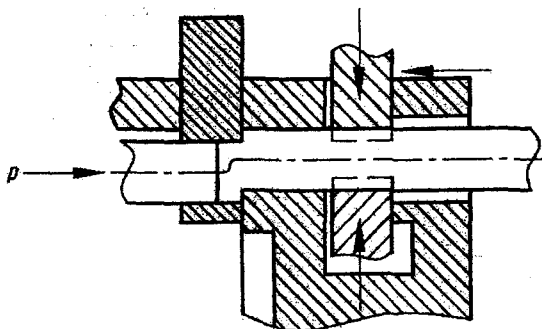


Рис. 115. Схема закрытой отрезки

Исследования, проведенные в МГТУ «Станкин», показали, что для отрезки геометрически точных заготовок удельная сила p осевого сжатия должна составлять $(2 - 5)\sigma_T$ разрезаемого материала. Величина допустимой осевой силы лимитируется только силой поперечного зажима, удерживающего прутки от смещения.

Разработаны несколько конструкций устройств для закрытой отрезки. Некоторые из них по сложности соизмеримы с конструкцией пресса. Наиболее рациональная конструкция такого устройства приведена на рис. 116.

Пруток 1 цанговым подающим устройством 2 вводится в отверстие неподвижного ножа 3, имеющего заходный конус, и продвигается на величину подачи. При продвижении через коническую поверхность в ноже 3 пруток 1 подвергается редуцированию с целью калибровки по диаметру со значения d_n до d . При движении вниз ползуна 6 регулируемый упор 7 перемещает клин 8, который через клиновую ползушку 4 сжимает отрезаемую часть прутка в замкнутой полости ножей. Необходимая величина осевой силы достигается регулировкой упора 7 относительно бойка 5. При дальнейшем движении ползуна пресса боек 5 перемещает подвижный нож 9 вниз, и происходит отрезка заготовки в условиях всестороннего сжатия металла в зоне реза.

Удаление отрезанной заготовки происходит перемещением ползушки 4 от клина 10. При обратном ходе ползуна пресса подвижный нож возвращается в исходное положение силой Q буферного устройства.

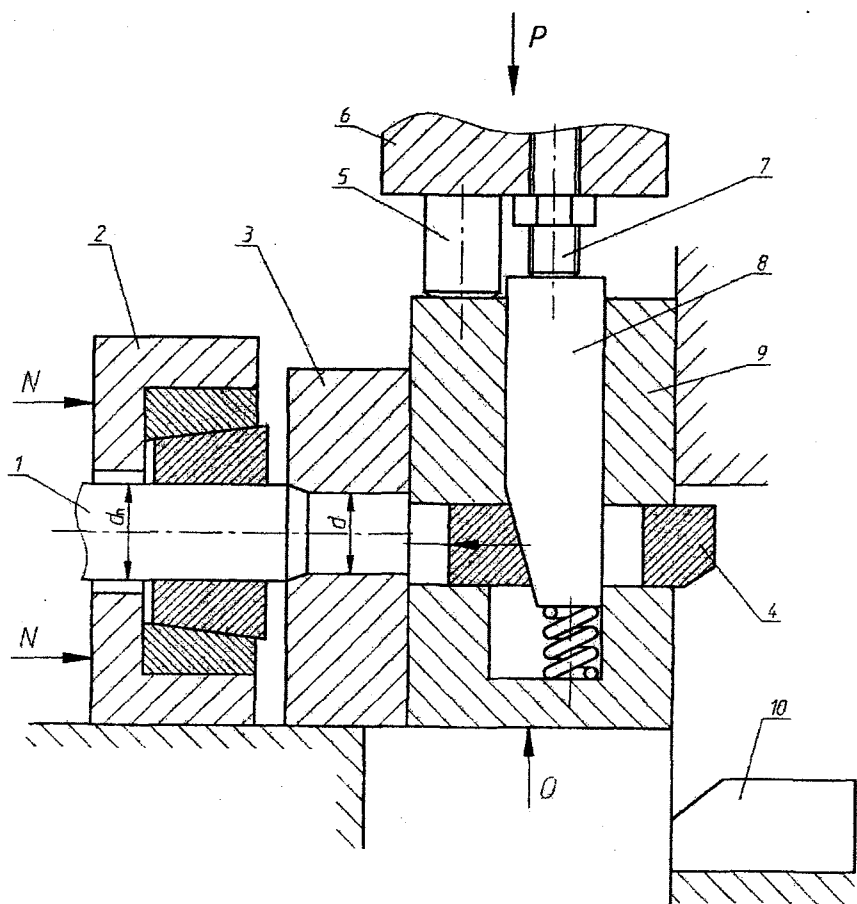


Рис. 116. Устройство для закрытой резки заготовки

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии рассмотрен комплекс технологических процессов специальных методов объемной штамповки. Из их анализа видно, что эффективно применять рассмотренные методы на практике можно только при создании специализированного технологического оборудования для реализации этих технологических методов.

Создаваемое специализированное оборудование, как правило, существенно малогабаритнее и проще, чем универсальные кузнечно-штамповочные прессы и молоты.

В целом специальные методы объемной штамповки в совокупности со специализированным технологическим оборудованием для их реализации – это отдельное научно-техническое направление, развитие которого позволит существенно интенсифицировать обработку материалов давлением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романовский, В.П. Справочник по холодной штамповке / В.П. Романовский. – 6-е изд. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. – 520 с.
2. Машиностроение. Энциклопедия / ред. совет: К.В. Фролов (пред.) [и др.]. Машины и оборудование кузнечно-штамповочного и литейного производства. Т. 4 / Ю.А. Бочаров, И.В. Матвеевко [и др.]; под общ. ред. Ю.А. Бочарова, И.В. Матвеевко. – М.: Машиностроение, 2005. – 926 с. Пункт 2.10.2. Специализированные прессы. – С. 175-180.
3. Клячко, Л.И. Оборудование и оснастка для формования порошковых материалов / Л.И. Клячко, А.М. Уманский, В.Н. Бобров. – М.: Металлургия, 1986. – 336 с.
4. Прогрессивные технологические процессы штамповки деталей из порошков и оборудование / Г.М. Волкогон, А.М. Дмитриев, Е.П. Добряков [и др.]; под общ. ред. А.М. Дмитриева, А.Г. Овчинникова. – М.: Машиностроение, 1991. – 320 с.
5. Лякишев, Н.П. Наноматериалы конструкционного назначения / Н.П. Лякишев, М.И. Алымов, С.В. Добаткин // Конверсии в машиностроении. – 2002. – № 6. – С. 125-129.
6. Гуляев, Ю.В. Углеродные нанотрубные структуры – новый материал для эмиссионной электроники / Ю.В. Гуляев // Вест. Российской академии наук.–Т. 73. – 2003. – № 5.– С. 389-391.
7. Валиев, Р.З. Развитие РКУ прессования для получения ультрамелкодисперсных металлов и сплавов / Р.З. Валиев // Матер. конф. V Междунар. форума "Высокие технологии XXI века". – М., 2004. – С. 382-387.
8. Сегал, В.М. Обработка литых образцов простым сдвигом / В.М. Сегал, О.А. Ганаго, Д.А. Павлик // Кузнечно-штамповочное производство. – 1980. – №2. – С. 7-9.
9. Пластическая обработка металлов простым сдвигом / В.М. Сегал, В.И. Резников, А.Е. Дробышевский [и др.] // Металлы. – 1981.–№ 1. – С. 99-105.
10. Церна, И.А. Анализ механического устройства разгрузки винтового пресса для штамповки с кручением / И.А. Церна, А.В. Сафонов // Изв. вузов. – М.: Машиностроение, 1885. – № 11. – С. 95-99.
11. Нанотехнологии в ближайшем десятилетии. Прогноз направлений исследований / под ред. М.К. Роко, Р.С. Уильямса, П. Аливисатоса; пер. с англ. – М.: Мир, 2002. – 292 с.