ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

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

В.А.ГЛУЩЕНКОВ

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ШТАМПОВКИ
Часть 1. Штамповка эластичными средами

Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия

САМАРА
Издательство СГАУ
2008

УДК 621.98
ББК 34.54+34.62
Г 555

Рецензенты: С.С. Б о р о в о й
Г. В. С м и р н о в

Глущенков В.А.
Г555 **Специальные виды штамповки. Часть 1. Штамповка эластичными средами:** учеб. пособие / *В.А. Глущенков*. - Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2008.- 72 с.: ил.

ISBN 978-5-7883-0572-1

Дано определение специальным видам листовой штамповки, приведены конкретные примеры, предложен классификатор. Изложены основы штамповки эластичной средой. Рассмотрены разделительные, формообразующие процессы при получении деталей из листовых и полых заготовок, прессованных профилей, применяемое технологическое оснащение и оборудование. Даны примеры расчета и проектирования. Данные материалы являются частью лекционного курса по специальным видам листовой штамповки, читаемого автором студентам инженерно-технологического факультета.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности «Обработка металлов давлением».

УДК 621.98
ББК 34.54+34.62

ISBN 978-5-7883-0572-1

© Самарский государственный
аэрокосмический университет,2008

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ВИДОВ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ 4
2. ШТАМПОВКА ЭЛАСТИЧНЫМИ СРЕДАМИ 13
2.1. Технологические схемы штамповки эластичными средами 13
2.2. Свойства эластичных сред 17
2.3. Разделительные операции, осуществляемые с использованием эластичных сред 20
2.3.1. Основы проектирования технологического процесса резки с использованием эластичной среды 23
2.3.2. Детали, полученные резкой эластичными средами. Технологические возможности. 25
2.3.3. Эффективность процессов резки эластичными средами. Область рационального применения технологии. 26
2.3.4. Проектирование процесса вырубки-пробивки эластичной средой при изготовлении конкретной типовой детали. 27
2.3.5. Пример расчета 34
2.3.6. Задание для контрольной работы 37
2.4. Формообразующие операции, осуществляемые эластичными средами 43
2.4.1. Гибка, гибка-формовка 43
2.4.1.1. Проектирование процесса гибки эластичной средой при изготовлении типовой детали 49
2.4.1.2. Пример расчета 52
2.4.2. Рельефная формовка 55
2.4.3. Вытяжка эластичной средой 57
2.4.4. Формовка полых заготовок 60
2.4.5. Гибка-формовка прессованных профилей 62
2.5. Контейнеры для штамповки эластичными средами 65
2.6. Оборудование, применяемое при штамповке эластичными средами 66
ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ ПО ШТАМПОВКЕ ЭЛАСТИЧНЫМИ СРЕДАМИ 69
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 70

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ВИДОВ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Понятие о специальных методах листовой штамповки.
Причины разработки и развития специальных методов листовой штамповки.
Примеры специальных методов листовой штамповки.
Классификация специальных методов листовой штамповки.

Наибольшее распространение в машиностроении получили инструментальные методы листовой штамповки, то есть технологические процессы, реализуемые с помощью инструментальных штампов. Это, в основном, операции вырубки-пробивки, вытяжки, гибки и формовки [1,2].

Конструкции применяемых при этом штампов зависят от формы и размеров детали, вида заготовки (карточка, полоса, лента), степени механизации и автоматизации процессов (программы выпуска деталей).

По конструктивному признаку инструментальные штампы подразделяются на специальные, специализированные и универсальные. Специальные штампы предназначены для изготовления конкретной детали (сколько деталей, столько и штампов); специализированные – для выполнения одной операции, при этом детали могут быть разными. Например, гибочные штампы (станки) с программным управлением. Операция одна – гибка, а детали разные. Универсальные штампы позволяют с помощью сменных рабочих блоков осуществлять различные операции и получать различные детали.

Проектирование основных технологических процессов инструментальных методов листовой штамповки было предметом изучения в предыдущем семестре. Это так называемые «традиционные» инструментальные методы листовой штамповки.

К сожалению, идеальных методов листовой штамповки, как и штампов для их реализации, не существует.

Основные их недостатки:

- не обеспечивают требуемого качества готовых деталей (точность геометрии, чистота поверхности, механические свойства...);
- сопровождаются повышенным расходом металла;
- требуют сложных по конструкции и металлоемких штампов;
- не удовлетворяют по производительности;
- сопровождаются повышенными энергозатратами;
- слишком велики сроки подготовки производства.

Постоянно повышающиеся требования к качеству готовых деталей, минимизации энерго- и материальных затрат, сокращению сроков подготовки производства при освоении новой продукции являются причиной неудовлетворенности существующими методами листовой штамповки.

Для специалистов в области листовой штамповки открывается необъятное поле творческой деятельности по совершенствованию существующих или разработке новых методов листовой штамповки.

В подтверждение сказанного могут служить публикации в специальной технической литературе, например в журнале «Кузнечно-штамповочное производство» или в одноименном реферативном журнале, где ежемесячно представлена информация о новых (от 30 до 70) методах штамповки или конструкциях штампов, соответствующих уровню изобретения.

Таким образом, каждый месяц разрабатывается до нескольких десятков новых методов листовой штамповки, штампов для их реализации.

Это свидетельствует, во-первых, о значимости и распространенности процессов листовой штамповки в машиностроении, а во-вторых, как было сказано, о неудовлетворенности существующими методами и средствами штамповки, о необходимости их совершенствования.

В качестве примера рассмотрим техническую задачу резки тонкостенной трубы на мерные длины (заготовки) (рис.1).

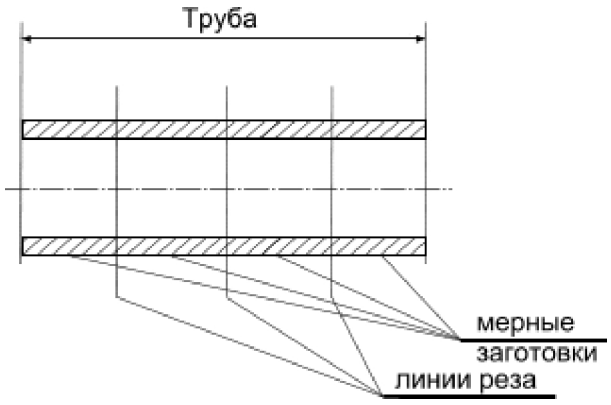


Рисунок 1 – Резка труб на мерные длины

Для осуществления этой операции можно воспользоваться механической обработкой, листовой штамповкой, использовать лазерную и другие технологии.

Наиболее перспективной с точки зрения, например, производительности является резка в инструментальных штампах, где пуансон в начальный момент «протыкает» отверстие, а затем осуществляет резку до полного разделения (рис.2). В качестве основных недостатков этого метода являются отход металла, возможное смятие трубы, сложность штампа [3].

`Для Южнокорейской фирмы “LG”, где при производстве СВЧ-печей используется в качестве излучателя короткая медная втулка, проблема уменьшения отхода при разрезке трубы на мерные длины является весьма актуальной. При существующей программе выпуска микроволновых печей в отход уходит несколько километров дорогостоящей медной трубы.

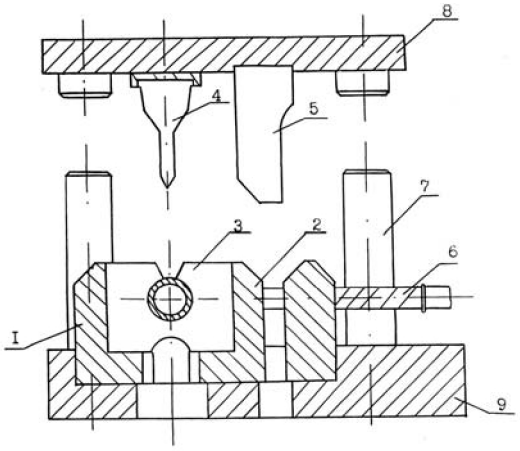


Рисунок 2 – Штамп для резки труб на мерные длины:
1 – неподвижная державка матрицы; 2 – подвижная державка матрицы; 3 – съемные матрицы; 4 – пуансон; 5 – клин; 6 – тяга с пружинами; 7 – направляющие колонки; 8 – верхняя плита; 9 – нижняя плита

Задача уменьшения отхода направила инженерную мысль на создание безотходных методов резки. В результате разработаны новые специальные методы резки труб сдвигом и кручением (рис.3) [4-6]. С помощью этих методов резки поставленная цель достигнута – отход ликвидирован. Но осталась нерешенной проблема, например, устойчивости (смятия) трубы, возрастающая с уменьшением ее относительной толщины.

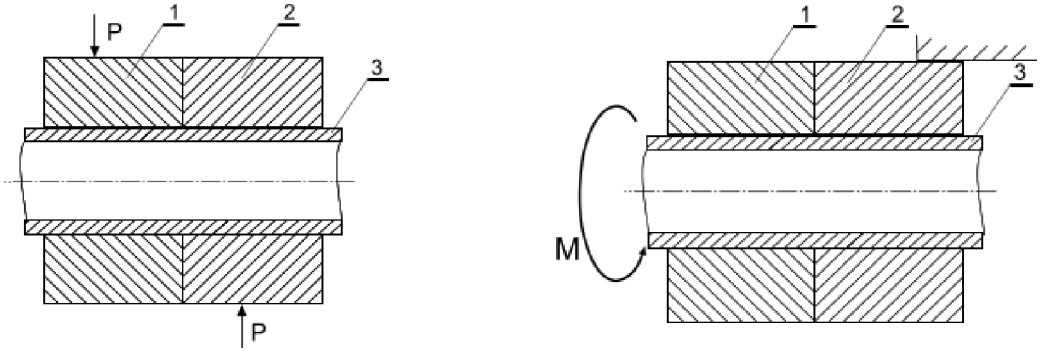


Рисунок 3 – Схемы резки труб сдвигом и кручением:
1, 2 – матрица; 3 – заготовка

В обоих этих методах труба 3 зажимается в полуматрицах 1 и 2. Далее, в первом случае осуществляют сдвиг полуматриц с закрепленной в них трубой относительно друг друга. Во-втором, одна полуматрица 2 закреплена неподвижно, а другой сообщается вращательное движение.

В атомной промышленности применяются трубы из нержавеющей стали с толщиной стенки 0,05 мм при диаметре 30 мм ($s/d \approx 0{,}002$). Такую трубу даже закрепить в оснастке проблема, а все существующие методы резки приводят к искажению ее геометрии, смятию.

Сочетание требований и по безотходности резки, и по обеспечению высокого качества отрезанной трубы (без потери устойчивости) привело к разра-

ботке еще одного нового метода резки – резки кручением с активным противодавлением, например, эластичной средой (рис.4) [7,8].

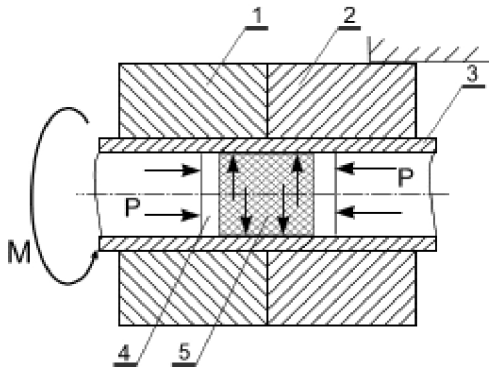


Рисунок 4 – Схема резки труб кручением с активным противодавлением:
1,2 – матрица; 3 – заготовка; 4 – толкатель; 5 – эластичная среда

В этом методе сжатием эластичной среды 5 внутри трубы ее стенка прижимается к полуматрицам 1 и 2, что предотвращает потерю устойчивости трубы при дальнейшей резке ее кручением.

Еще пример. В конструкциях современных изделий, в том числе в ракетной технике, используются гофрированные тоннельные трубопроводы (рис.5).

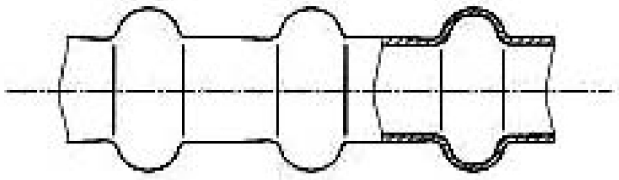


Рисунок 5 – Тоннельный трубопровод

Наиболее распространенная технология их изготовления: штамповка из листовых заготовок двух половин с последующей подгонкой и сваркой по криволинейной поверхности (рис.6) [9].

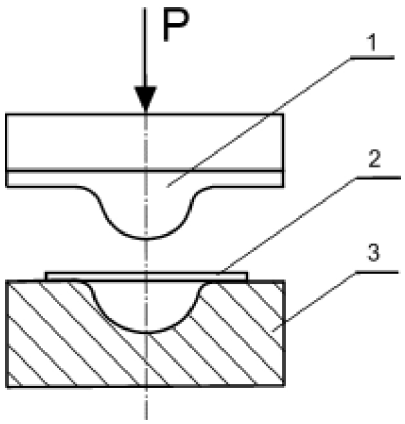


Рисунок 6 – Схема штамповки тоннельного трубопровода из
листовой заготовки в инструментальном штампе:
1 – пуансон; 2 – заготовка; 3 – матрица

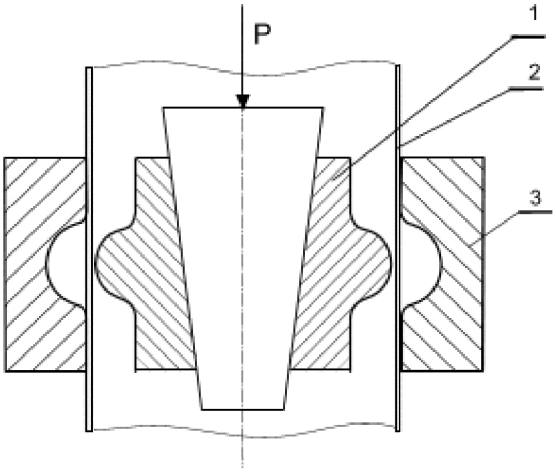


Рисунок 7 – Схема штамповки тоннельного трубопровода
из полой заготовки секционными пуансонами:
1- раздвижные секции пуансона; 2 – трубчатая заготовка; 3 – матрица

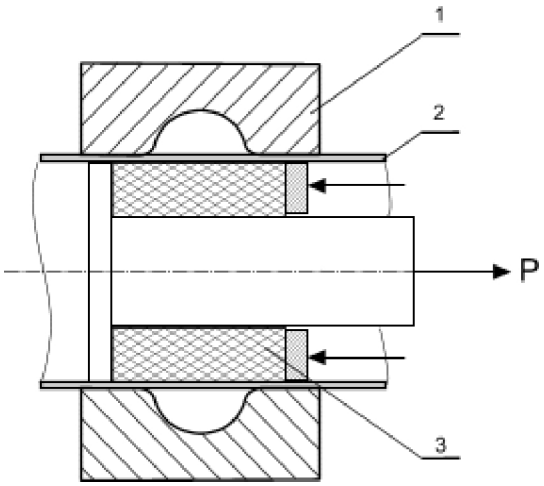


Рисунок 8 – Схема штамповки тоннельного трубопровода из полой
заготовки с использованием эластичной среды:
1 – матрица; 2 – заготовка; 3 – эластичная среда

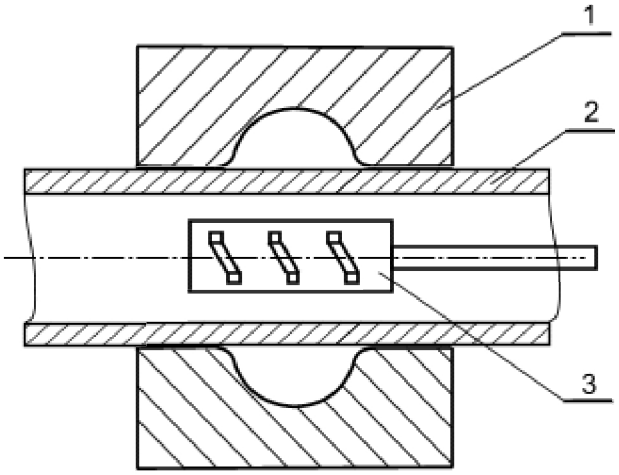


Рисунок 9 – Схема штамповки тоннельного трубопровода из
полой заготовки импульсным магнитным полем:
1 – матрица; 2 – заготовка; 3 – индуктор

Эта технология весьма трудоемка (раскрой на карточки, штамповка, обрезка припуска, подгонка, сварка, калибровка), сопровождается большим отходом металла. А наличие большой протяженности сварных швов – как потенциальный источник дефектов – приводит к дополнительным операциям контроля и испытания. Как результат повышения технико-экономической эффективности процессов изготовления гофрированных труб разработаны новые методы штамповки таких трубопроводов из цельнотянутых труб: раздача их секционными пуансонами (рис. 7), штамповка эластичными средами (рис.8), импульсным магнитным полем (рис. 9).

На рисунке 10 приведены различные способы выполнения одной и той же операции – отбортовки отверстий, созданные в процессе творческой деятельности специалистов [10].

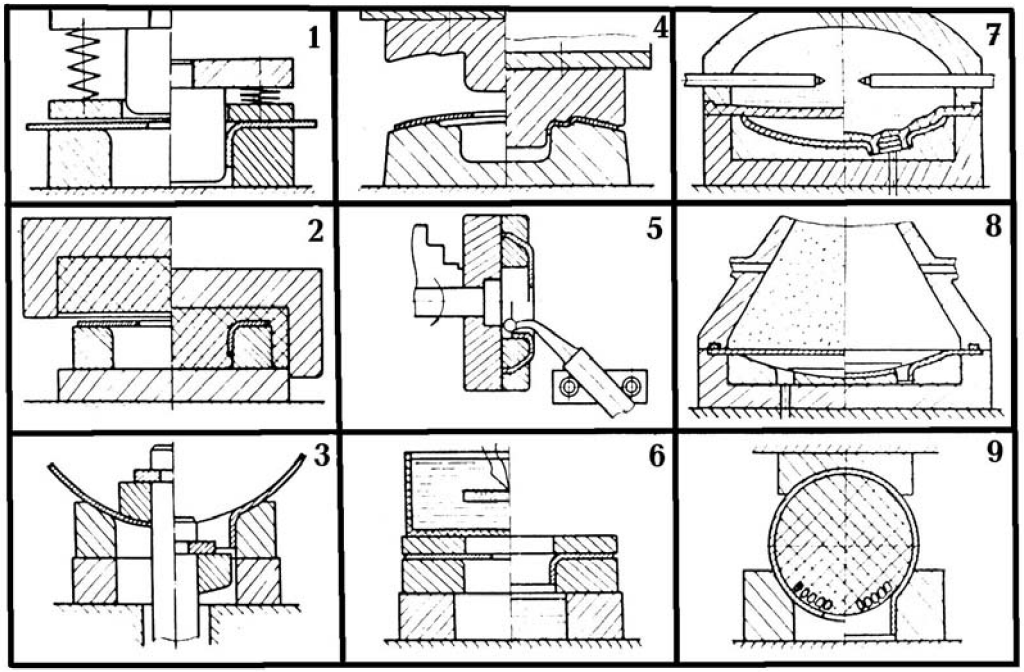


Рисунок 10 – Способы отбортовки отверстий:
1 – в инструментальных штампах; 2 – эластичной средой;
3 – протяжными устройствами; 4 – на листоштамповочных молотах; 5 – токарно-давильной операцией; 6 – взрывом;
7 – электрогидроимпульсной штамповкой; 8 – газовой детонационной штамповкой; 9 – магнитно-импульсной штамповкой

В процессе решения задач по устранению тех или иных недостатков, обеспечению особых требований к готовой продукции или повышению экономической эффективности процессов специалистами создаются новые методы листовой штамповки. В рассмотренных примерах разработаны новые методы резки, формовки и отбортовки.

Одни задачи решены, но технический прогресс ставит новые. Например, для последующей автоматической сварки отрезанных труб необходимо, чтобы

зона трубы, прилегающая к линии реза, была на длине не менее 10 мм откалибрована с высокой точностью, а высокое качество сварки предъявляет повышенные требования к геометрии поверхности разделения. А это, в свою очередь, влечет за собой разработку новых методов листовой штамповки и т.д. И процесс этот бесконечен.

Каждый из рождающихся новых методов является результатом решения конкретной специальной задачи, поэтому их условно называют «специальными» [11].

Набор специальных технологий листовой штамповки, знание их возможностей и рациональных областей применения позволяют поднять «технологическую вооруженность» предприятия. Особенно это ценно там, где необходимо в сжатые сроки освоить и испытать новые изделия, организовать производство с минимальными энерго- и материальными затратами.

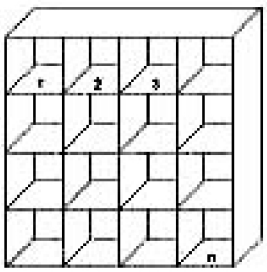


Рисунок 11 – Набор технологий листовой штамповки

Представьте себе стенку с множеством ячеек, в каждой из которых «лежит» определенная специальная технология (рис.11). В соответствии с поставленной задачей специалист должен проанализировать возможность использования для ее решения имеющиеся в ячейках технологии, выбрать наиболее рациональную. А при ее отсутствии приступить к разработке нового технического решения, которое, в случае удачи, займет в стенке новую ячейку.

Данный курс лекций посвящен изучению существующих специальных видов листовой штамповки, их анализу и методологии разработки (создания) новых методов и средств их реализации: оборудования, оснастки.

В основу классификации специальных видов листовой штамповки можно положить следующие наиболее значимые признаки:

1. Нетрадиционные источники нагружения: энергия взрыва, импульсное магнитное поле, высоковольтный разряд в жидкости, силопривод из материалов с «памятью формы», штамповка льдом и другие.

2. Вид среды, передающей усилие на деформируемую заготовку: эластичная среда, жидкость, газ, магнитное поле. Соответственно, специальные виды листовой штамповки: штамповка эластичными средами, гидроформовка, газодетанационная штамповка, магнитно-импульсная обработка материалов (МИОМ).

3. Температурно-скоростные режимы деформирования, параметры внешнего воздействия. К ним относятся: температура Т, при которой осуществляется деформирование, скорость деформирования V и деформации $\dot{\varepsilon}$, время деформирования τ и другие. Соответственно, специальные виды листовой штамповки: статические и динамические методы штамповки, штамповка в условиях сверхпластичности, изометрическая штамповка, методы штамповки, использующие эффект электропластичности и др.

4. Вид заготовки (полуфабриката) объединяет вокруг себя такие специальные виды листовой штамповки, как, например, штамповка деталей из труб, прессованных профилей, обшивок различной кривизны и другие.

5. Специальные виды, повышающие предельные возможности процессов и обеспечивающие требуемую (заданную) геометрию готовых изделий. Это, например, методы штамповки без утонения, с набором толщины, стесненный изгиб, вытяжка с пульсирующим прижимом, давильно-раскатные работы, методы, совмещающие статическое и динамическое нагружение и т.д.

6. Специальные виды листовой штамповки, учитывающие особенности штампуемого материала (физико-механические, технологические свойства): штамповка неметаллических материалов, штамповка композиционных материалов на металлической и неметаллической основе, штамповка жидкого металла....

Рисунок 12 – Классификация специальных видов листовой штамповки

Приведенная классификация (рис.12) не претендует на полный охват всех специальных видов листовой штамповки, однако, позволяет провести некоторую их систематизацию и выбрать типовых представителей для дальнейшего изучения.

Основные выводы:

1. Идеальных методов листовой штамповки, пригодных «для всех случаев жизни», не существует;

2. Многообразие форм деталей, марок материала, требований по качеству, условий производства являются причиной совершенствования и разработки новых видов листовой штамповки.

3. Каждый из созданных новых видов является результатом решения конкретных специальных задач по устранению технических недостатков или повышению экономической эффективности производства. Поэтому этим новым нетрадиционным методам листовой штамповки условно дано название «специальных».

4. Систематизацию специальных видов листовой штамповки можно осуществить по следующим шести признакам: источник нагружения, передающая усилие среда, параметры внешнего воздействия, вид и физико-механические свойства материала заготовки, параметры интенсификации, особые требования по качеству.

2. ШТАМПОВКА ЭЛАСТИЧНЫМИ СРЕДАМИ

Технологические схемы штамповки эластичными средами.
Свойства эластичных сред.
Разделительные операции (вырубка-пробивка), осуществляемые с использованием эластичных сред

2.1. Технологические схемы штамповки эластичными средами

Рассмотрим одну из технологических схем процесса штамповки эластичными средами – «штамповку в закрытом объеме» (рис.13) [9,12-15].

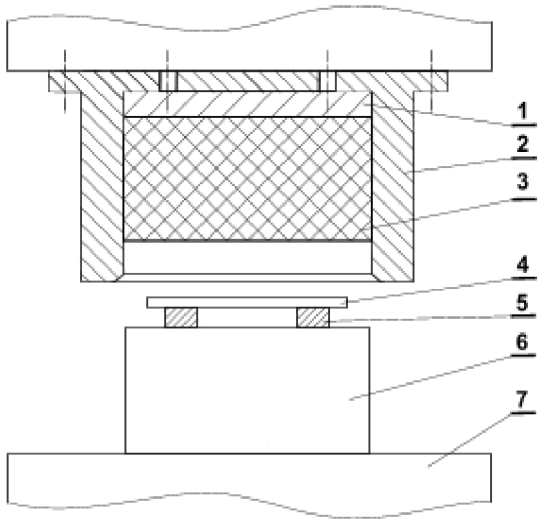


Рисунок 13 – Схема штамповки с закрытым объемом эластичной среды:
1 – верхняя плита; 2 – контейнер; 3 – эластичная среда;
4 – заготовка; 5 – инструмент; 6 – подштамповая плита;
7 – нижний стол пресса

К верхней плите 1 гидравлического пресса крепится контейнер 2 с размещенной внутри него эластичной средой 3 (эластичный блок), например, резиной или полиуретаном.

На нижнем столе пресса 7 размещается подштамповая плита 6, на которой располагаются соответствующие инструмент 5 и заготовка 4.

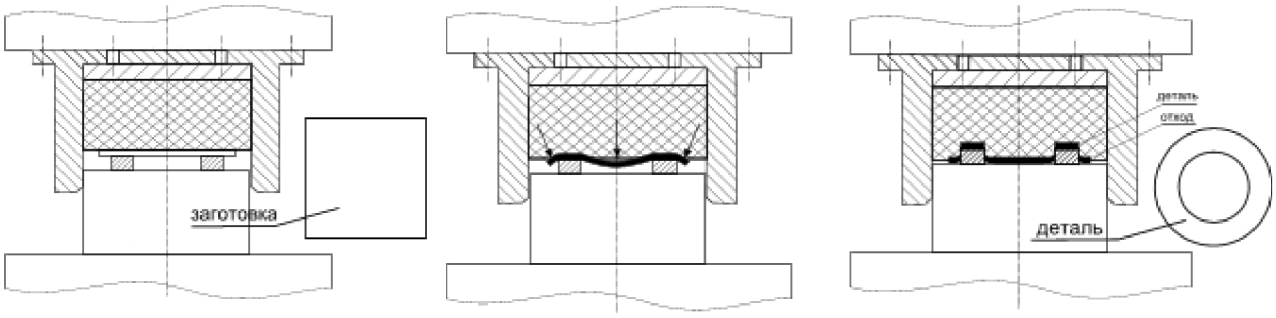
Для осуществления операции вырубки-пробивки инструментом является «вырезной шаблон», повторяющий контур готовой детали, при гибке, рельефной формовке – «формблок».

Внутренний диаметр контейнера равен наружному диаметру подштамповой плиты.

При ходе ползуна пресса подштамповая плита 6 входит в рабочее пространство контейнера 2. Эластичный блок 3 (подушка) оказывается в замкнутом (закрытом) объеме.

Резина, полиуретан, как и жидкость, практически несжимаемы. Поэтому, оказавшись в замкнутом объеме, эластичная среда передает силовое деформирующее воздействие на заготовку.

На рисунке 14 приведена схема штамповки эластичной средой в исходном, промежуточном и конечном положениях.



а) б) в)

Рисунок 14 – Схема штамповки в начальном (а), промежуточном (б) и конечном положениях (в)

Заготовкой в приведенной схеме служит прямоугольная карточка, а получаемая деталь – кольцевая уплотнительная прокладка.

Размеры карточки больше размеров детали, то есть по сравнению с деталью карточка имеет «припуск». Под действием начального давления эластичная среда (подушка) прижимает заготовку к вырезному шаблону, затем деформирует отход. При увеличении давления в контейнере происходит отделение металла отхода по острой кромке вырезного шаблона. После обратного хода пресса деталь снимается с инструмента, с подштамповой плиты удаляется отход.

Отличительной особенностью штамповки эластичными средами является универсальность верхней половины штампа-контейнера.

Меняя вырезные шаблоны (в пределах, конечно, размеров контейнера) можно в одном и том же контейнере получать различные детали (рис.15); сменив вырезной шаблон на формблок, можно получать различные детали и за счет смены операции (рис. 16): гибка, рельефная формовка.

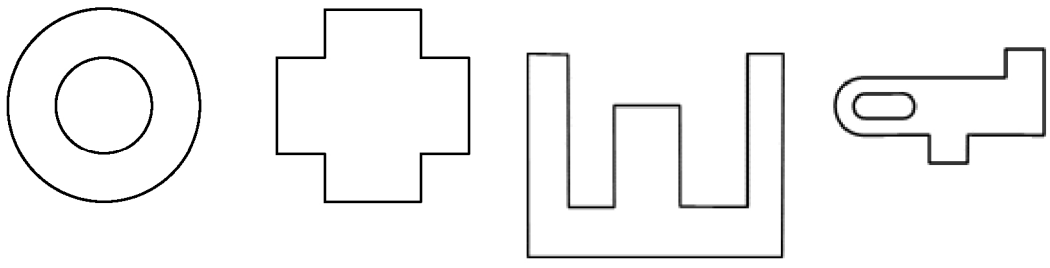
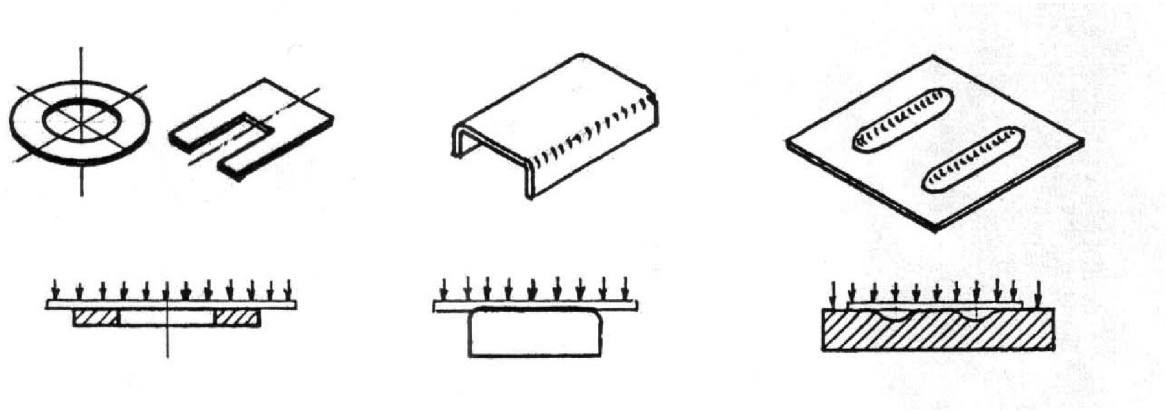


Рисунок 15 – Примеры деталей, изготовленных с помощью операций вырубки-пробивки эластичной средой



а) б) в)

Рисунок 16 – Операции, осуществляемые с помощью
эластичных сред в одном и том же контейнере
а) вырубка-пробивка; б) гибка; в) рельефная формовка

Возможна закрытая схема штамповки с установкой контейнера на нижней плите пресса, что определяется удобством работы, требуемой точностью взаимного позиционирования контейнера, инструмента, заготовки (рис.17).

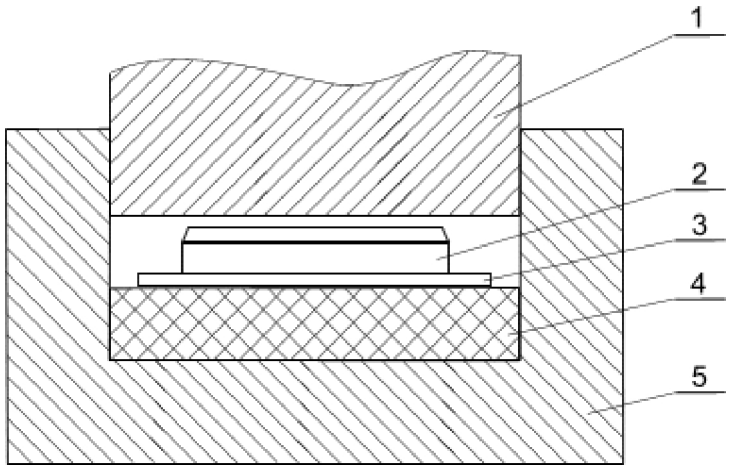


Рисунок 17 – Расположение контейнера на нижней плите пресса:
1 – подштамповая плита (боек); 2 – вырезной шаблон;
3 – заготовка; 4 – эластичная подушка; 5 – контейнер

Кроме рассмотренной технологической схемы штамповки в закрытом объеме используются также «открытая» и «полуоткрытая» технологические схемы.

«Открытая» технологическая схема самая простая и дешевая, так как при ее использовании не требуется контейнер. Однако при силовом воздействии на эластичную среду, последняя имеет возможность (рис. 18,а) «растекаться» во все стороны, что не обеспечивает больших значений деформирующих усилий. Вот почему эта схема, хотя и редко, но используется при выполнении операций гибки, не требующих больших усилий.

а) б)

Рисунок 18 – Открытая (а), полуоткрытая (б) схемы штамповки эластичной средой

Повысить деформирующее усилие можно, создав препятствие для растекания эластичным средам в одном из направлений. Такая схема носит название «полуоткрытой» (рисунок 18,б). При таких схемах можно кроме гибки осуществить и вырубку-пробивку или формовку, но, к сожалению, при получении деталей из очень тонколистовых заготовок.

Существует также «бесконтейнерная – закрытая» (рис.19) технологическая схема, где в качестве контейнера используется заготовка, например, трубчатая. При сжатии эластичной среды внутри трубы развиваемые давления приводят к ее деформированию.

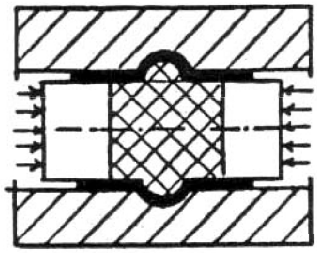


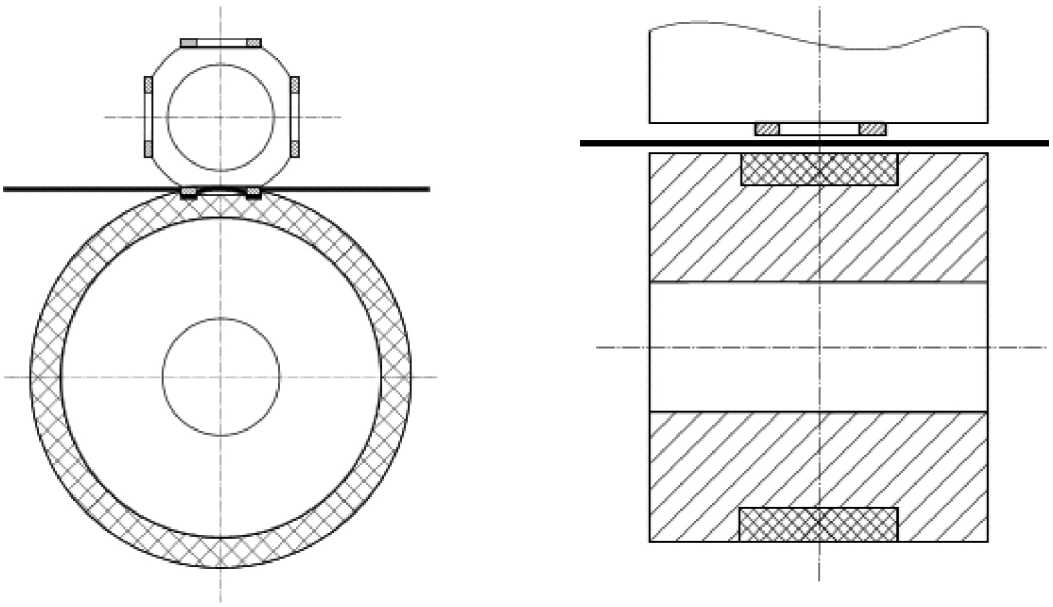
Рисунок 19 – Бесконтейнерная – закрытая технологическая схема штамповки эластичной средой

Следует заметить, что для этой схемы пропадает такое положительное качество штамповки эластичными средами, как универсальность одной из половин штампа. Каждая труба будет требовать по размерам своего резинового блока. Однако схема находит применение благодаря простоте оснастки по сравнению с инструментальным штампом.

Таким образом, в промышленности нашли применение следующие технологические схемы листовой штамповки эластичными средами, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки:

- штамповка в контейнерах с закрытым объемом;
- бесконтейнерная открытая и полуоткрытая технологические схемы;
- бесконтейнерная закрытая схема штамповки.

Приведенные технологические схемы осуществляются не только при возвратно-поступательном движении рабочих органов пресса. В последние годы предложен и ряд новых технологических схем, реализующих, например, вращательное движение оснастки.



а) б)

Рисунок 20 – Технологическая схема вырубки-пробивки прокаткой:
а) открытая; б) полуоткрытая

Представьте два валка, один из которых облицован эластичной средой, а на другом закреплен инструмент. При прокатке ленты между валками, обеспечивающими заданное сжатие эластичной среды, осуществляется, например, вырубка-пробивка (рисунок 20,а). Эластичная среда в этой схеме имеет возможность «растекания» как в осевом, так и в окружном (тангенциальном) направлении, то есть реализуется «открытая» схема штамповки прокаткой. Валки могут быть спрофилированы, как это показано на рисунке 20,б, что препятствует осевому растеканию эластичной среды – полуоткрытая схема штамповки.

При вхождении в зацепление выступов и впадин на вращающихся валках может быть реализована закрытая контейнерная технологическая схема.

2.2. Свойства эластичных сред

В качестве эластичных сред применяются резины и полиуретаны различных марок, отличающиеся друг от друга по своим свойствам. Полиуретан – синтетический резиноподобный материал (синтетический каучук) – получают на основе сложных полимеров эфира, прочность которого в 6-8 раз выше прочности резины. Из всех свойств эластичных сред рассмотрим те, которые необходимы для обоснованного выбора эластичной среды применительно к той или иной операции листовой штамповки. Это – твердость по Шору, относительное удлинение δ, остаточная деформация $\varepsilon_{ост}$ и предельная нагрузка (давление) p. В таблице 1 в качестве примера приведены для сравнения механические свойства резин марок 56 и 3826 и полиуретанов СКУ-7Л и СКУ-ПФЛ.

Таблица 1 – Физико-механические свойства эластичных сред

Марка эластичной среды	Механические свойства эластичной среды			
	Твердость по Шору	Относительное удлинение δ, %	Остаточная деформация $\varepsilon_{ост}$,%	Предельное давление р, кг/см^2
Резина марки 56	55	450	28	500
Резина марки 3826	70	300	20	500
Полиуретан СКУ-7Л	80	600	3	1000
Полиуретан СКУ-ПФЛ	92	400	10	1000

Одной из главных характеристик эластичной среды является ее твердость. Твердость резины определяется по высоте отскока стандартного бойка от эластичного блока.

Как видно из таблицы 1, твердость различных марок резин колеблется от 35 до 75 единиц, а твердость полиуретанов доходит до 92 единиц.

Твердость эластичных сред определяет эффективность, а в некоторых случаях и возможность осуществления той или иной штамповочной операции.

Рассмотрим для примера процесс гибки коротких жестких бортов в контейнере с закрытым объемом.

Если использовать мягкую резину, то в процессе гибки она обтекает жесткий борт и в конечном счете создает противодавление, препятствующее осуществлению процесса гибки, какое бы возрастающее давление ни было бы приложено к заготовке (рис.21).

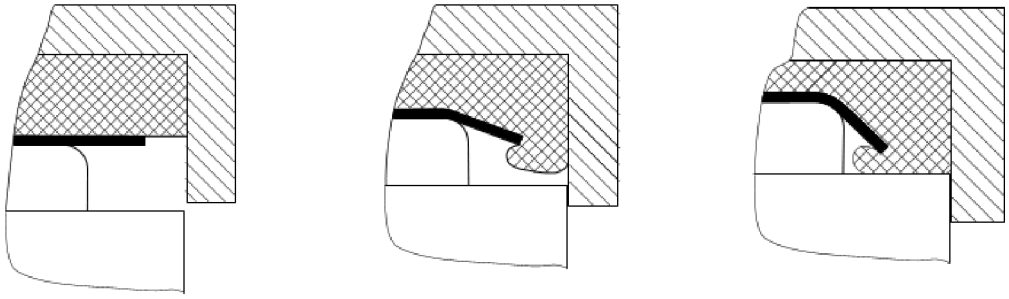


Рисунок 21 – Схема гибки коротких жестких бортов с использованием «мягких» резин

При использовании же резины с высокой твердостью такого явления не наблюдается, так как сопротивление деформированию борта становится меньше сопротивления течения эластичной среды.

Следовательно, для выполнения операции гибки коротких жестких бортов предпочтительнее использовать эластичную среду с высокой твердостью.

Вторым важным свойством является такая характеристика эластичной среды, как относительное удлинение δ %. Она определяет возможность удлинения волокон эластичной среды без разрушения $\delta = (L_k - L_o)/L_o$ (рис.22).

Рисунок 22 - Удлинение волокон эластичной среды в процессе штамповки

Естественно, что чем выше значение δ, тем более предпочтителен выбор этой марки эластичной среды.

Величина остаточной деформации – определяет размеры эластичного блока после снятия нагрузки. Если эластичный блок в виде цилиндра высотой h_0, нагрузить до конечного размера h_k,то после снятия нагрузки эластичный блок (цилиндр) не вернется в исходное состояние с высотой h_0 (рис. 23), а примет значение $h < h_0$: величина «$h_0 - h$» и характеризует остаточную деформацию

$$\varepsilon_{ост} = \frac{h_0 - h}{h_0}.$$

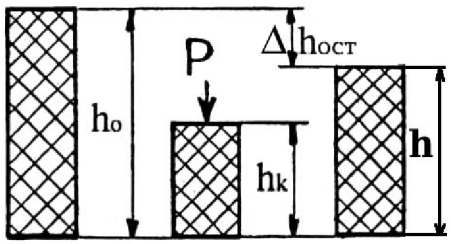


Рисунок 23 – Остаточная деформация Δh эластичного блока

Со всех позиций желательно, чтобы эта величина была минимальной. Остаточная деформация эластичного блока в контейнере приведет к тому, что блок окажется запрессованным в контейнере с большей величиной натяга по сравнению с исходным значением. Вот почему для его выпрессовки в случае замены изношенного на новый в конструкции контейнера предусмотрена выпрессовочная прокладка, усилие на которую передается через специальные отверстия в дне контейнера (см. рис. 13).

Особое значение величина остаточной деформации имеет при использовании бесконтейнерной закрытой технологической схемы штамповки эластичной средой. Остаточная деформация в этом случае может привести к проблеме извлечения эластичного блока из отформованной заготовки (рис.24).

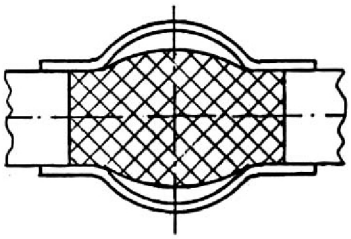


Рисунок 24 – Конечное положение эластичного блока после снятия нагрузки

Предельная нагрузка, которую выдерживает эластичная среда, определяется максимальным давлением р на заготовку при штамповке. При превышении предельной нагрузки внутренние молекулярные связи эластичной среды разрываются. Блок теряет эластичность, охрупчивается и рассыпается на отдельные гранулы. Эластичный блок выходит из строя.

Невысокие значения предельной нагрузки для резины р=500 кг/см^2 нередко приводят к недоштамповке деталей и применению в дальнейшем большого объема ручных доводочных работ. Полиуретаны выдерживают давление до 1000 кг/см^2. Повышение предельного давления вдвое по сравнению с резинами определило предпочтительное их применение при штамповке эластичными средами. Использование полиуретанов позволило резко сократить объем ручных доводочных работ.

Да и по остальным показателям выбор полиуретанов, с технической точки зрения, например, марки СКУ-7Л предпочтителен.

Однако следует не забывать об относительно высокой стоимости (в 2-3 раза) полиуретанов по сравнению с резиной. Для защиты полиуретанов от повреждения в некоторых случаях применяют составные эластичные блоки. Основная его часть из полиуретана, а рабочая поверхность облицована относительно тонким слоем резины. В процессе эксплуатации изношенные резиновые накладки заменяются на новые, но зато полиуретановый блок остается неповрежденным.

2.3. Разделительные операции, осуществляемые с использованием эластичных сред

Вырубка-пробивка листовых деталей осуществляется в контейнерах с закрытым объемом. Вырезной шаблон, имеющий форму детали, устанавливается на подштамповую плиту. На шаблоне размещают заготовку с припуском на обрезку. При рабочем ходе ползуна пресса контейнер с эластичной подушкой опускается вниз. После захода подштамповой плиты в рабочее пространство контейнера эластичная среда сначала прижимает заготовку к вырезному шаблону, затем по мере возрастания давления происходит отгиб припуска по режущей кромке шаблона. Дальнейшее увеличение давления приводит к образованию трещины со стороны режущей кромки шаблона.

Если величина припуска будет меньше высоты вырезного шаблона (L<H), то припуск полностью загнется вокруг режущей кромки и даже образовавшаяся трещина может не привести к отделению отхода – не хватит давления (рис. 25). Это случай короткого припуска. Чтобы произошло отделение (сдвиг) отхода потребуются давления значительно большие тех, которые выдерживает полиуретан (10 кг/мм^2).

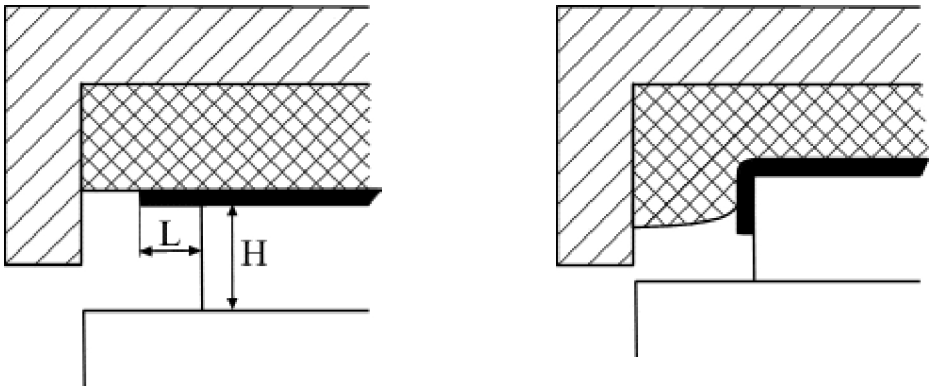


Рисунок 25 – Схема обрезки эластичной средой короткого L < H припуска

Если величина припуска будет значительно больше высоты вырезного шаблона (L>H), то припуск (отход) также сначала отгибается вокруг режущей кромки до соприкосновения длинного отхода с подштамповой плитой (рис. 26,а). Увеличивающееся давление защемляет припуск между эластичным блоком и подштамповой плитой (рис.26,б). Возникающие в этом случае силы трения $\tau_{тр}$ между припуском и подштамповой плитой не дают возможности отходу подтягиваться к вырезному шаблону. Припуск оказывается как бы защемленным между режущей кромкой и той его частью, которая прижата к подштамповой плите.

Продолжающееся действие давления эластичной среды на наклонный свободный участок приводит к возникновению растягивающих напряжений (прогиб отхода между двумя защемленными точками увеличивает его длину за счет растяжения). Растягивающие напряжения в очаге деформаций совместно со сдвиговыми и при наличии надреза по острой кромке приводят к значительному снижению потребного давления разделения (менее 10 кг/мм^2). Причем величина этого давления будет тем меньше, чем вьше значения растягивающих напряжений на режущей кромке.

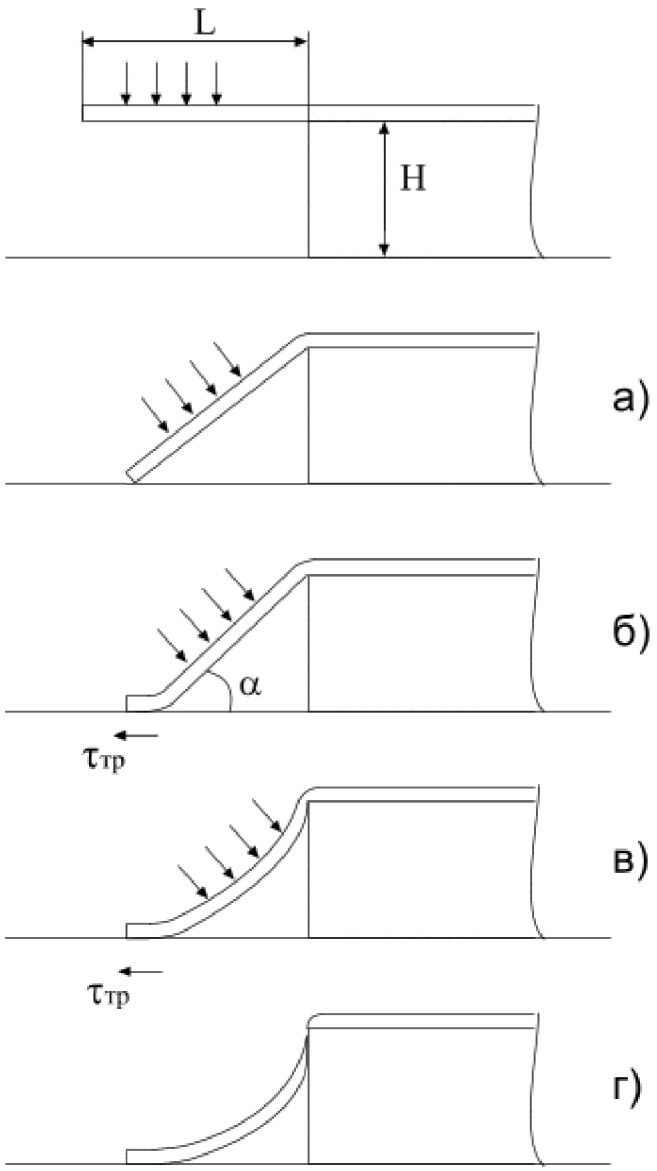


Рисунок 26 – Стадии процесса разделения металла при L > H

Таким образом, для осуществления разделительной операции с помощью эластичных сред необходимо выполнение условия: величина припуска должна быть больше высоты вырезного шаблона, но при этом надо помнить, чем больше высота вырезного шаблона, тем больше величина припуска. Большая длина свободного участка обеспечивает большие растягивающие напряжения и меньшее потребное давление для отделения отхода (резки).

И наоборот, чем меньше высота вырезного шаблона, тем меньше растягивающие напряжения и больше потребное для резки давление. Таким образом, с одной стороны, мы стремимся к уменьшению потребного давления резки, расширению технологической возможности процесса и таким образом должны увеличивать высоту вырезного шаблона, а с другой стороны, экономические требования (расход металла на припуск) диктуют необходимость уменьшения припуска, что достигается уменьшением высоты вырезного шаблона.

Величина растягивающих напряжений (см.рис. 26) определяется величиной угла α - угла наклона припуска (отхода) к плоскости подштамповой плиты.

Опыт показывает, что отделение (резка) пластичных металлов происходит, как правило, при углах α, близких к 45^0, а малопластичных при 20^0.

Желание жесткого защемления отхода между заготовкой и подштамповой плитой требует как можно большего значения коэффициента трения металла заготовки о подштамповую плиту. Чем больше силы трения металла отхода о подштамповую плиту, тем более прочно защемляется отход (нет возможности подтянуться металлу заготовки к вырезному шаблону), возрастают растягивающие напряжения, снижается потребное давление резки.

Для увеличения коэффициента трения на подштамповой плите наносят насечки, что обеспечивает его значение, близкое, к 0,5.

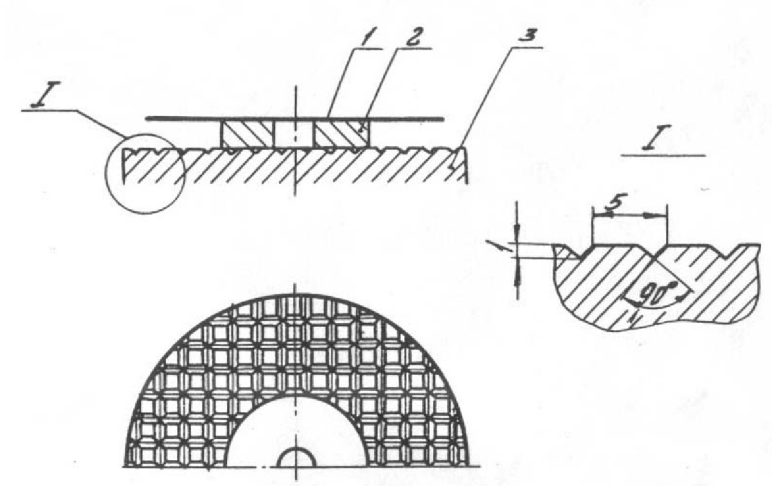


Рисунок 27 – Подштамповая плита с нанесенными рельефом – насечками:
1 – заготовка; 2 – вырезной шаблон; 3 – подштамповая плита

Таким образом, процесс резки эластичной среды определяется следующими параметрами H, L, f, α, ρ и, конечно, механическими свойствами материала заготовки ($\sigma_в$,δ).

2.3.1. Основы проектирования технологического процесса резки с использованием эластичной среды

Высота вырезного шаблона определяет величину припуска и необходимое давление резки. Величина припуска находится в прямой зависимости от высоты вырезного шаблона (чем больше высота вырезного шаблона, тем больше припуск), а потребное давление – в обратной (чем больше высота вырезного шаблона, тем меньше потребное давление).

Вот почему при проектировании технологического процесса резки выбирают оптимальное значение высоты вырезного шаблона, которое определяется по следующей формуле:

$$H = 3\,(1 + \delta\sqrt{S}), \qquad (1)$$

где δ – относительное удлинение материала заготовки;
S – толщина заготовки

Полученное значение H в мм округляется в большую сторону до значения, кратного 0,5 мм. Некоторое увеличение толщины вырезного шаблона дает возможность в процессе эксплуатации осуществлять его перешлифовку, оставаясь в области значений, близких к оптимальным.

Размер припуска на обрезку зависит в основном от высоты вырезного шаблона и коэффициента трения между заготовкой и подштамповой плитой (f). Так, для резки заготовки на прямолинейном участке величина припуска составляет

$$L = \frac{H}{\sin\alpha} + \frac{1}{f}(H + S), \qquad (2)$$

α- угол между припуском и подштамповой плитой.

Для большинства пластичных материалов разделение происходит при $\alpha \approx 45^0$, и принимая, что H>>S, формулу (2) можно упростить:

$$L = (1{,}4 + \frac{1}{f})H\ . \qquad (3)$$

Если подштамповая плита гладкая, подвергнутая пескоструйной обработке, то коэффициент трения принимается равным f = 0,2, а при специальном рифлении – 0,5. Величина припуска в зависимости от значений f в этом случае будет в пределах L =(6,4 ÷ 3,4)H.

С экономической точки зрения для уменьшения величины припуска нужно использовать подштамповые плиты, обеспечивающие максимальный коэффициент трения.

Из сопоставления усилий, действующих на наклонную площадку припуска, и напряжений в очаге деформаций определяется потребное для разделения металла давление. На прямолинейном участке резки в конечном счете величина этого давления сводится к значению $p = \frac{\sigma_в \cdot S}{H}$. Геометрическая форма детали (выпуклая, вогнутая) вносит коррективы в приведенную формулу, так как изменяется схема напряженного состояния в очаге деформаций.

Таким образом, проектирование технологического процесса вырубки-пробивки эластичными средами сводится к определению трех технологических параметров: высоты вырезного шаблона, величины припуска и потребного давления.

Более подробно вопросы проектирования технологического процесса и расчета исполнительных размеров контейнера приводятся на практическом занятии.

2.3.2. Детали, полученные резкой эластичными средами. Технологические возможности

При использовании операций резки эластичными средами получают детали практически любой сложной конфигурации, размером от нескольких мм до метра. Одновременно с вырезкой по контуру за один ход пресса производится пробивка отверстий и пазов различной формы. Материал вырезаемых деталей - алюминиевые и медные сплавы, обычно толщиной от 0,05 до 2 мм, сталь (углеродистая, легированная, нержавеющая), титановые сплавы, толщиной до 1,0 мм (рис. 28).

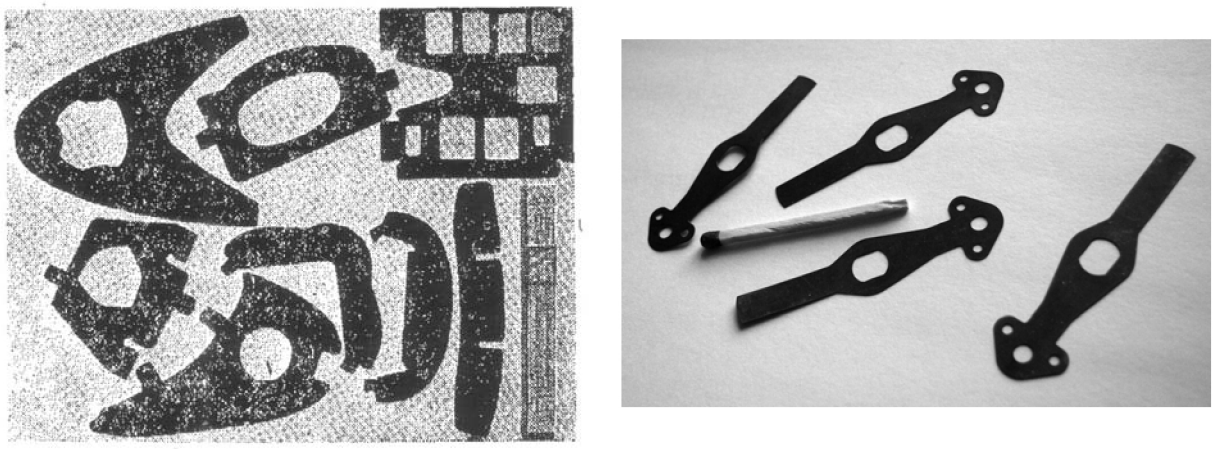


Рисунок 28 – Примеры деталей, полученных вырезкой эластичной средой

Наименьшая толщина вырезаемых деталей практически неограничена. Именно для сверхтонких материалов (0,02-0,05 мм) инструментальные штампы особенно сложны и дороги в производстве из-за необходимости обеспечения беззазорной подгонки матрицы с пуансоном. Минимальные диаметры пробиваемых отверстий (3-5) S.

Поверхность среза (рис.29) после вырубки-пробивки эластичной средой будет неровной: имеет утяжины и скол и характеризуется следующими показателями:

для пластичных металлов α =(0,5-0,7)S, в =(0,75÷1,15)S, r ≈ S, Δ =(0,07...0,12)S;
для малопластичных α = (0,25-0,45)S; в = (0,35 ÷ 0,65)S, r = 0,5S Δ = (0,05-0,1)S.

Точность размеров деталей, вырезанных эластичной средой, выше, чем у деталей, полученных в штампах при толщине заготовки до 0,2 мм. С увеличением толщины материала точность деталей, вырезаемых эластичной средой, снижается, и при толщине близкой к 1 мм, и габаритных размерах деталей более 50 мм, оба способа дают фактически одинаковую точность.

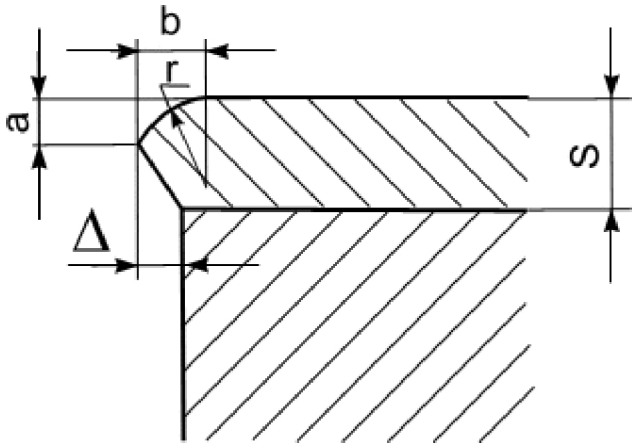


Рисунок 29 – Геометрия поверхности разделения
при резке эластичными средами

Шероховатость поверхности среза на деталях толщиной до 1,5 мм, вырезаемых из пластичных материалов, $R_z40 \div R_z20$.

2.3.3. Эффективность процессов резки эластичными средами. Область рационального применения технологии.

Экономическая эффективность внедрения в производство процессов резки эластичными средами по сравнению с инструментальными штампами достигается в первую очередь за счет значительного удешевления оснастки и снижения:

- затрат на проектирование вырезного шаблона в 10-20 раз;
- его металлоемкости в сотни раз (вес инструментального штампа килограммы, вырубного шаблона – граммы),
- трудоемкости изготовления в 20-30 раз.

Все это обеспечивает значительное сокращение сроков подготовки производства. Если на проектирование и изготовление штампа требуется несколько недель, а то и месяцев, то вырезной шаблон рассчитывается и изготавливается за несколько часов.

Кроме того, значительно сокращаются расходы на складирование и хранение оснастки, потребность в площадях для хранения оснастки уменьшается в 30-50 раз.

С другой стороны, использование технологии резки эластичными средами сопровождается повышенным расходом металла. Так, если при резке в инструментальном штампе припуск для обрезки составляет (2÷3)S, то при резке эластичными средами может достигать (9-18)S. Увеличиваются время изготовления деталей (трудоемкость), в т.ч. как следствие применения более тихоходных гидравлических прессов; необходимое усилие пресса (большая часть усилия расходуется на сжатие самой эластичной среды).

Таким образом, технологический процесс вырубки-пробивки эластичными средами имеет как преимущества, так и недостатки. Выбор технологии определяется программой выпуска деталей N, их конечной технологической себестоимостью С (рис.30).

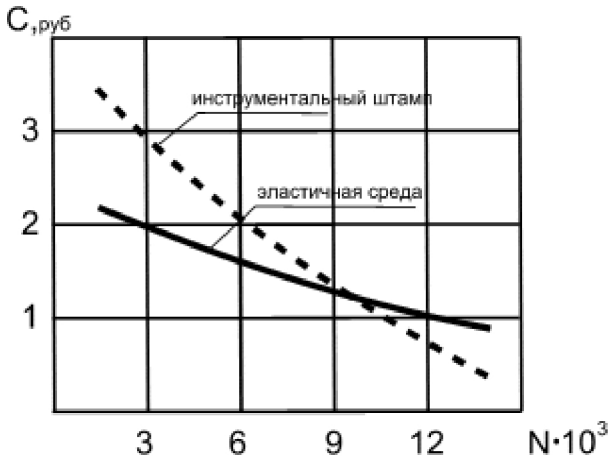


Рисунок 30 - Изменение себестоимости детали от программы выпуска

Из приведенных графиков изменения себестоимости конкретной детали в зависимости от программы выпуска для двух вариантов технологий – с использованием инструментального штампа и эластичной среды – следует, что вырубка-пробивка эластичной средой экономически обоснована при программе выпуска до 9500 штук в год.

Технологическая себестоимость включает все составляющие затрат: расходы, связанные с приобретением или содержанием оборудованием, изготовлением оснастки, расходом металла, трудоемкостью изготовления, содержанием площадей зданий и другими.

Экономический анализ, проведенный рядом авторов для различных деталей, показал, что процесс вырезки деталей эластичными средами и полиуретаном в частности, целесообразно применять при годовой программе выпуска 5000-25000 штук, то есть в основном при мелкосерийном производстве.

2.3.4. Проектирование процесса вырубки-пробивки эластичной средой при изготовлении конкретной типовой детали

(практическое занятие)

Последовательность проектирования:

1. Выбор технологической схемы

Наибольшее усилие развивается при выборе закрытой схемы штамповки. Удобство эксплуатации обеспечивает верхнее расположение контейнера.

Выбранная схема приведена на рис. 31.

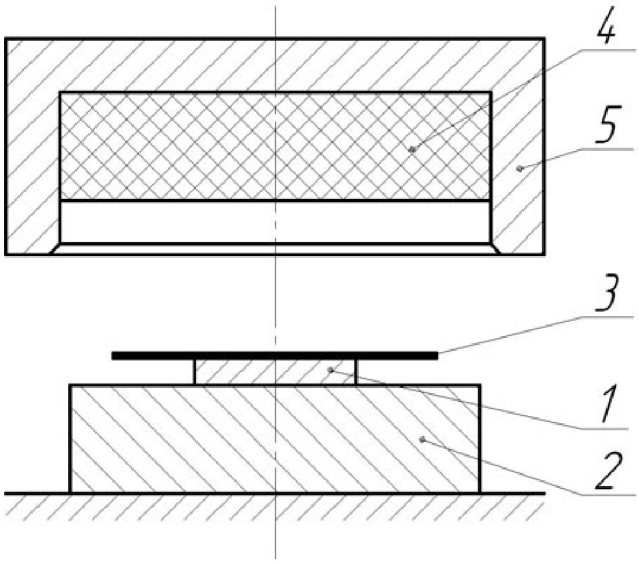


Рисунок 31 – Технологическая схема резки эластичной средой в закрытом объеме с верхним расположением контейнера:
1 – вырезной шаблон; 2 – подштамповая плита; 3 – заготовка;
4 – полиуретан; 5 - контейнер

2. Определение высоты вырезного шаблона

Усилие, необходимое для вырубки-пробивки с использованием эластичной среды, зависит от высоты вырезного шаблона. С увеличением высоты потребное усилие падает, но, как было рассмотрено ранее, растет величина припуска.

Оптимальная высота вырезного шаблона определяется по формуле

$$H = 3(1+\delta)\sqrt{S},$$

где S – толщина материала заготовки;

δ – относительное удлинение (в относительных величинах) материала.

Полученное значение Н следует округлить в большую сторону до величины, кратной 0,5 мм.

3. Расчет припуска на обрезку. Определение размеров исходной заготовки

Размер припуска на обрезку зависит от высоты вырезного шаблона, конфигурации детали и коэффициента трения между заготовкой и подштамповой плитой. Все перечисленные факторы определяют напряженно-деформированное состояние материала в очаге деформации резки: высота шаблона и коэффициент трения определяют уровень растяжения материала в одной плоскости детали, конфигурация – напряжения растяжения или сжатия в другой.

Размер припуска для обрезки следует определять по таблице 2.

Таблица 2 – Определение размера припуска

Определяемая величина	Расчетная формула	Примечание
Размер припуска заготовки на прямолинейном участке детали или криволинейном при R≥5H	$L = 1{,}4H + \frac{1}{f}(H + S)$	
	$L = 6{,}4H + 5S$	При $f \approx 0{,}2$
	$L = 3{,}4H + 2S$	При $f \approx 0{,}5$
Размер припуска заготовки на криволинейном выпуклом участке детали радиусом R	$L_{вып} = 1{,}4H + \frac{(H+S)(2R+H)}{2f(R+H)}$	При $R \le 5H$
Размер припуска заготовки на криволинейном вогнутом участке детали	$L_{вогн} = 1{,}4H + \frac{(H+S)(2R-H)}{2f(R-H)}$	При $2H \le R \le 5H$

Коэффициент трения проектант выбирает самостоятельно исходя из вида обработки, подштамповой плиты. С экономической точки зрения целесообразно обеспечить f=0,5, но для этого необходимо будет на подштамповой плите нанести (выполнить) неглубокие (до 0,5мм) насечки.

Полученные значения припуска L на разных участках детали откладываются по ее периметру (рис. 32), что определяет размер исходной прямоугольной карточки-заготовки A x B, из которой будет получена деталь.

Прямоугольная форма исходной карточки определяется предполагаемой технологией ее получения на гильотинных ножницах.

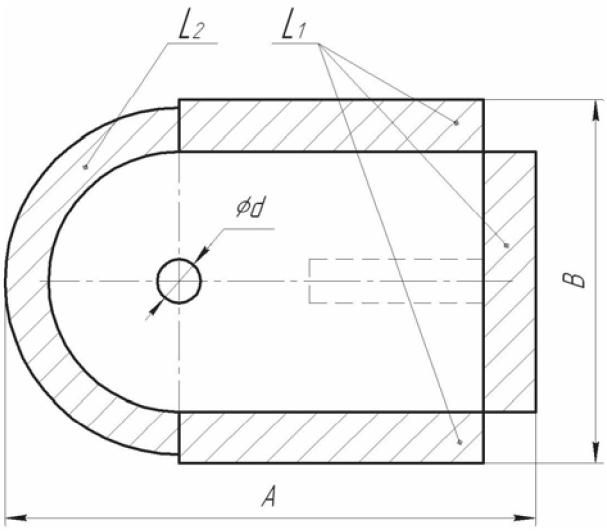


Рисунок 32 – Размеры исходной заготовки

4. Определение давления, необходимого для выполнения операции вырубки-пробивки

Давление, необходимое для вырезки-пробивки зависит от механических свойств материала заготовки, ее толщины, высоты вырезного шаблона и конфигурации детали (напряженно-деформированное состояние при разделении) и может быть определено по таблице 3.

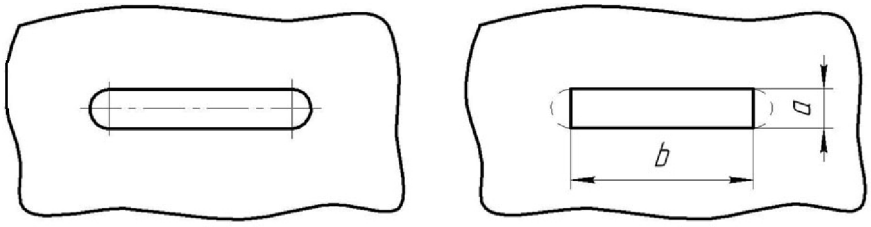
Деталь разбивается на характерные внешние участки: прямолинейные, криволинейные (выпуклые, вогнутые) и соответствующие по конфигурации отверстия и пазы. Для каждого участка, для каждого отверстия или паза определяется потребное давление.

Таблица 3 – Определение давления вырезки-пробивки

Определяемая величина	Расчетная формула	Примечание
Давление, необходимое для вырезки прямолинейного участка контура детали или криволинейного при R>5H	$p = \frac{\sigma_b S}{H}$	
Давление, необходимое для вырезки выпуклого участка контура детали	$p = \frac{0{,}8 S \sigma_b}{H}$	При $R<2H$
	$p = \frac{2RS\sigma_b}{H(2R+H)}$	При $R=(2\text{-}5)H$
Давление, необходимое для вырезки вогнутого участка контура детали	$p = \frac{1{,}5 S \sigma_b}{R}$	При $R<2H$
	$p = \frac{2RS\sigma_b}{H(2R-H)}$	При $R = (2\text{-}5)H$
Давление, необходимое для пробивки отверстий	$p = \frac{3S\sigma_b}{d}$	При $d \le 12S$
	$p = \frac{2RS\sigma_b}{H(2R-H)}$	При $d>12S$
Давление, необходимое для пробивки прямоугольного отверстия или паза	$p = \frac{2S(a+b)\sigma_b}{a \cdot b}$	При $a \le 15S$
	$p = \frac{S\sigma_b}{H}$	При $a>15S$
Давление, необходимое для пробивки отверстий треугольной формы	$p = \frac{6S\sigma_b}{c}$	

Здесь:
d – диаметр пробиваемого отверстия в мм;
a и *b*– размеры пробиваемого паза, причем *a* – минимальный размер;
c – минимальный размер пробиваемого треугольного паза.

Если конфигурация паза имеет более сложную форму, то ее следует аппроксимировать – привести к более простому виду (рис. 33).



а) б)

Рисунок 33 – Пример аппроксимации элементов детали:
а) реальная конфигурация паза; б) расчетная конфигурация паза

Полученные значений давлений $p_{прям}$, $p_{вып}$, $p_{отв}$, $p_{паза}$ сравниваются между собой и, естественно, далее в расчеты берется то p_{max}, которое требуется создать в контейнере для полного разделения металла при вырубке и пробивке.

5. Расчет усилия пресса

Усилие пресса, необходимое для вырубки-пробивки определяется по формуле

$$P = Kp_{max} F,$$

где К – коэффициент запаса, принимаемый равным 1,3;
p_{max} – максимальное давление, которое необходимо развить в эластичной среде и прикладываемое ко всей рабочей поверхности эластичного блока;
F – площадь рабочей поверхности эластичного блока.

Контейнеры для штамповки эластичной средой имеют, как правило, цилиндрическую конструкцию как более прочную (рис.34).

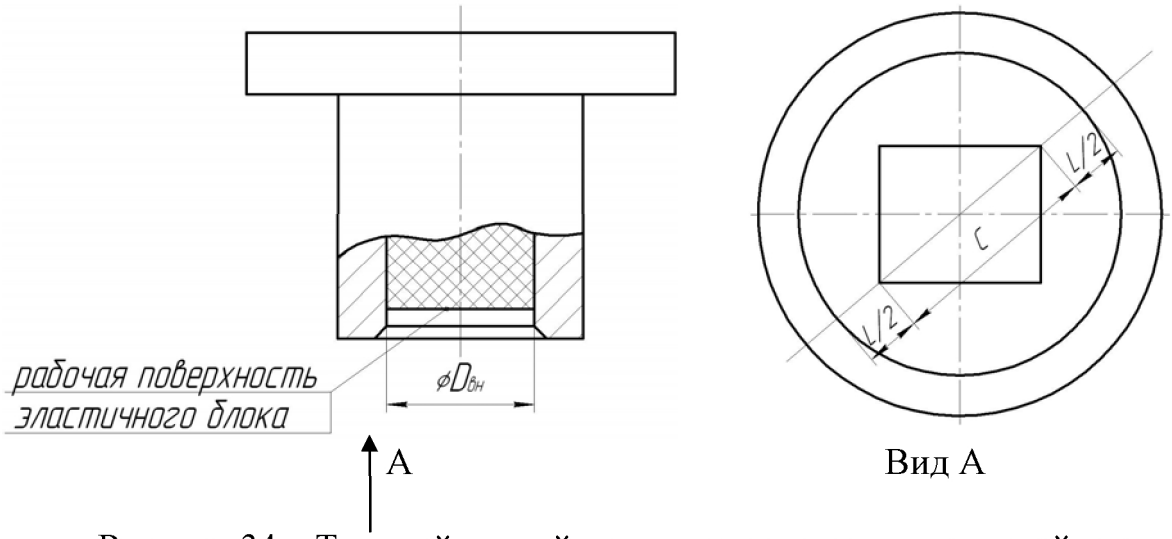


Рисунок 34 – Типовой контейнер для штамповки эластичной средой

Диаметр эластичного блока – внутренний диаметр контейнера определяется из условия свободного размещения заготовки (исходной карточки размерами А х Б.

Для свободного размещения заготовки расстояние между внутренней стенкой контейнера и заготовкой принимается равным половине определенного ранее максимального припуска на обрезку $L_{max.}$.

Предполагается, что заготовка располагается по центру контейнера. Из рис. 34 видно, что внутренний диаметр контейнера будет равен $D_{вн} = C + L$, где C – диагональ исходной прямоугольной карточки $C = \sqrt{A^2 + B^2}$.

Рабочая площадь эластичного блока F будет равна $F = \frac{\pi D_{вн}^2}{4}$.

6. Расчет исполнительных размеров контейнеров

При проектировании контейнера необходимо определить:

а) толщину эластичной подушки $h = (4 \div 5)H$.

Из условий эксплуатации минимальная толщина эластичной подушки должна быть 25 мм. Поэтому если расчетное значение h_n будет меньше 25 мм, конструктор должен заложить в чертеж ее значение, равное 25 мм.

б) глубину заходной части контейнера $C_к$ (рис.35), то есть ту глубину, на которую в начальный момент штамповки должна войти в контейнер подштамповая плита с расположенным на ней вырезным шаблоном и заготовкой до соприкосновения с эластичным блоком, то есть образовать в дальнейшем при рабочем ходе для эластичной среды замкнутый объем.

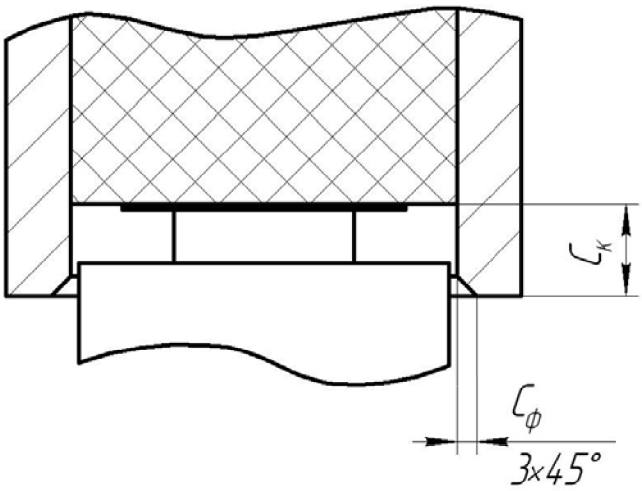


Рисунок 35 – Определение заходной части контейнера

$C_к = H + S + C_ф$
$C_ф$ – размер заходной фаски.

в) глубину внутренней полости контейнера h_k (рис.36):

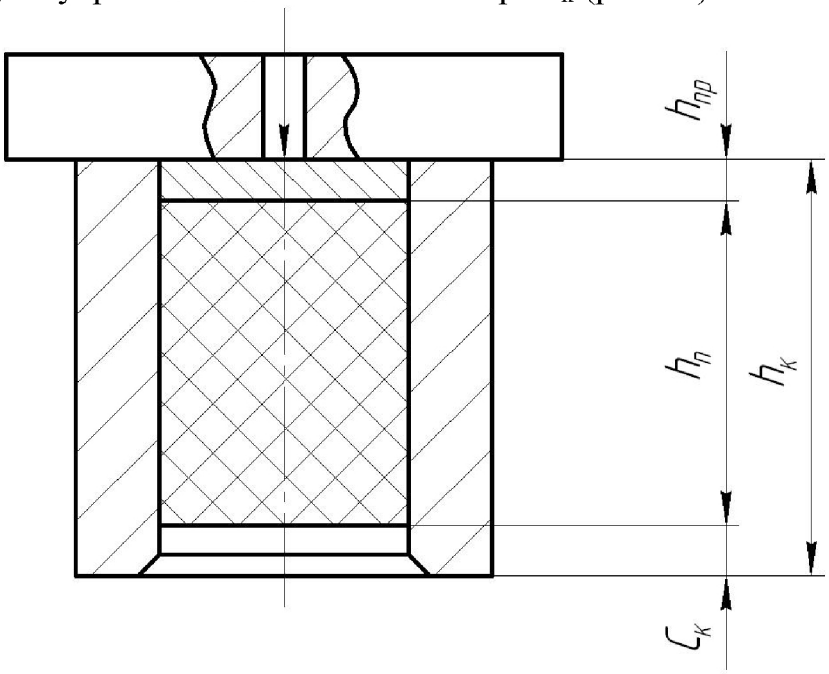


Рисунок 36 – Определение глубины контейнера

$$h_k = h_п + C_k + h_{пр},$$

где $h_{пр}$ – толщина прокладки, расположенной в донной части контейнера и служащей для выпрессовки изношенной эластичной среды из контейнера.

Величина $h_{пр}$ назначается из конструктивных соображений и обычно принимается равной 10 мм.

г) толщину стенки контейнера t (рис.37):

Свободную часть цилиндрического контейнера как наиболее слабую можно представить как толстостенную трубу под внутренним давлением p_{max}.

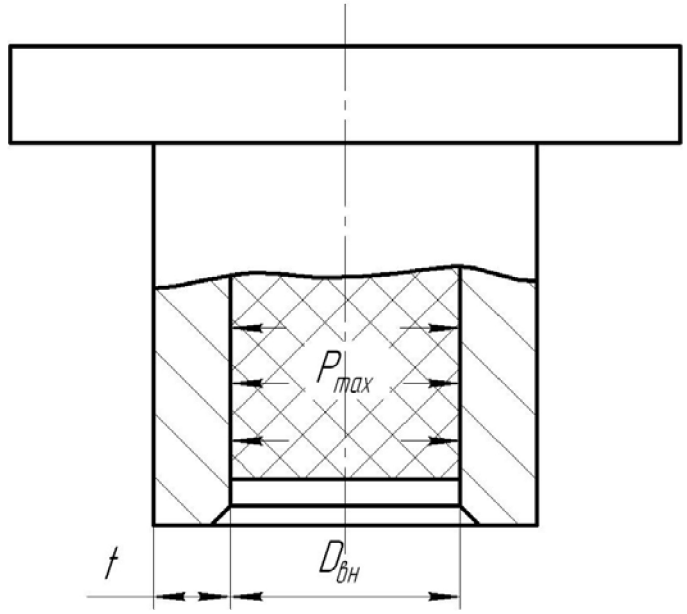


Рисунок 37 – Определение толщины стенки контейнера

Толщину стенки такой трубы можно определить по формуле Ляме из условия ее прочности при переходе в пластичное состояние

$$p = \frac{2t\sigma_{0,2}}{D_{вн}},$$

$$t = \frac{p_{\max} \cdot D_{вн}}{2\sigma_{0,2}} \cdot n,$$

где $\sigma_{0,2}$ – предел текучести материала контейнера;

n – коэффициент запаса прочности 3 ÷ 4.

По результатам расчета делается сводный чертеж контейнера, с проставлением расчетных размеров.

На практике (в заводских условиях) конечно на каждую деталь не изготавливают контейнер. Имеется набор (3-5) стандартных контейнеров диаметром от 150 до 500 и более мм.

А выполненные выше расчеты в таком случае носят проверочный (оценочный) характер.

2.3.5. Пример расчета

Требуется рассчитать параметры технологического процесса вырубки-пробивки эластичной средой детали, показанной на рис.38.

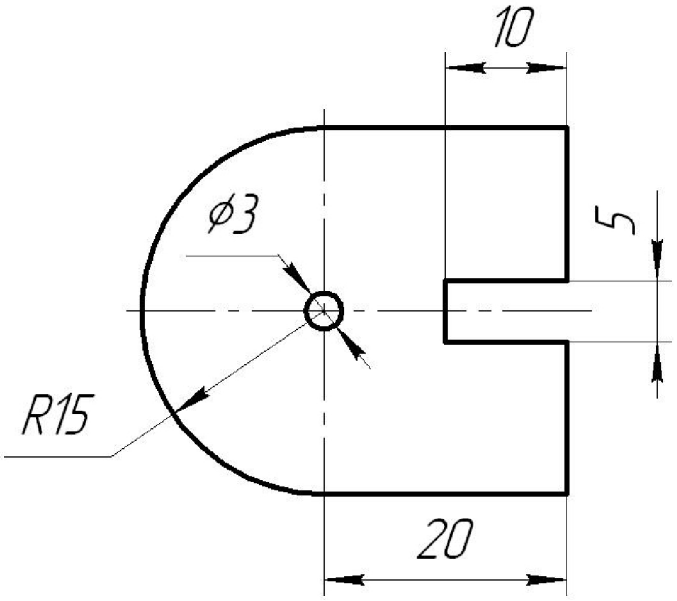


Рисунок 38 – Деталь для расчета

Толщина материала заготовки S = 0,5мм.

Механические свойства материала заготовки: σ_b=10 кг/мм^2 ; δ = 0,15.

1. Определяем высоту вырезного шаблона:

$$H = 3 \cdot (1 + \delta) \cdot \sqrt{S} = 3 \cdot (1 + 0.15) \cdot \sqrt{0.5} = 2.44 \approx 2.5 мм .$$

Принимая f = 0,5, рассчитываем величину припуска на прямолинейном участке и криволинейном (R>5H) :

$$L = 3.4 \cdot H + 2 \cdot S = 3.4 \cdot 2.5 + 2 \cdot 0.5 = 9.5 мм .$$

Тогда размер заготовки равен:

$$A \times B = [15 + 20 + 9.5 \cdot 2] \times [30 + 9.5 \cdot 2] = 54 \times 49 мм^2 .$$

2. Определяем давления вырезки детали по наружному контуру и пробивки отверстия и паза.

Вырезка наружного контура детали:

прямолинейного участка и криволинейного участка при (R>5H)

$$p_1 = p_2 = \frac{\sigma_b \cdot S}{H} = \frac{10 \cdot 0.5}{2.5} = 2 кг / мм^2 .$$

пробивка отверстия:

$$P_3 = \frac{3 \cdot S \cdot \sigma_b}{d} = \frac{3 \cdot 0.5 \cdot 10}{3} = 5 кг / мм^2 .$$

пробивка паза:

$$P_4 = \frac{2 \cdot S \cdot (a + b) \cdot \sigma_b}{a \cdot b} = \frac{2 \cdot 0.5 \cdot (5 + 10) \cdot 10}{5 \cdot 10} = 3 кг / мм^2 .$$

Для получения данной детали в контейнере нужно создать максимальное рассчитанное давление 5 кг/мм^2 .

3. Определяем усилие пресса по формуле

$$P = K_{пр} \cdot p \cdot F ,$$

где F- площадь рабочей поверхности эластичной среды.

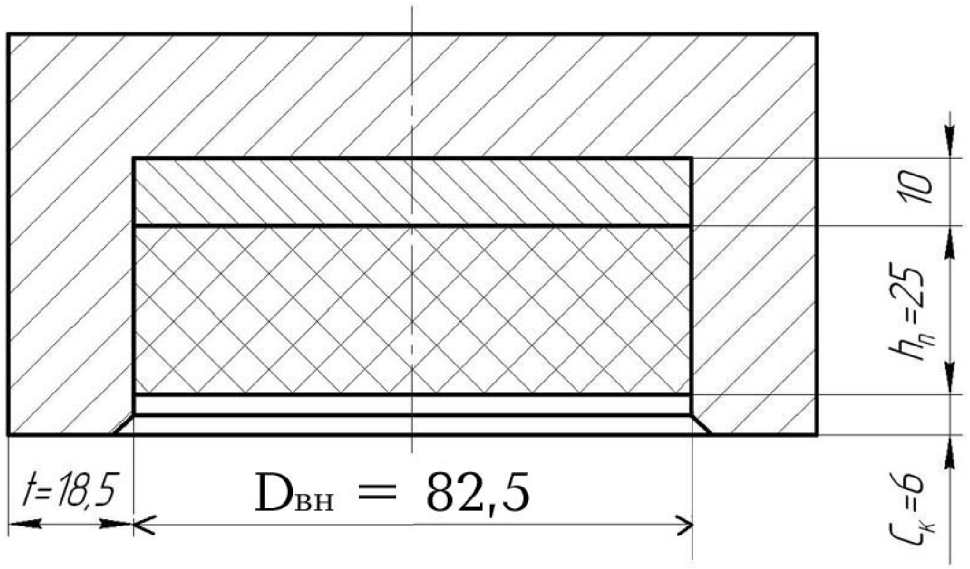
$$C = \sqrt{A^2 + B^2} = \sqrt{54^2 + 49^2} = 72.9 \approx 73мм,$$
$$D_{вн} = C + L = 73 + 9.5 = 82.5мм,$$
$$P = 1.3 \cdot 5 \cdot \frac{\pi \cdot 82.5^2}{4} \approx 35000кг.$$

4. Найдем основные размеры контейнера:

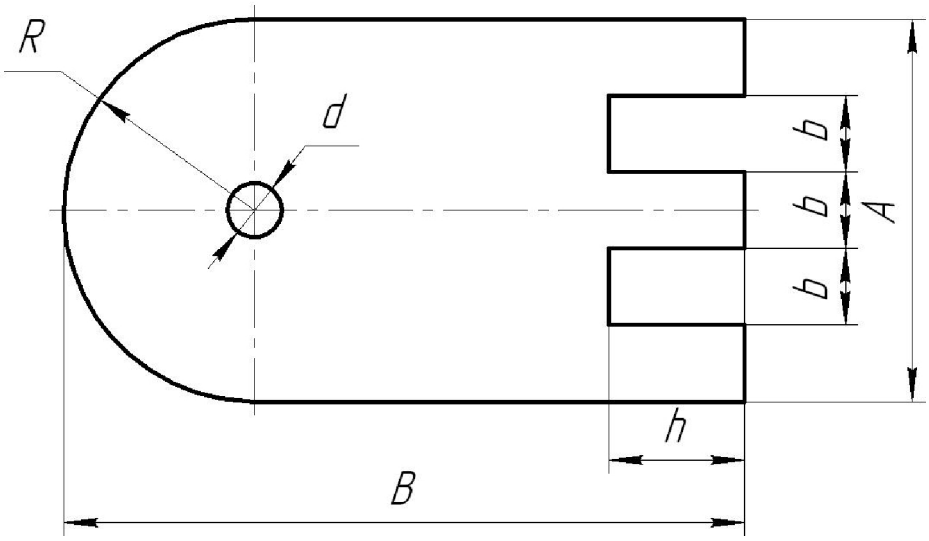
$$C_к = H + S + C_ф = 2.5 + 0.5 + 3 = 6мм,$$
$$h_п = (4 \div 5)H = 25мм,$$
$$t = \frac{p \cdot D_{вн}}{2 \cdot \sigma_{0.2}} \cdot n = \frac{5 \cdot 82.5}{2 \cdot 45} \cdot 4 = 18.33мм.$$

где $\sigma_{0,2}$ - предел текучести материала контейнера

6. Чертеж контейнера

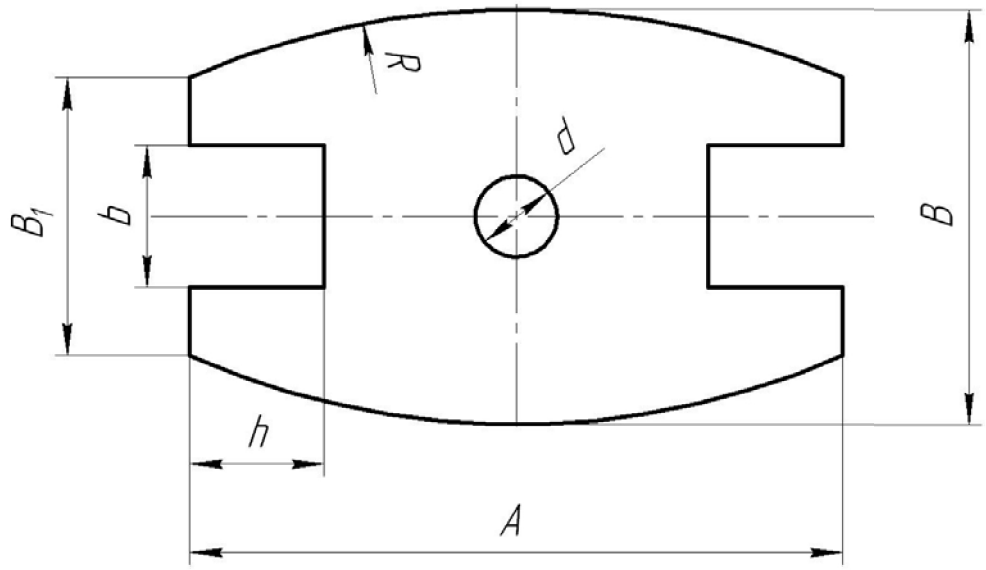


2.3.6. Задания для контрольной работы



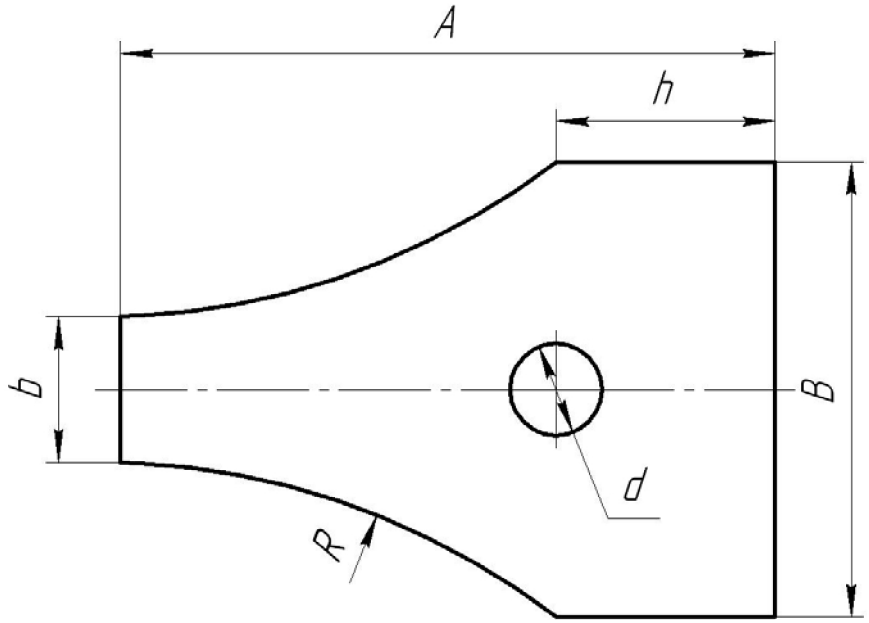
1

Марка материала	S	Геометрические параметры, мм					
		d	A	B	R	h	b
δ=0.5; σ_b=30	0.5	5	30	40	15	8	4
δ=0.15; σ_b=30	0.8	5	30	50	15	8	4
δ=0.1; σ_b=10	1.2	5	30	60	15	8	5



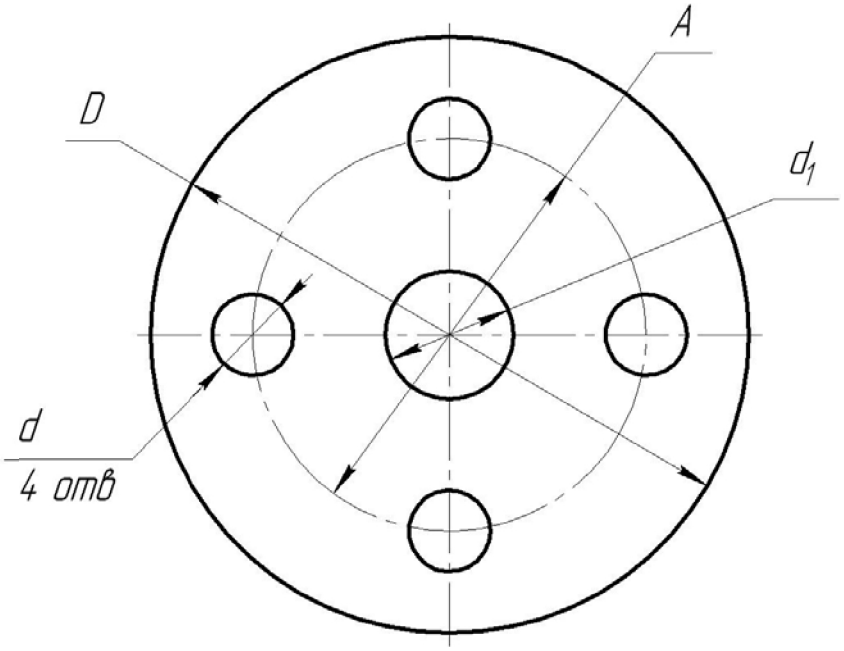
2

Марка материала	S	Геометрические параметры, мм						
		d	R	A	B	b	B_1	h
δ=0.1; σ_b=40	0.2	4	80	40	25	2	15	6
δ=0.2; σ_b=30	0.3	5	80	40	25	4	15	6
δ=0.1; σ_b=10	0.5	4	80	40	25	4	15	6



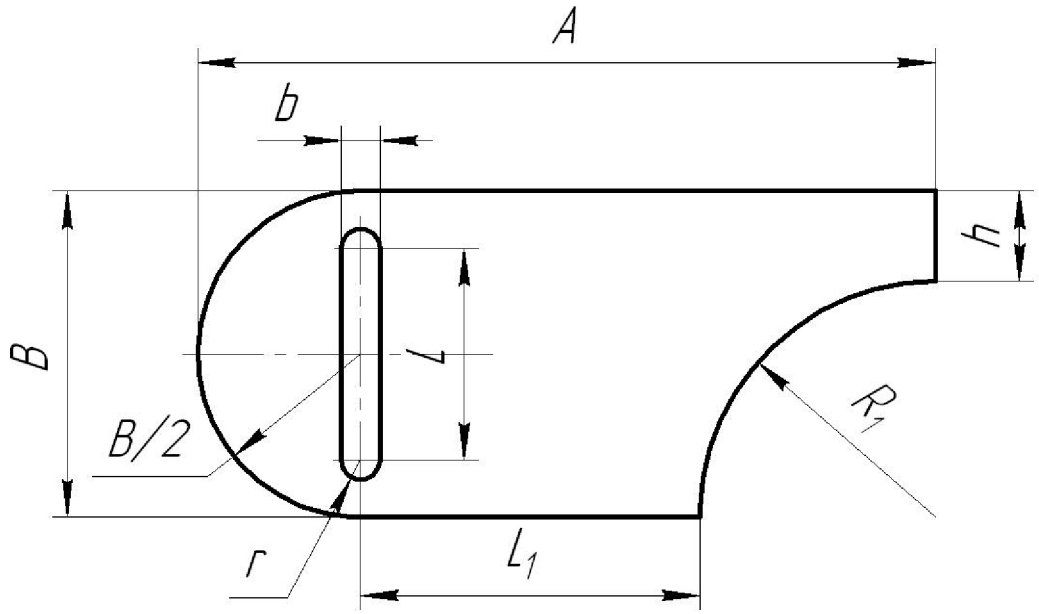
3

Марка материала	S	Геометрические параметры, мм					
		d	A	B	b	R	h
δ=0.1 σ_b=30	0.1	2	50	30	10	40	10
δ=0.2 σ_b=20	0.5	4	50	40	10	40	10
δ=0.3σ_b=10	0.75	5	50	50	10	40	10



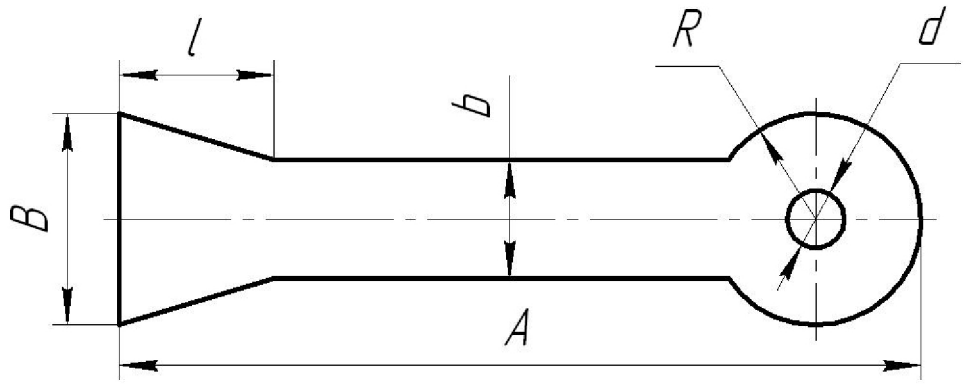
4

Марка материала	S	Геометрические параметры, мм			
		A	D	d	d_1
δ=0.15; σ_b=45	0.5	30	40	5	10
δ=0.2; σ_b=40	0.75	40	50	5	10
δ=0.3; σ_b=50	1.0	50	60	5	10



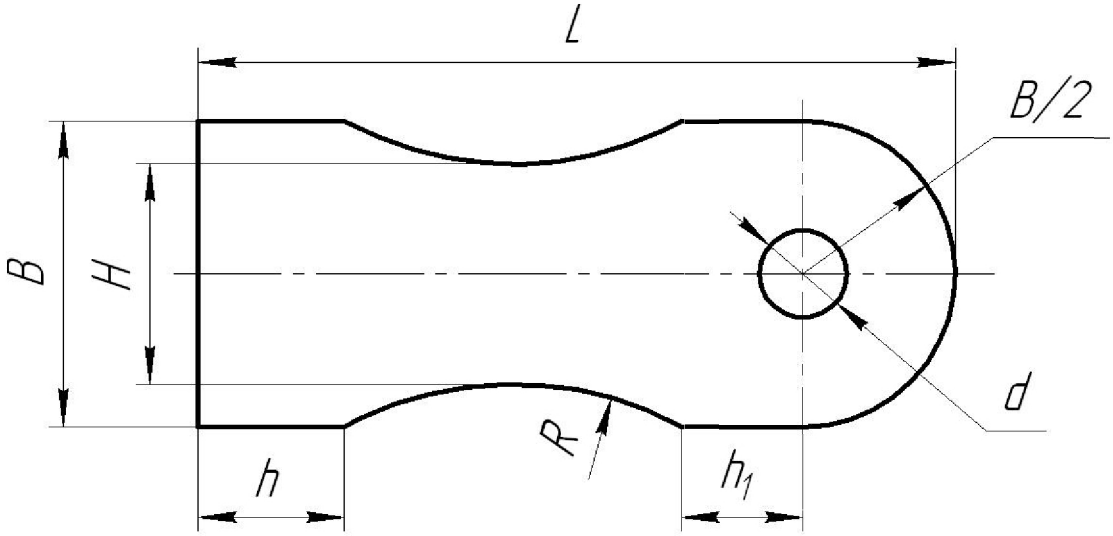
5

Марка материала	S	Геометрические параметры, мм							
		r	L	R_1	b	A	B	L_1	h
δ=0.2; σ_b=30	0.5	1.5	10/2	10	3	50	15	30	5
δ=0.3; σ_b=20	1.0	2.0	10/2	10	4	50	15	30	5
δ=0.4; σ_b=10	1.2	3.0	10/2	10	6	50	15	30	5



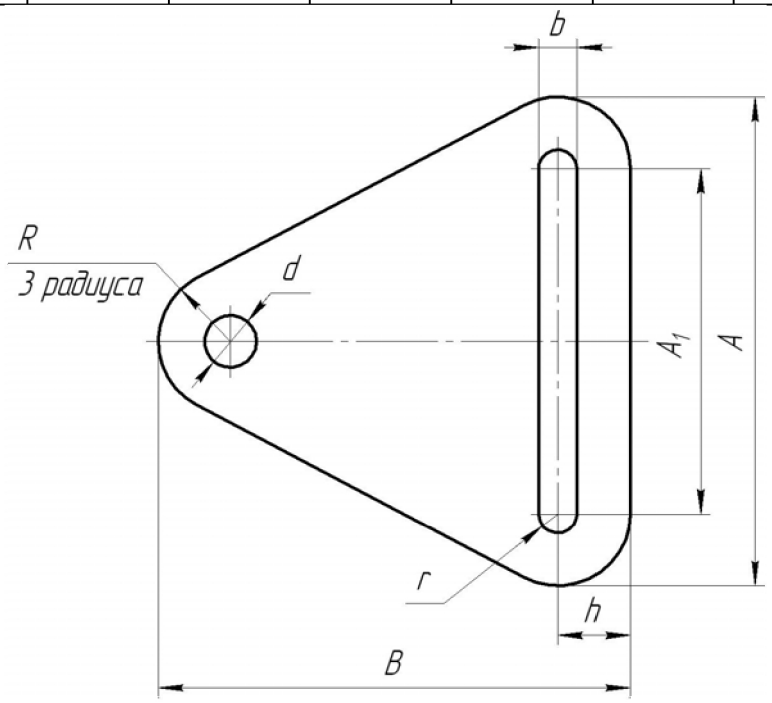
6

Марка материала	S	Геометрические параметры, мм						
		d	A	D	R	B	b	l
δ=0.6; σ_b=20	0.1	3	60	20	10	20	10	20
δ=0.3; σ_b=30	0.3	3	60	20	10	20	10	20
δ=0.15; σ_b=10	0.9	3	60	20	10	20	10	20



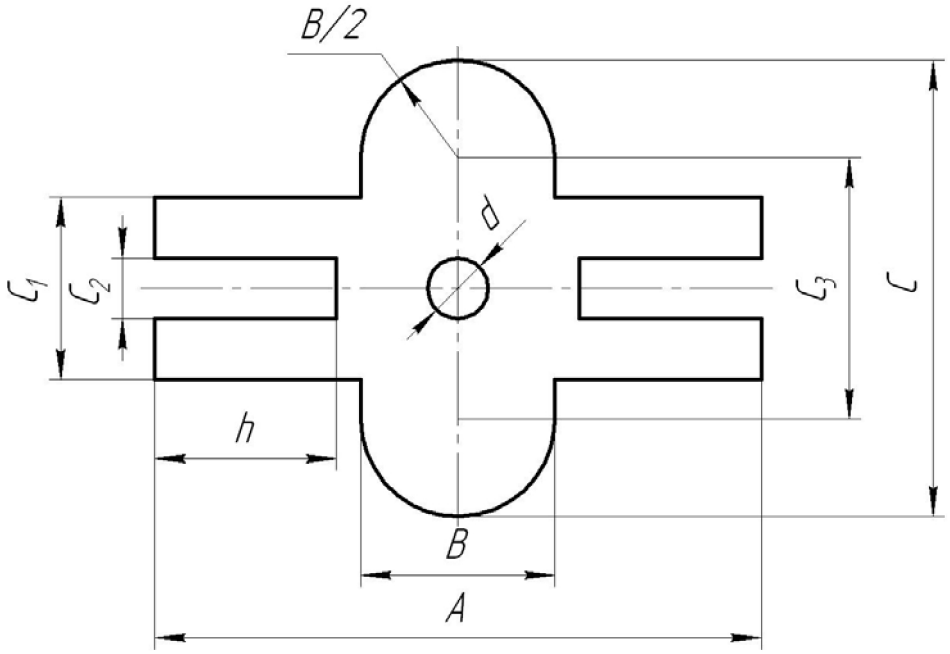
7

Марка материала	S	Геометрические параметры, мм						
		d	B	R	L	H	h	h_1
δ=0.1; σ_b=40	0.5	5	15	50	40	10	10	10
δ=0.2; σ_b=20	0.6	5	15	50	50	10	10	10
δ=0.6; σ_b=45	0.7	5	15	50	30	10	10	10



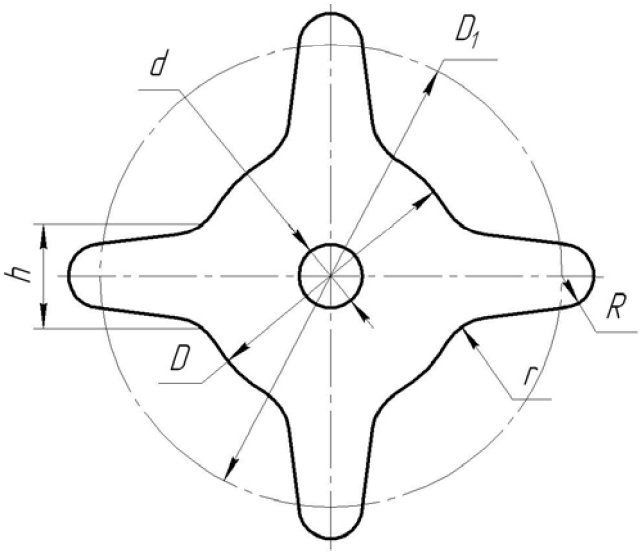
8

Марка материала	S	Геометрические параметры, мм						
		d	A	A_1	B	R	b	r
δ=0.35; σ_b=10	0.5	4	40	30	40	10	4	2
δ=0.1; σ_b=50	1.0	5	40	30	40	10	6	3
δ=0.2; σ_b=40	0.5	10	50	40	50	15	10	5



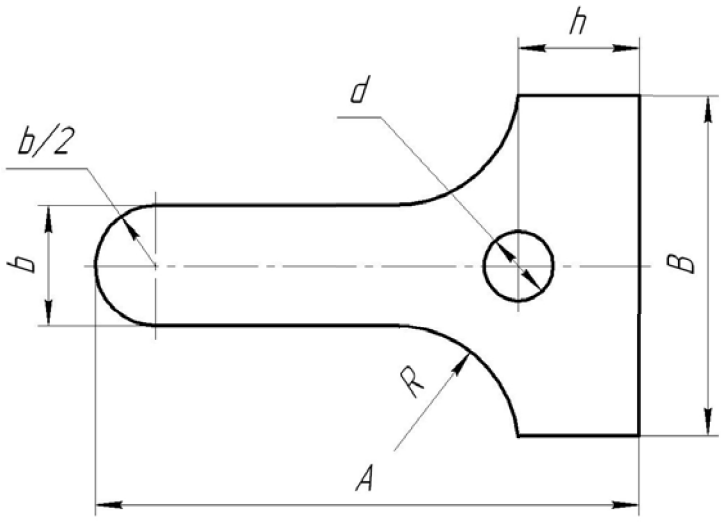
9

Марка материала	S	Геометрические параметры, мм							
		d	B	A	h	C	C_1	C_2	C_3
δ=0.1; σ_b=20	0.1	5	20	60	10	40	15	5	20
δ=0.2; σ_b=30	0.2	5	30	60	10	40	15	5	20
δ=0.3; σ_b=40	0.3	5	40	60	10	40	15	5	20



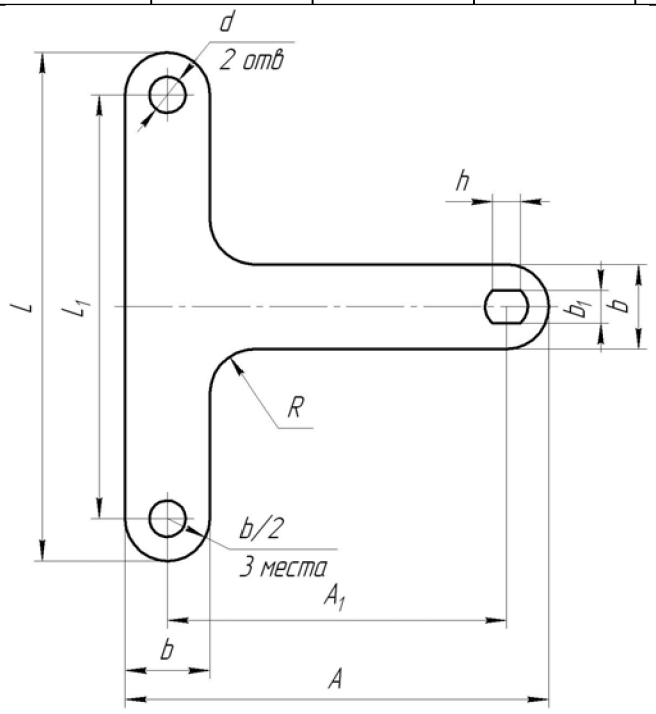
10

Марка материала	S	Геометрические параметры, мм					
		d	D	D_1	R	r	h
δ=0.15; σ_b=10	0.8	5	40	60	3	1.5	5
δ=0.25; σ_b=15	0.9	5	40	60	3	2.0	5
δ=0.35; σ_b=20	1.2	5	40	60	3	3.0	5



11

Марка материала	S	Геометрические параметры, мм					
		d	A	B	b	R	h
δ=0.1; σ_b=15	0.5	5	30	30	10	10	10
δ=0.3; σ_b=20	0.35	5	35	35	10	10	10
δ=0.6; σ_b=40	0.25	5	40	40	10	10	10



12

Марка материала	S	Геометрические параметры, мм								
		d	A	A_1	L	L_1	b	b_1	R	h
δ=0.25; σ_b=10	0.1	3	40	30	30	20	10	3	5	2
δ=0.3; σ_b=10	0.5	5	40	30	30	20	10	5	5	2
δ=0.3; σ_b=40	1.0	5	40	30	30	20	10	5	5	2

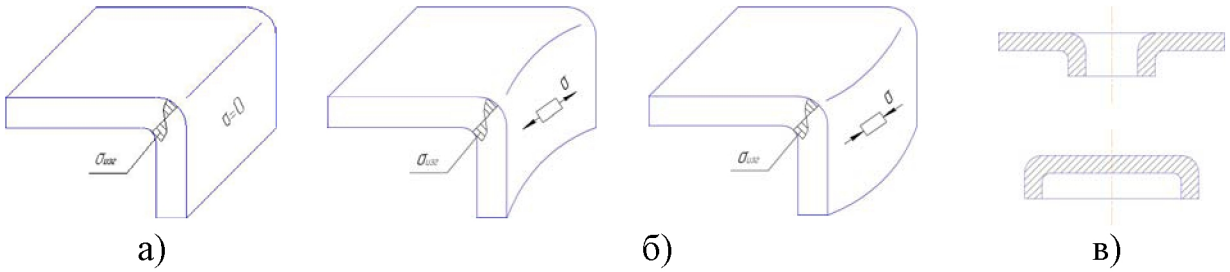
2.4. Формообразующие операции, осуществляемые эластичными средами

Технологические схемы, основы проектирования операций гибки-формовки, рельефной формовки, вытяжки, формовки полых заготовок, прессованных профилей

К формообразующим операциям, осуществляемым с использованием эластичных сред, относятся операции гибки, гибки-формовки, рельефной формовки, вытяжки, формовки полых заготовок, прессование профилей и др.

2.4.1. Гибка, гибка-формовка

Наибольшее распространение из перечисленных операций получили операции гибки и гибки-формовки. Операция гибки листовой заготовки применяется для образования боковой стенки детали. Если отгибаемый незамкнутый борт имеет прямолинейную форму, то при гибке по радиусу гиба возникают изгибные напряжения, а стенка борта остается ненапряженной. Такая операция называется «гибка» (рис.39).



а) б) в)

Рисунок 39 – Операции гибки: а) гибка; б) гибка-формовка; в) отбортовка отверстия и наружного контура

Если отгибаемый борт имеет кривизну (вогнутую или выпуклую), то при гибке по радиусу гиба также возникают изгибные напряжения, но, кроме того, напряжения (растяжения или сжатия) возникают и в стенке отгибаемого борта. Такая операция носит название «гибки-формовки». В частном случае операции гибки-формовки, когда криволинейный борт является замкнутым, операция гибки-формовки носит название отбортовки отверстия или наружного замкнутого контура.

Для реализации процессов гибки и гибки-формовки могут быть использованы открытая, полуоткрытая или контейнерная закрытая схемы штамповки.

На рис.40 даны примеры осуществления процессов гибки при использовании открытой и полуоткрытой технологических схем. При этом даны примеры использования некоторых технологических приемов: гибка в один или несколько переходов без и с переворотом заготовки, с использованием одного или нескольких пуансонов или сменных эластичных блоков. Реализация этих схем возможна лишь в тех случаях, когда для их осуществления необходимы небольшие давления.

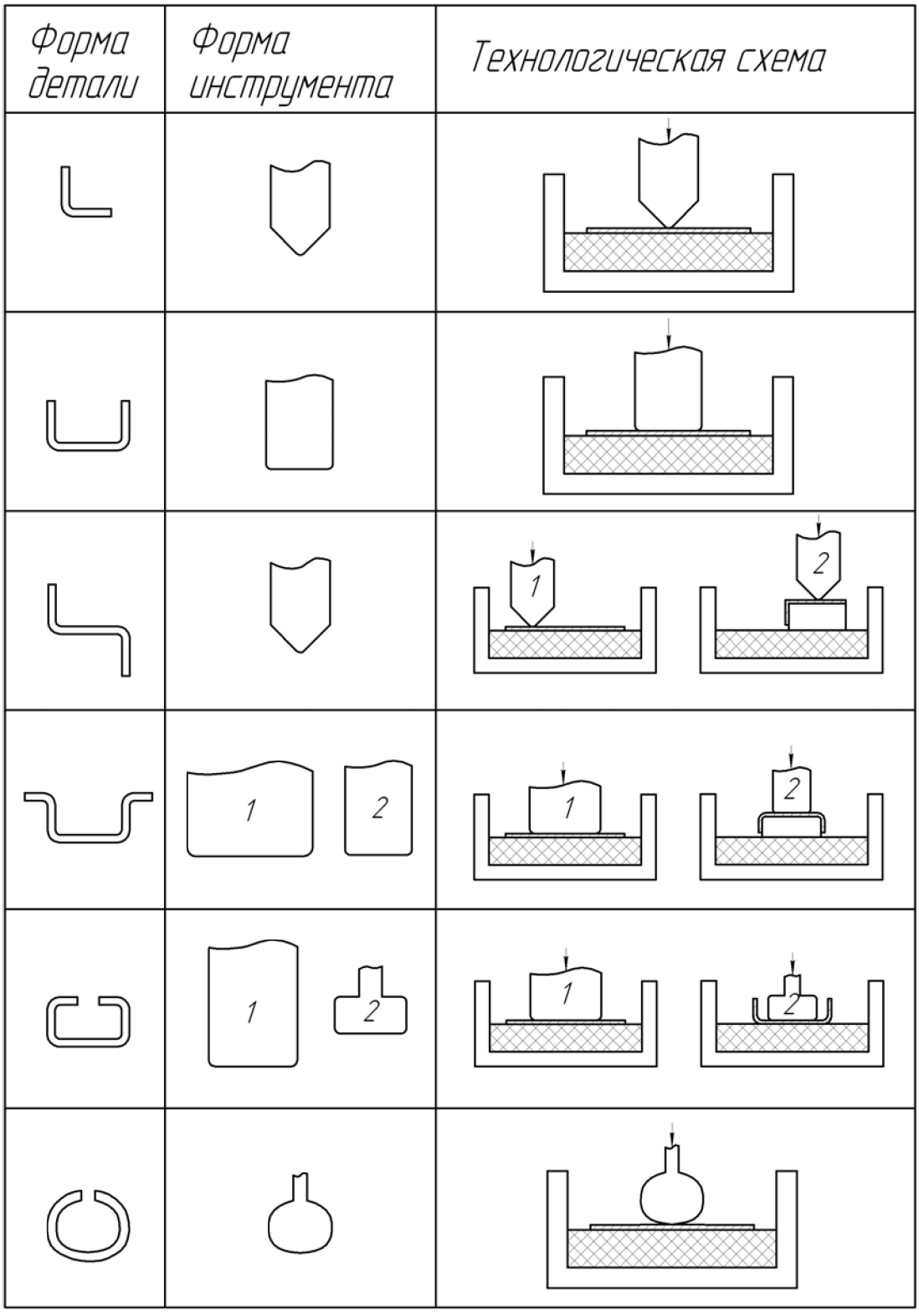


Рисунок 40 – Гибка при открытой и полуоткрытой схемах

Особенностью гибки эластичной средой является плавность, последовательность передачи заготовке давления по все увеличивающейся деформируемой площади заготовки. Деформация развивается равномерно от вершины к периферии. В инструментальных методах гибки давления на заготовку передаются через локальные участки (точки контакта). Поэтому уровень остаточных

напряжений в готовой детали, полученной эластичной средой, ниже, чем у полученной в инструментальном штампе.

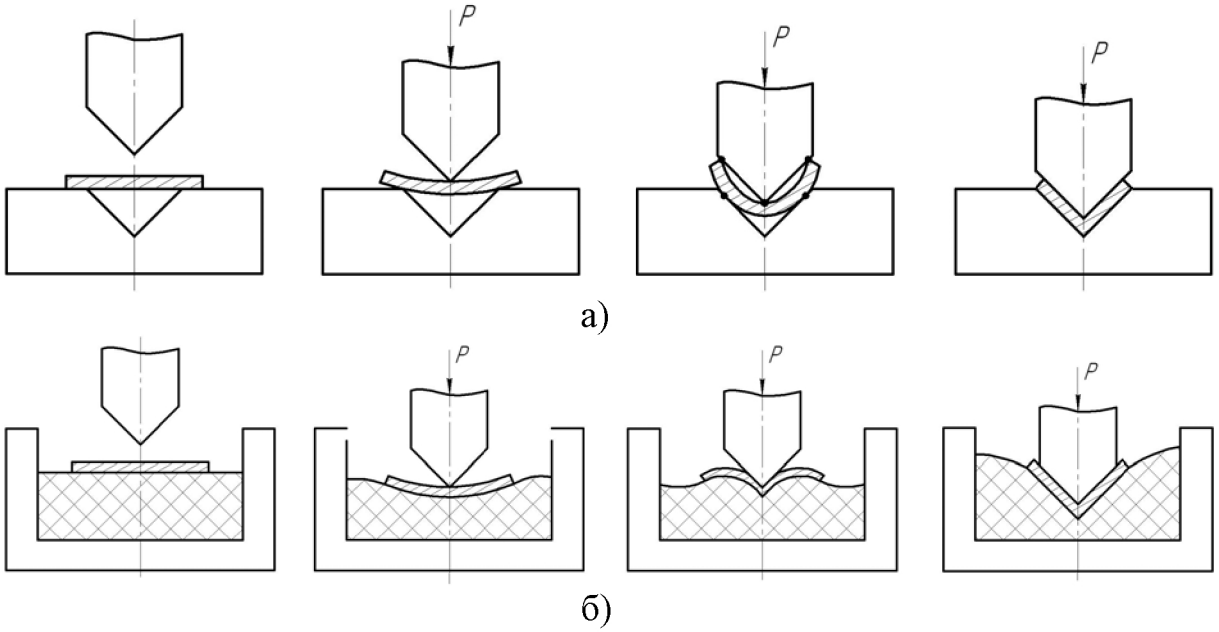


Рисунок 41 – Последовательность гибки в инструментальном штампе (а) и эластичной средой (б)

Наибольшие давления, а следовательно, и более широкие технологические возможности реализуются при использовании закрытой контейнерной схемы.

При этой схеме штамповки необходимо учитывать особенность гибки коротких жестких бортов. С уменьшением длины отгибаемого участка возрастает его жесткость, то есть сопротивление изгибу. При условии, когда сопротивление изгибу борта становится больше сопротивления течению эластичной среды, в зазор между заготовкой и внутренней стенкой контейнера эластичная среда может затекать под изгибаемый борт и препятствовать его дальнейшей гибке. (см.рис.21).

Вот почему при оценке технологичности детали, то есть возможности ее изготовления эластичной средой, прежде всего оценивается минимально возможная высота отгибаемого борта, например, при r = 3S и угле гиба $\alpha = 90^0$ она будет равна

$$h_{\min} = \sqrt{\frac{\sigma_в \cdot S^2}{2p}} + 4S \qquad (4)$$

При этом в расчет закладывается максимальное давление p = 10 кг/мм^2, которое выдерживает эластичная среда.

Если заданная по чертежу высота отгибаемого борта h меньше h_{min}, то следует признать, что деталь нетехнологична для ее изготовления эластичной средой.

Параметр оценки технологичности детали по h_{min} присущ только процессу гибки эластичной средой в закрытом объеме, учитывает особенность гибки эластичной средой коротких жестких бортов.

Процесс проектирования технологического процесса гибки эластичной средой сводится к определению двух деформационно-силовых параметров процесса: потребного давления и величины угла пружинения.

Потребное давление гибки p определяется из условия равенства моментов внутренних и внешних сил (рис.42).

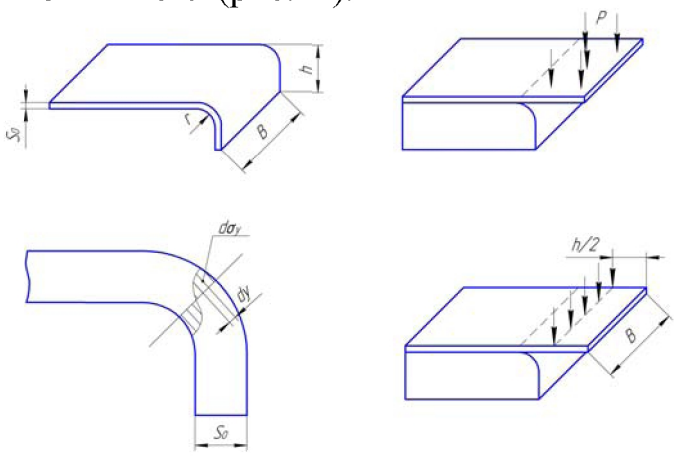


Рисунок 42 – Силовое воздействие эластичной среды на отгибаемый борт. Распределение напряжений

Момент внутренних сил определяется по формуле

$$M_{вн} = 2\int_{o}^{\varepsilon} d\sigma(y)\cdot dy \qquad (5)$$

где ε – деформация, определяемая значением угла гиба.

Принимая, что равнодействующая сила от действия давления p приложена к середине отгибаемого борта, то есть, что плечо приложения силы равно h/2, получим момент внешних сил, равный

$$M_{вн} = \frac{ph^2}{2}B. \qquad (6)$$

Из равенства моментов, принимая возникающие напряжения максимальными и равными пределу прочности материала заготовки для случая гибки на угол $\alpha=90^0$, после некоторых преобразований получим

$$p = \frac{\sigma_в \cdot S_0^2}{2(h-r-0{,}5S_0)^2} \qquad (7)$$

Рассчитанное давление обеспечивает полное прилегание борта к формблоку.

После снятия давления в результате упругой разгрузки (рис.43) борт займет положение, отличное от заданного формблока, и может выйти за пределы допуска, определяемого чертежом детали.

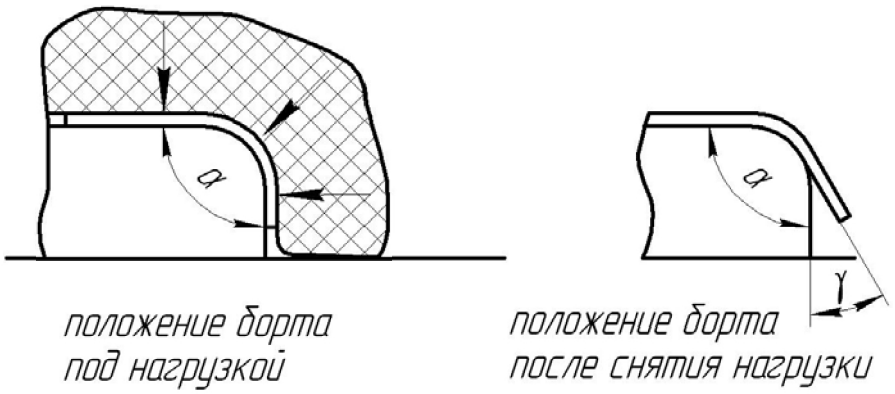


Рисунок 43 – Упругое пружинение при гибке эластичной средой

Для получения детали с заданной точностью необходимо угол гиба скорректировать на величину угла пружинения: $\alpha_{скор} = \alpha_{черт} + \gamma$. В этом случае борт гнется на больший угол ($\alpha + \gamma$), а после разгрузки займет положение, обеспечивающее заданный по чертежу угол гиба α (рис.44).

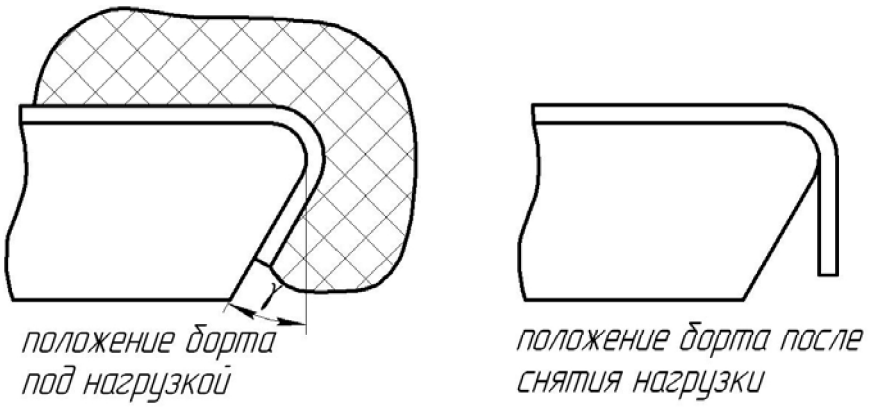


Рисунок 44 – Корректировка размера формблока
на величину угла пружинения

Структура формулы для определения упругой отдачи (пружинения) определяется из приведенного на рисунке 45 треугольника диаграммы σ-ε; упругая разгрузка (отрезок *ab*) = $\sigma_в/E$, а с учетом ее зависимости от геометрических размеров r/S,α формула примет вид:

$$\gamma = \frac{3\sigma_в}{E}(r/S + 0{,}5)\alpha. \qquad (8)$$

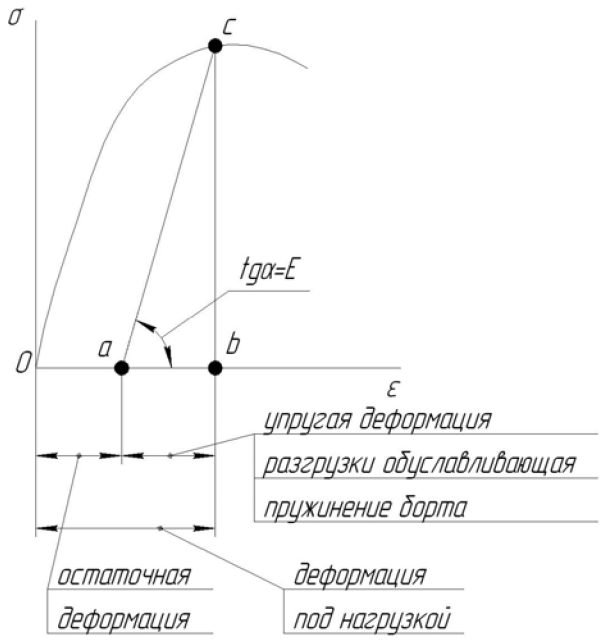


Рисунок 45 – Диаграмма «σ-ε»

Изучению зависимости угла пружинения от радиуса (r) и угла гиба (α) посвящена одна из лабораторных работ курса.

На рис.46 приведены фотографии деталей, полученных с помощью операций гибки, гибки-формовки эластичными средами. Материал деталей – алюминиевые, медные, титановые сплавы, стали. Габаритные размеры до 1000 мм, толщины до 3-4 мм.

Рисунок 46 – Примеры деталей, полученных гибкой, гибкой-формовкой эластичной средой

2.4.1.1. Проектирование процесса гибки эластичной средой при изготовлении типовой детали
(Практическое занятие)

Порядок проектирования технологического процесса:

1. Оценка технологичности детали, то есть возможности изготовления данной детали. Оценка технологичности ведется по двум параметрам – r_{min} и h_{min}.

Прежде всего надо выбрать технологическую схему. Выбираем ту, которая обеспечивает наибольшее давление, то есть закрытую контейнерную схему. Далее воспользуемся таблицей, с помощью которой можно определить r_{min}, который зависит от марки материала (то есть механических свойств), его термического состояния и направления линии гиба по отношению к направлению прокатки (деформационная анизотропия).

Таблица 4 – Определение радиусов гиба

Материал	В отожженном или нормализованном состоянии		В наклепанном состоянии	
	Расположение линии гиба			
	Поперек волокон проката	Вдоль волокон проката	Поперек волокон проката	Вдоль волокон проката
	Радиус гиба x S_o			
Медь отожженная	0,1	0,5	1,0	2,0
Латунь Л68			0,4	0,8
Сталь 08КП		0,4	0,5	1,0
Стали 10-20		0,5		
Стали 25-30	0,2	0,6	0,8	1,2
Стали 35-40	0,3	0,8	1,0	1,5
Стали 45-50	0,5	1,0	1,2	1,8
Стали 55-60	0,7	1,2		2,0
12Х18Н10Т	1,2	2,0	2,0	3,0
Д16АМ		1,8	1,8	2,6
Д16АТ	2,5	3,5	3,5	4,5
МА1М в хол.сост.	-	-	6,0	8,0
МА8М в хол.сост.			5,0	6,0

Табличные значения r_{min} являются теоретическими и для практики должны быть увеличены в 1,5-2,5 раза.

Минимальная высота отгибаемого борта h_{min} (из условия соотношения жесткости борта и сопротивления течению эластичной среды и затеканию ее под отгибаемый борт) можно определить по формулам из таблицы 5.

Таблица 5 – Определение высоты борта

Определяемая величина	Расчетная формула	Примечание
	С учетом упрочнения материала	
Минимальная высота отгибаемого борта	$h_{\min} = \sin a \sqrt{\frac{2KS^{2+n}}{r^n (2+n) 2^{1+n} p}} + rb(1-\cos a) + 0{,}5S$	K,n – константы данного материала
	$h_{\min} = \sqrt{\frac{KS^2}{r^n (2+n) p}} + 4S$	Для $\alpha = 90^o$ При $r = 3S$
	Без учета упрочнения материала	
	$h_{\min} = \sin a \sqrt{\frac{\sigma_b S^2}{2p}} + rb(1-\cos a) + 0{,}5S$	Для приближенного расчета
	$h_{\min} = \sqrt{\frac{\sigma_b S^2}{2p}} + 4S$	Для приближенного расчета при $r = 3S$; $\alpha = 90^o$

Здесь:
α – угол гиба; K, n – коэффициенты степенной аппроксимации диаграммы истинных напряжений; p – максимальное давление, которое может быть достигнуто в контейнере 10 кг/мм^2 .

2. Определение размеров заготовки

Длина развертки $l_з$ определяется по формуле

$$l_з = \Sigma l_i + \Sigma \frac{\pi \alpha}{180}(r + \chi S),$$

Σl_i = сумма прямых участков.

χ - коэффициент, учитывающий особенности влияния эластичной среды на процесс гибки, определяется по таблице 6.

Таблица 6 – Определение коэффициента χ

r_b	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10	12	15	20
χ	0,3	0,335	0,36	0,383	0,4	0,415	0,43	0,455	0,467	0.483	0,485	0,5

3. Определение необходимого для гибки давления ведется по формулам, приведенным в таблице 7.

Таблица 7 – Определение давления гибки

Определяемая величина	Расчетная формула	Примечание
Необходимое давление для гибки прямолинейного борта	$p = \frac{2\sin^2 aKS^{2+n[}}{r^n(2+n)2^{1+n}[xp-\kappa(1-cosa)-0{,}5S]^2}$	
	$p = \frac{2KS^{2+n}}{r^n(2+n)2^{1+n}(h-r-0{,}5S)^2}$	При $\alpha = 90^0$
	$p = \frac{\sigma_b S^2 \sin^2 a}{2[h-r(1-\cos a)-0{,}5S]^2}$	Упрощенная формула для предварительных расчетов
	$p = \frac{\sigma_b S^2}{2[h-r-0{,}5S]^2}$	При $\alpha = 90^0$

4. Определение размеров формблока (рис.47):

- высота формблока $h_ф = h + a - S$;
- припуск на высоту формблока при гибке прямолинейных бортов a = 8-10 мм;
- корректировка угла гиба у формблока определяется по формулам упругой отдачи при гибке.

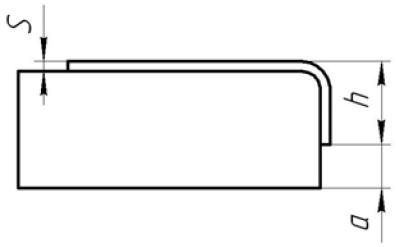


Рисунок 47 – Схема гибки

Таблица 8 – Определение угла упругой отдачи

Определяемая величина	Расчетная формула	Примечание
Угол упругой отдачи γ	$\gamma = E'(\frac{2r}{S}+1)^{1-n}a_0$	Для прямолинейных бортов
	$\gamma = \frac{3\sigma_b}{E}(\frac{r}{S}+0{,}5)a_0$	При $\frac{r}{S} \le 7-10$
	$\gamma = 945\frac{\sigma_b}{E}$	При $\frac{r}{S} = 3; a = 90^0$

5. Определение размеров эластичной подушки:

Размер эластичной подушки (внутренний диаметр контейнера) определяется из условия свободного размещения на ней заготовки (рис.48). Зазор между стенкой контейнера и заготовкой принимается равным половине высоты формблока.

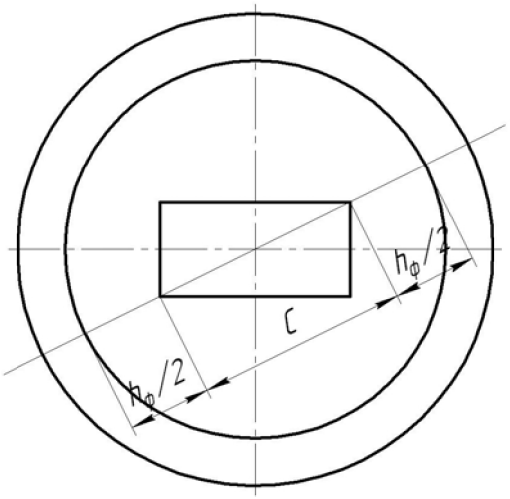


Рисунок 48 – Размер эластичной подушки

Внутренний диаметр контейнера $D_{вн} = C + h_ф$.
Высота эластичной подушки $h_г = 3\ h_ф$.

6. Определение исполнительных размеров контейнера:

- глубина заходной части контейнера
$h_k = h_п + h_{пр} + C_к$; $h_{пр}$ – высота прокладки 5-10 мм;
$C_к$ – заходная фаска, выбирается в пределах $2x45^o \ldots 5x45^o$;
- толщина стенки контейнера

$$t = \frac{p \cdot D}{2\sigma_{0,2}} \cdot n \qquad n \text{ – коэффициент запаса } 3 \div 6$$

2.4.1.2. Пример расчета

Требуется рассчитать параметры технологического процесса гибки эластичной средой при изготовлении детали, показанной на рис. 49.

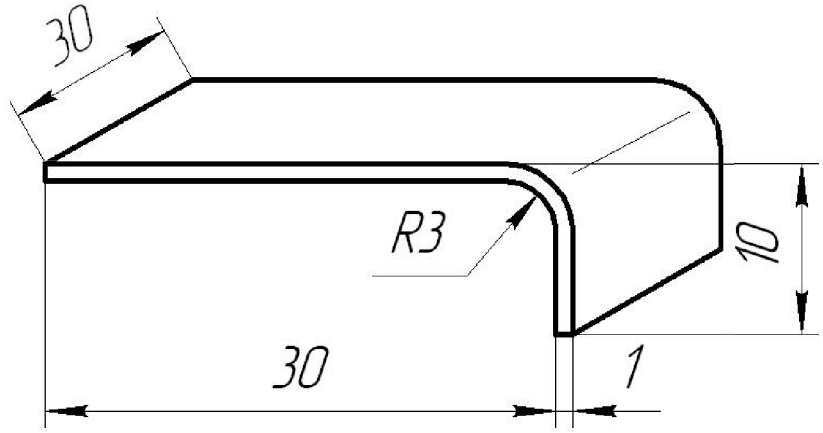


Рисунок 49 – Деталь для расчета

Материал детали Д16АМ. σ_b= 20кг/мм^2, $\sigma_{0.2}$=10кг/мм^2, δ=0.1,
E= 7000кг/мм^2.

1. Оценка технологичности детали

1.1. Минимальный радиус гиба .

Из таблицы 4 находим $r_{\min} = 1.2 \cdot S_0 = 1.2мм$ (поперек волокон),

вдоль волокон $r_{\min} = 1.8 \cdot S_0 = 1.8мм$.

Для практических целей минимальный радиус гиба принимаем равным

поперек волокон $r_{\min} = 2.4мм$;

вдоль волокон $r_{\min} = 3.6мм$.

Деталь технологична при условии раскроя заготовки из листа таким образом, чтобы линия гиба была поперек волокон.

1.2. Минимальная высота отгибаемого борта.

Выбираем схему гибки в закрытом объеме.

Используем для оценочных расчетов формулу

$h_{\min} = \sqrt{\frac{\sigma_b \cdot S^2}{2 \cdot P_{\max}}} + 4 \cdot S = \sqrt{\frac{20 \cdot 1^2}{2 \cdot 10}} + 4 \cdot 1 = 5мм$ - расчет показывает, что деталь технологична.

2. Определим размеры заготовки (рис. 50) по формуле

$l_з = \sum l_i + \sum \frac{\pi \cdot \varphi}{180}(r_b + \chi \cdot S)$, $\chi = 0.383$.

Разобьем деталь по участкам:

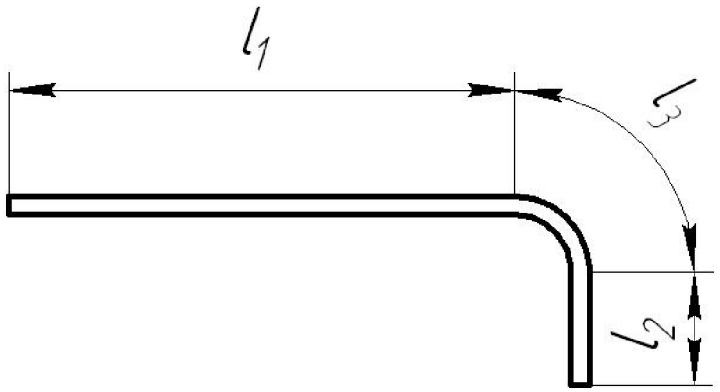


Рисунок 50 – Определение длины заготовки

$$l_з = \frac{2\pi(r + \frac{1}{2}\cdot S + \chi \cdot S)}{4} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot (3 + 0.5 + 0.383)}{4} = 6.1мм,$$

$$l_з = 27 + 6.1 + 6 = 39.1мм.$$

3. Определим потребное давление гибки по формуле

$$p = \frac{\sigma_b \cdot S^2}{2 \cdot (h - r - 0.5 \cdot S)^2} = \frac{20 \cdot 1^2}{2 \cdot (10 - 3 - 0.5)^2} = 0{,}24кг/мм^2.$$

4. Определим усилие пресса по формуле

$$P = K_{пр} \cdot p \cdot F,$$

где F- площадь рабочей поверхности эластичной среды.

$$C = \sqrt{A^2 + B^2} = \sqrt{30^2 + 39^2} = 49.2мм.$$

$$h_ф = h + a - S = 10 + 10 - 1 = 19мм.$$

$$D_{вн} = C + h_ф = 49.2 + 19 = 68.2мм.$$

$$P = 0{,}24 \cdot \frac{\pi \cdot 68.2^2}{4} \cdot 1.3 \approx 1139êã.$$

5. Определим угол пружинения детали, который следует учесть в форме формблока

$$\gamma = 945 \cdot \frac{\sigma_b}{E} = 945 \cdot \frac{20}{7000} = 2°42'.$$

6. Определим основные размеры контейнера (рис.51):

$$C_к = H + S + C_ф = 19 + 1 + 3 = 23мм;$$

$$h_п \geq (4 \div 5)h_ф = 60мм.$$

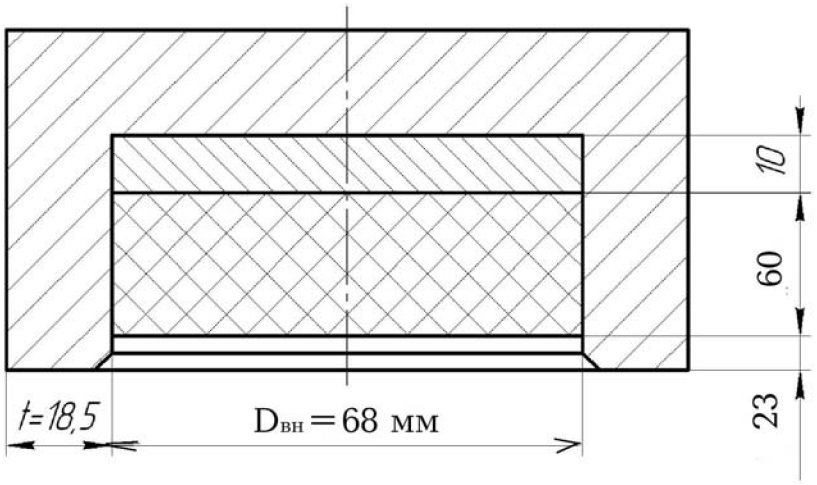
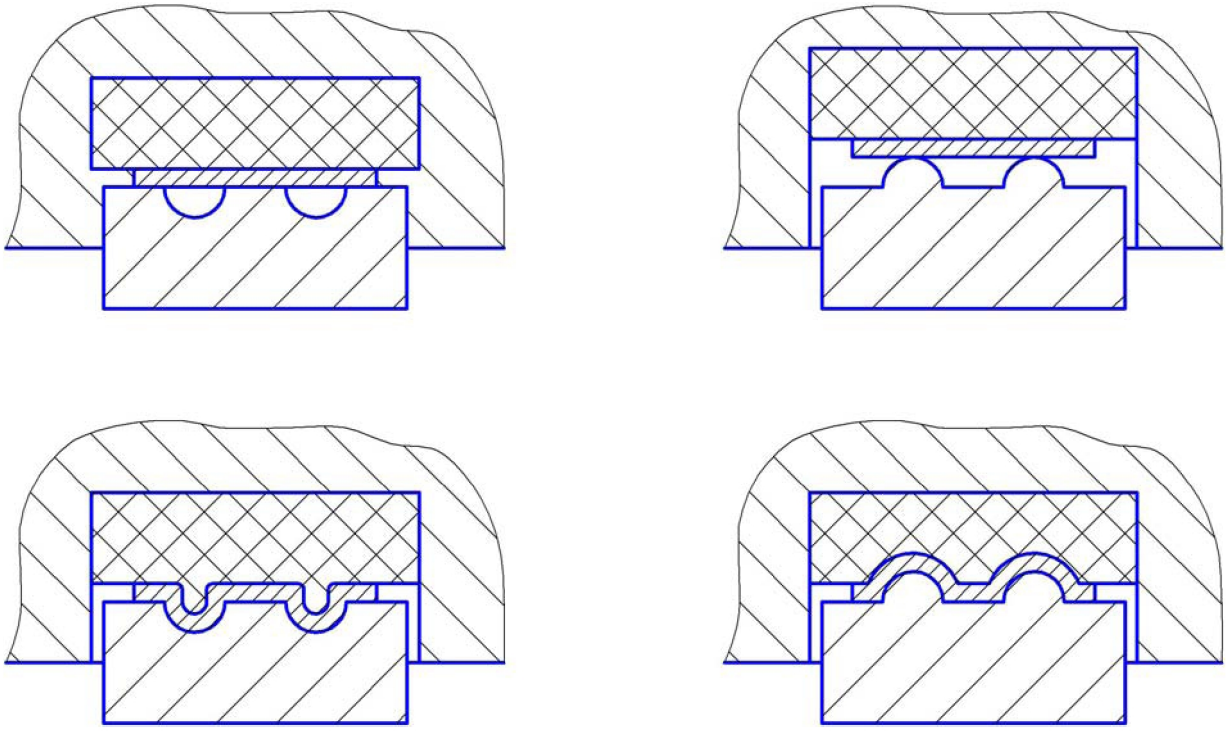


Рисунок 51 – Размеры контейнера

2.4.2 Рельефная формовка

Второй по распространенности формообразующей операцией, осуществляемой эластичной средой, является операция рельефной формовки. Рельефная формовка – процесс получения на плоской заготовке различного вида местных углублений, выступов, ребер жесткости, сферических или другой формы выдавок, художественного рельефа.

Существуют две технологические схемы рельефной формовки: по жесткой матрице и по жесткому пуансону (рис. 52)



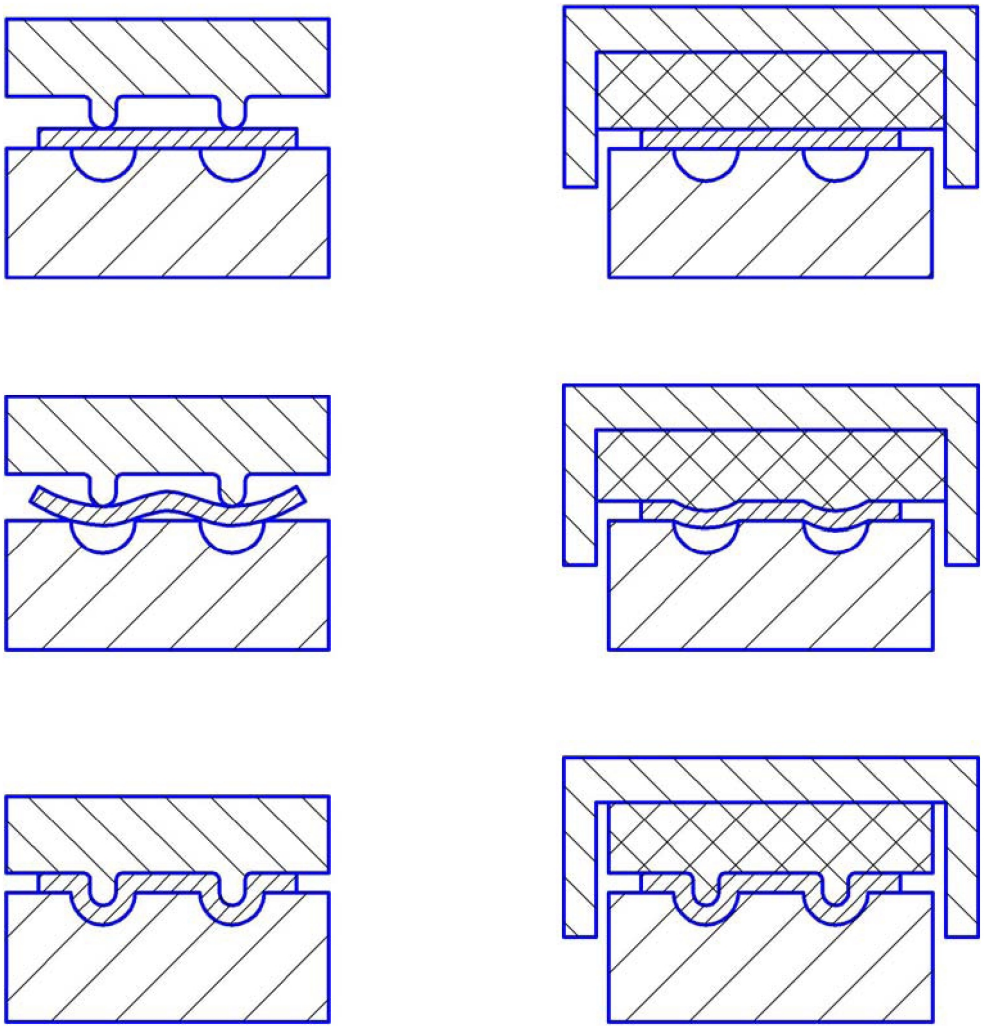
а) б)

Рисунок 52 – Схемы рельефной формовки:
а) по жесткой матрице; б) по жесткому пуансону

При использовании первой схемы в начальный момент штамповки заготовка по всей плоскости плотно прижимается к матрице и последующая формовка рельефа осуществляется за счет утонения материала в очаге деформации.

Вторая схема обеспечивает возможность подтяжки материала заготовки в очаг деформации, снижает величину утонения, но при этом возникает вероятность потери заготовкой устойчивости (гофрообразование), что значительно ограничивает технологические возможности процесса (формовка только мелкого рельефа).

В отличие от инструментальных методов рельефной штамповки, где заготовка испытывает знакопеременную неоднородную деформацию или где требуется применение сложных штампов с прижимом, при штамповке эластичной средой деформация развивается более равномерно, последовательно, что снижает уровень возникающих в детали остаточных напряжений, приводит к меньшему ее короблению (рис.53).



а) б)

Рисунок 53 – Последовательность деформирования заготовки при выполнении операции рельефной формовки: а) в инструментальном штампе; б) эластичной средой

При проектировании технологического процесса рельефной формовки определяется только один параметр – потребное давление. Так, для формовки рифтов (рис.54,а) сферической или цилиндрической форм необходимое давление определяется по формуле Лапласа

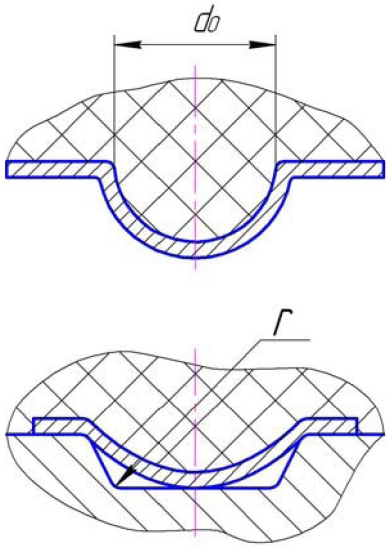
$$p = \frac{2\sigma_в \cdot S_0}{d_0}, \qquad (9)$$

Для гарантии полного оформления геометрии рифта предел текучести в формуле Лапласа заменен на предел прочности.

При рельефной формовке рифта другой формы (конфигурации), например трапецеидальной (рис.54,б), в приведенную выше формулу вместо d_0 необходимо подставить минимально оформляемый радиус в заданной геометрии рифта.

$$p = \frac{\sigma_в \cdot S_0}{r_{\min}} \qquad (10)$$

При оформлении сложного рельефа, в расчетную формулу потребного давления также подставляется минимальный радиус рельефа.



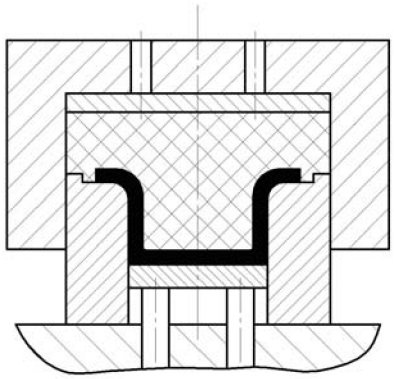
а)

б)

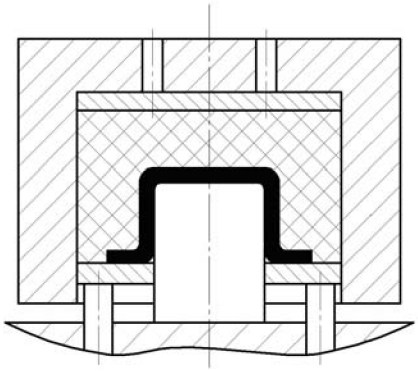
Рисунок 54 – Формовка рифта сферической (а), трапецеидальной (б) формы

2.4.3. Вытяжка эластичной средой

В последнее время, особенно с использованием специализированного оборудования, получили распространение операции вытяжки с использованием эластичных сред.



а)



б)

Рисунок 55 – Вытяжка эластичной средой:
а) по жесткой матрице; б) по жесткому пуансону

Вытяжка листового материала, как и рельефная формовка может осуществляться по двум схемам: эластичной матрицей по жесткому пуансону (рис.55,б) и, наоборот, эластичным пуансоном по жесткой матрице (рис. 55,а). При этом могут использоваться как подвижные, так и неподвижные прижимы.

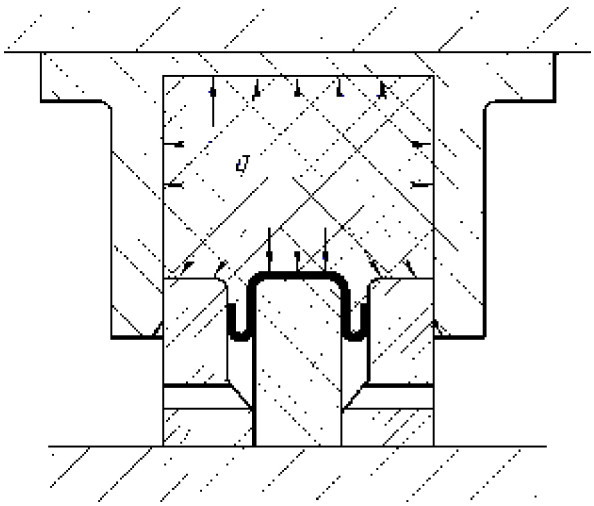


Рисунок 56 – Схема процесса вытяжки по жесткому пуансону с неподвижным прижимом

В случае применения неподвижного прижима эластичная матрица, деформируя листовую заготовку, образует своеобразное «перетяжное ребро», которое увеличивает растягивающие меридиональные напряжения, действующие во фланце заготовки (рис. 56).

Вытяжка детали из листовой заготовки по схеме с подвижным прижимом происходит следующим образом. При опускании контейнера, прикрепленного к ползуну гидравлического пресса, эластичный блок приходит в соприкосновение с плоской заготовкой, размещенной на прижимном кольце. Преодолевая сопротивление гидравлической подушки пресса, которое передают толкатели, эластичная среда деформирует заготовку, обтягивая ее вокруг пуансона и осуществляя, таким образом, процесс вытяжки.

Рассмотренный процесс вытяжки жестким пуансоном по эластичной матрице обладает значительно большими возможностями, чем вытяжка в инструментальном штампе, повышая коэффициенты вытяжки на 15-20 %. При этом значительно может быть уменьшен радиус между дном и стенкой (до 2S).

Увеличение степени деформации, получение большей высоты детали можно объяснить следующими причинами:

- уменьшением сопротивления изгибу (в начальный момент вытяжки радиус скругления имеет наибольшую величину);
- наличием полезных сил трения между пуансоном и заготовкой, разгружающих опасное сечение;
- отсутствием трения между заготовкой и эластичной средой в связи с почти одинаковым их перемещением;
- действием давления эластичной среды на торцевую поверхность фланца, что разгружает опасное сечение от растягивающих напряжений (рис. 57).

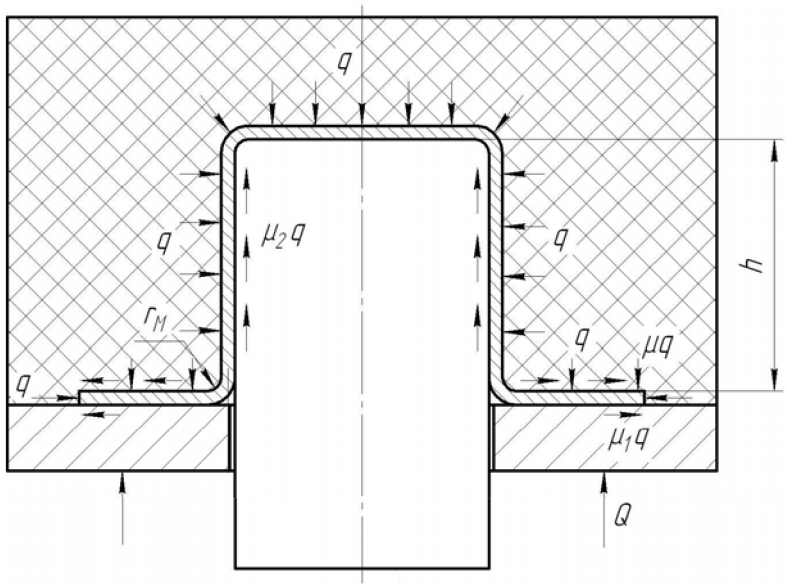


Рисунок 57 – Схема действия сил и напряжений при вытяжке эластичной матрицей

Опасное сечение, а следовательно, участок наибольшего утонения стенки заготовки при вытяжке эластичной средой по жесткому пуансону удаляется от донной части и приближается к ее фланцу.

Давление эластичной среды q в процессе вытяжки должно плавно возрастать: в начальный момент рекомендуется создавать давление равное 1÷1,5 МПа для деталей из легких сплавов, 5-10 МПа для деталей из сталей, а затем плавно достигнуть величины 25-40 МПа и 70-100МПа соответственно.

Высокие начальные давления могут привести к локализации пластической деформации заготовки между пуансоном и прижимом, недопустимому утонению и даже обрыву.

При вытяжке деталей по схеме «эластичным пуансоном по жесткой матрице» форма матрицы соответствует конфигурации детали. Процесс не требует дорогостоящей оснастки. Поэтому с экономической точки зрения довольно эффективен. Однако с технической точки зрения не обеспечивает повышения предельных возможностей и имеет ряд недостатков. Например, неустойчивое по периметру течение фланца в различных участках из-за анизотропии механических свойств, неодинаковости условий трения, что может привести к односторонней утяжке фланца, большое утонение стенок и резко выраженная разнотолщинность.

2.4.4. Формовка полых заготовок

Большая номенклатура изделий машиностроения изготавливается из полых заготовок: труб, конусов, оболочек, вытянутых стаканов и коробок и других форм [16].

Для изготовления таких деталей используются операции формовки, осуществляемые эластичными средами по технологическим бесконтейнерным закрытым технологическим схемам (рис. 58).

Во всех приведенных схемах эластичный блок размещается внутри полой заготовки. Снаружи расположена соответствующая разъемная или неразъемная матрица. Формообразование заготовки осуществляется одно - или двухсторонним сжатием эластичного блока, обеспечивая его деформирование в закрытом объеме.

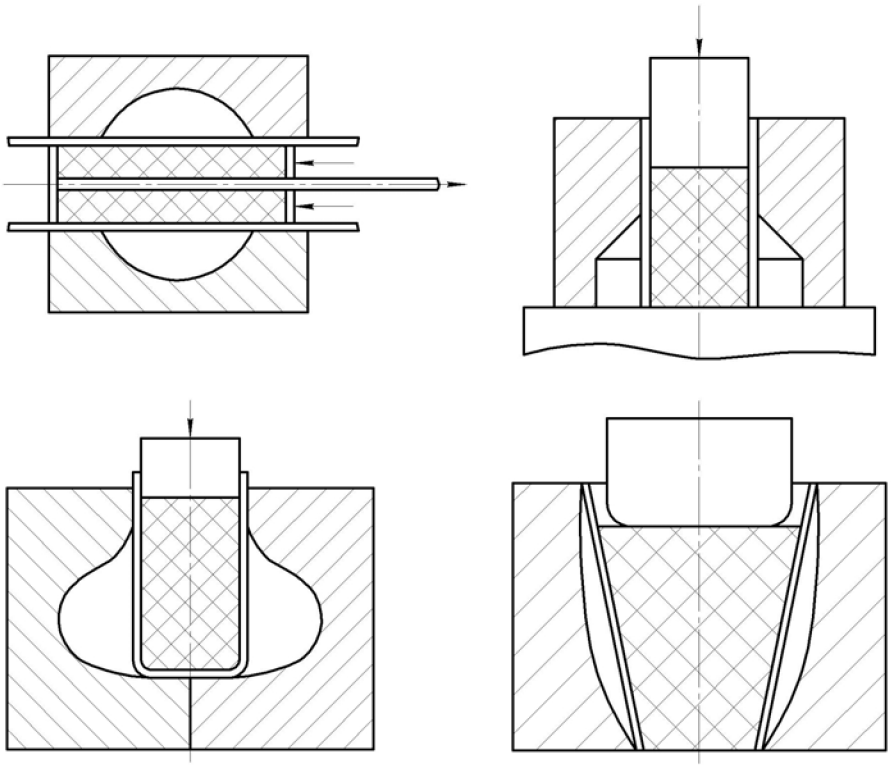


Рисунок 58 – Схемы формовки полых заготовок

Одной из особенностей штамповки полых заготовок эластичными средами является влияние сил трения между эластичной средой и заготовкой на процесс деформирования. Если коэффициент трения металла по металлу имеет порядок 0,1, то эластичной среды по металлу – достигает значения 0,7. За счет такого значительного трения эластичная среда, перемещаясь, влечет за собой в очаг деформации материал заготовки, изменяя схему его напряженного состояния. Как правило, создается дополнительное сжимающее осевое напряжение, что создает условия повышения технологической пластичности, то есть предельных возможностей процессов.

С другой стороны, это может вызвать осевую потерю устойчивости (складки). Если возникает такая опасность, следует нанести на внутреннюю поверхность заготовки смазку.

Потребное давление для формообразования полых заготовок рассчитывается по формуле Лапласа

$$p = \frac{2S_0\sigma_в}{D} \qquad (11)$$

где D – минимальный диаметр исходной заготовки

Формообразующие операции штамповки эластичными средами применяются для деформирования листовых и полых заготовок из алюминиевых сплавов толщиной до 5 мм, низкоуглеродистых сталей до 1,8 мм, коррозионностойкой стали до 1,5 мм, титановых сплавов до 1,2 мм. Габаритные размеры плоских заготовок в пределах 500х500 мм, полых – диаметром до ∅ 500 мм.

2.4.5. Гибка – формовка прессованных профилей

Оригинальной является технология штамповки прессованных профилей эластичными средами, разработанная специалистами СГАУ [17,18].

Штамповку деталей из прессованных профилей эластичными средами производят в универсальных щелевых контейнерах с прямоугольной в плане формой рабочей камеры (рис. 59).

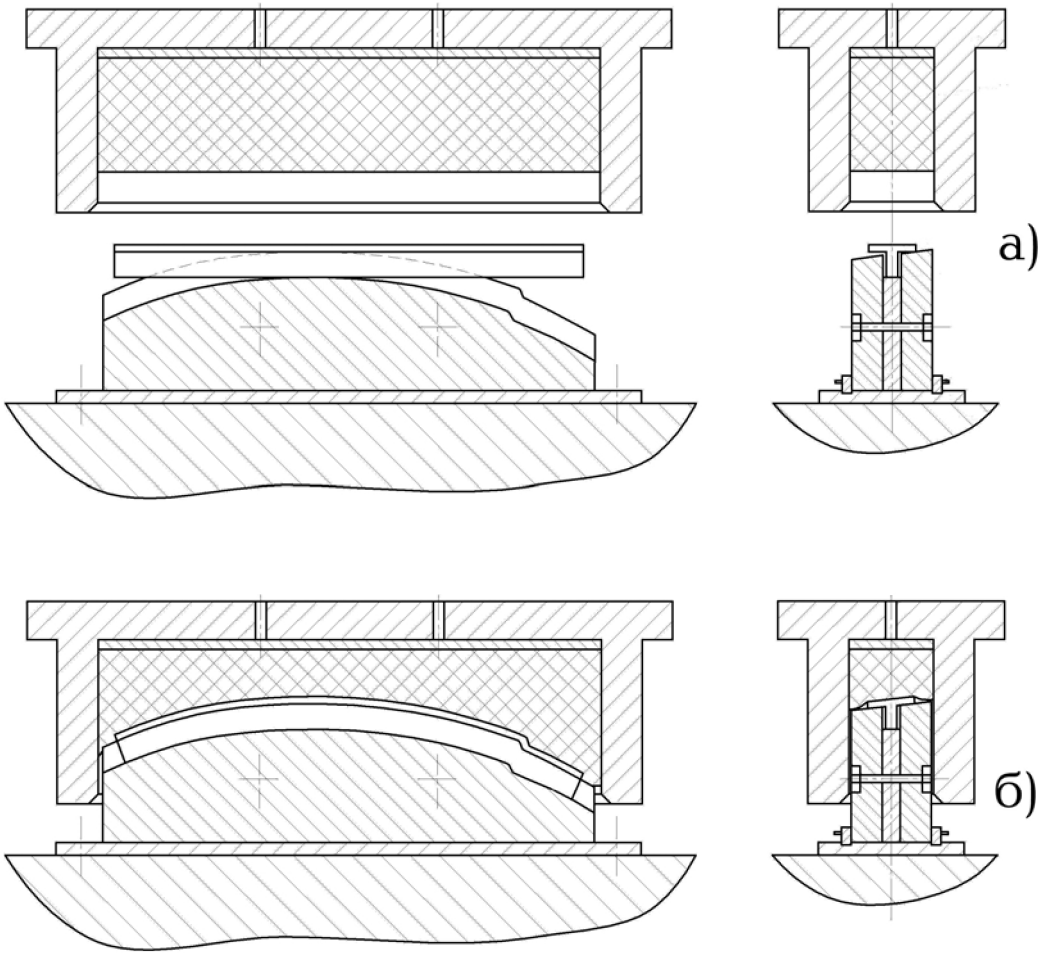


Рисунок 59 – Гибка прессованного профиля эластичной средой:
а) исходное; б) конечное положение

В качестве жесткого инструмента при штамповке деталей из прессованных профилей используются формующие оправки. При движении контейнера полиуретан, действуя на полку профильной заготовки, производит изгиб, малковку и подсечку.

Под действием давления эластичной среды профильная заготовка постепенно изгибается по радиусу формующей оправки. При достаточном давлении эластичной среды профильная заготовка полностью прижимается к поверхности оснастки

Малковка прессованного профиля – это операция изгиба его стенки относительно полки (рис. 60).

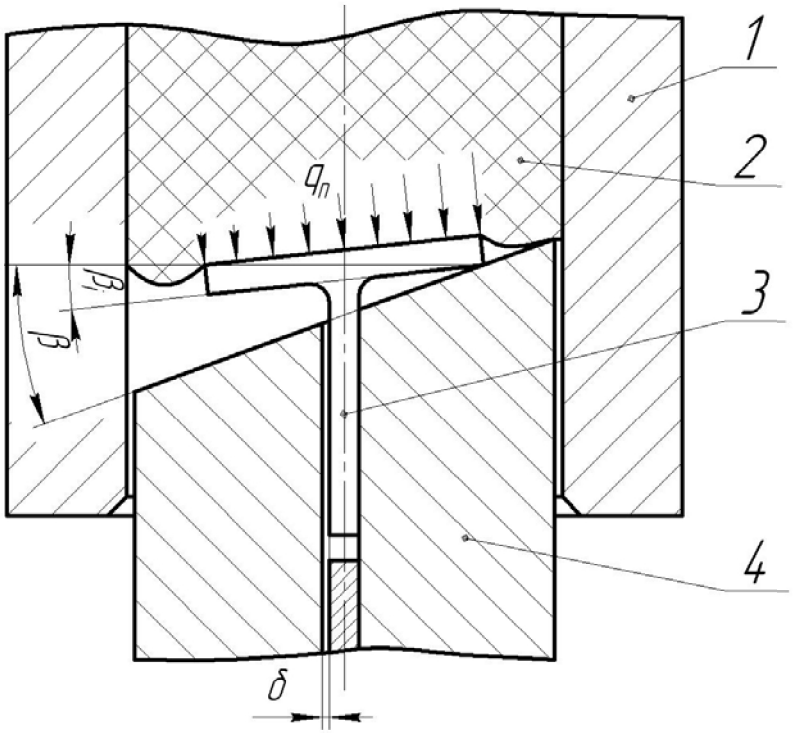


Рисунок 60 – Схема малковки таврового профиля полиуретаном:
1 – контейнер; 2 – эластичная среда; 3 – профиль; 4 - оправка

Подсечка прессованных профилей (рис.61) – параллельное смещение одной части профиля относительно другой в результате местного изгиба заготовки под давлением эластичной среды по оправке, имеющей соответствующую конфигурацию.

При необходимости операции гибки, малковки и подсечки могут осуществляться одновременно.

В качестве жесткого инструмента используются сменные формующие оправки, которые являются носителями формы и размеров деталей.

Основными параметрами процессов являются деформирующее усилие и упругая отдача [17,18].

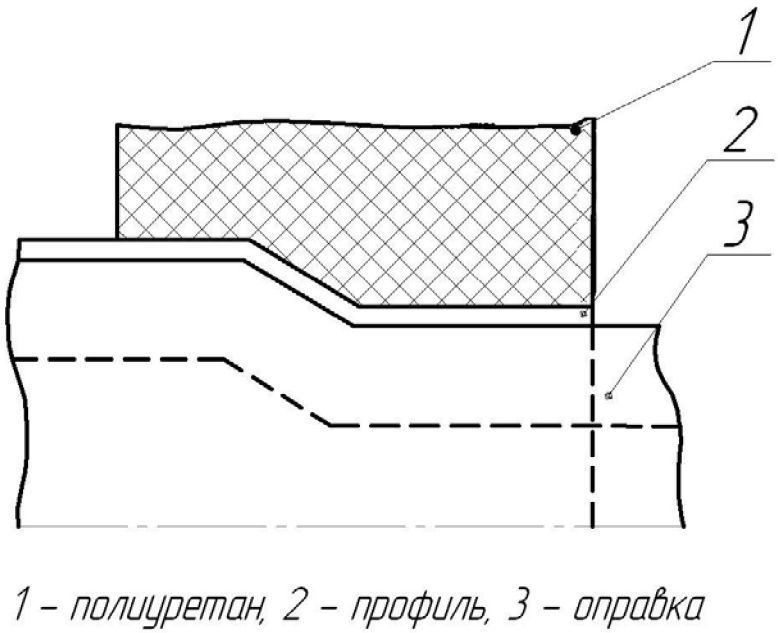


Рисунок 61 – Схема процесса подсечки прессованных профилей эластичной средой

Приведенные технологии штамповки эластичными средами применяются для изготовления деталей из тонкостенных прессованных профилей с односторонним расположением полки Т, Г, П-образных и других сечений из алюминиевых сплавов. Длина таких деталей может достигать 1000 мм.

Примеры деталей, изготовленных из прессованных профилей с помощью эластичных сред, приведены на рис.62.

Рисунок 62 – Примеры деталей, изготовленных из прессованных профилей

Основные преимущества такой технологии: сокращение расхода материала за счет уменьшения, а в ряде случаев полной ликвидации технологических припусков; ручных доводочных работ, трудоемкости изготовления.

2.5. Контейнеры для штамповки эластичными средами

Контейнер для штамповки эластичной средой представляет собой сосуд под высоким давлением (до 1000 атм). Поэтому к ним предъявляются повышенные требования по технике безопасности.

Как наиболее прочные получили наибольшее распространение контейнеры цилиндрической формы.

Полиуретановые подушки запрессовываются во внутреннюю полость контейнера с натягом 0,5 … 1,0 мм. Пластина, расположенная в донной части контейнера, служит для удобства удаления изношенной подушки (блока) из него. С этой целью в дне контейнера предусматривают отверстия, через которые подушку выпрессовывают с помощью штырей. Внутренний диаметр контейнеров, применяемых на производстве, составляет от 30 до 560 мм и рассчитан на давление до 1000 кг/см^2.

Контейнеры рекомендуется изготавливать из стали 40Х, 30ХГСА с твердостью после термообработки HRc 28…32 ед.

Расчет контейнера на прочность ведется по формуле Лапласа для толстостенного цилиндра, где определяется то максимальное давление, которое выдерживает кольцо без следов пластической деформации. Им определяется толщина стенки, при давлении p = 1000 атм, при которой кольцо не переходит в пластическое состояние.

$$t = \frac{pD_{вн}}{2\sigma_{0,2}} n \qquad (12)$$

где n – коэффициент запаса, обычно принимается равным 3-4.

Для штамповки узких длинномерных изделий применяются контейнеры щелевого типа. Такие контейнеры вдоль длинной стороны подвержены большим деформациям. Для предотвращения опасных деформаций применяются дополнительные меры повышения их прочности. Например, для этой цели используются силовые упоры (рис.63).

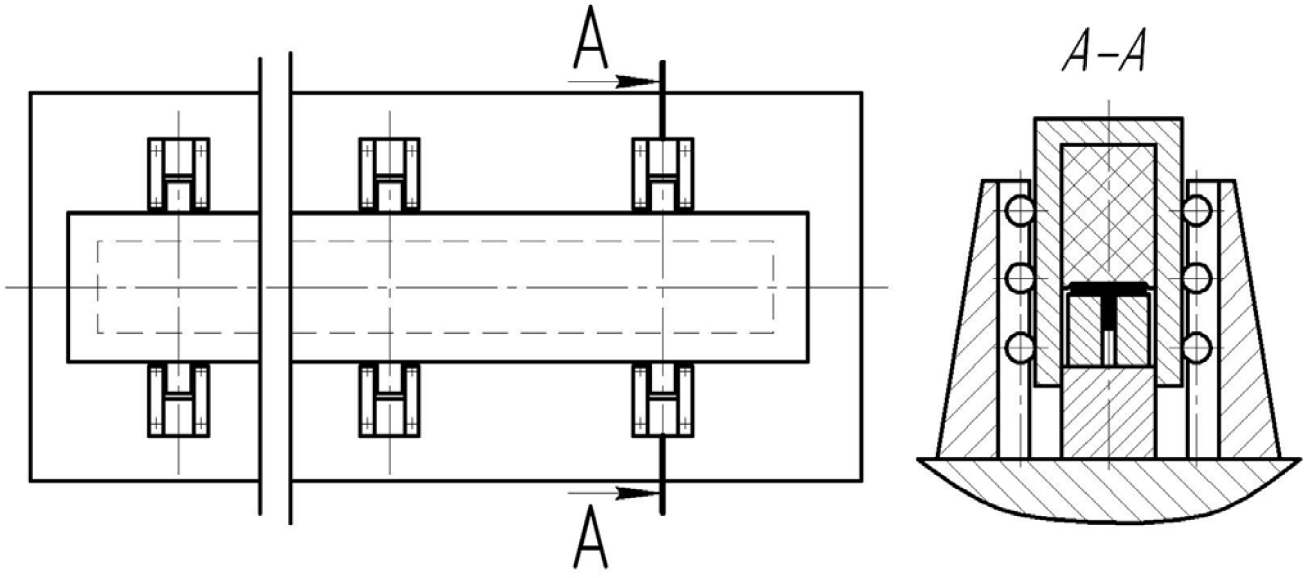


Рисунок 63 – Щелевой контейнер, усиленный боковыми упорами

Могут быть использованы конструкции контейнеров с бандажированной рабочей камерой с полуцилиндрическими вставками. Специальные повышения прочности позволили создать надежные щелевые конструкции с рабочей зоной длиной 300, 500 и 700 мм и шириной 50 мм.

2.6. Оборудование, применяемое при штамповке эластичными средами

Для штамповки эластичными средами применяют обычные гидравлические прессы, а для штамповки крупногабаритных деталей – мощные гидравлические прессы с выдвижными столами длиной до 4 метров и шириной до 2 метров. Необходимость применения при штамповке листовых деталей прессов большой мощности можно отнести к недостаткам этого метода.

Для групповой штамповки используются уникальные гидравлические прессы (рис. 64) усилием, например, 5000 т и более. Такие прессы снабжены несколькими подвижными столами, что повышает коэффициент использования прессов, поскольку столы последовательно подаются под пресс. В то время пока совершается рабочий ход пресса, на других столах производятся подготовительные работы: съем и размещение новых заготовок или смена инструмента.

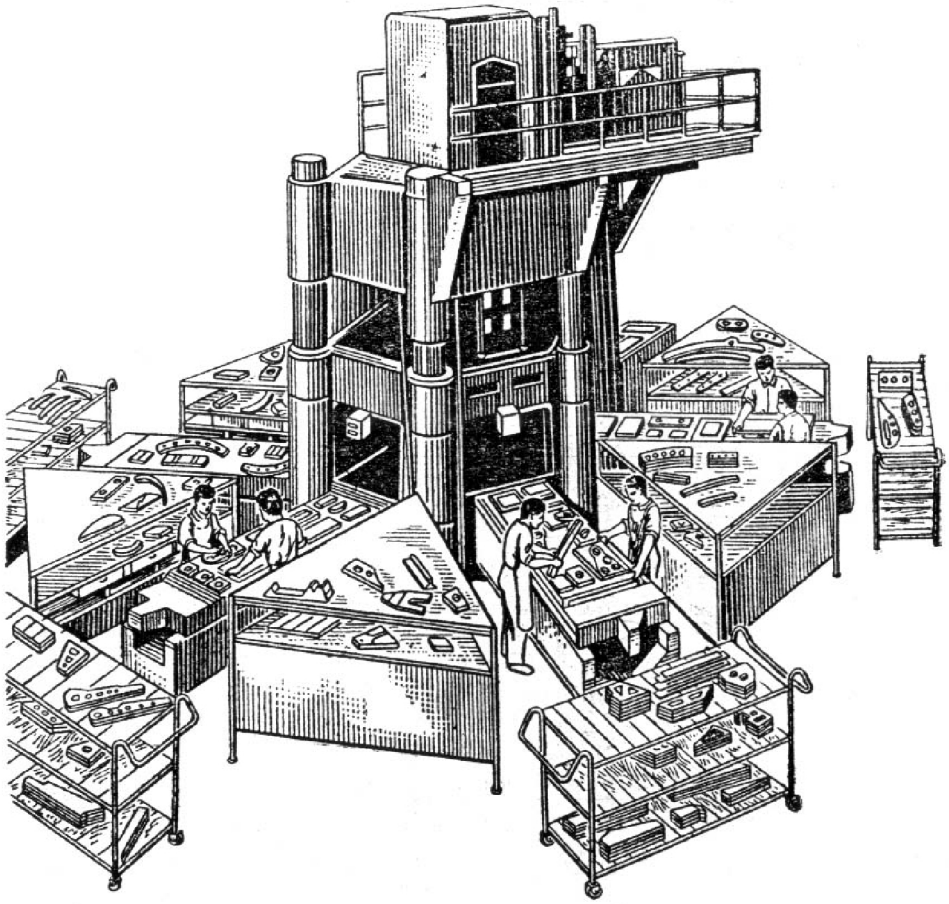


Рисунок 64 - Планировка гидравлического пресса с 6 подвижными столами

В последнее время шведской фирмой для штамповки (вытяжки) эластичными средами создано специализированное оборудование – прессы QAB-32 с максимальным усилием 3200 т, с диаметрами рабочих диафрагм сменных формообразующих агрегатов пресса 560, 630 и 800 мм и QRD-600 с максимальным усилием 60000 т.

Пресс QAB-32 предназначен в основном для глубокой вытяжки эластичной средой. Оригинальность его – в особой конструкции предварительно напряженной станины. Колонны и поперечины стянуты проволокой. Применение напряженной проволоки обусловливает низкий вес станины, компактность конструкции. Пресс снабжен двумя цилиндрами: верхним и нижним, что обеспечивает подвижность пуансона, прижима, и четырьмя гидроподъемниками. Нижний торец верхнего цилиндра закрыт диафрагмой. Маслокамера заполнена касторовым маслом.

Основные характеристики пресса QAB-32:
Максимальное усилие 3200 т
Габаритные размеры: 7000x1900x1200 мм
Диаметр плунжера – 900 мм
Давление в гидросистеме – 500атм
Максимальный ход плунжера – 720 мм (вверх); 315 мм (вниз)
Максимальная скорость рабочего хода – 150 мм/сек.

Пресс QRD-600 (рис.65) предназначен для штамповки эластичной средой крупногабаритных деталей. Пресс представляет собой толстостенный горизонтальный цилиндр, образованный напряженной стальной проволокой и двумя ригелями.

Рабочее пространство пресса представляет собой туннель прямоугольного поперечного сечения. Сверху располагается стальная плита, к которой крепится маслокамера с тонкой полиуретановой диафрагмой. Под маслокамерой располагается толстая полиуретановая подушка.

В нижней части рабочего пространства предусмотрен выдвижной стол, на котором размещаются инструмент и заготовки.

Маслокамера наполняется маслом под высоким давлением. Диафрагма расширяясь, оказывает давление на полиуретановую подушку. Осуществляется рабочий цикл.

Некоторые характеристики пресса QRD-600:
Расчетное усилие – 60000 т
Максимальное рабочее давление в маслокамере – 1000 атм
Длина – 5120 мм
Наружный диаметр – 3275 мм
Число подвижных столов (лотков) – 4

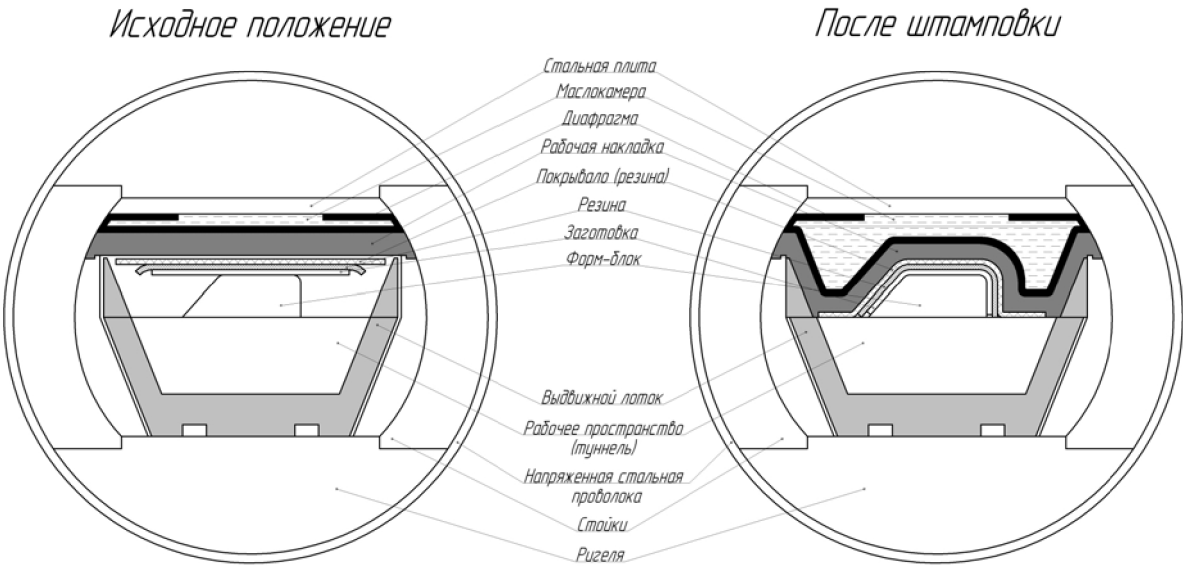


Рисунок 65 – Конструкционная схема пресса QRD-600

Планировка всего технологического комплекса, включая подвижные столы, гидронасосы, пульт управления и другие элементы приведена на рисунке 66.

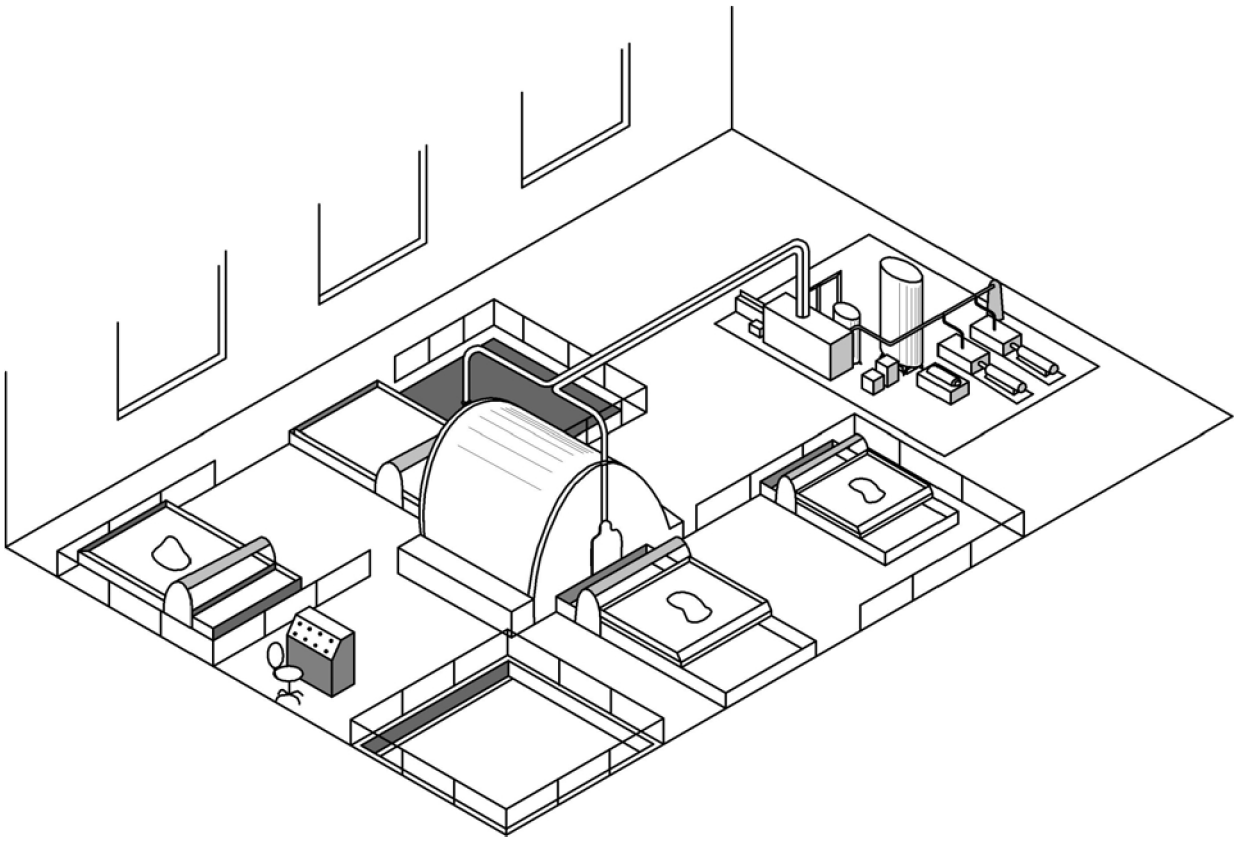


Рисунок 66 – Компоновочная схема технологического комплекса QRD-600

ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ ПО ШТАМПОВКЕ ЭЛАСТИЧНЫМИ СРЕДАМИ

1. Классификация специальных видов листовой штамповки.
2. Возможные технологические схемы штамповки эластичной средой.
3. Марки и свойства эластичных сред.
4. Контейнеры для штамповки эластичными средами.
5. Оборудование, используемое для штамповки эластичными средами.
6. Технологическая схема вырубки-пробивки эластичной средой.
7. Механизм разделения металла при вырубке-пробивке эластичными средами.
8. Характер (геометрия) поверхности разделения при вырубке-пробивке.
9. Параметры определяемые при проектировании процесса вырубки-пробивки эластичными средами.
10. Технико-экономическая эффективность процессов вырубки-пробивки эластичными средами.
11. Гибка и гибка-формовка. Определение. Схемы.
12. Технологическая схема гибки эластичной средой в закрытом объеме.
13. Примеры (технологические схемы) гибки в открытых объемах.
14. Параметры, определяемые при проектировании технологического процесса гибки эластичными средами.
15. Учет пружинения при гибке эластичными средами.
16. Технологические схемы рельефной штамповки.
17. Особенности рельефной штамповки эластичными средами.
18. Параметры, определяемые при проектировании процесса рельефной штамповки эластичными средами.
19. Технологические схемы вытяжки эластичными средами.
20. Технологическая схема гибки, малковки, подсечки прессованных профилей.
21. Технологические схемы формовки полых заготовок эластичными средами.
22. Роль трения в процессах штамповки эластичными средами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Романовский, В.П. Справочник по холодной штамповке/ В.П.Романовский. - Л.: Машиностроение, 1979 .- 513с.

2. Зубцов, М.Е. Листовая штамповка / М.Е.Зубцов. - Л.:Машиностроение, 1980.- 432 с.

3. Резка труб на заготовки / [В.Б. Чижик-Полейко и др.]. - М.:НИИМАШ, 1976.- 48с.

4. Акаро, И.Л Разрезка проката и труб на заготовки под штамповку/ И.Л. Акаро, И.С.Поляков. - М.:МАМИ, 1972.-132с.

5. Горяйнов, В.И. Анализ способов резки труб сдвигом / В.И. Горяйнов, В.В. Белошицкий // Проектирование деталей машин и механизмов: Труды Ярославского технологического института. - Ярославль, 1970.-С. 240-257.

6. Добровольский, И.Г. Безотходные и малоотходные технологии резки труб / И.Г. Добровольский, В.К. Жикленков, А.В. Степаненко - Минск: Изд.Госплана БССР, 1988.- 38 с.- (обзор. информ /Сер.55.13 №Технология машиностроения / Белорусский НИИНТИ Госплана БССР).

7. А.с. 1558576 В23Д 23/04. Способ разделения труб/ В.А. Глущенков, Г.З. Исарович, С.Г. Симагина, А.Е. Бурмистров, Ю.М. Овчинников (СССР).- № 4332496/27; Заявлено 23.11.87; Опубл.23.04.90; Бюлл. № 15.- 2 с.

8. Glushchenkov, V.AAnalysis of methods of thin walled pipe cutting in specified lengths /V.A. Glushchenkov, G.Z. Isarovich, A.E. Burmistrov, S.G. Simagina //Proceedings of the 5th Inter-national conference on metal forming,Györ, 19-21 June 1991. - Miskolz, 1991. - C. 218-224.

9. Исаченков, Е.И. Штамповка резиной и жидкостью / Е.И. Исаченков.- М.: Машиностроение, 1967. – 367 с.

10. Абибов, А.Л. Технология самолетостроения / А.Л. Абибов, Н.М. Бирюков, В.В. Бойцов.- М.: Машиностроение, 1970. – 589 с.

11.Бутузов, Е.А. Специальные виды штамповки / Е.А.Бутузов. - М.: Высшая школа,1962. - 206 с.

12. РДМУ 95-77. Методические указания по проектированию технологической оснастки для штамповки деталей из листовых материалов эластичной средой. - М.: Изд-во стандартов,1978.-68 с.

13. РТМ 1516-75. Вырезка и пробивка деталей из листа полиуретаном. - М.:НИАТ, 1977.-72 с.

14. Ходырев, В.А. Применение полиуретана в листоштамповочном производстве / В.А. Ходырев. - Пермь, 1973. – 220 с.

15. Попов, Е.А. Технология и автоматизация листовой штамповки / Е.А.Попов, В.Г. Коновалов, И.Н. Шубин. - М.: Изд-во МГТУ, 2003.- 480с.

16. Горбунов, М.Н. Штамповка деталей из труб / М.Н. Горбунов. - М.: Машгиз, 1960.-186 с.

17. Шалавин, В.В. Штамповка деталей из прессованных профилей эластичной средой / В.В. Шалавин, А.Д. Комаров, Ф.В. Киров. - В кн.: Штамповка в мелкосерийном производстве: Материалы семинара.- М.: МДНТП, 1979.-С.79-85.

18. Шалавин,3-26.

Учебное издание

Глущенков Владимир Александрович

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ШТАМПОВКИ
Часть 1. Штамповка эластичными средами

Учебное пособие

Редакторская обработка Л. Я. Ч е г о д а е в а
Доверстка А. О. А н а н ь е в

Подписано в печать 26.05.08. Формат 60x84x1/16
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 4,5.
Тираж 200. Заказ Арт. – 24/2008

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

Изд-во Самарского государственного
аэрокосмического университета.
443086, Самара, Московское шоссе, 34