

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»
(Самарский университет)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКОЙ

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по основным образовательным программам высшего образования по специальностям 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов, 24.05.07 Самолёто- и вертолётостроение и направлениям подготовки 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика, 24.03.04 Авиастроение, 27.03.02 Управление качеством

Самара
Издательство Самарского университета
2017

УДК 621.98(075)
ББК 34.623я7
Т384

Авторы: *В.Н. Самохвалов, Е.Г. Громова, А.А. Шаров, О.В. Ломовской*

Рецензенты: гл. технолог АО «РКЦ «Прогресс» Е. П. Семеновко,
д-р техн. наук, проф. В. А. Михеев

Т384 Технологические процессы изготовления деталей летательных аппаратов листовой штамповкой: учеб. пособие / [В.Н. Самохвалов и др.]. – Самара: Изд-во Самарского ун-та, 2017. – 80 с.

ISBN 978-5-7883-1173-9

Рассмотрены вопросы построения технологических процессов изготовления деталей летательных аппаратов листовой штамповкой.

Приведены методики расчета основных технологических операций листовой штамповки. Даны примеры их использования для расчета параметров раскроя листа или полосы, определения размеров плоской заготовки перед формоизменяющими операциями, выбора количества и последовательности переходов листовой штамповки, расчета энергосиловых параметров процесса штамповки.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по основным образовательным программам высшего образования по специальностям 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов, 24.05.07 Самолёто- и вертолётостроение и направлениям подготовки 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика, 24.03.04 Авиастроение, 27.03.02 Управление качеством.

УДК 621.98(075)
ББК 34.623я7

ISBN 978-5-7883-1173-9

© Самарский университет, 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. Технологические процессы листовой штамповки деталей летательных аппаратов.....	6
2. Требования к технологичности штампуемых деталей летательных аппаратов.....	12
3. Общие принципы построения технологических расчетов	19
4. Получение заготовок листовых деталей.....	21
4.1. Разделение исходного материала	21
4.2. Типы раскроя листового проката	24
4.3. Раскрой материала	25
4.4. Резка в штампах	27
5. Формообразующие операции листовой штамповки	30
5.1 Гибка листовых заготовок	30
5.2. Вытяжка листовых заготовок.....	31
5.3. Определение размеров плоской заготовки для формообразующих операций.....	34
6. Расчет энергосиловых параметров технологических процессов	36
7. Разработка технологических процессов изготовления деталей летательных аппаратов.....	39
7.1. Разработка технологического процесса изготовления детали с использованием операции гибки.....	39
7.2. Разработка технологического процесса изготовления детали с использованием операции вытяжки	54
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	69
Приложение А Пример технологического процесса изготовления детали гибкой.....	70
Приложение Б Пример технологического процесса изготовления детали вытяжкой.....	77

ВВЕДЕНИЕ

Надежность и долговечность летательного аппарата, узлов или агрегатов машины зависит от качества деталей, из которых она собрана. Качество детали в большой степени определяется заготовкой, которую получают тем или иным методом: литьем, сваркой, обработкой резанием или обработкой давлением – объемной или листовой штамповкой.

Листовая штамповка – процессы получения из листового материала (листов, полосы, ленты) изделий, имеющих плоскую или пространственную форму без существенного изменения толщины металла.

По сравнению с другими способами получения деталей листовая штамповка характеризуется следующими преимуществами:

- возможность изготовления жестких и прочных плоских и объемных тонкостенных деталей, которые невозможно или сложно получить другими методами;
- высокая (практически полная) взаимозаменяемость деталей, полученных методами листовой штамповки;
- широкая возможность автоматизации либо механизации производственных процессов;
- высокая производительность и высокий коэффициент использования металла при низких трудозатратах;
- малая шероховатость поверхности получаемых деталей, обусловленная исходным материалом;
- полученные детали практически не требуют механической обработки (кроме обрезки припуска).

В серийном машиностроительном производстве наибольшее применение получили инструментальные методы листовой штамповки, т.е. с использованием инструментальных штампов. Развитие машиностроительного производства базируется на совершенствовании технологических процессов и методов расчета деформационных характеристик операций листовой штамповки. Это, а также повышающиеся требования к качеству продукции, при

минимизации материальных и энергетических затрат, требует обеспечения высокого уровня технологической подготовки выпускников вузов.

На основе многочисленных экспериментальных и теоретических исследований, проводившихся исследователями и заводскими технологами, разработаны расчетные методики, а также общие правила и нормы проектирования технологических процессов листовой штамповки. Их использование гарантирует высокие эксплуатационные характеристики получаемых деталей, минимизацию энергосиловых затрат, снижение трудоемкости штамповки; повышению ресурсосбережения (повышения коэффициента использования материала). Все это позволяет расширить технологических возможностей листовой штамповки.

В учебном пособии приведены методики расчета основных технологических операций листовой штамповки. Даны примеры их использования для расчета параметров раскроя листа или полосы, определения размеров плоской заготовки перед формоизменяющими операциями; выбора количества и последовательности переходов листовой штамповки, расчета энергосиловых параметров процесса штамповки.

Представленный в учебном пособии материал дает обучающимся общие сведения о технологии листовой штамповки, о технологическом применении разделительных и формообразующих операций с использованием инструментальных штампов.

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ ДЕТАЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Построение технологических процессов изготовления деталей листовой штамповкой в значительной мере зависит от назначения детали, марки и толщины материала, из которого она изготавливается, а также вида операций, с помощью которых предусматривается изготовление детали. Для установления методов получения и последовательности операций необходимо произвести анализ конструктивных особенностей детали и заложенной в конструкцию детали точности.

Разработка технологического процесса листовой штамповки состоит из следующих этапов:

1. Анализ технологичности детали (исследование формы, соотношения размеров, объема выпуска, возможности штамповки материала).

2. Установление необходимых операций для получения заданной детали.

3. Определение размеров заготовки.

4. Составление карты раскроя, определение коэффициента использования металла.

5. Технологические расчеты на всех операциях.

6. Выбор оборудования.

7. Разработка развернутого технологического процесса.

Исходными данными при разработке технологического процесса является чертеж штампуемой детали, на котором указаны размеры и допуски на размеры всех элементов детали, допуски на расположение элементов, шероховатость поверхностей и допустимые значения размеров и допусков на размеры в конкретных условиях штамповки. Последние приводятся в заводских стандартах и справочной литературе, причем в различных источниках могут отличаться, так как учитывают условия конкретных предприятий.

По форме детали и требованиям к ней определяют основные операции, которые позволяют ее изготовить из плоской заготовки. Листовые детали делят на 3 группы: плоские, гнутые, пространственные.

При изготовлении плоских деталей используют в основном разделительные операции: отрезку, вырубку, пробивку, разрезку, зачистку. Могут дополнительно применяться правка, калибровка,

удаление заусенцев, термическая обработка. Разделительные операции могут выполняться в простых однооперационных штампах, а также в совмещенных и последовательных.

При изготовлении гнутых деталей используют разделительные операции (в основном для получения плоской заготовки и отверстий в детали), различные способы гибки для получения ее формы, а при необходимости – правку, калибровку, термообработку, удаление заусенцев.

При изготовлении пространственных деталей применяют: разделительные операции – для получения заготовки, отверстий в детали, окончательных размеров высоты или диаметра фланца; вытяжку; формовочные операции (формовку растяжением, рельефную формовку, отбортовку, обжим, раздачу) для получения формы детали; при необходимости – калибровку, правку, термообработку, зачистку заусенцев.

Большинство технологических процессов изготовления деталей из листового материала в заготовительно-штамповочном производстве составляют по следующей схеме: раскрой исходного листа; изготовление заготовки; штамповка заготовки; доводка детали до чертёжных размеров.

Раскрой листов обычно производят на гильотинных ножницах: типовой план резки листов на полосы состоит из следующих операций: настройка ножниц; нарезка листа на полосы; снятие заусенцев.

В наладку гильотинных ножниц входит установка бокового и заднего упоров. При раскрое листа на отдельные карточки, из которых в дальнейшем изготавливают заготовки, к указанным выше операциям добавляются: настройка ножниц; нарезка полосы на карточки; снятие заусенцев.

План изготовления заготовки зависит от способа её получения и типа применяемого оборудования. При вырубке из полосы или карточки заготовки в инструментальных штампах в состав плана входят операции: установка, отладка и снятие штампа; вырубка заготовки; снятие заусенцев.

План пробивки отверстий в заготовках или деталях в инструментальных штампах выглядит таким же образом: установка, отладка и снятие штампа; пробивка отверстий; снятие заусенцев.

После составления технологического плана (схемы) более детально прорабатывается каждая операция будущего техпроцесса. Для раскройных операций определяют размеры заготовки, ширину полосы, составляют 2-3 варианта раскроя листов, выбранных по ГОСТу, с

определением коэффициентов использования материала. Для наиболее выгодного варианта определяют усилие резания, выбирают по каталогу модель гильотинных ножниц и составляют карту раскроя. Карту раскроя представляют в виде эскиза выбранного листа материала с указанием расположения на нём отрезаемых полос и отходов (приводят их размеры). Для операций штамповки (вырубки заготовок, пробивки отверстий, гибки, вытяжки) определяют силовые параметры процесса и подбирают по каталогу оборудование. Затем приступают к составлению развёрнутого технологического процесса.

В схему (план) вводят операции контроля (входного, межоперационного и приёмочного), маркировки, термической обработки, покрытия. Если деталь в сборочном цехе не подвергается каким-либо доработкам (рассверловка отверстий, припиловка и др.), то заключительными операциями технологического процесса будут её взвешивание, а также упаковка (для декоративных деталей). Основные операции (по указанию преподавателя) подразделяют на переходы и рабочие приёмы. Операции контроля, настройки оборудования, наладки технологической оснастки, маркировки, взвешивания, упаковки в технологическом процессе по переходам не рассматриваются. Все необходимые сведения по их выполнению обычно обобщаются в виде производственных инструкций (ПИ), шифр и название которых указывают либо в специальной технологической карте, либо рядом с соответствующей операцией. Для каждой операции ТП устанавливают соответственно профессию и разряд работы исполнителей.

В плане технологического процесса (ТП) гибку обычно представляют двумя видами операций: настройкой оборудования совместно с технологической оснасткой и собственно деформированием заготовки. Для гибки заготовок в инструментальном штампе это: установка, отладка и снятие штампа; гибка заготовки (или детали).

Если конструкция детали требует деформирования заготовки за несколько рабочих ходов, без переналадки оснастки, то в операции гибки указывают количество переходов. В случаях гибки детали в нескольких штампах в операции гибки указывается её номер (гибка 1-я опер.; гибка 2-я опер.). При этом допустимо в плане ТП в операции "установка..." отмечать количество повторений такой операции (... раз). В рабочем ТП такое упрощение недопустимо, так как в карте ТП в графах оборудования, оснастки, инструмента должны указываться конкретные обозначения (цифры технологического

оснащения основной операции). Количество основных операций гибки устанавливаются исходя из рекомендаций, приведённых в технической литературе [1]. Ориентировочно можно принять, что одно- и двухугловые детали изгибают за одну операцию; четырёхугловые - за две; в случае дополнительного изгиба полок таких деталей (пяти-, шестиугловые) последние изгибаются за три операции гибки. В качестве доводочной операции после гибки в техпроцесс вводят подгонку детали по какой-либо технологической оснастке (шаблону, оправке, доводочному плазу, пуансону), поскольку точно определить и откорректировать на штамповом инструменте величину отпружинивания материала после снятия внешней нагрузки затруднительно.

В плане технологического процесса вытяжки заготовок представляют два вида операций: настройка штампов на универсальных прессах и собственно вытяжка. Количество таких операций зависит от формы, геометрических соотношений и материала детали, способа вытяжки.

Детали цилиндрической формы с фланцем можно вытягивать в инструментальных штампах за одну операцию, если при заданных отношениях d_ϕ / d , r/S , S/D величина h/d не будет превышать допустимые значения [1]. При выполнении этого условия деталь необходимо штамповать за несколько операций. При этом должны быть удовлетворены следующие условия: диаметр фланца детали (с учётом припуска на обточку) должен быть получен на первой операции вытяжки; формообразование детали на второй и последующих операциях вытяжки должно производиться за счёт уменьшения диаметра ранее вытянутой части детали и увеличения её высоты без изменения размера диаметра фланца; за первую операцию вытяжки в проём матрицы должно быть втянуто столько металла, сколько его требуется для образования окончательно вытянутой части детали и фланца необходимых размеров.

Наиболее простая методика определения количества операций вытяжки для изготовления деталей с фланцем сводится к следующему. Определяют условный коэффициент вытяжки детали на первой операции по формуле

$$m_\phi = m_1 - 0,1\left(\frac{d_\phi}{d} - 1\right),$$

где m_1 – коэффициент вытяжки на 1-й операции для цилиндрических деталей без фланца; d_{ϕ} – диаметр фланца; d – диаметр вытянутой части детали.

Коэффициенты вытяжки для второй и последующих операций принимают в соответствии с вышеуказанными правилами [1] для деталей цилиндрической формы без фланца:

$$d_2 = d_1 m_2; d_3 = d_2 m_3; \dots; d_n = d_{n-1} m_n.$$

Критерием окончания расчёта количества операций вытяжки является $d_n \leq d_{\text{чертежа}}$, где d_n и $d_{\text{чертежа}}$ – диаметры вытянутой части заготовки.

Технологический план вытяжки деталей с фланцем составляется аналогично плану для деталей без фланца.

Детали коробчатой формы без фланца могут быть вытянуты в инструментальных штампах за одну операцию при условии, если их относительная высота h/B при заданных отношениях r/B , $(S/D)100$ и ширины коробки B не превышает допустимых значений [1]. При величине h/B больше табличных детали должны быть вытянуты за несколько операций. Количество операций определяют в зависимости от общего коэффициента вытяжки $m_{\text{об}}$ и отношения $(S/D)100$ [1]:

$$m_{\text{об}} = 1,27 \frac{A + B}{L + K},$$

где A и B – длина и ширина коробки; L и K – длина и ширина заготовки, которые определяют в зависимости от геометрических параметров детали по методикам, приведённым в этом справочнике.

Технологический план вытяжки коробчатых деталей составляется по той же методике, что и для цилиндрических деталей без фланца.

Детали конической формы подразделяются на низкие $H/d_{\text{ср}} < 0,65$ и высокие $H/d_{\text{ср}} > 0,65$ ($d_{\text{ср}}$ – средний диаметр конуса). Низкие конусы вытягиваются за одну операцию, за исключением деталей с фланцем и соотношением $(S/D)100 < 0,8$, которые требуют для своего изготовления две операции. Высокие конусы вытягиваются из предварительно отштампованного цилиндрического или ступенчатого полуфабриката за три и более операций [1, 2].

В качестве доводочных операций в план технологического процесса вводят обрезку деталей по высоте или обесчку фланца, пробивку пазов и отверстий. Эти операции производят так же с применением штампов.

Разработанный технологический процесс оформляется на специальных бланках (картах технологического процесса) в соответствии с требованиями ГОСТов.

Вначале заполняют маршрутные карты ТП, потом эти операции записывают в повествовательном наклонении (например, вырубка, гибка и т.д.), нумерация операций начинается с 005 (шаг 005). Затем на наиболее важные (в основном деформирующие) операции по указанию руководителя работы оформляют операционные карты. При этом переходы и рабочие приёмы записывают в повелительном наклонении (взять, установить, включить и т.д.); нумерация указывается арабскими цифрами (1,2,3,...).

В комплект документации ТП входят также карты эскизов, на которых изображают операционные эскизы окончательно обработанных полуфабрикатов, с указанием размеров или расположения контролирующих шаблонов. В учебных заданиях эти карты заполняются по указанию преподавателя в случае, когда в операционных картах в соответствующей графе не хватает места для размещения необходимой конструкторской информации. Помимо отмеченных бланков в производственных условиях к технологическому процессу также прикладывается специальная карта с номерами и названиями производственных инструкций (ПИ) по охране труда и технике безопасности для каждого вида работ, используемых при изготовлении данной детали.

В заключение необходимо отметить, что технологический процесс на учебных практических занятиях, как исключение, по разрешению преподавателя, допускается оформлять на бланках, ранее разработанных для этой цели на кафедре ПЛА и УКМ.

2. ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ШТАМПУЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Технологичность детали – это такое сочетание основных элементов ее конструкции (форма и размеры), которое обеспечивает наиболее простое и экономичное изготовление детали при обеспечении высоких эксплуатационных свойств. При этом должно обеспечиваться соответствие параметров детали возможностям операций листовой штамповки, которые должны быть применены при ее изготовлении.

К основным показателям технологичности листовых холодноштампованных деталей можно отнести: наименьший расход материала; наименьшее количество и низкую трудоемкость операций; отсутствие последующей механической обработки; наименьшее количество требуемого оборудования и производственных площадей; наименьшее количество оснастки при сокращении затрат и сроков подготовки производства; увеличение производительности отдельных операций [1].

В большинстве случаев основным критерием технологичности является наиболее экономичное расходование материала при наименьшем количестве операций и снижении трудоемкости.

Установлены общие технологические требования [1, 2, 3] к конструкции штампованных деталей и специфические требования к деталям плоской формы, получаемым вырубкой и пробивкой, а также изогнутой и полый формы, изготавливаемым гибкой, вытяжкой и формовкой.

К деталям, получаемым вырубкой и пробивкой, предъявляются следующие основные технологические требования.

Форма вырубаемых плоских деталей и получаемых отверстий в них должна быть по возможности простой. Ее строят правильными геометрическими элементами без узких и длинных прорезей и выступов. Ширина выступов и впадин должна быть больше толщины материала ($a > 2S$). На рис. 2.1,а показаны эти соотношения. В противном случае детали могут быть изготовлены только обработкой резанием.

Стороны наружного и внутреннего контуров необходимо сопрягать окружностями возможно большего радиуса, что предотвратит появление трещин, а также увеличит стойкость штампов и облегчит их изготовление.

Для наружного контура при $\alpha_n > 90^\circ$ радиус $R_n \geq 0,25 S$, а при $\alpha_n \leq 90^\circ$ $R_n \geq 0,5 S$. Для внутреннего контура при $\alpha_b > 90^\circ$ радиус $R_b \geq 0,3 S$, а при $\alpha_b \leq 90^\circ$ $R_b \geq 0,6 S$. Контуры деталей, получаемых резкой на ножницах, скруглять не следует.

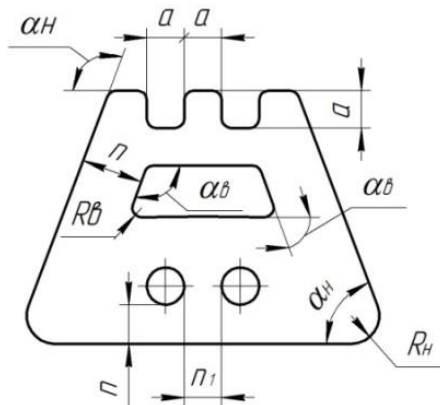


Рис. 2.1. Элементы деталей, размеры которых при вырубке и пробивке ограничиваются

Наименьшие размеры пробиваемых отверстий, зависящие от их формы и материала, из которого изготавливают детали, приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1. Минимальные относительные размеры пробиваемых отверстий

Материал	Форма отверстия	
	круглая	прямоугольная
Сталь нагартованная	1,3 S	1,0 S
Сталь отожженная, латунь	1,0 S	0,7 S
Алюминиевые сплавы	0,8 S	0,5 S
Текстолит, гетинакс	0,4 S	0,35 S

Наименьшее расстояние от края отверстия для наружного контура должно быть $n \geq S$ для круглых отверстий и $n \geq 1,5 S$ – для прямоугольных отверстий.

Наименьшее расстояние между одновременно пробиваемыми отверстиями должно быть $n_1 \geq (2...3)S$.

При пробивке отверстий в деталях, полученных вытяжкой или гибкой, расстояние t между стенкой детали и отверстием должно быть

больше суммы радиуса отверстия и половиной толщины материала $m \geq R + 0,5S$, а если деталь изгибают после пробивки отверстия, то $m \geq R + 2S$.

При анализе технологичности учитывают требуемую точность размеров детали. Достижимая точность размеров плоской детали зависит от типа и точности штампа, толщины и свойств материала, способов фиксации заготовки в штампе [1, 2, 4, 5]. Сравнивая требуемую точность размеров с достижимой, выбирают условия штамповки. Если точность отдельных или всех размеров превышает достижимую при обычной штамповке, то выбирают чистовую штамповку или предусматривают последующую зачистку или механическую обработку поверхностей разделения. В этом случае штампуют заготовку с соответствующими припусками на последующую обработку тех элементов, точность которых не гарантируется штамповкой. Если предъявляются повышенные требования к плоскостности детали, то предусматривается правка детали [1, 2].

При анализе технологичности деталей, получаемых гибкой выясняют, требуется ли калибровка радиусов. Определяют последовательность гибки элементов детали и пробивки отверстий. Выбирают рациональное расположение линиигиба относительно направления волокон металла. Выбирают способ гибки, обеспечивающий требуемую точность.

К деталям, получаемым гибкой, предъявляются следующие основные технологические требования.

Основное требование к деталям, изготавливаемым гибкой, – радиус гибки должен превышать минимально допустимый радиус. Минимально допустимые радиусы применяют только при конструктивной необходимости. В большинстве случаев возможно применение увеличенных радиусов гибки $r > S$, а для толстых заготовок еще большие.

При гибке пластичных материалов с малым радиусом закругления ($r \geq 0,5S$) линию изгиба располагают поперек волокон проката. При гибке тех же материалов с радиусом $r > S$ расположение линиигиба безразлично, решающее значение при этом имеет достижение наиболее выгодного раскроя.

При гибке твердых и малопластичных материалов линию изгиба располагают обязательно поперек волокон проката. Наименьший радиус изгиба принимается $(2...4)S$.

При гибке заготовок в разных направлениях радиус закругления одного из перегибов должен быть увеличен.

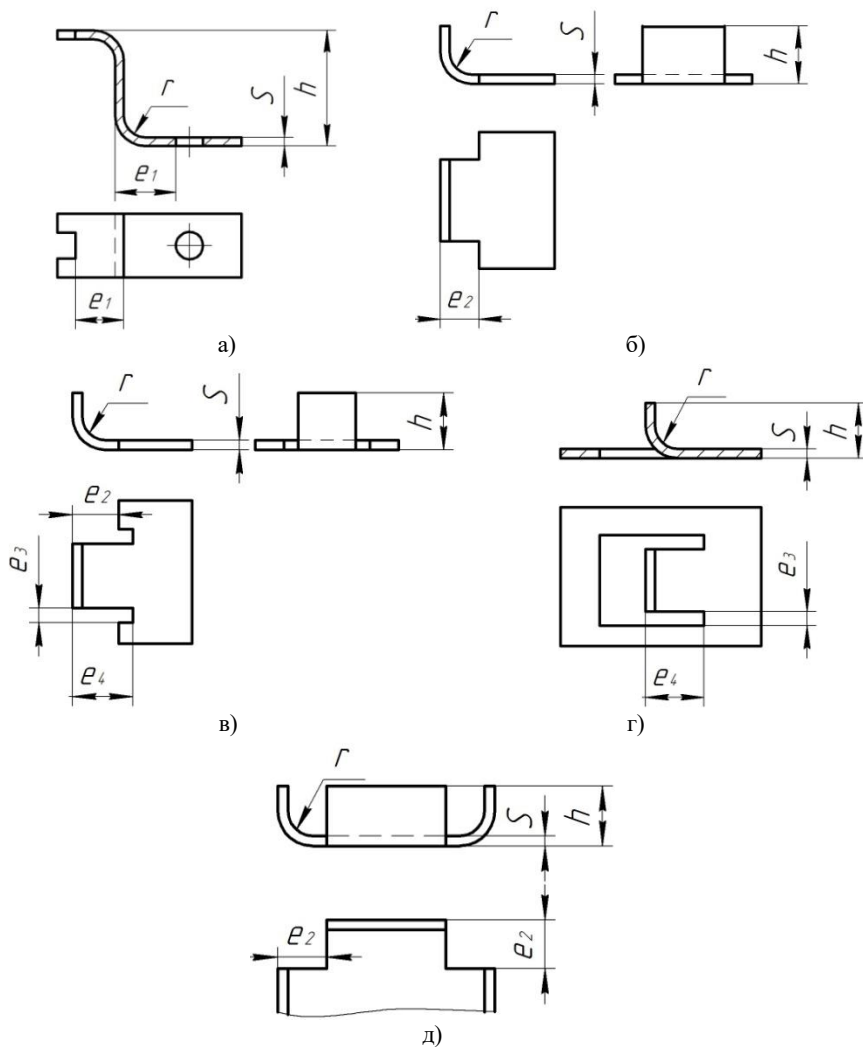


Рис. 2.2. Варианты гибки: а) Z-образная деталь; б), в) V-образная деталь; г) надрезка с гибкой; д) деталь коробчатой формы

Если в полках гнутой детали есть отверстие, то его пробивают перед гибкой в случае, когда расстояние от наружной поверхности детали до кромки отверстия $e_1 \geq S + 1,1r$ (рис. 2.2, а). В противном случае его получают после гибки.

При гибке полок шириной меньшей, чем ширина недеформируемой части заготовки, необходимо, чтобы полка отстояла от кромки недеформируемой части на расстоянии $e_2 \geq r + S$ (рис. 2.2, б). При невыполнении этого условия могут образовываться трещины. Для предотвращения их образования необходимо ввести специальные пазы с размерами $e_3 \geq S$, $e_4 \geq r + 1,5 S$ (рис. 2.2, в).

В случае надрезки и отгибке полок в металле также могут образоваться трещины. В этом случае необходимо ввести пазы (рис. 2.2, г).

При гибке полок деталей типа прямоугольных коробок угловой стык можно выполнить с удалением полок от угла на расстояние $e_2 \geq r + S$ (рис. 2.2, д).

При гибке низких или ступенчатых полок с низкой частью высота наименьшей части должна быть $h \geq r + S$.

Способ гибки (гибка без прижима, с прижимом, с фиксацией заготовки штифтами на прижиме, в шарнирной матрице) выбирают по точности размеров, которые обеспечиваются гибкой. Ориентировочные данные о достижимой точности гибки без прижима приведены в справочной литературе. Точность гибки с прижимом примерно в 2 раза, а с фиксацией штифтами на прижиме – в 4 раза выше, чем без прижима.

Сопоставляя требуемую и достижимую точность размеров, выбирают способ гибки. Если требуемая точность выше достижимой, то последнюю обеспечивают последующей механообработкой штампованных полуфабрикатов, размеры которых определяют с учетом припусков на обработку. Используя результаты анализа, определяют форму и размеры плоской заготовки и полуфабриката перед калибровкой.

При определении размеров плоской заготовки и полуфабриката находят длину детали и полуфабрикатов по нейтральной линии.

Целесообразно, с целью исключения искажения формы и размеров гнутой детали из-за растяжения металла, гнуть деталь не более чем на два угла, при этом удобнее начинать штамповку (если деталь симметрична) с центральной части. Двухугловую гибку рекомендуется выполнять в том случае, когда расстояние между отогнутыми полками

меньше суммы их длин: $l < (l_1 + l_2)$; если это условие не соблюдается, применяют последовательную гибку двух углов [2].

Основным требованием к деталям, изготавливаемым вытяжкой (рис. 2.3), является наличие плавных сопряжений между стенками, а также между стенками и дном детали, между стенками и фланцем детали (при наличии фланца). Для цилиндрических деталей радиус сопряжения внутренних стенок с дном r_n при $S = (1 \dots 6)$ мм должен быть $r_n \geq 2S$, а радиус сопряжения стенок с фланцем $r_m \geq (3 \dots 4)S$ (рис. 2.3). При использовании дополнительной последующей операции калибровки $r_n \geq (0,1 \dots 0,3)S$ и $r_m \geq (0,2 \dots 0,4)S$.

Требования к размерам и расположению отверстий на вытянутых деталях такие же, как и при штамповке плоских деталей. Отверстия в дне детали и на фланце располагают на плоской части этих элементов. При пробивке отверстий в деталях, полученных вытяжкой, расстояние m между стенкой детали и отверстием должно быть $m \geq r + 0,5S$ (r – радиус закругления дна или фланца).

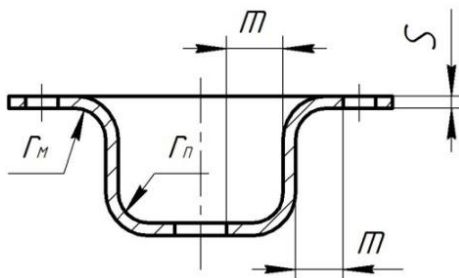


Рис. 2.3. Элементы детали, получаемые вытяжкой

При изготовлении полых деталей, имеющих несимметричную полуоткрытую форму, следует учесть возможность спаренной вытяжки с последующей разрезкой на две детали.

При анализе технологичности деталей, получаемых вытяжкой, выясняют, требуется ли обрезка и калибровка после вытяжки, допустимо ли расположение отверстий в дне и фланце детали.

При штамповке полых цилиндрических и фигурных деталей без фланца обрезка не обязательна при однопереходной вытяжке, когда допуск на высоту не меньше достижимых значений. Если требуемая точность высоты выше достижимой, то предусматривают обрезку и назначают припуск на обрезку [1, 2, 5]. При штамповке полых деталей с фланцем размер фланца обеспечивают обрезкой и выбирается соответствующий припуск.

Достижимая точность высоты полых деталей с фланцем приведена в справочной литературе [1, 2, 5]. Если требуется большая точность высоты, то предусматривается калибровка в штампе. Деталь обжимается в штампе по всем поверхностям.

Достижимая точность размеров сечения при вытяжке цилиндрических и коробчатых деталей приведена в литературе. Если требуется более высокая точность, то применяют калибровку вертикальных стенок. В этом случае вытяжку в последнем, калибровочном, переходе ведут с уменьшенными зазорами между матрицей и пуансоном и малой деформацией.

Наименьшие допустимые радиусы сопряжения элементов полых деталей, изготавливаемых вытяжкой, приведены в справочной литературе [1, 2, 4]. Если соответствующие радиусы детали меньше допустимых, то требуется калибровка, которая выполняется в специальном штампе.

В последнем переходе вытяжки принимают радиусы, которые не меньше допустимых при необходимых коэффициентах вытяжки. Выбрав радиусы сопряжения в последнем переходе вытяжки, определяют размеры полуфабриката перед калибровкой, используя условия постоянства площади срединной поверхности.

В полном объеме требования и методы повышения технологичности штампуемых деталей изложены в [1, 2].

В качестве основных показателей технологичности деталей установлены уровни технологичности по трудоемкости штамповки и технологической себестоимости (основная статья затрат – расходы на материал). В процессе отработки деталей на технологичность необходимо стремиться к максимальному снижению трудоемкости и технологической себестоимости путем такого изменения конструкции деталей, при котором достигается наибольший коэффициент использования материала (КИМ), наименьшее число технологических переходов (операций), максимальное упрощение конструкции штампов и др.

3. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

При выборе схемы технологического процесса учитываются результаты анализа конструкции детали и необходимые основные и вспомогательные операции, обеспечивающие получение требуемой точности размеров, а также серийность производства. Намечается схема технологического процесса, при этом указываются:

- исходная заготовка (лист, лента, полоса);
- последовательность и сочетание операций штамповки;
- вспомогательные операции (отжиг, контроль, очистка поверхности полуфабрикатов и т.п.).

Необходимые технологические расчеты выполняются для каждой операции (перехода) штамповки. Разработка технологической документации осуществляется в той последовательности, которая определяется технологическим процессом изготовления детали (например, резка на ножницах, вырубка заготовки, вытяжка или гибка детали в одну или несколько операций, пробивка отверстий, обрезка детали по наружному контуру и т.д.).

При разработке разделительных операций (вырубка, пробивка) необходимо выполнить следующие технологические расчеты:

- а) определить размеры полосы (ширину), из которой будет вырубаться заготовка;
- б) произвести выбор размеров листа и раскрой его на полосы; раскрой полос на заготовки с определением коэффициента раскроя для каждого варианта раскроя и выбрать наиболее рациональный раскрой;
- в) рассчитать усилие резки при раскрое листа на ножницах;
- г) рассчитать усилие вырубки (пробивки отверстий), съема и проталкивания (выталкивания) детали и отхода;
- д) вычислить (определить) зазоры между рабочими элементами матрицы и пуансона.

Для операций гибки деталей необходимо:

- а) определить размеры плоской заготовки;
- б) определить количество и последовательность выполнения операций гибки;
- в) рассчитать усилие гибки, прижима (выталкивания) детали;
- г) вычислить минимально допустимые радиусы гибки;
- д) определить углы пружинения (для каждой операции).

При разработке операций вытяжки деталей требуется:

- а) рассчитать размеры плоской заготовки;
- б) определить количество операций вытяжки, необходимых для изготовления детали;
- в) рассчитать пооперационные размеры полуфабрикатов (диаметр, глубина вытяжки);
- г) определить потребность прижима для вытяжки с целью исключения гофрообразования;
- д) вычислить усилие вытяжки, прижима и выталкивания детали (полуфабриката);
- е) определить радиусы закруглений рабочих кромок матрицы и пуансона (для каждого перехода вытяжки).

При разработке технологического процесса изготовления детали необходимо стремиться к выбору наиболее экономичного варианта в соответствии с чертежом, программой и техническими условиями.

4. ПОЛУЧЕНИЕ ЗАГОТОВОК ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

4.1. Разделение исходного материала

Любой технологический процесс листовой штамповки начинают с раскроя листового проката. Листовой прокат – рулоны или листы разрезают на ленты, полосы, карты в заготовительном отделении штамповочного цеха. Рулоны используют в крупносерийном и массовом производстве. Листы из стали, сплавов алюминия и других цветных металлов потребляют металлообрабатывающие предприятия мелкосерийного и среднесерийного производства, т.к. их можно приобретать партиями небольшого веса.

Затраты на оборудование для раскроя листов минимальны. Обычно листы разрезают на полосы, с длиной, равной ширине или длине листа, которые служат заготовками для штамповки некоторого количества деталей. Аналогичным образом полосы разрезают на штучные прямоугольные заготовки – карты, если это предусмотрено технологическим процессом.

Размеры листов не превышают 1...1,5 метров в ширину и 2...3 метров в длину, что позволяет использовать в качестве оборудования для резки листов гильотинные ножницы. Гильотинные ножницы являются наиболее распространенным видом ножниц, они применяются для резки листов на полосы и карты, а также для поперечной резки рулонов и лент. Угол наклона верхнего ножа относительно нижнего ($\alpha = 2...6^\circ$ в зависимости от толщины материала) необходим для снижения силы резки (рис. 4.1). Существует множество различных моделей и типоразмеров гильотинных ножниц, различающихся устройством привода (механический, гидравлический), длиной ножей L и максимально допустимой силой. Последний параметр ограничивает толщину разрезаемых листов. Ограничения на длину листа: $A < L$ и ширину: $B < L$ относятся к отрезке продольных и поперечных полос соответственно.

Разрезаемые листы позиционируют на столе ножниц, размеры которого, как и длина ножей L , превышают размеры листа. Верхний нож совершает возвратно-поступательное перемещение от механического или гидравлического привода, разделяя материал от края до края.

Ширина отрезаемой полосы задается упорами. Регулируемые упоры, условно показанные на рис. 4.2, устанавливают на расстоянии

от ножей, равном заданной ширине полосы b . Использование переднего упора связано с определенными неудобствами, он необходим для базирования остатка листа. Отрезке первой поперечной полосы предшествует удаление передней кромки материала, при этом лист базируют длинной стороной вдоль стола. В результате устраняется возможное отклонение от перпендикулярности кромки по отношению к длинным сторонам листа – так называемая косина, образующаяся в прокатном производстве при разрезке рулона на листы летучими ножницами.

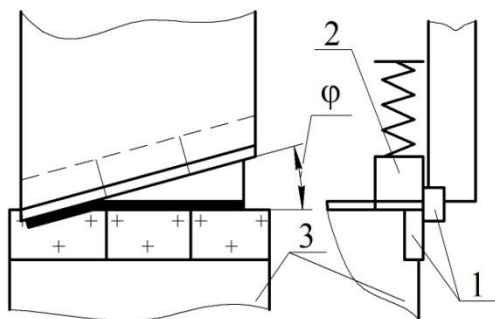


Рис.4.1. Схема резки листов на гильотинных ножницах:
1 – ножи; 2 – прижим; 3 – стол; ϕ – угол створа ножниц

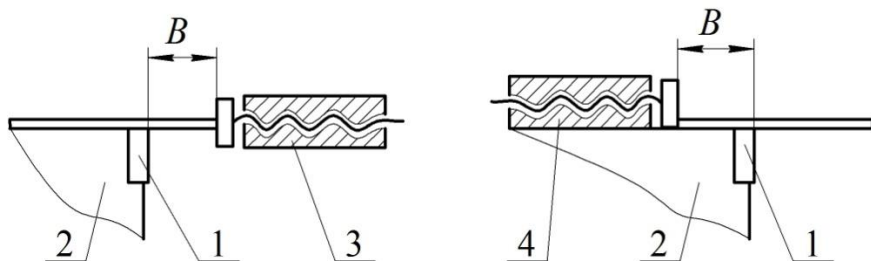


Рис. 4.2. Базирование материала:
1 – нижний нож; 2 – стол; 3, 4 – задний и передний упоры;
 B – ширина отрезаемой полосы

Ручная настройка упоров занимает много времени. Последние модели ножниц снабжены шаговым электроприводом перемещения упоров с числовым программным управлением. При наличии

устройства автоматической подачи материала программа обеспечивает разрезку листа на полосы различной ширины с перенастройкой упоров без вмешательства оператора.

Обычные ножницы с ручной настройкой упоров применяют при разрезке листа на полосы одинаковой ширины. Длину полос, предназначенных для автоматической подачи в штамп, желательно назначать равной большему размеру листа A , чтобы заправка полос в узел подачи происходила реже. Меньший размер B должен не намного превышать суммарную ширину отрезаемых полос, что достигается выбором наиболее подходящего типоразмера листа $A \times B$ из имеющегося стандартного перечня. При этом учитывают также соотношение длины полосы с параметрами размещения в ней штампуемых изделий, от которого зависит размер концевого отхода.

Размеры и масса полос для ручной подачи в штамп ограничены требованиями охраны труда, поэтому их нередко отрезают меньшей длины, т.е. поперек листа. Сначала отрезают так называемую косину, которая не выходит за пределы положительного отклонения размера A от номинального значения. Затем подают лист до заднего упора и включают привод ползуна ножниц, повторяя эти действия до тех пор, пока на столе остается достаточно материала для его прижима. Последнюю полосу нередко отрезают с использованием переднего упора. Отделяемый при этом отход меньше полосы, поэтому опрокидывание материала исключается.

Карты, или прямоугольные заготовки, с размерами, меньшими по сравнению с размерами листа, получают в два этапа. Сначала разрезают лист на полосы шириной, равной одному из размеров карты, затем от полос отрезают требуемые заготовки. Основным критерий оптимума – получение максимального числа карт из листа заданных размеров. При наличии листов различных размеров стремятся получить максимальный коэффициент раскроя, т.е. отношение суммарной площади карт к площади листа.

Возможна попеременная отрезка продольных и поперечных полос в любой последовательности, что связано с поворотами листа относительно ножниц. Оптимизация раскроя представляет в этом случае многовариантную задачу [3]. Для выполнения подобных операций в автоматическом режиме требуется применение листоагрузчиков и промышленных роботов, снабженных вакуумными присосами [3, 4].

4.2. Типы раскроя листового проката

Существуют следующие основные типы раскроя листового проката (рис 4.3): с отходом и безотходный. По указанным схемам применяют однорядный и многорядный раскрой.

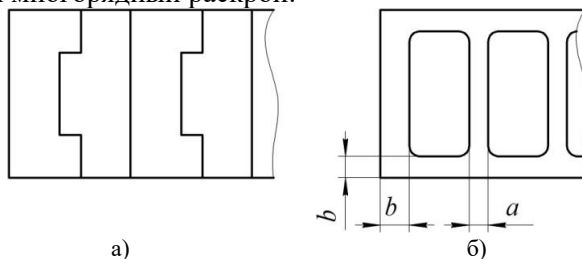


Рис. 4.3. Примеры раскроя металла: а – безотходный раскрой; б – раскрой с отходом

При безотходном раскрое (рис. 4.3, а) коэффициент использования материала близок к 1 (100%). Безотходный раскрой применяют при штамповке деталей, контуры которых различны, но сопрягаются друг с другом. Раскрой с частичными отходами и без отходов применяют для простых по форме деталей низкой точности.

Раскрой с отходами (рис. 4.3, б) применяют для изготовления деталей повышенной точности (8-13 квалитет), а также для деталей сложной конфигурации. При раскрое с отходом деталь (или заготовку) получают вырубкой по замкнутому контуру. Этот раскрой характеризуется наличием остающихся перемычек, причем перемычки бывают как между краями соседних деталей «а», так и между краями детали и кромкой листа или полосы (боковые перемычки «b»), и они больше, чем перемычки между деталями: $b = 1,15 \dots 1,3 a$.

Величина перемычек зависит от толщины и твердости материала, размеров и формы вырубаемых деталей, а также от наличия в штампе упора, его типа и других факторов. В зависимости от перечисленных факторов ширина перемычек изменяется от 1,0 до 3,5 мм при толщине металла до 4 мм. Величины перемычек выбирают так, чтобы обеспечить вырубку деталей по всему контуру без разрыва перемычек и без втягивания их в матрицу. Расход металла на перемычки должен быть минимальный и их величину определяют по таблицам, составленным на основании обобщения опытных данных [1].

Область применения того или иного вида раскроя определяется формой и размерами штампуемых деталей. При штамповке

преимущественно угловых деталей небольших размеров используют многорядный раскрой (параллельный или шахматный).

4.3. Раскрой материала

Под раскромом понимается отыскание наиболее рационального (эффективного) размещения плоских заготовок в листе (полосе, ленте) относительно друг друга и кромок листового проката. Проектирование (разработка) раскроя заключается в выборе рационального положения заготовок в исходном металле. Параметрами эффективности раскроя являются плотность размещения заготовок в исходном материале, материальные затраты на осуществление разделения и др.

Раскрой материала включает выбор исходной и промежуточной заготовки, определение используемых и неиспользуемых отходов, определение показателей раскроя. Показателем эффективности раскроя является коэффициент использования материала (КИМ) - $K_{И}$, который представляет собой отношение массы детали к норме расхода материала, необходимого на изготовление детали.

$$K_{И} = m_{д} / m_{н},$$

где $m_{д}$ – масса готовой детали; $m_{н}$ – норма расхода материала на одну деталь.

Исходя из равенства толщины материала заготовки и получаемой детали, при листовой штамповке рациональнее применять не коэффициент использования металла, а коэффициент раскроя $K_{р}$ (мера плотности размещения заготовок). Его можно представить как отношение площадей детали (без площади отверстий, если они имеются) к площади листа (полосы, ленты), из которого штампуют детали. Коэффициент раскроя металла можно представить формулой

$$K_{рас} = S_{д} / S_{л} \text{ или } K_{рас} = nF / BL,$$

где $S_{д}$, $S_{л}$ – площадь детали и листа соответственно, m^2 ; n – количество полученных из листа деталей, штук; F – площадь поверхности контура детали, m^2 ; B и L – ширина и длина листа (полосы, ленты), м.

Когда деталь не имеет отверстий, то $K_{И} = K_{рас}$.

Определяя рациональность той или иной схемы раскроя, необходимо учитывать не только коэффициент использования материала. Раскрой должен обеспечить высокое качество деталей, высокую производительность (низкую трудоемкость), простоту конструкции штампа и высокую стойкость его рабочих частей, а также удобство и безопасность работы.

Вид исходной заготовки определяется конкретными условиями производства, в частности, в значительной мере серийностью.

В мелкосерийном производстве штамповку, как правило, ведут с ручной подачей, поэтому исходной заготовкой является в основном лист, который разрезают на штучные заготовки или полосы требуемых размеров.

В крупносерийном и массовом производстве применяют автоматизированную штамповку из листа без резки его на полосы, ленты или рулоны.

При выборе рационального варианта раскроя необходимо учитывать следующее:

- вес полосы (при подаче ее в штамп вручную) не должен превышать 12 кг, а длина – 2 м (и не короче 1 м);

- при вырубке заготовок с поворотом полосы переемычки необходимо увеличивать на 50 % по сравнению с табличным значением;

- при штамповке деталей сложной конфигурации с острыми углами, обращенными в сторону переемычек, табличные значения «а» и «b» следует увеличивать на 25...30 %;

- при штамповке с поворотом полосы табличные значения «а» и «b» следует увеличить на 50 %;

- при наличии бокового прижима полосы и точной подачи в штампах с шаговыми ножами, а также при автоматической подаче валками и клещами допускается уменьшение переемычек на 20 %;

- количество рядов при вырубке круглых или многоугольных деталей не рекомендуется принимать более трех, т. к. при большем количестве рядов стоимость штампа резко возрастает (при $d \geq 140$ мм принимается однорядная схема раскроя);

- линиягиба деталей не должна совпадать с направлением волокон;

- безотходную и малоотходную вырубку рекомендуется применять для деталей прямоугольной (квадратной) формы, без радиусных внешних элементов, а также для деталей невысокой точности;

- раскрой заготовок, имеющих сложную конфигурацию, следует производить графически с применением шаблонов (рекомендуется использование компьютеров).

Расчет параметров раскроя выполняют в следующей последовательности:

- выбирают вид (безотходный, малоотходный, с отходами по всему периметру) и тип (прямой, наклонный, встречный, многорядный и т.п.)

раскроя, учитывая форму, размеры и точность размеров детали или штучной заготовки [1];

- выбирают боковые перемычки и перемычки между смежными заготовками с учетом толщины и свойств материала, размеров и формы заготовки в плане, типа раскроя [1];

- выбирают способ фиксации полосы в штампе при вырубке заготовки (по упору с боковым прижимом полосы или без прижима, штамповка с шаговыми ножами), обеспечивающий стабильность и безопасность процесса;

- определяют допуски на ширину полосы, учитывая толщину и ожидаемую ширину полосы. Если полосы ожидаемой и рассчитанной ширины имеют различные допуски, то допуск уточняют, а расчет ширины полосы повторяют;

- рассчитывают ширину полосы и шаг подачи [1];

- выбирают способ раскроя одной из указанных в задании исходных заготовок на полосы (поперечный, продольный, наклонный, комбинированный);

- определяют размеры промежуточных заготовок и отходов, количество заготовок (деталей) из одной исходной и промежуточной;

- определяют КИМ для выбранных способов раскроя.

Раскрой, который обеспечивает наибольший КИМ, принять в разрабатываемом технологическом процессе. По результатам раскроя составляется карта раскроя.

4.4. Резка в штампах

К разделительным операциям листовой штамповки относятся получение наружного контура изделий, пробивка отверстий и некоторые другие виды деления. Операцию образования наружного контура с помощью специального штампа называют вырубкой. Специальный штамп, в отличие от универсального, предназначен для одного конкретного изделия, по размерам которого выполнен штамповый инструмент.

Вырубные штампы (рис. 4.4) по своей конструкции различаются нижним (*a*) или верхним (*b*) расположением матрицы. Обычно их изображают в закрытом состоянии, которое соответствует нижнему положению ползуна прессы.

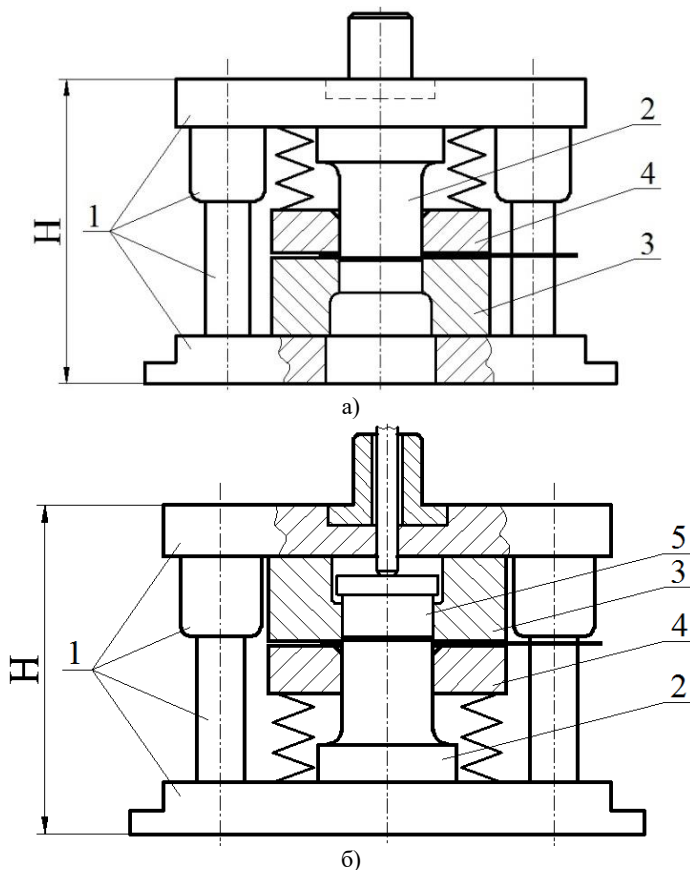


Рис. 4.4. Схемы вырубных штампов: а) с нижним расположением матрицы; б) с верхним расположением матрицы; 1 – штамповый блок; 2 – пуансон; 3 – матрица; 4 – съемник; 5 – выталкиватель

Штамповый блок содержит стандартные детали: нижнюю и верхнюю плиты, соединенные направляющими колонками и втулками; хвостовик, служащий для крепления к ползуну верхней части штампа. Размеры деталей штампового блока образуют стандартные ряды, из которых выбирают подходящие значения. Нижняя часть штампа крепится болтами к пазам, имеющимся в столе прессы, средние и крупные прессы имеют аналогичные средства крепления верхней части штампа к ползуну. Штамп закрепляют на прессы с учетом координат центра давления, т.е. равнодействующей силы вырубки.

Специальные детали: матрицу, пуансон, съемник и выталкиватель – изготавливают в соответствии с размерами штампуемого изделия, его наружный контур образуется отверстием матрицы. Пуансон входит в матрицу с зазором, не превышающим нескольких процентов от толщины материала. Чем он меньше, тем точнее должны быть выполнены направляющие пары, обеспечивающие соосность штампового инструмента.

В штампах с нижним расположением матрицы вырубают небольшие или особо крупные изделия, первые проваливаются через окно стола пресса в тару, для вторых в нижней плите штампа размещают транспортер. Наибольшее распространение получила схема с верхним расположением матрицы, несмотря на некоторые проблемы, связанные с удалением отштампованных изделий.

Силу вырубки подсчитывают как произведение сопротивления материала срезу $\sigma_{ср}$, периметра резки и толщины материала. Результат умножают на коэффициент запаса, принимаемый равным 1,2...1,3. При отделении изделия от заготовки оно оказывается запрессованным в матрицу и в дальнейшем проталкивается вниз следующими изделиями либо при верхнем расположении матрицы выталкивается из нее. Аналогичным образом заготовка запрессовывается на пуансон и снимается с него съемником. Сила съема достигает 6 % от силы вырубки. Ее обеспечивают пружины или эластичные блоки из резины. Сила, развиваемая прессом, преодолевает сопротивление материала срезу, силу пружин и при нижнем расположении матрицы – сопротивление изделий проталкиванию.

5. ФОРМООБРАЗУЮЩИЕ ОПЕРАЦИИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

5.1. Гибка листовых заготовок

Операции данного класса выполняются на универсальном и специализированном оборудовании, включая гибочные автоматы. Последние отрезают от узкой ленты штучную заготовку и подвергают ее формоизменению с помощью нескольких ползунов, которые можно устанавливать под различными углами.

Гибка в специальных штампах применяется для разнообразной номенклатуры изделий (рис. 5.1).

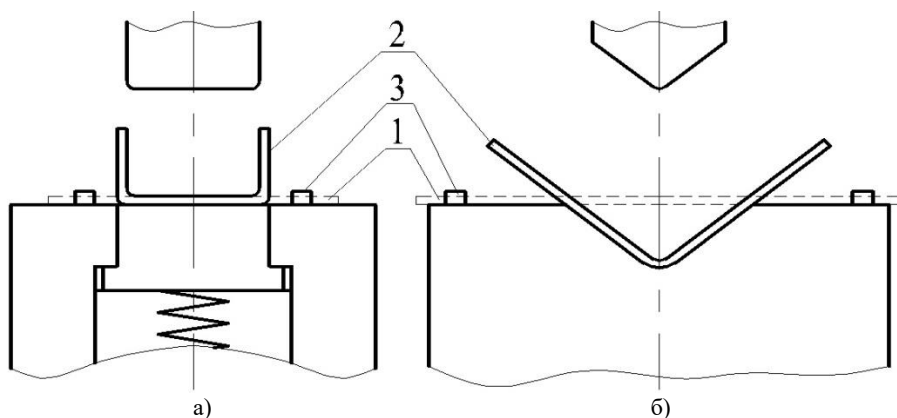


Рис. 5.1. Гибка заготовки с прижимом центральной части (а) и без прижима (б):
1, 2 – заготовка до и после гибки; 3 – упоры

Заготовками служат развертки деталей, вырубку которых часто совмещают с пробивкой отверстий. Размеры развертки детали рассчитывают исходя из того, что после гибки получается готовое изделие, не требующее обрезки краев.

Небольшие изделия штампуют в ленте или полосе: при образовании контура развертки ее не отделяют полностью от заготовки, затем выполняют гибку и отделяют изделие. Применяют валковую или другую автоматическую подачу ленты (полосы) толкающего типа, готовые изделия удаляются на провал или

пневмосдувателем. Изделия средних размеров штампуют из штучных заготовок – карт, отрезанные на ножницах, или разверток, полученных вырубкой.

Поэлементная гибка в универсальных штампах (рис. 5.2) применяется в условиях мелкосерийного производства.

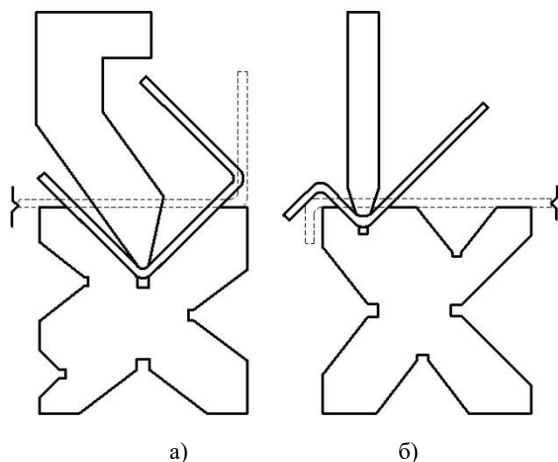


Рис. 5.2. Универсальная оснастка для гибки деталей П-образного (а) и Z-образного (б) сечения

Универсальная матрица с углублениями различных размеров и набор пуансонов, отличающихся формой и радиусами гибки, позволяют изготавливать разнообразные изделия, главным образом длинномерные типа профилей. Профили длиной несколько метров штампуют на специализированных гибочных прессах с узкими и длинными столами, прогиб которых исключается специально предусмотренными гидравлическими домкратами.

Современные модели гибочных прессов с числовым программным управлением обеспечивают автоматическое позиционирование упора и регулировку закрытой высоты штампа, от которой зависит угол гибки. Промышленный робот укладывает заготовку в штамп и перемещает после гибки в стопку для выполнения следующего перехода.

5.2. Вытяжка листовых заготовок

Вытяжка плоских заготовок является одной из наиболее распространенных операций листовой штамповки. Получают изделия

разнообразных форм. Все они классифицируются как полые (рис. 5.3). Стенки полости могут быть цилиндрическими, коническими, сферическими и др.

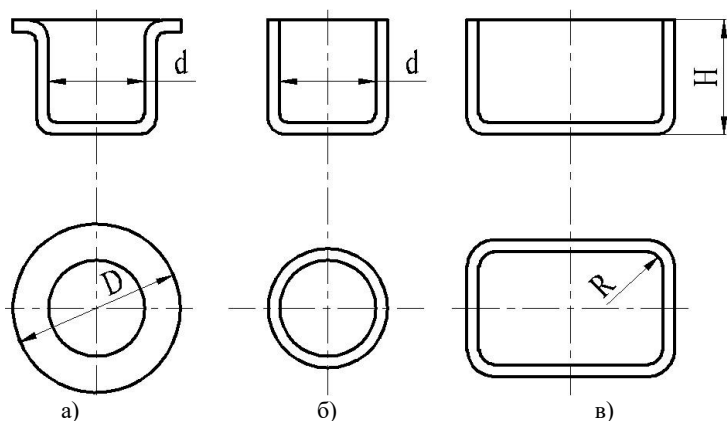


Рис. 5.3. Примеры изделий, изготовленных вытяжкой: круглых с фланцем (а) и без фланца (б); типа коробок (в)

Наряду с простыми формами изделия могут содержать сложные поверхности. Диапазон габаритных размеров – от порядка 1 мм до нескольких метров. Материал должен обладать высокой пластичностью. В процессе деформирования заготовки ее необходимо прижимать к зеркалу матрицы (рис. 5.4).

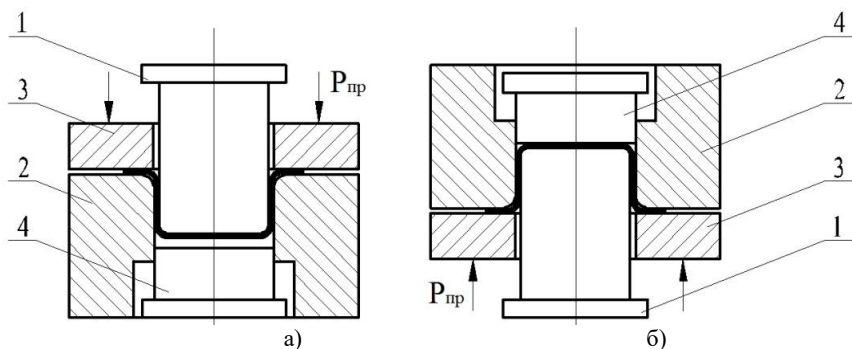


Рис. 5.4 Схемы вытяжки на прессе двойного (а) и простого (б) действия: 1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – прижим; 4 – выталкиватель

Сила прижима $P_{пр}$ должна быть достаточной для предотвращения образования так называемых гофр. Трение заготовки по матрице и прижиму затрудняет вытяжку, поэтому на трущиеся поверхности наносят смазку, а силу буфера тщательно регулируют, чтобы исключить разрыв заготовки.

При многооперационной вытяжке изделий с глубокой полостью на первой операции заготовка плоская, а на остальных – полая (рис. 5.5). Увеличение размера H достигается за счет уменьшения диаметра полуфабриката либо толщины его стенки S (так называемая вытяжка с утонением).

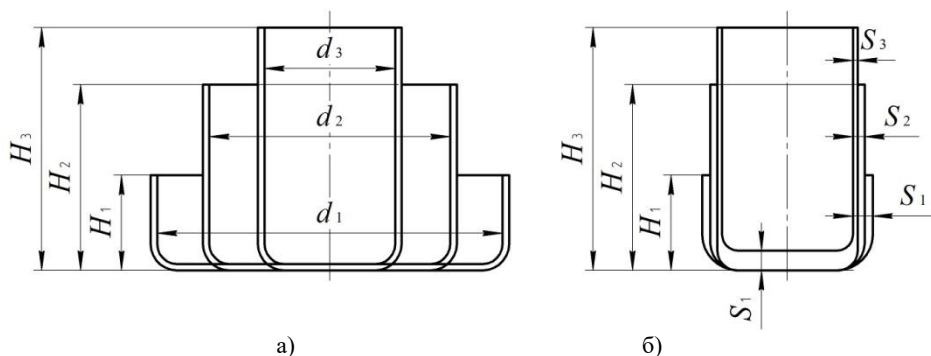


Рис. 5.5. Переходы вытяжки стаканов без утонения (а) и с утонением материала (б)

В справочной литературе [7] приведены предельные коэффициенты последующих операций вытяжки без утонения $m_i = d_i / d_{i-1}$ и с утонением $m_i = S_i / S_{i-1}$. Необходимое утонение стенки стакана обеспечивается соответствующей величиной зазора между матрицей и пуансоном штампа, дно изделия сохраняет исходную толщину.

Операции вытяжки желательно чередовать с отжигом полуфабрикатов, в противном случае накапливается упрочнение материала, снижается его пластичность. Разупрочняющая термообработка позволяет в итоге сократить число вытяжных операций, однако в условиях массового производства она часто оказывается невыгодной.

5.3. Определение размеров плоской заготовки для формообразующих операций

Гибка

Определение размеров плоских заготовок, подвергаемых гибке, основано на равенстве длины заготовки длине нейтрального слоя изогнутой детали (рис. 5.6).

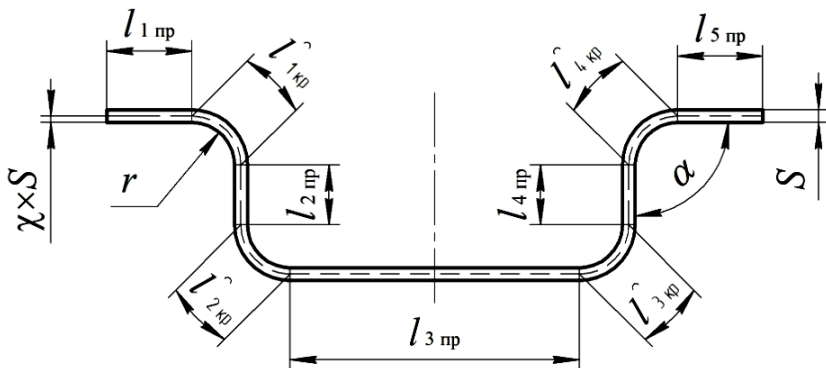


Рис. 5.6. Расчетная схема гнутой детали

Расчет сводится к определению положения длины нейтрального слоя в зависимости от относительного радиуса изгиба r/s и определяется по формуле

$$L = \Sigma l_{\text{пр}} + \Sigma l_{\text{кр}} = (l_1 + l_2 + \dots + l_n) + \Sigma \left(\frac{\pi \times \alpha}{180} (r + \chi \times s) \right),$$

где l_i – длины прямолинейных участков гнутой детали, мм; α – угол изогнутого участка, град; r – радиус закругления детали (внутренний), мм; χ – коэффициент, определяющий положение нейтрального слоя, $\chi = f(r/s)$ [1].

Вытяжка без утонения стенок

При вытяжке без утонения стенок изменением толщины материала пренебрегают и определение размеров заготовки производят по равенству площади поверхности заготовки и готовой детали с учетом припуска на обрезку (рис. 5.7).

Для полых деталей, имеющих форму тел вращения, расчет ведут аналитическим методом; для деталей, имеющих сложную форму (прямоугольные, коробчатые, несимметричные), – графоаналитическим методом.

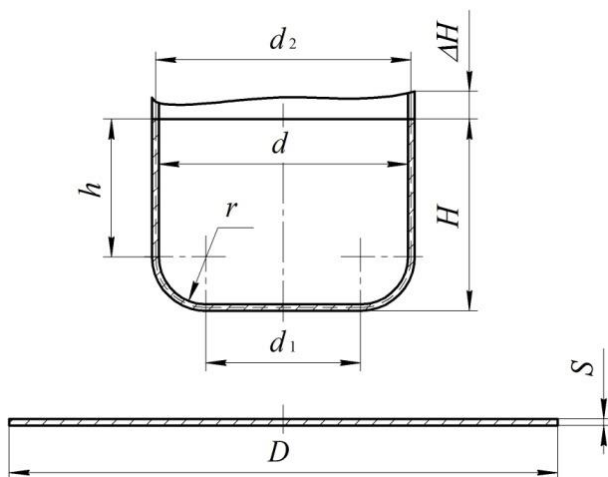


Рис. 5.7. Расчетная схема при вытяжке без утонения стенки

Диаметр расчетной круглой заготовки находится по формуле

$$D_3 = 1,13\sqrt{F_d} = 1,13\sqrt{\sum f_i},$$

где F_d – площадь поверхности вытянутой детали, мм²; f_i – площадь отдельных элементов поверхности детали, мм².

При заготовке $S \geq 2,0$ мм расчет ведется по срединной поверхности детали. Срединной считается поверхность, делящая пополам толщину стенки детали. При $S < 2,0$ мм расчет ведется по наружным (внешним) размерам детали.

В справочной литературе [1, 2] приводятся формулы по определению как площадей элементарных поверхностей вытянутой детали, так и для определения диаметра плоских заготовок, исходя из чертежа вытянутой детали.

Вследствие анизотропии (неоднородности) структуры (свойств) металла верхние кромки деталей, а также края фланцев у деталей с фланцем после вытяжки получают неровными (фестонообразование).

Поэтому при расчете диаметра исходной заготовки необходимо учитывать припуск ΔH на обрезку детали по высоте или ΔD – на обрезку неровных кромок фланца детали. Величина ΔH выбирается по таблицам [1].

6. РАСЧЕТ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Подбор технологического оборудования (гильотинных ножниц, прессы и т.п.) производится с учетом усилий P , необходимых для выполнения технологических операций.

Разделительные операции

а) Резка исходного материала:

- параллельными ножницами

$$P = L S \sigma_{cp},$$

где L – длина реза, мм; S – толщина разрезаемого листа, мм; σ_{cp} – сопротивление срезу, МПа;

- гильотинными ножницами

$$P = 0,5 \frac{S^2}{\operatorname{tg} \varphi} \sigma_{cp},$$

где φ – угол створа ножниц ($\varphi = 2 \dots 5^\circ$), град.

С учетом наличия изгиба при резке, неравномерности толщины материала и затупления режущих кромок ножей полное усилие резки принимается $P_{\Sigma} = 1,3P$.

б) Вырубка (пробивка, обрезка)

Технологическое усилие в штампах с параллельными (нескошенными ножами) режущими кромками:

$$P = L_{\text{конт}} S \sigma_{cp},$$

где $L_{\text{конт}}$ – периметр контура вырубки, мм; S – толщина штампуемого материала, мм; σ_{cp} – сопротивление срезу, МПа.

При проектировании штампов разделительных операций необходимо рассчитывать значение требуемых усилий:

- усилие снятия ($P_{\text{сн}}$) отхода (детали) с пуансона;

- усилие проталкивания ($P_{\text{пр}}$) детали (отхода) сквозь матрицу.

Усилие снятия:

$$P_{\text{сн}} = k_{\text{сн}} P,$$

где $k_{\text{сн}}$ – коэффициент, зависящий от типа, толщины и ширины материала [1]; P – рассчитанное усилие вырубки (пробивки, обрезки), кН.

Усилие проталкивания заготовки через проём матрицы:

$$P_{\text{пр}} = k_{\text{пр}} P n,$$

где $k_{\text{пр}}$ – коэффициент, зависящий от способа выталкивания заготовки (отхода) и толщины материала; $n = h / S$ – количество деталей (отхода),

помещающихся в цилиндрическом пояске матрицы; h – высота цилиндрического пояска (рабочей кромки) матрицы, мм.

Суммарное усилие штамповки определяется по формуле

$$P_{\Sigma} = P + P_{\text{пр}} + P_{\text{сн}}.$$

С учетом затупления режущих кромок:

$$P_{\Sigma} = K (P + P_{\text{пр}} + P_{\text{сн}}),$$

где K – коэффициент, учитывающий притупление режущих кромок, неравномерность механических свойств и толщины материала и др. (1,1 ... 1,3).

В зависимости от конструкции штампа и схемы штамповки (с прижимом либо без, со снятием либо без, с выталкивателем либо проталкиванием) в расчетной зависимости усилия учитываются только соответствующие параметры.

При выборе прессы для выполнения заданной операции следует проверить запас энергии, которой он должен располагать. Для этого вычисляется работа деформации A (Дж), необходимая для выполнения операции:

$$A = P_{\text{ср}} \cdot h_{\text{р}} \text{ (Дж)},$$

где $P_{\text{ср}}$ – усредненное усилие штамповки, кН; $h_{\text{р}}$ – рабочий ход пуансона, мм ($h_{\text{р}} = S$).

Формоизменяющие операции

Вытяжка без утонения стенок

Усилие $P_{\text{вт}}$, необходимое для вытяжки цилиндрической детали без утонения стенок, вычисляется по формуле

$$P_{\text{вт}} = \pi \cdot d \cdot S \cdot K_{\text{вт}} \cdot \sigma_{\text{в}},$$

где d – диаметр детали, вытягиваемой после данной операции (при $S \geq 2,0$ мм – по срединной линии), мм; S – толщина материала, мм; $K_{\text{вт}}$ – табличный коэффициент, зависящий от расчетного коэффициента вытяжки ($K_{\text{вт}} = f(m)$) [1]; $\sigma_{\text{в}}$ – предел прочности материала, кг/мм² (МПа).

Если при вытяжке с целью исключения гофрообразования необходим прижим, то рассчитывается усилие прижима:

$$P_{\text{пр}} = q_{\text{пр}} \cdot F_{\text{пр}},$$

где $q_{\text{пр}}$ – удельное усилие прижима, кг/мм² [1,2], $F_{\text{пр}}$ – площадь части заготовки, зажатой между матрицей и прижимным кольцом (рис. 6.1):

$$F_{\text{пр}} = \frac{\pi}{4} [D_{\text{зач}} - (d_{\text{м}} + 2r_{\text{м}})],$$

где $D_{\text{заг}}$ – диаметр заготовки, мм; $d_{\text{м}}$ – диаметр матрицы, мм; $r_{\text{м}}$ – радиус рабочей кромки матрицы, мм.

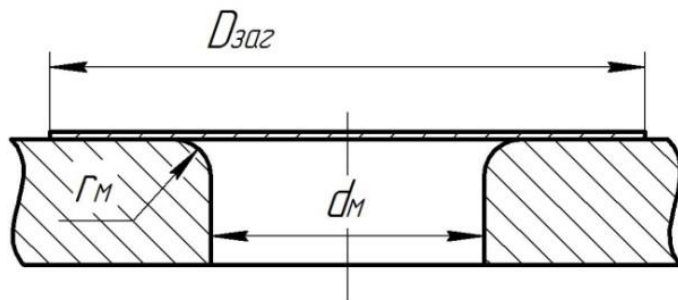


Рис.6.1. К расчету площади заготовки, находящейся под прижимом

Расчет прижима проводится, только если вытяжка ведется на прессах простого действия.

Работа деформации $A_{\text{вт}}$, необходимая для вытяжки:

$$A_{\text{вт}} = (0,6 \dots 0,8) P_{\text{вт}} \cdot H_{\text{вт}},$$

где $H_{\text{вт}}$ – глубина вытяжки, или рабочий ход ползуна пресса (пуансона), на протяжении которого действует $P_{\text{вт}}$, мм.

Усилия $P_{\text{вт}}$, $P_{\text{пр}}$, а также работу $A_{\text{вт}}$ при вытяжке некруглых деталей без утонения материала вычисляют по тем же формулам, но вместо длины окружности $\pi \cdot d$ подставляют расчетный периметр L сечения полуфабриката после данной операции.

Полное усилие вытяжки P_{Σ} , необходимое для подбора пресса, определяется по формуле

$$P_{\Sigma} = P_{\text{вт}} + P_{\text{пр}}.$$

7. Разработка технологических процессов изготовления деталей летательных аппаратов

7.1. Разработка технологического процесса изготовления детали с использованием операции гибки

Порядок разработки технологического процесса:

1. Провести анализ конструкции детали (в соответствии с табл. 7.1, 7.2, 7.3). Для этого необходимо изучить требования, предъявляемые к деталям, получаемым штамповкой заготовок в инструментальных штампах. Они приведены ранее в пособии и в справочнике [1, С. 280-282]. Затем проанализировать конструкцию заданной детали и сделать выводы о возможности изготовления детали штамповкой. При необходимости, с разрешения преподавателя, провести корректировку размеров детали. В заключение разработать технологическую схему (план) изготовления детали.

2. Определить размеры заготовки.

3. Разработать карту раскроя листа. Решение этой задачи необходимо начинать с определения ширины полосы, используемой для вырубki заготовки. Для упрощения принимаем тип раскроя - прямой однорядный [1, табл.136]. Формулы для определения ширины полосы принимаются по табл.142 [1], перемычки между вырубаемыми заготовками – по табл.139, допуски на ширину полос при отрезке на гильотинных ножницах - по табл. 144.

Затем выбираются по ГОСТам габариты листов. Здесь необходимо учитывать, что масса полосы при её подаче в штамп не должна превышать 12 кг, а длина 2,0 м. Рекомендуются листы выбирать шириной до 1500 мм и длиной до 2000 мм.

При расположении полос на листе необходимо учитывать, что линиигиба должны преимущественно располагаться перпендикулярно направлению прокатки листа (его длине).

После выбора листа необходимо определить количество нарезаемых полос и заготовок из полосы, а также рассчитать коэффициент использования материала листа:

$$\eta = \frac{f \cdot n}{A_{л} \times B_{л}} 100\% ,$$

где f – площадь вырубаемой заготовки (без учёта отверстий); n – количество заготовок из листа; A_d и B_d – ширина и длина листа.

Все расчёты должны выполняться для четырех вариантов раскроя, т.е. для двух листов разных габаритов при нарезке полос из одного листа вдоль и поперёк направления проката. Для наиболее выгодного варианта необходимо составить карту раскроя листа.

Далее необходимо определить усилие резки листа на гильотинных ножницах (с наклонным ножом) и подобрать по каталогу марку ножниц.

4. Определить усилие вырубki заготовки – пробивки отверстий в инструментальном штампе.

5. Произвести подбор прессы для выполнения совмещённой операции по каталогу оборудования, исходя из следующих требований:

- полного усилия штамповки P_{Σ} , кН;
- величины рабочего хода ползуна $h = (5 \dots 10)S$, мм;
- закрытой высоты штампа (ориентировочно $H_{\text{закр}} = 150 S$);
- габаритов штампа в плане (ориентировочно: $(250 \dots 300)S \times (350 \dots 400)S$, мм.

6. Определить усилие гибки заготовки.

Основные формулы для расчёта данного параметра приведены в справочнике [1, табл.23].

7. Произвести подбор прессы для выполнения операции гибки, исходя из следующих требований:

- усилия гибки, кН;
- величины хода ползуна h (не менее 2,5 высот детали), мм;
- закрытой высоты штампа ($3h$), мм;
- габаритов штампа в плане (зависит от размеров заготовки и количества одновременно штампуемых деталей), мм.

8. Рассчитать параметры пружинения материала после выполнения операции гибки.

Детали, полученные гибкой, обычно не соответствуют форме деформирующего инструмента. Поэтому для получения изделия по чертежу необходимо произвести корректировку инструмента по углу и величине радиуса изгиба. Формулы для определения параметров пружинения при гибке деталей с $r_{\text{вн}} < 10S$ имеют вид:

$$r = \frac{1}{\frac{1}{r_0 + \frac{S_0}{2}} + \frac{3\sigma_6}{ES_0}} - \frac{S_0}{2}, \quad \alpha = \left[1 - \frac{3\sigma_6}{E} \left(\frac{r_0}{S_0} - \frac{1}{2} \right) \right] \alpha_0,$$

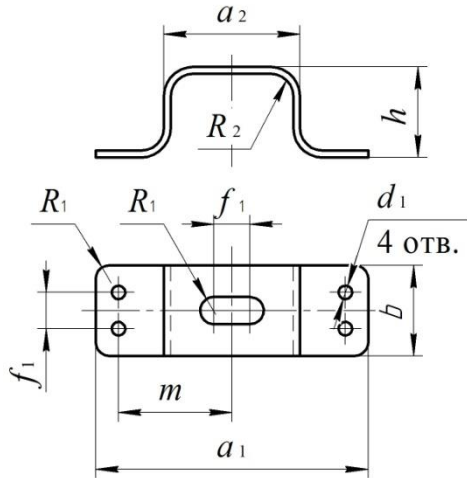
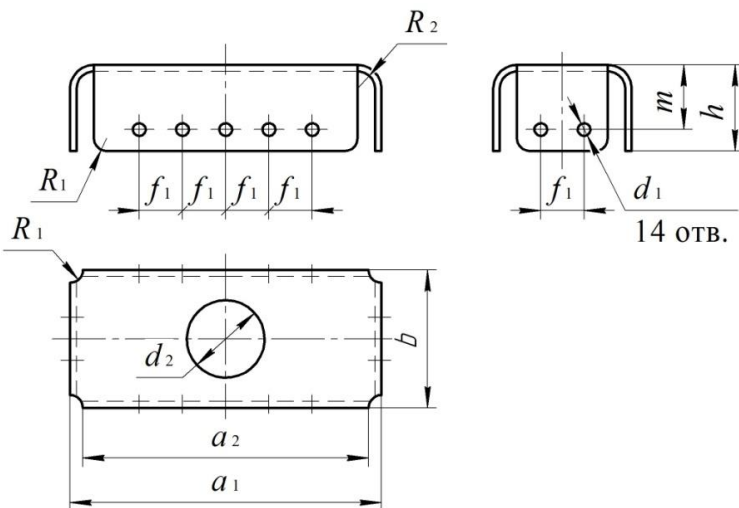
где r – радиус закругления пуансона, мм; r_0 – внутренний радиус изогнутой детали (по чертежу), мм; α – угол пуансона с учётом корректирования, град; α_0 – угол, на который гнётся деталь, град; E – модуль упругости материала детали, кг/мм² (МПа).

При $r_{\text{вн}} > 10 S$ параметры пружинения удобно определять по графикам [1, рис. 64,65].

9. Разработать и оформить на бланках технологических карт маршрутно-операционный технологический процесс изготовления детали.

Таблица 7.1. Детали, изготавливаемые с использованием операции «гибка»

№ п/п	Эскиз детали
1	

№ п/п	Эскиз детали
4	 <p>Technical drawing of a detail. The top view shows a wavy profile with a width of a_2 and a height of h. The profile has a radius of R_2. The base is a rectangle with a width of a_1 and a height of b. It features four holes with diameter d_1 and a central slot with a width of f_1. The distance from the center of the slot to the center of the first hole is m. The radius of the corners of the base is R_1. The text "4 ОТВ." indicates four holes.</p>
5	 <p>Technical drawing of a detail. The top view shows a rounded rectangular profile with a width of a_2 and a height of h. The profile has a radius of R_2 at the top corners and R_1 at the bottom corners. It features four holes with diameter d_1 and a spacing of f_1 between them. The distance from the center of the first hole to the center of the last hole is m. The base is a rectangle with a width of a_1 and a height of b. It features a central hole with diameter d_2. The text "14 ОТВ." indicates 14 holes.</p>

№ п/п	Эскиз детали
6	<p>Technical drawing of a mechanical part (item 6). The drawing includes a front view, a side view, and a top view. The front view shows a part with a top flange of width m and diameter d_1, containing 5 holes (5 ОТВ.). The top flange has a fillet radius R_1 and a height f_1. The main body has a fillet radius R_2. The side view shows a part with a fillet radius R_2 at the top and R_1 at the bottom, with a height h and a hole offset f_1. The top view shows a part with a fillet radius R_1, a hole diameter d_2, a hole offset a_2, a total width a_1, and a thickness b.</p>
7	<p>Technical drawing of a mechanical part (item 7). The drawing includes a front view, a side view, and a top view. The front view shows a part with a fillet radius R_1 at the top and R_2 at the bottom. It has two holes with offsets f_2 and a hole offset f_1. The total width is a_2. The side view shows a part with a fillet radius R_2 at the top and R_1 at the bottom, with a height a_1 and a hole offset f_2. The top view shows a part with a fillet radius R_2, a hole diameter d_1, a hole offset f_1, a total width a_1, and a thickness b. It contains 7 holes (7 ОТВ.).</p>

№ п/п	Эскиз детали
8	<p>Technical drawing of a U-shaped profile. The top view shows a profile with a total width of a_2 and a height of h. It features a central section with a radius R_2 and a small step of height m. A detail view shows a rounded corner with radius R_1. The side view shows a rectangular profile with a total length of a_1, a width of b, and a height of f_1. It has four holes with diameter d_1 and a central hole with diameter d_2. The distance between the first two holes is f_2.</p>
9	<p>Technical drawing of a rectangular profile. The top view shows a profile with a total width of a_1 and a height of h. It has rounded ends with radius R_1 and a central section with radius R_2. There are eight holes with diameter d_1 and a spacing of f_1 between them. A detail view shows a hole with diameter d_1 and a spacing of f_1, with a total of 14 holes. The distance between the first two holes is f_2, and the height of the hole is m. The side view shows a profile with a total length of a_1, a width of b, and a height of f_1. It has rounded ends with radius R_1 and a central hole with diameter d_2.</p>

Таблица 7.2. Геометрические размеры деталей, изготавливаемых гибкой

№ варианта	a_1 , мм	a_2 , мм	b , мм	h , мм	R_1 , мм	R_2 , мм	d_1 , мм	d_2 , мм	f_1 , мм	f_2 , мм	m , мм
1-1	80	30	20	15	2	2			10	35	2
1-2	75	28	22	18	3	3			12	32	2
1-3	70	26	20	16	3	4			12	30	2
1-4	65	30	22	10	3	5			12	20	2
2-1	26	22	18	20	3	5	3	8	8	12	
2-2	30	25	18	20	3	5	3	8	8	12	
2-3	35	28	20	20	3	5	3	10	10	14	
2-4	28	24	18	20	3	5	3	8	8	12	
3-1	50	15	18	15	3	5	3	8	8	14	
3-2	55	20	20	15	3	5	3	8	8	15	
3-3	60	25	20	15	3	6	3	10	10	16	
3-4	50	20	20	20	3	5	3	8	8	15	
4-1	56	26	20	20	3	6	3		10		23
4-2	60	30	18	20	3	5	3		8		25
4-3	70	35	20	18	3	5	3		10		28
4-4	64	32	20	18	3	5	3		10		27
5-1	72	64	32	15	3	4	3	18	10		10
5-2	80	76	40	15	3	3	3	20	13		9
5-3	90	78	42	18	4	6	3	20	13		12
5-4	82	74	42	15	3	3	3	20	13		10
6-1	80	32	15	20	3	5	3	18	8		12
6-2	80	40	15	18	3	5	3	20	10		12
6-3	90	36	15	20	3	5	3	18	9		12
6-4	86	38	20	20	3	5	3	20	8		14
7-1	32	16	14		3	5	4		9	14	8
7-2	36	18	16		3	5	4		10	15	9
7-3	38	19	16		3	5	4		10	16	9
7-4	42	21	18		3	5	4		13	18	8
8-1	65	40	26	30	2	5	2,6	18	12	28	10
8-2	80	42	28	30	2	4	2,6	20	12	30	8
8-3	82	45	28	32	2	3	2,6	20	14	30	8
8-4	80	45	26	20	2	2	2,6	18	10	24	6
9-1	80	30	20	15	2	2			10	35	2
9-2	75	28	22	18	3	3			12	32	2
9-3	70	26	20	16	3	4			12	30	2
9-4	65	30	22	10	3	5			12	20	2

Таблица 7.3. Механические свойства листовых материалов

Марка материала	Строение материала	σ_b , МПа	σ_m , МПа	$\sigma_{ср}$, МПа	δ_{10} , %	Ψ , %	E , МПа
АМцАМ	Отожжен.	135	55	108	33	65	$7,1 \times 10^4$
Д16АМ	Отожжен.	200	95	160	18	55	$7,1 \times 10^4$
Д16АТ	Закалка+Старение	450	300	360	19	25	$6,9 \times 10^4$
АМг6М	Отожжен.	330	165	264	24	40	$6,8 \times 10^4$
Сталь 10	Нормализов.	400	250	320	35	68	$2,0 \times 10^4$
30ХГСА	Отожжен.	700	450	560	22	52	$2,0 \times 10^4$
08Х18Н10	Закален.	470	195	376	40	55	$1,88 \times 10^4$
X15Н9Ю	Закалка+обработ. холодом+отп.	1270	1080	916	20	50	$1,88 \times 10^4$

Пример. Необходимо разработать технологический процесс изготовления скобы (материал – сталь 10 л 2,0), представленной на рис. 7.1.

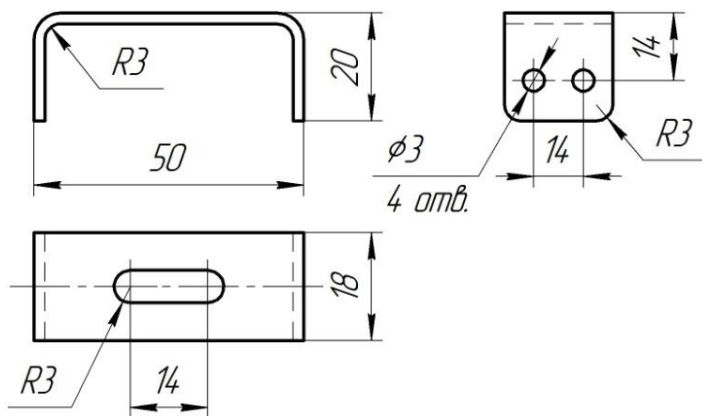


Рис. 7.1. Деталь, изготавливаемая гибкой в инструментальном штампе

Деталь П-образной формы, габаритные размеры $50 \times 18 \times 20$ мм, на полке расположено отверстие размером 14×6 мм, на стенках по 2 отверстия $\varnothing 3$ мм.

Отверстия в детали можно изготовить пробивкой, так как они имеют большие размеры, чем минимально допустимые ($d = 3 \text{ мм} > 1,0S = 2,0 \text{ мм}$; $14 \times 6 \text{ мм} > 0,70 S = 1,4 \text{ мм}$).

Соблюдается ограничение по наименьшему расстоянию от края круглого отверстия до прямолинейного наружного контура (не менее $S = 2,0$ мм). Расстояния от краев круглых отверстий до прямолинейного наружного контура составляют:

$$c_1 = 0,5b - R_1 = 0,5 \times 18 - 3 = 6 \text{ мм};$$

$$c_2 = (b - f_1 - d_1) / 2 = (18 - 8 - 3) / 2 = 3,5 \text{ мм};$$

$$c_3 = h - m - d_1 / 2 = 20 - 14 - 3 / 2 = 4,5 \text{ мм}.$$

Отверстия в заготовке, подлежащей гибке, не должны располагаться близко к радиусу закругления детали, т.е. $a \geq (r + 2S) = 9$ мм:

$$b_1 = 0,5 (a_1 - f_1) - R_1 - S = 0,5 (50 - 8) - 3 - 2,0 = 16 \text{ мм};$$

$$b_2 = m - S - 0,5 d_1 = 14 - 2 - 0,5 \times 3 = 10,5 \text{ мм}.$$

Все рассчитанные расстояния удовлетворяют условию.

Расстояние между отверстиями при одновременной пробивке должно быть не менее $b = (2 \dots 3)S$. Для заданной детали $b = f_1 - d_1 = 5$ мм $> 4 \dots 6$ мм.

Наименьшая высота отгибаемых полок больше минимально допустимой $H = 15$ мм $\geq 3S = 6,0$ мм.

Деталь имеет постоянную ширину и не делится на широкую и узкую часть – положение линии изгиба не ограничено.

Анализируя конструкцию и материал детали, принимаем следующую технологическую схему её изготовления:

- раскрой листа на полосы;
- вырубка в штампе из полосы заготовки с одновременной пробивкой в ней отверстий;
- гибка заготовки в штампе;
- доводка детали вручную.

Произведём для данной схемы расчёты технологических параметров.

1. Определим размеры развёртки детали.

Длина развёртки детали:

$$L = l_{\text{пр}} + l_{\text{кр}},$$

где $l_{\text{пр}}$ – длина прямолинейных участков, мм; $l_{\text{кр}}$ – длина нейтрального слоя изогнутого участка, мм.

$$l_{\text{пр}} = a_1 + 2h - 4S - 4R_2 = 50 + 2 \times 20 - 4 \times 2 - 4 \times 5 = 62 \text{ мм}.$$

$$l_{\text{кр}} = \frac{\pi \cdot \varphi}{180} (r_{\text{вн}} + \chi \cdot S_0),$$

где $\chi = 0,5 [1, \text{табл. 16}]$ – коэффициент, учитывающий смещение нейтрального слоя; $r_{\text{вн}}$ – внутренний радиус изгиба.

$$l_{кр} = \frac{90\pi}{180}(5 + 0,46 \times 2,0) = 9,5 \text{ мм.}$$

Тогда $L = 62 + 9,5 \times 2 = 81 \text{ мм.}$

Итак, размеры заготовки для штамповки детали $81 \times 18 \text{ мм.}$

2. Произведём расчёт ширины полосы для вырубki заготовки.

Расчет ширины полосы в основном зависит от марки и толщины материала, величины перемычек между вырубаемыми заготовками, расположения заготовок в полосе, конструкции штампа, точности работы оборудования для раскроя листов, применяемых средств механизации подачи полосы в штамп.

Принимаем для разрабатываемого техпроцесса, что лист на полосы разрезается на гильотинных ножницах. Заготовки из полос вырубаются в штампе без бокового прижима полосы и с подачей материала в рабочую зону вручную.

Формула для расчёта ширины полосы в этом случае имеет вид [1]:

$$B = N + 2(b + \Delta_{ш}) + z,$$

где N – размер вырезаемой детали (поперёк полосы), мм; b – наименьшая величина боковой перемычки [1], мм; $\Delta_{ш}$ – односторонний допуск на ширину полосы [1], мм; z – гарантированный зазор между направляющими и наибольшей возможной шириной полосы [1], мм.

В зависимости от расположения заготовки на полосе ширина полосы может быть следующая:

$$B_1 = 81 + 2(2,5 + 1,2) + 1,0 = 89,4 \text{ мм;}$$

$$B_2 = 18 + 2(2,5 + 1,2) + 1,0 = 26,4 \text{ мм.}$$

3. По ГОСТу выбираем листы габаритом $1000 \times 2000 \text{ мм,}$ $1500 \times 2000 \text{ мм.}$ При изготовлении деталей гибкой необходимо, по возможности, соблюдать правило, чтобы линиягиба не совпадала с направлением прокатки листа (рис. 7.2).

Шаг расположения заготовок на полосе составляет:

$$t = K + a,$$

где K – размер вырезаемой детали (вдоль полосы), мм; a – наименьшая величина между деталями [1], мм.

$$t_1 = 18 + 2,5 = 20,5 \text{ мм,}$$

$$t_2 = 81 + 2,5 = 83,5 \text{ мм.}$$

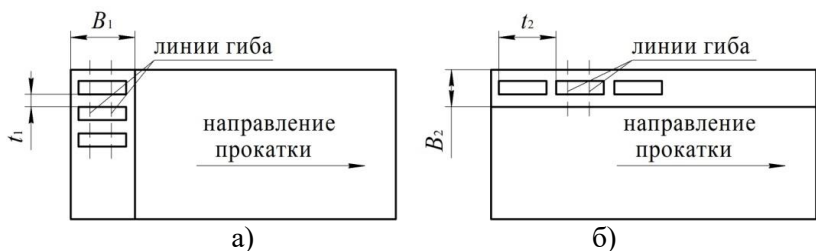


Рис. 7.2. Расположение полос при раскросе листа: а) поперек; б) вдоль

4. Определяем количество заготовок, которое можно получить при раскросе листов по вариантам «а» и «б» (табл. 7.4).

Таблица 7.4. Количество заготовок, получаемых из листов при различных вариантах раскроя

Габариты листа, м	Вариант раскроя	Количество штук		
		полос из листа	заготовки из полосы	заготовки из листа
1,0×2,0	а	2000:89,4=22	1000:20,5=48	22×48=1056
	б	1000:26,4=37	2000:83,5=23	37×23=851
1,5×2,0	а	2000:89,4=22	1500:20,5=73	22×73=1606
	б	1500:26,4=56	2000:83,5=23	56×23=1288

5. Производим расчет коэффициентов использования материала листов.

$$\eta = \frac{f \cdot n}{A_{л} \cdot B_{л}} \cdot 100\% ,$$

где f – площадь вырубаемой заготовки (без учёта отверстий), мм²; n – количество заготовок из листа; $A_{л}$ – ширина листа, мм; $B_{л}$ – длина листа, мм.

Для определения площади заготовки f разбиваем ее на фигуры простой геометрической формы – прямоугольник и четыре концевые четверти окружности. Общая площадь заготовки:

$$f = 81 \times 18 - (6^2 \cdot \pi \times 3^2) = 1450 \text{ мм}^2;$$

$$\eta_{a1} = \frac{1450 \times 1056}{1000 \times 2000} \times 100\% = 76,6\% ;$$

$$\eta_{b1} = \frac{1450 \times 851}{1000 \times 2000} \times 100\% = 61,7\% ;$$

$$\eta_{a2} = \frac{1450 \times 1606}{1500 \times 2000} \times 100\% = 77,6\% ;$$

$$\eta_{b2} = \frac{1450 \times 1288}{1500 \times 2000} \times 100\% = 62,2\% .$$

Для разработки технологического процесса изготовления детали «скоба» выбираем лист габаритом 1500×2000 мм и его раскрой по варианту «а», т.к. при данном варианте можно достичь большей эффективности расхода материала по сравнению с другими вариантами.

6. Подбор гильотинных ножниц производится, исходя из усилия резания и ширины (длинной стороны) отрезаемой полосы. Усилие резания определяем по формуле

$$P = 0,5 \frac{S^2}{\operatorname{tg} \varphi} \sigma_{cp} k ,$$

где S – толщина материала, мм; σ_{cp} – сопротивление материала срезу, кг/мм^2 (МПа); φ – угол створа ножниц, принимаем ориентировочно $\varphi = 1,5^\circ$; k – коэффициент, учитывающий притупление ножей, разброс толщины и механических свойств материала, изгиб листа при резке и др. ($k = 1,2 \dots 1,3$).

$$P = 0,5 \times \frac{2,0^2}{\operatorname{tg} 1,5} \times 32,0 \times 1,3 = 3175 \text{ кгс} \approx 31,75 \text{ кН} .$$

По каталогу выбираем модель ножниц Н-473А для резки материала толщиной $S \leq 2,5$ мм, пределом прочности $\sigma_b \leq 50$ кг/мм^2 и шириной реза ≤ 1600 мм. Правильность их выбора проверяем по развиваемому усилию резания:

$$P = 0,5 \times \frac{6,25}{\operatorname{tg} 1,5} \times 50 \times 1,3 = 7750 \text{ кгс} \approx 77,5 \text{ кН} .$$

Таким образом, для техпроцесса можно рекомендовать гильотинные ножницы модели Н-473А.

7. Определяем усилие вырубки заготовки - пробивки отверстий в инструментальном штампе.

Усилие резания материала при вырубке заготовок по наружному контуру определяем по формуле

$$P_1 = L_{\text{конт}} S \sigma_{cp},$$

где $L_{\text{конт}}$ – длина вырезаемого контура, мм.

$$L_{\text{конт}} = L_{\text{конт.пр}} + L_{\text{конт.кр}},$$

где $L_{\text{конт.пр}}$ – длина прямолинейных участков контура, мм; $L_{\text{конт.кр}}$ – длина криволинейных участков контура, мм.

Для заданной детали:

$$L_{\text{конт.пр}} = 2(L - 2R_1) + 2(N - 2R_1),$$

где L – длина заготовки, мм; N – ширина заготовки, мм; R_1 – радиус скругления углового участка заготовки, мм.

$$L_{\text{конт.пр}} = 2(81 - 2 \times 3) + 2(18 - 2 \times 3) = 174 \text{ мм.}$$

$$L_{\text{конт.кр}} = 2\pi R_1 = 2\pi \times 3 = 19 \text{ мм.}$$

$$L_{\text{конт}} = 174 + 19 = 193 \text{ мм.}$$

Тогда:

$$P_1 = 193 \times 2,0 \times 32,0 = 12352 \text{ кгс} \approx 123,52 \text{ кН.}$$

Усилие снятия полосы с пуансона:

$$P_{\text{сн1}} = k_{\text{сн1}} P_1,$$

где $k_{\text{сн1}}$ – коэффициент, зависящий от типа штампа и толщины материала

($k_{\text{сн1}} \approx 0,12$ для штампа последовательного действия (вырубка-пробивка)) [1].

$$P_{\text{сн1}} = 0,12 \times 123,52 = 14,82 \text{ кН.}$$

Усилие проталкивания заготовки через матрицу:

$$P_{\text{пр1}} = k_{\text{пр1}} P_1 n,$$

где $k_{\text{пр1}}$ – коэффициент, зависящий от способа выталкивания заготовки (отхода) и толщины материала ($k_{\text{пр1}} \approx 0,14$ при вырубке с обратным выталкиванием) [1]; n – количество заготовок, находящихся одновременно в цилиндрической шейке матрицы ($n = 1$ в случае вырубki с обратным выталкиванием).

$$P_{\text{пр1}} = 0,14 \times 123,52 \times 1 = 17,29 \text{ кН.}$$

Усилие резания при пробивке пяти отверстий:

$$P_2 = L_{\text{отв}} S \sigma_{\text{ср}},$$

где $L_{\text{отв}}$ – длина вырезаемого контура отверстий, мм.

$$P_2 = (4\pi \times 3 + 2 \times 8 + 2\pi \times 3)2,0 \times 32,0 = 4643 \text{ кгс} \approx 46,43 \text{ кН.}$$

Усилие снятия заготовки с пуансона:

$$P_{\text{сн2}} = k_{\text{сн2}} P_2,$$

где $k_{\text{сн2}} = 0,15$ – для многопуансонного пробивного штампа [1].

$$P_{\text{сн2}} = 0,15 \times 46,43 = 6,96 \text{ кН.}$$

Усилие проталкивания отходов при пробивке отверстий:

$$P_{\text{пр2}} = k_{\text{пр2}} P_2 n,$$

где $k_{\text{пр2}} \approx 0,1$ – при вырубке «на провал» [1]; $n = 3$ – при вырубке «на провал» [1].

$$P_{\text{пр2}} = 0,1 \times 46,43 \times 3 = 13,92 \text{ кН.}$$

Общее усилие прессы, необходимое для выполнения этой операции, составит:

$$P_{\Sigma} = K (P_1 + P_2 + P_{\text{сн1}} + P_{\text{сн2}} + P_{\text{пр1}} + P_{\text{пр2}}),$$

где K – коэффициент, учитывающий потери на притупление режущих кромок, разброс толщины и механических свойств материала и т.д., $K \approx 1,3$.

$$P_{\Sigma} = K (123,52 + 46,43 + 14,82 + 6,96 + 17,29 + 13,91) = 289,81 \text{ кН.}$$

8. Производим выбор прессы по каталогу оборудования в зависимости от P_{Σ} , величины рабочего хода ползуна, закрытой высоты и габаритов штампа в плане.

При этом условно принимаем следующее:

- усилие $P_{\Sigma} = 289,81$ кН;
- рабочий ход ползуна должен быть не менее 5-10 толщин материала, т.е. 10...20 мм;
- закрытая высота штампа $H_{\text{закр}} \approx 150S = 300$ мм;
- габариты штампа в плане $250S \times 350S$, т.е. 500×700 мм.

Наиболее подходящим для нашего случая выбираем пресс КД2128 (усилие прессы $P = 630$ кН, ход ползуна $h = 10...100$ мм, габариты стола прессы 560×800 мм, закрытая высота штампа $H = 340$ мм).

9. Определим усилие гибки заготовки.

Формула для расчёта усилия двухугловой гибки [1]:

$$P_{\Gamma} = 2,5 B S \sigma_{\text{в}} k_{\Gamma},$$

где B – длина линиигиба, мм; $\sigma_{\text{в}}$ – предел прочности материала, кг/мм² (МПа); k_{Γ} – коэффициент для двухугловой гибки [1].

$$P_{\Gamma} = 2,5 \times 18 \times 2,0 \times 40,0 \times 0,1 = 3600 \text{ кгс} \approx 3,6 \text{ кН.}$$

10. Для выполнения операции гибки выбираем пресс. При этом условно принимаем следующее:

- усилие $P_{\Gamma} = 3,6$ кН;
- рабочий ход ползуна – не менее 2,5-х высот детали, т.е. $h \approx 50$ мм;
- закрытая высота штампа $H_{\text{закр}} \approx 3h = 150$ мм;
- габариты штампа в плане – 150×250 мм.

По каталогу выбираем пресс КД2122 (усилие прессы $P = 160$ кН, ход ползуна $h = 71$ мм, габариты стола прессы 500×380 мм, закрытая высота штампа $H = 250$ мм).

11. Рассчитываем величины параметров пружинения материала.

Радиус закругления пуансона, учитывающий отпружинивание заготовки после её гибки, определим по формуле (для $r_{\text{вн}} < 10S$) [6]:

$$r_{вн} = \frac{1}{\frac{1}{r_0 + 0,5S_0} + \frac{3\sigma_\epsilon}{E \times S_0}} - \frac{S_0}{2},$$

где r_0 – внутренний радиус изогнутой детали; E – модуль упругости материала детали, кг/мм² (МПа).

$$r_{вн} = \frac{1}{\frac{1}{5 + 0,5 \times 2,0} + \frac{3 \times 400}{2,0 \times 10^5 \times 2,0}} - \frac{2,0}{2} = 4,89 \text{ мм}.$$

Угол пружинения материала после снятия внешней нагрузки:

$$\gamma = \alpha_{дет} - \alpha_{пуансона},$$

где $\alpha_{дет}$ – угол гибки детали, град; $\alpha_{пуансона}$ – угол сопряжения рабочих кромок пуансона, град.

$$\alpha_{пуанс} = \left[1 - \frac{3 \times \sigma_\epsilon}{E} \times \left(\frac{r_0}{S_0} - \frac{1}{2} \right) \right] \times \alpha_{дет}$$

$$\alpha_{пуанс} = \left[1 - \frac{3 \times 400}{2,0 \times 10^5} \times \left(\frac{5}{2,0} + \frac{1}{2} \right) \right] \times 90^\circ = 88,38$$

$$\gamma = 90 - 88,38 = 1,62^\circ$$

Таким образом, в технических условиях на проектирование гибочного штампа необходимо задать радиус закругления пуансона $r_{вн} = 4,89$ мм, а угол сопряжения рабочих кромок пуансона $\alpha_{пуансона} = 88,38^\circ$.

12. На основе принятой технологической схемы (плана) изготовления детали и выполненных расчётов технологических параметров разрабатываем и оформляем маршрутно-операционный техпроцесс (на специализированных и упрощённых картах (прил. А).

7.2. Разработка технологического процесса изготовления детали с использованием операции вытяжки

Порядок разработки технологического процесса:

1. Провести анализ технологичности конструкции детали (табл. 7.3, 7.5, 7.6), сделать вывод о возможности её изготовления штамповкой [1].

2. Разработать технологическую схему (план) изготовления детали.

3. Определить параметры заготовки. Формулы для определения размеров заготовки выводятся из условия равенства площадей исходной заготовки и готовой детали [1]. Припуск на обрезку принимать либо по справочным материалам [1], либо рассчитать по формуле

$$\delta = \left(0,75 + 0,4 \frac{H}{d} \right) \times (1 + 0,02H),$$

где H – высота детали, d – диаметр вытягиваемой детали.

Величину припуска необходимо учитывать в расчётах размеров заготовки: для деталей без фланца – путём увеличения их высоты; для деталей, имеющих фланец, увеличивая его размеры.

4. Разработать карту раскроя листа.

5. Определить усилие вырубки заготовки в инструментальном штампе.

6. Произвести подбор прессы для операции вырубки заготовки (требования для подбора прессы приведены в разделе 7.1).

7. Определить количество операций вытяжки и операционные размеры детали [6].

8. Определить усилия вытяжки и прижима заготовки для каждой операции [1].

9. Произвести подбор прессов для выполнения операций вытяжки, исходя из следующих требований:

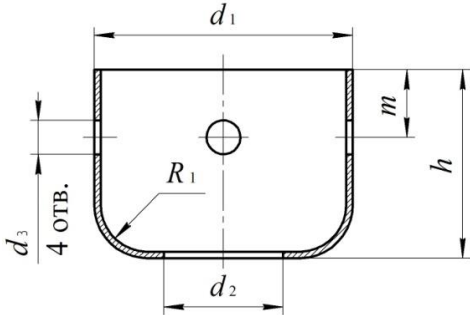
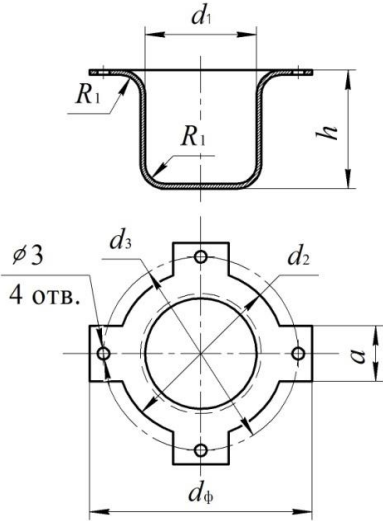
- полного усилия вытяжки (с учётом усилия прижима) для данной операции – P_{Σ} ;
- величины рабочего хода ползуна, равной примерно 2,5 высоты детали, вытягиваемой на данной операции;
- закрытой высоты штампа (ориентировочно принять 4-5 высот детали, вытягиваемой на данной операции);
- габаритов штампа в плане (ориентировочно принять 4-5 диаметров заготовки или полуфабриката на каждую сторону).

10. Определить усилия, необходимые для окончательной обрезки края или фланца детали, а также пробивки отверстий (с учётом усилия на проталкивание или разрезку отходов и снятие детали с инструмента).

11. Произвести подбор прессов для выполнения разделительных операций в соответствии с требованиями, изложенными ранее.

12. Разработать и оформить на специальных картах маршрутно-операционный технологический процесс изготовления детали (прил. А).

Таблица 7.5. Детали, изготавливаемые с использованием операции «вытяжка»

№ п/п	Эскиз детали
1	 <p>Technical drawing of a U-shaped part. The drawing shows a cross-section with the following dimensions and features: <ul style="list-style-type: none"> d_1: Total width of the part. d_2: Width of the bottom flange. d_3: Diameter of the four holes. h: Total height of the part. m: Height of the side walls. R_1: Radius of the rounded corners. 4 отв.: Four holes. </p>
2	 <p>Technical drawing of a cross-shaped part. The drawing shows a cross-section with the following dimensions and features: <ul style="list-style-type: none"> d_1: Width of the top arm. h: Height of the vertical stem. R_1: Radius of the rounded corners. d_3: Diameter of the four holes. d_2: Diameter of the central hole. a: Thickness of the part. d_Φ: Diameter of the outer circle. 4 отв.: Four holes. </p>

№ п/п	Эскиз детали
3	<p>Technical drawing of a rectangular part with rounded corners and a central hole. The top view shows a rectangle with width d_1 and height h. The bottom view shows a rounded rectangle with outer radius R_2 and inner hole with width a and height b. The inner hole has rounded ends with radius R_1. The distance from the center of the hole to the side edge is f_1.</p>
4	<p>Technical drawing of a trapezoidal part with rounded corners. The top view shows a trapezoid with top width d_1, bottom width d_3, and height h. The bottom view shows a circular part with outer diameter d_2.</p>

№ п/п	Эскиз детали
5	
6	
7	

Таблица 7.6. Геометрические размеры деталей, изготавливаемых вытяжкой

№ варианта	d_{ϕ} , мм	d_1 , мм	d_2 , мм	d_3 , мм	R_1 , мм	R_2 , мм	a , мм	b , мм	h , мм	f_1 , мм	f_2 , мм	m , мм
1-1		30	10	3	3				30			8
1-2		45	12	4	4				40			10
1-3		60	18	4	5				60			10
1-4		80	30	5	8				80			12
2-1	64	36	50	57	4		14					
2-2	56	28	42	49	5		15					
2-3	54	26	40	47	4		14					
2-4	60	30	44	52	4		18					
3-1					5	8	40	40	30	10		
3-2					4	8	50	35	35	12		
3-3					5	8	60	45	40	15		
3-4					5	10	70	56	45	18		
4-1		40	24	6		5			40			
4-2		45	30	8		5			40			
4-3		50	35	8		5			45			
4-4		56	38	10		6			48			
5-1		3			5	16		18	42	12		26
5-2		3			5	20		18	46	12		26
5-3		4			5	22		20	52	13		30
5-4		4			5	25		20	55	15		30
6-1			15		3	30			6			
6-2			20		3	40			8			
6-3			25		4	50			10			
6-4			28		4	60			12			
7-1		3	12		3	30,5	81	61	22	10,5	13,5	
7-2		3	24		5	36	96	72	34	15,5	16,5	
7-3		3	10		3	29	78	58	20	10,5	12,5	
7-4		3	18		5	23	76	46	30	12,5	14,5	

Пример. Необходимо разработать технологический процесс изготовления цилиндрической детали с фланцем (колпачок) из материала АМцАМ л 1,2 (рис. 7.3).

Деталь – цилиндрический стаканчик диаметром 28 мм, высотой 30 мм с фланцем диаметром 56 мм. Радиусы скруглений стенки с доньшком и стенки с фланцем 5 мм. На фланце имеется четыре отверстия диаметром 3 мм. Деталь необходимо изготовить из листового материала АМцАМ толщиной 1,2 мм.

Радиусы скруглений стенки с доньшком и стенки с фланцем больше минимально допустимых значений радиусов (т.е. больше $2S = 2,4$ мм). Это условие выполняется, т.к. $R = 5$ мм.

Наименьшее значение диаметра пробиваемого отверстия для алюминиевого сплава составляет $0,8S = 0,8 \times 1,2 = 0,96$ мм [1]. В заданной детали диаметр отверстий равен 3 мм, т.е. отверстия можно пробить.

Расстояние от края отверстия до прямолинейного наружного контура составляет 2 мм, что больше минимально допустимого значения $S = 1,2$ мм.

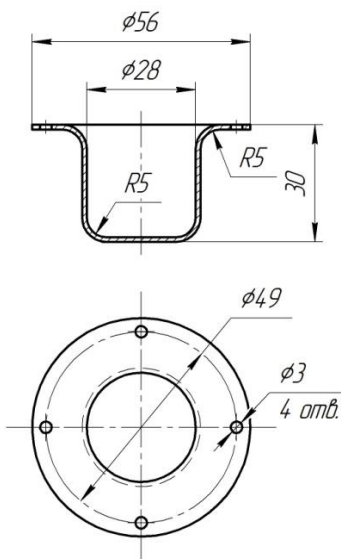


Рис.7.3. Деталь, изготавливаемая вытяжкой в инструментальных штампах

Расстояние от стенки детали до края отверстия должно быть не менее $c = R + 0,5S$, где R – радиус скругления у стенки (дна), мм; S – толщина, мм. Т.е. $c = 5 + 0,5 \times 1,2 = 5,6$. Данная величина для нашей детали составляет $c = 0,5(49 - 28 - 3) - 1,2 = 7,8$ мм, что удовлетворяет условию, следовательно, пробивка отверстий возможна после вытяжки детали.

Анализируя конструкцию и материал детали, принимаем следующую технологическую схему ее изготовления:

- раскрой листа на полосы;
- вырубка в штампе из полосы заготовки;
- вытяжка детали;
- обсечка фланца и пробивка четырех отверстий в штампе совмещенного действия.

Произведем для данной схемы расчеты технологических параметров.

1. Определим размеры заготовки.

Для цилиндрической детали с фланцем формула расчёта диаметра заготовки с учётом влияния радиусов закруглений R_d имеет следующий вид [1]:

$$D = \sqrt{d_\phi + 4d_e H - 3,44R_0 d_e},$$

где d_ϕ – диаметр фланца, с учетом припуска на обрезку, мм; d_v – внутренний диаметр цилиндрического стаканчика, мм; H – высота детали, мм; R_d – радиус скругления стенки с доньшком, мм.

Учитывая, что после вытяжки детали необходимо произвести обесчку фланца, учтём при расчёте величины заготовки припуск на выполнение этой операции. Для данной детали он равен 2,5 мм на сторону [1]. Тогда $d_\phi = 56 + 2 \times 2,5 = 61$ мм.

$$D = \sqrt{61^2 + 4 \times 28 \times 30 - 3,44 \times 5 \times 28} = 80,8 = 81 \text{ мм}$$

2. Произведём расчёт ширины полосы для вырубке заготовки.

Принимаем однорядное расположение заготовок в полосе. Вырубку заготовок производим в штампе без бокового прижима. Раскрой листа выполняем на гильотинных ножницах. Ширину полосы определяем по формуле [1]

$$B = D + 2(b + \Delta_{ш}) + z,$$

где b – величина боковой перемычки; $\Delta_{ш}$ – односторонний допуск на ширину полосы при резке на гильотинных ножницах; z – гарантийный зазор между полосой и направляющими штампа.

$$B = 81 + 2(2,2 + 0,8) + 1 = 87,8 \text{ мм.}$$

3. По ГОСТу выбираем листы габаритом 1000 × 2000 мм и 1200 × 2000 мм.

4. Определяем количество заготовок, которое можно получить при раскрое листов на полосы вдоль (вариант "а") и поперёк ("б") расположения волокон на листе (рис. 7.4, табл.7.7). При этом шаг заготовок при их вырубке из полосы составляет:

$$t = D + a,$$

где a – наименьшая величина перемычки между заготовками при заданной толщине материала, мм [1].

$$t = 81 + 2,2 = 83,2 \text{ мм.}$$

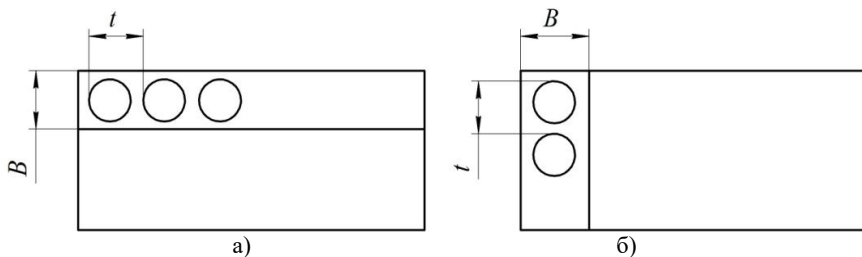


Рис. 7.4. Расположение полос при раскрое листа: а) вдоль; б) поперек

Таблица 7.7. Количество заготовок из листов при различных вариантах раскроя

Габарит листа, м	Вариант раскроя	Количество (шт)		
		полос из листа	заготовок из полосы	заготовок из листа
1000×2000	а	1000:87,8=11	2000:83,2=24	11×24=264
	б	2000:87,8=22	1000:83,2=12	22×12=264
1200×2000	а	1200:87,8=13	2000:83,2=24	13×24=312
	б	2000:87,8=22	1200:83,2=14	22×14=308

5. Производим расчёт коэффициентов использования материала листов по формуле

$$\eta = \frac{f \cdot n}{A_{л} \times B_{л}} 100\% ,$$

где f - площадь вырубаемой заготовки (без учета отверстий); n - количество заготовок из листа; $A_{л}$ и $B_{л}$ - ширина и длина листа соответственно, мм.

$$f = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 81^2}{4} = 5125 \text{ мм}^2;$$

$$\eta_{a_1} = \frac{5125 \times 264}{1000 \times 2000} \times 100\% = 67,6\% ;$$

$$\eta_{б_1} = \frac{5125 \times 264}{1000 \times 2000} \times 100\% = 67,6\% ;$$

$$\eta_{a_2} = \frac{5125 \times 312}{1200 \times 2000} \times 100\% = 66,6\% ;$$

$$\eta_{б_2} = \frac{5125 \times 308}{1200 \times 2000} \times 100\% = 65,8\% .$$

Таким образом, для разработки техпроцесса изготовления деталей выбираем лист габаритом 1000×2000 мм и разрезаем его на полосы $1000 \times 87,8$ мм.

6. Определяем усилие резания листа на гильотинных ножницах [1]:

$$P = 0,5 \frac{S^2}{\operatorname{tg} \varphi} \sigma_{cp} k,$$

где S – толщина материала, мм; σ_{cp} – сопротивление материала срезу, кг/мм^2 (МПа); φ – угол створа ножниц, принимаем ориентировочно $\varphi = 1,5^\circ$; k – коэффициент, учитывающий притупление ножей, разброс толщины и механических свойств материала, изгиб листа при резке и др. ($k = 1,2 \dots 1,3$).

$$P = 0,5 \times \frac{1,2^2}{\operatorname{tg} 1,5} \times 10,8 \times 1,3 = 385,8 \text{ кгс} \approx 3,9 \text{ кН}.$$

По каталогу выбираем модель ножниц Н-472А для резки материала толщиной $S \leq 1,6$ мм, пределом прочности $\sigma_b \leq 50$ кг/мм^2 и шириной реза ≤ 1600 мм. Правильность их выбора проверяем по развиваемому усилию резания:

$$P = 0,5 \times \frac{1,6^2}{\operatorname{tg} 3^\circ} \times 50 \times 1,3 = 32 \text{ кН}.$$

Можно сделать вывод, что выбранные ножницы подходят для данной операции.

7. Определяем усилие вырубки заготовки в инструментальном штампе [1].

$$P = \pi D S \sigma_{cp} = \pi \times 81 \times 1,2 \times 10,8 = 3288 \text{ кг} \approx 32,9 \text{ кН}.$$

Усилие снятия полосы с пуансона:

$$P_{сн} = k_{сн} P,$$

где $k_{сн}$ – коэффициент, зависящий от типа штампа и толщины материала, значение $k_{сн} = 0,08$, поскольку используется однопуансонный штамп вырубного действия [1].

$$P_{сн} = 0,08 \times 32,9 = 2,6 \text{ кН}.$$

Усилие проталкивания заготовки через матрицу:

$$P_{пр} = k_{пр} P n,$$

где $k_{пр}$ – коэффициент, зависящий от способа выталкивания заготовки (отхода) и толщины материала ($k_{пр} \approx 0,1$ при вырубке напровал) [1]; n – количество заготовок, находящихся одновременно в цилиндрической шейке матрицы.

$$n = h/S,$$

где h – высота цилиндрической части проёма матрицы, мм.

$$P_{\text{пр}} = 0,1 \times 32,9 \times 5/1,2 = 13,7 \text{ кН.}$$

Общее усилие прессы, необходимое для выполнения операций вырубке заготовки, составит:

$$P_{\Sigma} = K (P + P_{\text{сн}} + P_{\text{пр}}),$$

где K – коэффициент, учитывающий потери на притупление режущих кромок, разброс толщины и механических свойств материала и т.д., $K \approx 1,3$.

$$P_{\Sigma} = 1,2 \times (32,9 + 2,6 + 13,7) = 59 \text{ кН.}$$

8. Производим выбор прессы по каталогу оборудования, в зависимости от P_{Σ} величины рабочего хода ползуна, закрытой высоты и габаритов штампа в плане.

При этом принимаем следующее:

- $P_{\Sigma} = 59 \text{ кН}$;
- Рабочий ход ползуна должен быть не менее 5-10 толщин материала (6...12 мм);
- Закрытая высота штампа $H_{\text{закр}} \approx 150S = 180 \text{ мм}$;
- Габариты штампа в плане $250S \times 350S$, т.е. $300 \times 420 \text{ мм}$.

Наиболее подходящим для выполнения данной операции будет пресс К-30, имеющий характеристики:

- Усилие прессы $P = 300 \text{ кН}$;
- Ход ползуна – 10 (min) мм ... 80 (max) мм;
- $H_{\text{закр}} = 250 \text{ мм}$;
- Размеры стола $395 \times 570 \text{ мм}$.

9. Определим количество операций вытяжки и операционные размеры детали.

Для этого вначале, определим ориентировочно, за сколько операций можно вытянуть деталь на полную глубину.

Согласно $\Delta_1 = (S/D)100 \% = (1,2/81) \times 100 \% = 1,49$ и $H/d = 30/30$, $1 = 0,98$ деталь можно вытянуть за две операции [6]. Для уточнения используем расчёт количества операций, основанный на рекомендуемых коэффициентах вытяжки. Коэффициент первой вытяжки для цилиндрической детали [6] с фланцем определяют по формуле:

$$m_{\phi} = m_1 - 0,1 \left(\frac{d_{\phi}}{d} - 1 \right),$$

где m_1 – коэффициент первой вытяжки цилиндрической детали без фланца [4].

Для материала АМЦАМ $m_1 = 0,46 \dots 0,58$. Большее значение m_1 соответствует $\Delta = 0,1$, меньшее значение - $\Delta = 2,0$. Для нашего случая $\Delta_1 = 1,48$, поэтому коэффициент вытяжки необходимо определить методом интерполирования:

$$\frac{0,58 - 0,46}{2,0 - 0,1} = \frac{m_1 - 0,46}{2,0 - 1,49} \quad \text{или}$$

$$m_1 = \frac{(0,58 - 0,46)(2,0 - 1,48)}{2,0 - 0,1} + 0,46 = 0,49.$$

Тогда

$$m_{\phi} = 0,49 - 0,1 \left(\frac{61}{30,4} - 1 \right) = 0,39.$$

Определим диаметр детали после первой операции вытяжки:

$$d_1 = m_{\phi} D = 0,39 \times 81 = 31,6 \text{ мм.}$$

Учитывая, что на второй операции вытяжки формоизменение должно выполняться за счёт ранее вытянутой части детали, принимаем $m_2 = 0,7 \dots 0,77$ [6]. Для второй операции $\Delta_2 = (S/d_1)100 \%$ = $= (1,2/31,6) \times 100 \%$ = 3,79. Принимаем $m_2 = 0,7$.

Диаметр детали после второй операции вытяжки:

$$d_2 = m_2 d_1 = 0,7 \times 31,6 = 22,1 \text{ мм.}$$

Поскольку $d_2 < d_{\text{черт}}$, принимаем $d_2 = 30,4$ мм. Для создания более благоприятного режима деформирования на первой операции нужно несколько увеличить коэффициенты вытяжки. Принимаем $m_2 = 0,77$, тогда:

$$m_{\phi} = \frac{d_2}{m_2 D} = \frac{30,4}{0,77 \times 81} = 0,48,$$

$$d_1 = m_{\phi} D = 0,48 \times 81 = 39 \text{ мм.}$$

10. Определяем высоту детали после первой операции вытяжки [1]:

$$H_1 = 0,25 \left(\frac{D}{m_1} - \frac{d_{\phi}^2}{d_1} + 3,44 r_1 \right) = 0,25 \left(\frac{81}{0,48} - \frac{61^2}{39} + 3,44 \times 10 \right) =$$

$$= 17,8 \text{ мм.}$$

Радиусы закруглений рабочих кромок матрицы и пуансона для первой операции вытяжки принимаем [1]: $r_1 = 10$ мм; для второй операции вытяжки – $r_2 = 5$ мм.

После второй операции вытяжки высота детали $H_2 = 30$ мм.

11. Производим расчёт усилий вытяжки и прижима заготовки.

Формула для расчёта усилия вытяжки на первой операции имеет вид [6]:

$$P_1 = 1,6L_1 \times S \times \sigma_v \cdot \lg \frac{1}{m_1},$$

где L_1 – длина сечения вертикальной стенки детали после первого перехода вытяжки, мм; S – толщина, мм; σ_v – предел прочности материала заготовки, кг/мм²; m_1 – коэффициент первой вытяжки.

Для нашего случая:

$$L = \pi d_1 = \pi \times 39 = 122,46 \text{ мм},$$

$$P_1 = 1,6 \times 122,46 \times 1,2 \times 13,5 \times \lg \frac{1}{0,48} = 1012 \text{ кг} (\approx 10,1 \text{ кН}).$$

Для второй операции вытяжки:

$$P_2 = 0,9L_2 \times S \times \sigma_v \left(\lg \frac{1}{m_1} + 2 \lg \frac{1}{m_2} \right),$$

где L_2 – длина сечения вертикальной стенки детали после второго перехода вытяжки, мм; S – толщина, мм; σ_v – предел прочности материала заготовки, кг/мм²; m_1 и m_2 – коэффициенты первой и второй вытяжки соответственно.

$$P_2 = 0,9 \times 3,14 \times 30,4 \times 1,2 \times 13,5 \left(\lg \frac{1}{0,48} + 2 \lg \frac{1}{0,77} \right) = 601 \text{ кг} \approx 6 \text{ кН}.$$

Определим необходимость использования прижима на первой операции вытяжки. Согласно [1, 6] прижим должен быть при $\Delta_1 < 1,5$. Для нашего случая $\Delta_1 = 1,48$, поэтому в конструкции вытяжного штампа необходимо предусмотреть прижим.

Усилие прижима рассчитываем в зависимости от площади заготовки (полуфабриката), находящейся под прижимом:

$$Q_1 = F_1 \times q,$$

где F_1 – площадь заготовки, находящаяся под прижимом, мм²; q – усилие, которое приходится на единицу площади заготовки, находящейся под прижимом [4].

$$F = \frac{\pi}{4} (D^2 - (d_1 + 2r_m)^2) = \frac{\pi}{4} (81^2 - (39 + 2 \times 10)^2) = 2418 \text{ мм}^2.$$

Для материала АМцАМ $q = 0,08 \dots 0,11 \text{ кг/мм}^2$ [2]. Большее значение соответствует $S = 0,1 \text{ мм}$, меньшее значение – $S = 2,0 \text{ мм}$. Для нашего случая $S = 1,2 \text{ мм}$, поэтому q необходимо определить методом интерполирования:

$$\frac{0,11 - 0,08}{5,0 - 0,1} = \frac{q - 0,08}{1,2 - 0,1},$$

$$q = \frac{(0,11 - 0,08)(1,2 - 0,1)}{5,0 - 0,1} + 0,08 = 0,087 \text{ кг/мм}^2.$$

Тогда:

$$Q_1 = 2418 \times 0,087 = 2,1 \text{ кН}.$$

Определим необходимость использования прижима на второй операции вытяжки. Согласно [1] прижим должен быть при $\Delta_2 < 2,0$. Для нашего случая $\Delta_2 = 3,1 > 2,0$, поэтому в конструкции вытяжного штампа прижим не нужен.

Таким образом, для выполнения первой операции вытяжки усилие составит:

$$P_{\Sigma 1} = P_1 + Q_1 = 10,1 + 2,1 = 12,2 \text{ кН}.$$

Для второй операции вытяжки:

$$P_{\Sigma 1} = P_2 = 6 \text{ кН}.$$

12. Выбор прессов для выполнения операций вытяжки производим в зависимости от P_{Σ} , величины рабочего хода ползуна, закрытой высоты и габаритов штампа в плане. Учтем, то, что развиваемое усилие у кривошипных прессов при выполнении операций глубокой вытяжки зависит от угла поворота кривошипа, поэтому принимаем $P_{\text{пресса}} = 2P_{\Sigma}$.

Итак, требования для подбора пресса будут следующие:

- развиваемое усилие для первой операции вытяжки $P_{\Sigma 1} = 22,4 \text{ кН}$, для второй операции $P_{\Sigma 1} = 12 \text{ кН}$;
- рабочий ход ползуна $h_{\text{пр1}} = 2,5H_1 = 2,5 \times 17,8 = 44,5 \text{ мм}$, $h_{\text{пр2}} = 2,5H_2 = 2,5 \times 30 = 75 \text{ мм}$;
- закрытая высота штампа $H_{\text{закр1}} = 75 \dots 90 \text{ мм}$, $H_{\text{закр2}} = 120 \dots 150 \text{ мм}$;
- габариты штампа в плане для первой операции вытяжки $350 \times 400 \text{ мм}$, для второй операции вытяжки $150 \times 200 \text{ мм}$.

Исходя из полученных значений по каталогу оборудования подбираем пресс модели ЭР-50 (Усилие прессы $P = 500$ кН, рабочий ход ползуна $h = 10...80$ мм, $H_{\text{закр}} = 265$ мм, размеры стола 370×575 мм).

13. Определим усилие одновременной обесечки фланца и пробивки четырех отверстий диаметром 3 мм в штампе совмещенного действия:

$$P = (d_{\text{ф}} + 3d_{\text{отв}})\pi \times S \times \sigma_{\text{ср}},$$

где $d_{\text{ф}}$ – диаметр фланца, мм; $d_{\text{отв}}$ – диаметр отверстия, мм.

$$P = (56 + 3 \times 3)\pi \times 1,2 \times 10,8 = 2767 \text{ кг} \approx 27,7 \text{ кН}.$$

Принимаем, что отход от обесечки фланца разрезается на ножах, а отход от пробивки отверстия удаляется на провал:

$$P_{\text{пр}} = k_{\text{пр}} P n,$$

где $k_{\text{пр}}$ – коэффициент, зависящий от способа выталкивания заготовки (отхода) и толщины материала ($k_{\text{пр}} \approx 0,1$ при вырубке на провал) [1]; n – количество заготовок, находящихся одновременно в цилиндрической шейке матрицы.

$$P_{\text{пр}} = 0,1 \times 27,7 \times 5 = 13,8 \text{ кН}.$$

Усилие снятия детали с пуансона и удаления ее из проема матрицы будет:

$$P_{\text{сн}} = k_{\text{сн}} P,$$

где $k_{\text{сн}}$ – коэффициент, зависящий от типа штампа и толщины материала, значение $k_{\text{сн}} = 0,15$, поскольку используется многопуансонный штамп [1].

$$P_{\text{сн}} = 0,15 \times 27,7 = 4,2 \text{ кН}.$$

Общее усилие для этой операции:

$$P_{\Sigma} = 1,2 (P + P_{\text{сн}} + P_{\text{пр}}) = 1,2(27,7 + 13,8 + 4,2) = 46,5 \text{ кН}.$$

14. Для выполнения совмещенной операции обесечки фланца – пробивки отверстий используем заранее подобранный пресс К-30.

15. Разрабатываем развернутый технологический процесс с учетом вспомогательных и контрольных операций (прил. Б).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

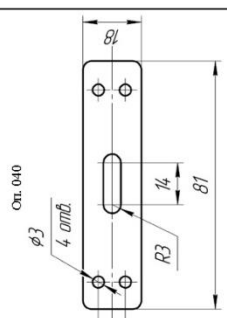
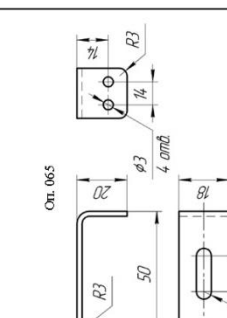
1. *Романовский В. П.* Справочник по холодной штамповке; 6-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. 520 с.
2. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка / *В.Л. Марченко, Л.Н. Рудман, А.И. Зайчук* [и др.]; под общ. ред. Л.И. Рудмана. М.: Машиностроение, 1988. 496 с.
3. *Аверкиев Ю.А., Аверкиев А.Ю.* Технология холодной штамповки: учебник для вузов. М.: Машиностроение, 1989. 304 с.
4. *Зубцов М.Е.* Листовая штамповка; 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1967. 504 с.
5. *Малов А.Н.* Технология холодной штамповки. М.: Машиностроение, 1969. 568 с.
6. *Пытьев П.Я., Смеляков Е.П.* Технология листовой штамповки в производстве летательных аппаратов: учеб. пособие. Куйбышев: КуАИ, 1984. 80 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Пример технологического процесса изготовления детали гибкой

Дубл.	Взам.	Подл.	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код наименования операции	Код наименования оборудования	Наименование детали, сб единицы или материала	СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Обозначение документа	Класс.	Гпа	Тшт.	Н.расх.	
										Обозначение код				Обозначение документа									
																							4
A01									070 Контроль														
T02									Лула; Шлангенциркуль; Микрометр														
03																							
A04									075 Слесарная														
T05									Молоток; оправка														
06																							
A07									080 Маркирование ударом														
T08									Молоток слесарный; шрифт ПО-5														
09																							
A10									085 Контроль														
T11									Лула; Шлангенциркуль; Оправка; Цул														
12																							
A13									090 Цинковать (цех покрытий)														
14																							
A15									095 Контроль														
T16									Лула 4-х кр.; Штамп резиновый; Краска														
МКМЮК										Маршрутно-операционная карта													

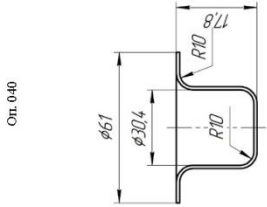
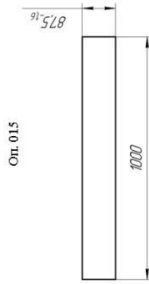
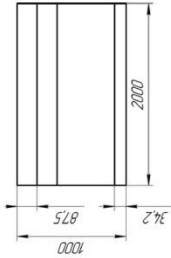
Карта №		Карта технологического процесса за отовительно-штамповочных работ				Число карт	
		Самарский университет Кафедра «ПРОИЗВОДСТВА ЛЕГКИХ АППАРАТОВ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В МАШИНОСТРОЕНИИ»		Копир.шт. на издании		1	
		Часть		Партия штук			
№№ от. пересодов		Наименование операций и пересодов		Приготовление шаблоны		Инструмент	
005		Контрольный контроль марки материала, сечения, габарита и состояния поверхности		Оборудование: стеллаж			Нормы времени: см. шт. п.2. контролер 4 разряда
010		Настройка ножниц; установка бокового и заднего упора; зазора между ножами		Ножницы Н-473А		Рулетка 0-3м, микрометр МК 0...25, лупа 4-х кр.	
015		Нарезка листа на полосы: 1. Взять лист из стопа, перевернуть на стол ножниц. 2. Установить лист под нож с фиксицией по боковому упору. 3. Включить рабочий ход. 4. Торцевать лист. 5. Провинуть лист на шат с фиксицией по заднему упору. 6. Отрезать полосу размером l = 89,4мм. 7. Контролировать первую полосу по размерам 89,4 x1500мм, S= 2,0 мм. 8. Нарезать лист на полосы (22 полосы). 9. Снять и убрать отход в контейнер для металлолома.		Ножницы Н-473А			Упор боковой, угольник
020		Снятие заусенцев с торцов l=6м		стол		Напильник №3	
025		Маркировка		стол			Молоток ст., шрифт ПО-5, лупа 4-х кр., Линейка 1.0м, микрометр МК 25...50
030		Контрольный контроль сечения, размеров и состояния поверхности полос, отсутствие заусенцев; правильность маркировки		стол		Шагайт вакуумной пробивной	
035		Установка, отладка и снятие штампа		Кран 5т, пресс КД128			Шагайт вакуумной пробивной
ЭСКИЗЫ ОБРАБОТКИ		СОСТАВИЛ		группа		дата	
		УТВЕРДИЛ		подпись		дата	
		Руководитель		подпись		дата	
		СОСТАВИЛ		группа		дата	
		УТВЕРДИЛ		подпись		дата	
		Руководитель		подпись		дата	

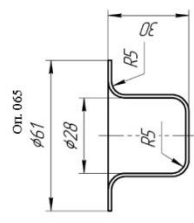
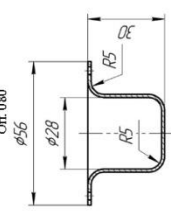
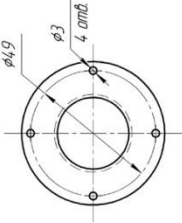
№№ оп. пересодов	Наименование операций и переходов	Оборудование	Приспособления и шаблоны	Инструмент	Норма времени			Степень точности и разряд
					О. п.	При б.	П. т.	
040	Вырубка заготовок-пробки: отверстие 1. Смазать маслом, смоченной в масле полосу и рабочие части штампа. 2. Вставить полосу в штамп. 3. Включить рабочий ход. 4. Штамповать. 5. Провести полосу на шаг. 6. Снять отход полосы из штампа и уложить в контейнер 045 Снятие заусенцев, l=0,65 м, скругление кромок R=0,1...0,3 мм 050 Контрольный контроль, сечения и размеров заготовок, состояния поверхности; отсутствие заусенцев 055 Маркировка (на бирке) 060 Установка, огладка и снятие штампа 065 Гибка детали 1. Смазать маслом, смоченной в масле заготовку и рабочие части штампа. 2. Вставить заготовку в штамп. 3. Включить рабочий ход. 4. Штамповать. 5. Вынуть деталь из штампа и отложить 070 Контрольный контроль размеров и состояния поверхности детали 075 Подготовка детали по оправке и шаблону 080 Маркировка 085 Контрольный контроль окончательный 090 Цинковать (пес. покрытие) 095 Контрольный контроль, состояние поверхности и отсутствия трещин 110 Вешивание	пресс КДП128 верстак стол стол Кран 5т, пресс КДП122 КДП122 стол верстак верстак стол стол	Штамп вырубной пробный и	масть Напильник №3 луца 4-х кр., микрометр МК 25...50 Лом, ключи гаечные Кисть луца 4-х кр., микрометр МК 25...50 Монокот Монокот Оправка, Шрифот ПО-5, Штанец, лутца 4-х кр. Штамп резановый, краска				Штамповщик 2 раз. слесарь 2 разряда контролер 4 разряда контролер 4 разряда Штамповщик 5 раз. Штамповщик 2 раз. контролер 4 разряда Слесарь 3 разряда Маркировщик 2 раз. Контролер 4 разряда контролер 4 разряда
ЭСКИЗЫ ОБРАБОТКИ		 						

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

**Пример технологического процесса изготовления детали
вытяжкой**

Самарский университет Кафедра «ПРОИЗВОДСТВА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В МАШИНОСТРОЕНИИ»		Карта технологического процесса заготовительно-штамповочных работ				Карта №
		Деталь Чашечка		Партия штук		Число карт
Состав		Кол-во, шт. на неделю		Подпись		Дата
		264		СОСТАВИЛ		
Состав		29,37%		студент		Дата
		32,4%		группа		
Утвердил				Руководитель		Дата
				подпись		
№№ оп. пересчетов	Наименование операций и переходов	Объем		Инструмент		Специальность и разряд
		Вес отхода на партию		Норма времени		
005	Контрольных контроль марки материала, сечения, габарита и состояния поверхности	24		Рулетка 0-3 м		контролер 4 разряда
010	Настройка ножниц, установка бокового и заднего упора; зазора между ножами	Новаялы Н-473А		Упор боковой, угольник		Резчик 2 разряда
015	Нарезка листа на полосы: 1. Взять лист из стопы, перевернуть на стол ножниц. 2. Установить лист под нож с фиксацией по боковому упору. 3. Включить рабочий ход. 4. Греть лист. 5. Продвинуть лист на шаг с фиксацией по заднему упору. 6. Срезать полосу размером l = 87,8 мм. 7. Контролировать первую полосу по размерам 87,8 x 200мм, S = 1,2мм. 8. Нарезать лист на полосы (11 полос). 9. Снять и убрать отход в контейнер для металлолома.	Контроль качества, установка бокового и заднего упора; зазора между ножами		Новаялы Н-473А		Резчик 2 разряда
020	Маркировка	Стол		Напильник №3		Резчик 2 разряда
025	Контроль качества сечения, размеров и состояния поверхности полос; отсутствие заусенцев, правильность маркировки	Стол		Молоток сл., шпатель ПЛО-5, рулетка 4-х мр., линейка		Маркировщик 4 разряда
030	Установка, отладка и снятие штампа	Кран 5т, пресс К-30		Микрометр МК 25...50		Контролер 4 разряда
035						Штамповщик 5 раз.



Эскизы обработки	№№ оп. переходов	Наименование операций и переходов	Оборудование	Принадлежности шаблоны	Инструмент	Норма времени			Особенность и разряд
						О	П	Ш	
  	040	<p>Вырубка заготовки-выжака 1-го перехода части штампа.</p> <ol style="list-style-type: none"> Смазать кистью, смоченной в смазке полосу и рабочие части штампа. Вставить полосу в штамп. включить рабочий ход. Штамповать. Продвинуть полосу на шп. Снять отход полосы из штампа и уложить в контейнер <p>Снятие заусенцев, l=200мм</p> <p>Контроль: контроль сечения и размеров заготовки, состояния поверхности, отсутствие заусенцев</p> <p>Маркировка (на бирке)</p> <p>Установка, отладка и снятие штампа</p>	пресс К-30	Штамп для вырубки	кисть				Штамповщик ик. 2 раз.
	045	Снятие заусенцев, l=200мм	верстак		Напильник №3				стесеря 2 разряда контролер 4 разряда
	050	Контроль: контроль сечения и размеров заготовки, состояния поверхности, отсутствие заусенцев	стол	руля 4-х кр., микрометр МК 25...50					контролер 4 разряда Штамповщик ик. 5 раз.
	055	Маркировка (на бирке)	стол						контролер 4 разряда Штамповщик ик. 5 раз.
	060	Установка, отладка и снятие штампа	Кран 5т, пресс ЭР-50	Штамп для выжакки					Штамповщик ик. 2 раз.
	065	Выжакка 2-го перехода	пресс ЭР-50	Штамп для выжакки					Штамповщик ик. 2 раз.
	070	1. Смазать кистью, смоченной в смазке заготовку и рабочие части штампа. 2. Вставить заготовку в штамп. 3.включить рабочий ход. 4. Штамповать. 5.Вынуть деталь из штампа и отложить	стол						контролер 4 разряда
	075	Установка, отладка и снятие штампа	Кран 5т, пресс К-30	Штамп для обески					Штамповщик ик. 5 раз
	080	Обеска фланца и пробивка 4х отверстий	пресс К-30	Штамп для обески					Штамповщик ик. 2 раз
	085	1. Смазать кистью, смоченной в смазке заготовку и рабочие части штампа. 2. Вставить заготовку в штамп. 3.включить рабочий ход. 4. Штамповать. 5.Вынуть деталь из штампа и отложить	стол						Слесаря 3 разряда контролер 4 разряда Маркировщик
	090	Снятие заусенцев по кромкам фланца и отверстий l=230мм	Верстак	Штамп, ШКС					Слесаря 3 разряда контролер 4 разряда Маркировщик
095	Контроль: контроль отсутствия заусенцев, трещин, состояния поверхности детали. Маркировка	стол	ШКС					Молоток стесарный руля 4-х кр., штангенциркуль Молоток ст., Шлифу ПО-5, руля 4-х кр., штангенциркуль	
100	Контроль: контроль окна тельера.	стол	Отправка, ШКС					контролер 4 разряда	
105	Анодное оксидирование (пех покрытие)	стол							
110	Контроль: контроль состояния поверхности и отсутствия трещин.	стол							

Учебное издание

*Самохвалов Владимир Николаевич,
Громова Екатерина Георгиевна,
Шаров Андрей Алексеевич,
Ломовской Олег Владиславович*

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКОЙ**

Учебное пособие

Редактор Т.К. Кретинина
Компьютерная вёрстка А.В. Ярославцева

Подписано в печать 12.09.2017. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Печ. л. 5,0.
Тираж 25 экз. Заказ . Арт. 20/2017.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА»
(Самарский университет)
443086, САМАРА, МОСКОВСКОЕ ШОССЕ, 34.

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