

КУЙБЫШЕВСКИЙ
ОРДЕНА ТРУДОВОГО
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СВЯЦОННЫЙ ИСТИС
ИМЕНИ С. В. КОРОЛЕВА

ГРАФИЧЕТИ

П. Я. Пытьев
Е. П. Смеляков

**ТЕХНОЛОГИЯ
ЛИСТОВОЙ
ИТАМПОВКИ
В ПРОИЗВОДСТВЕ
ДЕТАТЕЛЬНЫХ
АППАРАТОВ**

КУЙБЫШЕВ

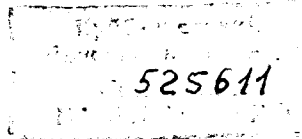
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА

П. Я. Пытьев, Е. П. Смеляков

ТЕХНОЛОГИЯ
ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ
В ПРОИЗВОДСТВЕ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

*Утверждено
редакционно-издательским
советом института
в качестве учебного пособия*



КУЙБЫШЕВ 1984

УДК 629.7:621.73.01/07.002 07

Пытьев П. Я., Смеляков Е. П. Технология листовой штамповки в производстве летательных аппаратов. — Куйбышев: КуАИ, 1984. 80 с.

В пособии рассмотрены основные требования к структуре, содержанию и выполнению технологического раздела курсового проекта по технологии заготовительно-штамповочных работ. Даны указания и приведены примеры решения основных технико-экономических и технологических задач, выбора оптимальных параметров штамповой оснастки, указаны необходимая последовательность и глубина их проработки.

Пособие предназначено для студентов авиационного вуза специальностей 0535 и 0539 дневной формы обучения.

Ил. 20, табл. 18, библиогр. — 20 назв.

Рецензенты: канд. техн. наук В. Ф. Лычев,
канд. техн. наук В. Н. Фарманова

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее учебное пособие написано в соответствии с учебными планами и программами курсов «Технология производства летательных аппаратов (самолетов)» и «Технология заготовительно-штамповочных работ». Оно является руководством к разработке технологической части курсового проекта по холодной штамповке деталей из листового материала, знакомит с объемом и характером работ, входящих в состав всех разделов технологической части, со взаимной связью разделов, выполняемых в строгой последовательности, предусмотренной пособием [4].

Известно, что в литературных источниках приводятся различные методы определения параметров штамповки и технологических расчетов, разноречивые табличные материалы. Отсутствие единообразия этих материалов приводит к различным решениям одних и тех же задач, а иногда и к неправильным выводам. Для устранения этого недостатка в пособии приводятся некоторые справочные данные и наиболее убедительные, с нашей точки зрения, методы решения задач, проверенные долготной практикой табличные материалы, удобные для пользования формулы, инженерные способы расчетов, которые позволят внести известное единообразие в методику разработки курсовых проектов. Даются также примеры решения типовых задач и технологических расчетов.

Требования к оформлению технологической части проекта, обему выполняемых работ, написанию и оформлению пояснительной записки, а также рекомендации по общей организации курсового проектирования приведены в пособии [4].

Настоящее пособие должно оказать помощь студенту в выполнении стоящих перед ним задач и свести к минимуму непроизводительные затраты времени при работе над технологической частью проекта, стимулировать творческий подход к выполнению задания. Полезно оно будет также и руководителям курсового проектирования в подготовке к занятиям со студентами.

При подготовке пособия были учтены замечания и советы преподавателей кафедры производства летательных аппаратов к содержанию технологической части изданного учебного пособия по курсовому проектированию под названием «Холодная штамповка деталей из листового материала» (Пытьев П. Я., Смеляков Е. П. — Куйбышев, КуАИ, 1978).

1. СОСТАВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЯ

Выполнение курсового проекта начинают с разработки его технологической части, трудоемкость которой составляет примерно половину трудоемкости всего проекта. При ее разработке основная задача студента сводится к выбору наиболее экономичного варианта технологического процесса изготовления заданной детали в соответствии с чертежом и техническими условиями.

Проектирование технологического процесса изготовления детали разбивается на следующие этапы, расположенные в последовательности их выполнения:

- 1) изучение конструкции детали и анализ ее технологичности;
- 2) определение типа производства и размера партии запуска деталей;
- 3) составление плана изготовления детали в нескольких вариантах;
- 4) выбор типов и схем штамповой оснастки для разработанных вариантов плана;
- 5) нормирование вариантов плана изготовления детали по укрупненным нормативам;
- 6) расчет технологической себестоимости детали при каждом варианте;
- 7) оценка вариантов плана изготовления детали и выбор наиболее целесообразного из них;
- 8) разработка развернутого технологического процесса для оптимального варианта изготовления детали с уточнением норм времени;
- 9) выполнение необходимых технологических расчетов по каждой операции развернутого технологического процесса;
- 10) выбор оборудования;

11) заполнение технологических карт установленного образца с вычерчиванием операционных эскизов.

Исходными данными для разработки технологических процессов являются: рабочий чертеж детали, технические условия на ее изготовление, объем производства, нормативные и справочные материалы.

При плазово-шаблонном методе производства используются также рабочие шаблоны.

Во всех случаях следует учитывать влияние на структуру технологического процесса и характер применяемой оснастки и оборудования годовой программы и партий запуска.

Ниже приводятся основные методические положения, которыми следует руководствоваться при выполнении указанных этапов разработки технологического процесса изготовления заданной детали.

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛИ

К заданию на курсовое проектирование прикладываются обычные заводские чертежи деталей, которые в ряде случаев, с точки зрения технолога, имеют неправильно нанесенные размеры, завышенные допуски на одни элементы и заниженные на другие, недостаточное количество проекций в одних случаях и излишнее в других. Конструкция некоторых деталей не удовлетворяет основным технологическим требованиям, обладает низким уровнем технологичности.

В связи с этим перед разработкой технологического процесса изготовления детали студент должен изучить ее чертеж и технические условия, выяснить назначение и роль детали в конструкции узла летательного аппарата. Если будут обнаружены те или иные недостатки в оформлении чертежа, студент обязан дать предложения по их устранению, имея в виду, что во всех случаях характер нанесения размеров должен способствовать правильному и точному изготовлению детали с соблюдением необходимых установочных баз, без каких-либо пересчетов размеров.

Вместе с тем заданная деталь должна иметь такое сочетание конструктивных элементов, а ее материал иметь такие физико-механические свойства, которые в совокупности обеспечивали бы наиболее простое и экономичное ее изготовление. С этой целью проводится технологический анализ ее конструкции, а в случае необходимости и обработка конструкции на технологичность.

Конструкция детали должна быть рассмотрена студентом как с точки зрения возможного уменьшения расхода металла на ее изготовление, так и с точки зрения снижения ее трудоемкости. В последнем случае следует также иметь в виду и стоимость штампов, необходимых для штамповки детали, помня при этом, что чем сложнее конфигурация рабочих частей штампа, тем сложнее и дороже в изготовлении штамп, а следовательно, и дороже штампуемая деталь.

Известны общие технологические требования 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. Эти требования и методы повышения технологичности штампуемых деталей подробно изложены в работах [1], [11].

Студент должен ознакомиться с указанной литературой, обстоятельно изучить общие и специальные технологические требования к штампуемым деталям и с их позиций проанализировать конструкцию заданной детали. Существенное внимание при этом следует уделить анализу физико-механических свойств материала с точки зрения их соответствия характеру пластических деформаций, возникающих в процессе изготовления детали.

В том случае, если анализ конструкции и материала покажет недостаточный уровень технологичности детали, студент обязан разработать предложения по улучшению ее конструкции. Предложения должны обеспечивать повышение технологичности и снижение себестоимости изготовления детали, не изменяя ее основных конструктивных свойств, прочности, веса и служебного назначения.

На основе разработанных рекомендаций студент, в случае необходимости, составляет новый рабочий чертеж детали.

По согласованию с руководителем курсового проектирования, дальнейшая разработка технологического раздела и проекта в целом должна вестись на деталь измененной конструкции. В том случае, если студент после анализа технологичности детали и выявленных недостатков ее конструкции дальнейшую разработку проекта ведет на ранее заданную деталь, в пояснительной записке должны быть даны обоснования такого решения.

Пр и м е р. Произвести технологический анализ конструкции детали, изображенной на рис. 1, и откорректировать ее чертеж. Материал детали — Д16АТ л 2,0.

Изучение технических условий на эту деталь, выяснение ее назначения и роли в конструкции узла показывают, что она служит для неподвижного соединения двух профилей и обшивки

при помощи 12 заклепок диаметром 1,5 мм. Борт высотой 4 мм предназначен для повышения жесткости детали, а высотой 15 мм — для соединения ее четырьмя заклепками с обшивкой агрегата. Ширина детали (90 мм) и шаг заклепок вдоль профилей узла и по обшивке должны быть выдержаны достаточно точно (по допускам 14-го качества). К точности выполнения всех остальных размеров, в том числе и расстояний между рядами отверстий под заклепки, особых требований не предъявляется, и они могут быть выполнены с любыми технологически необходимыми отклонениями.

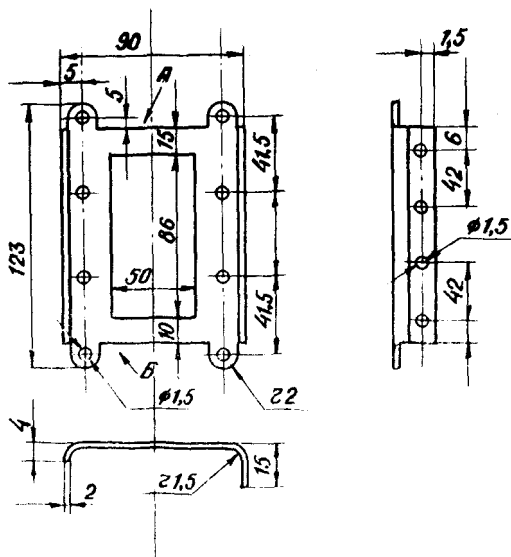


Рис. 1. Конструкция листовой детали со сравнительно низким уровнем технологичности

Изучение чертежа детали показывает, что он оформлен без учета основных технологических требований; поскольку размеры шага между заклепками следует выдержать сравнительно точно, эти размеры должны быть проставлены в чертеже конструктором, а не получены технологом путем перерасчета.

Для уменьшения отходов материала и снижения трудоемкости изготовления рабочих элементов вырубного штампа целесообразно упростить конфигурацию детали, устранив выемки А и Б. Это изменение не вызовет какого-либо ущерба для конструктивного или эксплуатационного назначения детали и вместе с тем несколько повысит ее жесткость.

Деталь может быть получена вырубкой по контуру, пробивкой отверстий и гибкой бортиков. Ее материал Д16АТ в состоянии поставки имеет временное сопротивление разрыву $\sigma_{\text{в}} = 430 - 460$ МПа и относительное удлинение $\delta = 8 - 10\%$. Эти свойства не вносят каких-либо специальных ограничений в процессы вырубки и пробивки. Вместе с тем гибку детали из материала поставки в виду низкой его пластичности производить опасно даже при сравнительно больших радиусах изгиба. В целях повышения пластичности потребуются предварительная закалка заготовок, что несколько усложнит технологический процесс изготовления детали. В свежезакаленном состоянии материал Д16 имеет $\sigma_{\text{в}} = 200 - 230$ МПа и $\delta = 18 - 20\%$. Рассматривая конструкцию детали с точки зрения общетехнологических и специфических требований для указанных выше операций, мы приходим к заключению, что она имеет сравнительно низкий уровень технологичности (см. [1], стр. 400).

Отверстия под заклепки имеют диаметр 1,5 мм при толщине материала 2 мм. Для дюралюминия при операциях пробивки допускается минимальный диаметр отверстия, равный толщине материала ($1,0 S_0$), т. е. в данном случае — 2 мм. Следовательно, получить отверстия пробивкой нельзя, потребуются сверление, что значительно повысит трудоемкость детали. По-видимому, диаметр отверстий без ущерба конструкции детали можно увеличить до 2 мм (соответственно увеличив диаметр заклепок) и получить их пробивкой в штампе.

Отверстие размером 50×86 мм имеет сопряжения контура в углах без закругления. Это вызовет концентрацию напряжений в углах матрицы и резко снизит ее прочность. Во избежание разрушения матрицы при закалке или в процессе эксплуатации необходимо ввести радиусы закругления $r \geq 0,5 S_0$. Для заданной детали можно принять $r = 2,0$ мм. (S_0 — исходная толщина штампуемого материала).

Наименьшее расстояние от края круглого отверстия до прямойлинейного контура допускается не менее S_0 . Отверстия в бортике высотой 15 мм расположены от края на расстоянии 0,75 мм, т. е. указанное условие не обеспечивается и при пробивке отверстий возможна утяжка перемычки или ее разрушение. Поскольку деталь соединяется с гладкой обшивкой, острой необходимости в таком расположении отверстий нет. Их можно разместить посредине бортика, что улучшит условия соединения детали с обшивкой и позволит получить отверстия штамповкой, а не менее эффективным сверлением.

Минимальные радиусы гибки для материала Д16 в свежезакаленном или отожженном состоянии должны быть не менее S_0 . При этом вероятность получения трещин будет сравнительно небольшой. Заданная деталь имеет радиусы гибки бортов

$r = 1,5$ мм, указанное условие не соблюдено. Для получения качественных деталей необходимо, чтобы $r \geq 2$ мм. По-видимому, такое изменение не повредит служебному назначению детали.

По данным работы [1], наименьшая высота отгибаемой полки детали должна быть $h \geq 3S_0$, т. е. в нашем случае не менее 6 мм. Бортик жесткости у рассматриваемой детали имеет высоту 4 мм, получить его гибкой нельзя. Поэтому придется штамповать борт с припуском 2—3 мм, который после гибки нужно удалить обрезкой на ножницах или механической обработкой. Однако необходимости в этом нет, так как у детали (без ущерба ее служебному назначению) высоту борта можно взять равной 6 мм, что повысит ее жесткость.

При заданном расстоянии отверстий под заклепки от продольных бортов детали (при гибке) возможно растяжение отверстий или разрушение материала по линии изгиба. Чтобы этого не произошло, отверстия необходимо получать после гибки сверлением, что менее эффективно. Наименьшее расстояние от края отверстия до загнутой полки при гибке заготовки с отверстиями должно составлять $a \geq r + 2S_0$, где r —радиус гибки; для анализируемой детали должно быть $a \geq (2 + 2 \cdot 2) = 6$ мм, фактически же имеем 2,25 мм. Не ухудшая эксплуатационных свойств детали, можно принять $a = 6$ мм.

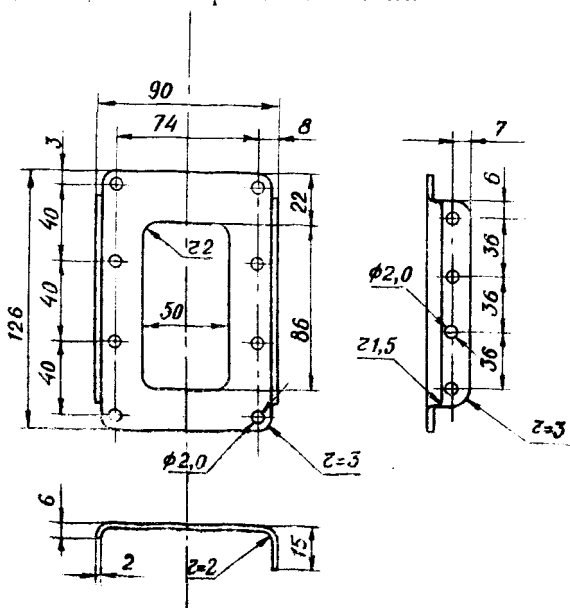


Рис. 2. Конструкция листовой детали, доработанная в соответствии с результатами технологического анализа

После указанных уточнений, произведенных в соответствии с технологическими требованиями, конструкция детали и ее чертеж будут иметь вид, представленный на рис. 2.

3. СОСТАВЛЕНИЕ ВАРИАНТОВ ПЛАНА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ И ВЫБОР НАИБОЛЕЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОГО ИЗ НИХ

Сравнительная сложность и длительность подготовки производства, а также высокая стоимость штампов требуют особо тщательной и продуманной разработки технологических процессов штамповки. В связи с этим при проектировании технологического процесса составляют несколько вариантов плана изготовления детали. Из них выбирается наиболее целесообразный вариант, и на него разрабатывается развернутый технологический процесс, применительно к которому ведется вся дальнейшая разработка курсового проекта.

Качество вариантов при этом определяется их технической целесообразностью и экономической эффективностью.

Перед составлением вариантов плана изготовления детали студент определяет тип производства, который, как известно, оказывает существенное влияние на технико-экономические показатели технологических процессов и конструктивно-технологические схемы штампов, необходимых для их практического осуществления.

Затем разработанным вариантам плана дается экономическая оценка, по результатам которой выбирается более целесообразный при заданном объеме производства вариант.

Для экономической оценки вариантов необходимо определить размер партии запуска деталей в производство и рассчитать себестоимость детали при каждом из них. Более целесообразным будет тот вариант, который обеспечит минимум приведенных затрат и, следовательно, будет экономически более выгодным.

Для такой оценки нет необходимости определять полную себестоимость детали с расчетом затрат на выполнение каждой операции каждого технологического процесса. Достаточно определить ее технологическую себестоимость.

3.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПА ПРОИЗВОДСТВА

Тип производства определяется в зависимости от ряда факторов, основным из которых является объем производства и производственная программа. Существенное влияние на тип

производства оказывают также габаритные размеры и конфигурация деталей. От правильности выбора типа производства зависит качество разработки всего курсового проекта. Существенное влияние тип производства оказывает на характер развернутого технологического процесса и его построение, на тип и конструктивную сложность штамповой оснастки, необходимой для его выполнения.

Известно, что в зависимости от указанных факторов производство может быть единичным, серийным и массовым (см. ГОСТ 14.004-74). Единичное производство характеризуется широкой номенклатурой изготавливаемых изделий (деталей) и малым объемом их выпуска. Серийное производство характеризуется ограниченной номенклатурой изделий (деталей), изготавливаемых периодически повторяющимися партиями (сериями) и сравнительно большим объемом выпуска.

В зависимости от количества изделий в партии (серии) серийное производство может быть разделено на мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное.

Массовое производство характеризуется узкой номенклатурой и большим объемом выпуска изделий (деталей), непрерывно изготавливаемых в течение продолжительного времени.

При курсовом проектировании тип производства можно определить по величине заданной годовой программы выпуска детали, ее габаритным размерам и степени сложности формы.

Ориентировочная зависимость типа производства от указанных параметров приведена в табл. 1.

Таблица 1

Габаритные размеры деталей	Степень сложности формы	Величина годовой программы выпуска, шт.				
		единичное	мелкосерийное	среднесерийное	крупносерийное	массовое производство
До 80×80 мм	Простая и сложная	до 10	10—2 000	2 000—50 000	50 000—500 000	свыше 500 000
		10	1 000	25 000	250 000	250 000
От 80×80 мм до 300×300 мм	Сложная	до 10	10—500	500—13 000	13 000—125 000	свыше 125 000
		10	500	13 000	125 000	125 000
Свыше 300×300 мм	Простая	до 10	10—300	300—8 000	8 000—75 000	свыше 75 000
		10	300	8 000	75 000	75 000
	Сложная	до 10	10—200	200—5 000	5 000—50 000	свыше 50 000
		10	200	5 000	50 000	50 000

Например, если деталь имеет габаритные размеры 120×150 мм и простую форму (плоская, круглая без бортов), а годовая программа выпуска составляет 20 000 штамповых деталей, то, согласно данным табл. 1, производство будет среднесерийным.

3.2. СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ В НЕСКОЛЬКИХ ВАРИАНТАХ

План изготовления детали составляется в двух--трех вариантах. Одним из них может быть технологический процесс изготовления детали, взятый студентом на базовом заводе в период практики. Друг от друга варианты могут отличаться характером, количеством и последовательностью операций, степенью их совмещенности, количеством одновременно штампуемых деталей, способом штамповки и конструктивными особенностями штамповой оснастки, видом оборудования, степенью механизации и автоматизации процессов штамповки.

При разработке каждого варианта плана учитываются конструктивные особенности детали (механические свойства и толщина материала, конфигурация детали и степень ее сложности, габаритные размеры, требуемая точность детали и чистота ее поверхности, наличие, расположение, форма и размеры отверстий и т. п.). Учитывают также объем и соответствующий ему тип производства.

Каждый из составленных вариантов должен обеспечивать выполнение всех требований к детали, установленных чертежом и техническими условиями на ее изготовление. Только при этом условии их можно сравнивать экономически.

Для каждого варианта плана студент обязан решить следующие основные задачи:

- 1) установить характер (вид), количество и последовательность операций;
- 2) выбрать степень сложности (совмещенности) операций;
- 3) определить количество одновременно штампуемых деталей;
- 4) определить тип и степень сложности конструкции штампа для каждой операции;
- 5) вычертить образмеренные пооперационные эскизы детали, характеризующие сущность процесса и его операций;
- 6) определить технические нормы времени по укрупненным нормативам для каждой оригинальной для варианта операции.

Количество и характер операций определяются в основном геометрической формой штампуемой детали, наличием и конфигурацией отверстий, боковых вырезов, состоянием поверхности и т. п. Последовательность выполнения операций зависит от

характера сочетания конструктивных элементов детали, их геометрической точности и сложности конфигурации.

Степень и характер совмещенности операций зависит от объема и типа производства и определяется конфигурацией и точностью выполнения элементов конструкции детали [1].

Количество одновременно штампуемых деталей определяется объемом и типом производства, а также рациональностью и экономичностью раскроя материала.

Тип и сложность конструкции штампа определяются видом операций, для выполнения которых он предназначен, и зависит от объема и типа производства.

Как видно из сказанного, задача по разработке вариантов технологического процесса изготовления детали имеет комплексный характер, требующий одновременного решения многих частных задач, для чего студенту необходимы более широкие знания технологии листовой холодной штамповки, чем это предусмотрено лекциями.

Поэтому перед разработкой технологической части курсового проекта необходимо дополнительно проработать соответствующие разделы специальной технической литературы, перечень которой приведен в конце пособия.

Разработанные варианты плана изготовления детали студент оформляет на специальной карте (см. прил. 1). В целях наглядности и возможности сопоставления картой предусмотрено оформление всех вариантов плана на одном листе.

В расчетно-пояснительной записке приводится краткое описание каждого варианта с пооперационными эскизами.

3.3. ВЫБОР ТИПОВ И СХЕМ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ

Параллельно с разработкой вариантов плана изготовления детали и развернутого технологического процесса студент по согласованию с руководителем проекта производит выбор типов и конструктивно-технологических схем штампов для выполнения запланированных штамповочных операций. Это один из наиболее ответственных этапов разработки технологической части курсового проекта. Выполняя его, студент должен помнить, что от того, насколько удачно будет решена указанная задача, зависит экономическая эффективность и технологическая целесообразность всего технологического процесса.

Существенное влияние на ее качественное решение оказывают масштаб и тип производства, геометрические параметры штампуемой детали и требования к ее качеству и точности изготовления.

Выбор типов и схем штампов при этом производят по роду и совмещенности операций (технологические признаки), по спо-

соду направления рабочих элементов и конструктивной сложности (конструктивные признаки), по способу подачи заготовок и удаления деталей и отходов (эксплуатационные признаки).

По роду выполняемых операций тип штампа определяется в соответствии с технологическим процессом изготовления детали (например: штамп вырубной, штамп дыропробивной, штамп гибочный, штамп вытяжной и т. п.).

По совмещенности операций штампы делятся на простые и комбинированные. Простые штампы проще и дешевле в изготовлении, но менее производительны. Поэтому их применяют обычно при небольшой производственной программе (единичное, мелкосерийное и среднесерийное производство). Штампы комбинированные сложнее и дороже в изготовлении, но более производительны. Их применяют при средних и больших объемах выпуска деталей (среднесерийное, крупносерийное и массовое производство).

Комбинированные штампы делятся на штампы последовательного и совмещенного действия. Первые из них применяют для штамповки менее точных деталей (12—15 квалитетов) при более низких требованиях к их качеству. Это объясняется в частности тем, что при изготовлении в штампах последовательного действия детали коробятся, нарушается их плоскостность и точность взаимного расположения их внешнего и внутреннего контуров; для симметричных деталей нарушается их соосность. С увеличением габаритных размеров деталей, точность и качество их снижается, а размеры и масса штампов резко возрастают. В связи с этим габаритные размеры деталей при штамповке в последовательных штампах не должны превышать 500×500 мм.

Штампы совмещенного действия применяют для штамповки более точных деталей (10—12 квалитетов) более высокого качества при габаритных размерах до 3000×3000 мм. Вместе с тем следует иметь в виду, что производительность совмещенных штампов ниже, чем последовательных, и они более опасны в работе.

По способу направления рабочих элементов различают штампы без направления и штампы с направляющими устройствами. Первые из них более просты, дешевле в изготовлении, имеют меньший вес, но сложнее в установке на прессе, имеют более низкую стойкость и более опасны в работе. Их применяют обычно в единичном и мелкосерийном производствах.

Вторые сложнее и дороже в изготовлении, но проще и надежнее в эксплуатации, удобнее и проще при установке на прессах, обладают более высокой стойкостью и позволяют получать детали более высокого качества. Применяют их в среднесерий-

ном, крупносерийном и массовом производствах. Наиболее рациональны при этом штампы с направляющими колонками. Их чаще всего делают для каждого наименования деталей отдельно (специальные штампы). В мелкосерийном и тем более в единичном производствах применять сложные специальные штампы с направляющими устройствами экономически нецелесообразно.

В этих производствах, а также в производстве среднесерийном наиболее эффективны штампы универсальные, переналаживаемые, которые могут быть применены для штамповки ряда однотипных деталей. Несмотря на их сложность в указанных производствах они себя экономически оправдывают, так как их стоимость распределяется на большую номенклатуру деталей. Кроме того, они могут быть использованы при переходе с одного вида продукции на другой, тогда как специальные штампы при этом использоваться не могут.

В среднесерийном и мелкосерийном производствах эффективны также быстросменные штампы с механическим и магнитным креплением рабочих элементов, крепежные блоки которых являются тоже универсальными. В единичном и мелкосерийном производствах экономически целесообразно применять поэлементную штамповку, которая выполняется на недорогих, чаще всего универсальных штампах. В единичном и мелкосерийном производствах экономически оправдано применение пинцентных и упрощенных штампов.

При этом, однако, следует иметь в виду, что универсальные, упрощенные и пинцентные штампы, в отличие от специальных, инструментальных, не обеспечивают высокого качества штампуемых деталей.

По способу подачи заготовок различают штампы с ручной подачей и штампы с автоматической подачей. Первые из них менее производительны. Их применяют в единичном, мелкосерийном, среднесерийном и частично крупносерийном производствах. Вторые — более производительны; их применяют в крупносерийном и массовом производствах.

По способу удаления деталей различают штампы с провалом деталей через отверстие матрицы, с обратной вставкой деталей в ленту и удалением вместе с ней, с обратным выталкиванием деталей на поверхность штампа и ручным удалением, с обратным выталкиванием деталей и автоматическим удалением при помощи специальных сбрасывающих устройств. Штампы с обратным выталкиванием позволяют получать детали лучшего качества, чем при штамповке на провал.

Отходы могут удаляться вручную в виде остатков полосы (в основном для крупных деталей), путем разделения отхода на несколько частей при помощи специальных ножей, автомати-

чески (при помощи специальных сбрасывателей). Последний способ применяется в основном в крупносерийном и массовом производствах.

Зная производственную программу, габаритные размеры деталей, требования к их качеству и точности и определив тип производства (см. п. 3.1), с учетом вышеуказанных рекомендаций можно выбрать наиболее целесообразные для данных конкретных условий типы и конструктивно-технологические схемы штампов как для вариантов технологических процессов изготовления детали, так и для дальнейшего их проектирования в соответствии с развернутым технологическим процессом. В последнем случае конкретные схемы штампов выбирают с учетом дополнительных рекомендаций, приведенных в работе [1].

3.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРА ПАРТИИ ЗАПУСКА ДЕТАЛЕЙ В ПРОИЗВОДСТВО

При серийном производстве изготовление деталей производится периодически повторяющимися партиями. Партия представляет собой количество деталей одного наименования, изготавливаемых при одной наладке оборудования (т. е. при одной установке штампа на прессе). Количество деталей в партии может быть различным. Размер партии оказывает существенное влияние на технико-экономические показатели производства и стоимость деталей.

С уменьшением количества деталей в партии запуска сокращается время между переналадками оборудования и увеличивается суммарное время переналадок, что снижает коэффициент использования оборудования, усложняет планирование и учет.

С увеличением партии растет производительность труда рабочего, снижается доля подготовительно-заключительного времени, приходящаяся на одну деталь, уменьшается штучно-калькуляционное время на операцию и ее себестоимость. Вместе с тем при увеличении партии растут запасы деталей на складах (т. е. растет незавершенное производство), увеличиваются площади под цеховые и межоперационные склады заготовок и деталей, увеличиваются оборотные средства. Поэтому перед расчетом технологической себестоимости детали для разработанных вариантов плана ее изготовления студент обязан выбрать рациональный размер партии запуска детали в производство.

Для определения оптимальной величины партии существует ряд формул, предложенных разными авторами. Наиболее простой из них является следующая:

$$n_1 = \frac{Nek}{M}, \quad (1)$$

где n_d — количество деталей в партии запуска, шт.;

N — годовая программа производства деталей, шт.;

M — число рабочих дней в году, равное 253 дням при двух днях отдыха и продолжительности рабочего дня 8 час.;

e — необходимый запас деталей на складе в днях: для крупных деталей $e = 5$ дням, для средних — 15 дням, для мелких деталей — 30 дням;

k — коэффициент, зависящий от типа серийного производства: для мелкосерийного производства $k = 1,0$, для среднесерийного — $k = 1,5$ и для крупносерийного производства — $k = 2,0$.

Размер партии, найденный по формуле (1), корректируется в зависимости от конкретных производственных условий. Он должен быть кратным годовой программе выпуска деталей. Максимальный размер партии не должен превышать квартального плана производства деталей. Рекомендуется также, чтобы трудоемкость выполнения одной штамповочной операции при изготовлении партии деталей не превышала 8 часов (одну смену), с учетом времени на установку и снятие штампа.

Существенное влияние на размер партии запуска оказывает стойкость штампов на данной операции. Измеряется она количеством деталей, отштампованных до износа рабочих частей штампов. Износ последних определяется по недопустимому снижению качества деталей (появляются заусенцы при вырубке и пробивке, задиры, риски и царапины при гибке и вытяжке) либо по размерному браку деталей.

Различают стойкость между переточками или ремонтом рабочих частей штампов и стойкость до их полного износа. Размер партии запуска должен быть кратным стойкости между переточками или ремонтом. Ориентировочные нормы стойкости штампов между переточками или ремонтом их рабочих частей для различных материалов штампуемых деталей приведены в табл. 2.

При большой партии, когда ее размер близок к стойкости инструмента, количество деталей в партии рекомендуется брать равным стойкости штампа. Партий запуска, превышающих стойкость, не должно быть.

Пример. Определить величину партии запуска при годовой производственной программе $N = 30\,000$ шт. деталей при габаритных размерах детали 60×50 мм (деталь мелкая). Продолжительность рабочего дня 8 часов при двух днях отдыха в неделю.

Число рабочих дней M в году при указанном режиме работы составляет 253. По табл. 1 находим, что производство деталей будет среднесерийным и, следовательно, $k = 1,5$. Тогда

$$n_d = \frac{30000 \cdot 30 \cdot 1,5}{253} \approx 5336 \text{ шт.}$$

Таблица 2

Тип штампа	Толщина штампуемого материала в мм	Стойкость в тыс. деталей для штампуемых материалов с σ_s , мн/м ²			
		300—450	450—650	200—300	50—150
Вырубной, дыропробивной	до 0,5	50	40	62	68
	1,0	40	30	50	55
	1,5	32	25	40	44
	2,0	27	20	34	37
	3,0	25	17	31	34
	6,0	20	12	25	27
Гибочный	до 3	55	45	68	75
Вытяжной	до 3	80	60	100	110
Формовочный	до 3	25	17	31	35
Чеканочный	—	8	5	10	11

Найденное количество деталей не кратно годовой программе ($\frac{N}{n} = \frac{30000}{5336} \approx 5,622$), что недопустимо. Для обеспечения кратности расчетную партию следует либо несколько уменьшить, приняв $n = 3750$ шт., либо увеличить до $n = 6000$ шт. Оба этих значения n кратны годовой программе: N/n будет равно соответственно 8 и 5.

Принимаем более близкое к расчетному значению $n = 6000$ шт. Согласно проведенному нормированию, трудоемкость штамповки одной детали составляет 0,001 часа. При этом трудоемкость штамповки партии деталей составит 6 час., что меньше 8 час. и, следовательно, допустимо. Принятая партия приемлема также и с точки зрения стойкости штамповочного инструмента (см. табл. 2).

Количество переналадок оборудования в течение года $m_{об}$ без учета времени на установку и снятие штампа находят по формуле (2)

$$m_{об} = \frac{N}{n}. \quad (2)$$

В нашем примере количество переналадок оборудования (количество установок и снятий штампов) составит

$$m_{об} = \frac{30000}{6000} = 5.$$

3.5. НОРМИРОВАНИЕ ВАРИАНТОВ ПЛАНА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ ПО УКРУПНЕННЫМ НОРМАТИВАМ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕЕ ТРУДОЕМКОСТИ

Нормирование составленных вариантов плана изготовления детали производится по нормативным справочникам [6] и [7]. Для каждой операции определяется штучное время ($T_{шт}$) без разбивки его на составляющие элементы.

Исходные данные, в зависимости от которых берется штучное время (число двойных ходов пресса в минуту, ширина и длина полосы штампуемого материала, шаг штамповки), определяются ориентировочно, без точных расчетов и для всех вариантов берутся по возможности одинаковыми.

Пресс подбирается по табличным данным с минимальным количеством двойных ходов.

В том случае, если деталь изготавливается гибкой или вытяжкой и в чертеже заготовка не дана, производится определение формы и размеров заготовки, которые должны быть одинаковы для всех вариантов плана изготовления детали. Методика расчета заготовок дана в соответствующих разделах настоящего пособия.

Расчеты, связанные с определением размеров заготовки, студент приводит в соответствующих разделах расчетно-пояснительной записки.

В описательной части по нормированию вариантов плана изготовления детали дается ссылка на эти разделы.

$T_{шт}$, найденное в зависимости от указанных исходных данных, должно включать основное и вспомогательное время на штамповку и затраты времени на организационное обслуживание, отдых.

Подготовительно-заключительное время на установку и снятие штампа ($T_{пз}$) определяется ориентировочно по табл. 3; оно

Таблица 3

Пресс		Число установщиков	Время, мин.		
тип	номинальное усилие, кН		на установку штампа		на снятие штампа
			без буферного устройства	с буферным устройством	
Простого действия	до 500	1	20	30	10
	1000	1	30	40	15
	1500	1	40	60	20
	2500	1	60	90	30
	3500	2	70	100	40
Двойного действия	до 4000	2	180	200	100
	6000	2	220	260	120

дается на партию запуска n (определение партии запуска см. п. 3.4).

Полученные таким образом $T_{шт}$ и $T_{из}$ для каждой операции каждого варианта плана изготовления детали записываются в соответствующие графы карты вариантов плана (прил. 1).

3.6. РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СЕБЕСТОИМОСТИ ДЕТАЛИ

Расчет технологической себестоимости детали производится для каждого варианта плана ее изготовления. При этом подсчитываются только те затраты, которые зависят от рассматриваемого варианта. Рекомендуется исчислять затраты по следующим статьям:

- основные материалы и полуфабрикаты;
- основная и дополнительная заработная плата штамповщиков с начислениями;
- основная и дополнительная заработная плата наладчиков штампов с начислениями;
- эксплуатация оборудования;
- расходы на технологическую оснастку (на ее эксплуатацию и амортизацию).

Затраты на вспомогательные материалы, топливо, электрическую энергию, воду, пар, сжатый воздух, необходимые для технологических целей; амортизационные отчисления от стоимости зданий и сооружений; затраты на текущий ремонт и содержание зданий; заработная плата ИТР, служащих, вспомогательных рабочих и другие расходы, входящие в группу прочих нечеховых расходов, а также общезаводские накладные расходы при определении технологической себестоимости детали не учитываются.

Затраты, исчисляемые по каждой из указанных статей, относятся к одной детали. Технологическая себестоимость детали при этом определяется путем суммирования постоянных затрат:

$$C_d = C_{мд} + C_{шд} + C_{нд} + C_{обд} + C_{штд}; \quad (3)$$

где $C_{мд}$ — стоимость материала на одну деталь;

$C_{шд}$ — основная заработная плата штамповщика, приходящаяся на одну деталь;

$C_{нд}$ — зарплата наладчика штампов, отнесенная к одной детали;

$C_{обд}$ — затраты на эксплуатацию оборудования, отнесенные к одной детали;

$C_{штд}$ — расходы на технологическую оснастку, отнесенные к одной детали.

Стоимость материалов $C_{мд}$ во всех вариантах рассчитывается по преysкурантным ценам без корректировки на величину транспортно-заготовительных расходов. В табл. 4 и 5 приведены

ориентировочные цены на кондиционные листы и отходы из цветных и черных металлов и сплавов.

Таблица 4

Марка сплава	Цена за 1 т в руб.		Марка сплава	Цена за 1 т в руб.	
	кондиционные листы	лом и отходы		кондиционные листы	лом и отходы
Д16-Т	780	220	АМг3-М	800	220
Д16-М	600	220	АМг5-В	1630	220
В95-М'	770	220	АМЦ-М	750	220
АМг-М	1050	220	МА8-М	5400	250
АМг-П	920	220	ВТ1	9000	770
<u>АМг6-М</u>	1770	220			

Таблица 5

Марка металла	Цена за 1 т в руб.		Марка металла	Цена за 1 т в руб.	
	кондиционные листы	лом и отходы		кондиционные листы	лом и отходы
Ст10СП	140	10	30ХГСА	200	17
Ст10КП	100	10	Ст20А	110	10
Ст10	100	10	Ст45	90	10
Ст20	90	10	1Х18Н9Т	750	130

Вес материала на одну деталь определяют по раскрою листа с учетом припусков на вырубку и возможных концевых отходов

$$C_{\text{мд}} = \frac{Q \cdot C_{\text{м}}}{m_{\text{д}} \cdot 100} \text{ руб.}, \quad (4)$$

где Q — вес листа материала, кг;

$m_{\text{д}}$ — количество деталей, получаемых из листа, шт.;

$C_{\text{м}}$ — стоимость 1 кг материала, коп.

В том случае, если раскрой материала для всех вариантов плана одинаков и, следовательно, одинакова стоимость материала на одну деталь, последняя при расчете технологической себестоимости не учитывается.

Основная заработная плата рабочих, приходящаяся на одну деталь — 3 шт. д., определяется по формуле

$$C_{\text{шл}} = \sum_1^{m_{\text{ш}}} \frac{T_{\text{шт}} C_{\text{р}}}{60 \cdot 100} K_{\text{т}} \cdot K_{\text{доп}} \text{ руб.}, \quad (5)$$

где $T_{\text{шт}}$ — штучное время на операцию, мин.;

C_p — часовая ставка рабочего первого разряда, коп;

K_r — тарифный коэффициент разряда работ в соответствии с рассматриваемым вариантом плана изготовления детали;

$K_{доп}$ — коэффициент доплат, который принимается равным 1,12—1,14;

m_0 — количество операций штамповки, необходимых для изготовления детали.

Зарплата наладчика, отнесенная к одной детали, определяется по формуле

$$C_{нд} = \frac{T_{пз} C_p}{60 \cdot 100 n_d} \cdot K_r \cdot K_{доп}, \quad (6)$$

где $T_{пз}$ — подготовительно-заключительное время на установку и снятие штампа (определяется по табл. 1), наладку оборудования и т. д.;

n_d — количество деталей в партии по формуле (1).

Затраты на эксплуатацию оборудования $C_{обд}$ складываются из затрат на ремонт оборудования P_d и стоимости электроэнергии, затраченной на изготовление одной детали $\mathcal{E}_{сд}$.

Затраты на текущий ремонт определяются по нормативам системы планово-предупредительного ремонта технологического оборудования машиностроительных предприятий.

Отнесенные к одной детали, они составят:

$$P_d = \frac{P_{оп} b}{100} \text{ руб.}, \quad (7)$$

где P_d — затраты на ремонт оборудования, приходящиеся на одну деталь, руб.;

$P_{оп}$ — затраты на ремонт оборудования, отнесенные к одной операции, коп. При приближенных расчетах значение $P_{оп}$ для прессов с максимальным усилием до 400 кн можно принять равным 0,001 коп.;

b — количество штамповочных операций по технологическому процессу изготовления детали на данном оборудовании.

Затраты на силовую электроэнергию, отнесенные к одной детали ($\mathcal{E}_{сд}$), приближенно могут быть определены по формуле:

$$\mathcal{E}_{сд} = \frac{T_{шт}}{60} \frac{e}{100} \cdot I_{уст} \cdot K_m \cdot \text{руб.}, \quad (8)$$

где $I_{уст}$ — установленная мощность двигателя пресса, кВт. Для ориентировочных расчетов допускается принимать среднее значение $I_{уст} = 5$ кВт.;

e — стоимость кВтч, коп.;

K_m — коэффициент, учитывающий непроизводительные потери электроэнергии при штамповке (его можно при-

нять равным 1,2—1,4). Стоимость киловатт-часа электроэнергии равна 1,05 коп.

Наибольшую сложность представляет расчет затрат по статье «расходы на технологическую оснастку» — $C_{шт д}$. Эти затраты определяются прямым счетом. Учитывая, что в условиях серийного производства, характерного для самолетостроения, большинство штампов не используется до полного износа и в связи с этим дублиеры штампов, как правило, не изготавливаются, затраты на амортизацию штампов можно рассчитывать приближенно по формуле

$$C_{шт д} = \frac{C_{шт} + C_p}{D \cdot N_{год}} \text{ руб.}, \quad (9)$$

где $C_{шт д}$ — расходы на эксплуатацию и амортизацию штампа, руб/дет;

$C_{шт}$ — стоимость штампа, руб;

C_p — стоимость ремонта и переточки штампа, руб;

$N_{год}$ — годовая программа выпуска деталей, шт;

D — срок погашения затрат на штамп, год (срок окупаемости).

Срок погашения затрат на штамп D принимается равным от 1 года до 3 лет (согласовывается с руководителем курсового проекта).

Стоимость ремонта и переточки штампов C_p , при условии их быстрого морального износа, без большой погрешности может быть принята в зависимости от $C_{шт}$ по табл. 6.

Таблица 6

Срок списания штампа	Для инструментальных штампов	Для быстросменных пластинчатых штампов
В течение года	(0,1—0,2) $C_{шт}$	(0,03—0,06) $C_{шт}$
В течение двух лет	(0,4—0,5) $C_{шт}$	(0,13—0,2) $C_{шт}$
В течение трех лет	(0,7—0,8) $C_{шт}$	(0,25—0,3) $C_{шт}$

Формула (9), согласно принятым нами допущениям, действительна в случае, когда $DN_{год} < T_{ст}$ ($T_{ст}$ — стойкость штампа до полного износа). В сравнительно редких случаях при изготовлении деталей, идущих в большом количестве на летательный аппарат, может оказаться, что $DN_{год} > T_{ст}$. Тогда расчет затрат на эксплуатацию и ремонт штампов можно выполнить по формуле

$$C_{шт д} = \frac{C_{шт} + C_p}{T_{ст}} \text{ руб.} \quad (10)$$

Значения $T_{ст}$ берутся из соответствующей справочной литературы. При указанных условиях расходы на ремонт и переточку штампов равны $C_{шт}$.

Примерная стоимость штампа в зависимости от его типа, сложности конструкции и габаритных размеров, при условии обработки пуансона и матрицы по 8...10 качеству точности, может быть определена по приближенным формулам.

Для вырубных штампов оценку стоимости можно произвести по формуле

$$C_{шт} = K_{т}LB + K'_{\phi} (L + B) \text{ руб.} \quad (11)$$

где L — длина матрицы, мм;

B — ширина матрицы, мм;

$K_{т}$ — коэффициент, зависящий от типа штампа;

K'_{ϕ} — коэффициент, зависящий от сложности рабочего контура штампа.

Значения коэффициента $K_{т}$ могут быть взяты из табл. 7, а коэффициента K_{ϕ} — из табл. 8.

Таблица 7

Тип штампа	Коэффициент $K_{т}$ для штампа	
	с простым упором	с боковыми ножами
Открытый без направляющих	0,0010	—
Пакетный с направляющей плиткой для одинарной вырубки	0,0013	0,0014
Пакетный с направляющей плиткой последовательного действия	0,0015	0,0016
На блоке с жестким съемником при штамповке на провал	0,0040	0,0050
На блоке с пружинным съемником при штамповке на провал	0,0050	—
На блоке с пружинным съемником и пружинным выталкивателем для одинарной вырубки	0,0060	—
На блоке совмещенного действия	0,0080	—

Аналогичный вид имеет формула для расчета стоимости литьевых штампов

$$C_{шт} = 0,8 K_{т}LB + \sum_{i=1}^{i=n} P_i n_i K'_{\phi}, \quad (12)$$

где P_i — стоимость изготовления пуансона и обработки отверстия матрицы круглого сечения;

n_i — число отверстий в матрице одного размера и формы;

n — число отверстий всех размеров и формы;
 K'_ϕ — коэффициент формы контура отверстия.

Стоимость изготовления пуансона и обработки отверстия круглого сечения можно определить приближенно:

при $d > 5$ мм $P_i = 0,5 + 0,05 (d - 5)$ руб.;
 при $d < 5$ мм $P_i = 0,5$ руб.

Значения коэффициента K''_ϕ приведены в табл. 8.

Таблица 8

Форма контура	Значения коэффициентов	
	K'_ϕ	K''_ϕ
Круг	0,02	1,0
Прямоугольник	0,03	1,5
Овал	0,04	2,0
С сочетанием прямых линий и небольшого количества закруглений	0,055	2,7
С сочетанием прямых линий, закруглений и наличием выступов	0,07	3,5
Сложное очертание с большим количеством выступов, пазов и закруглений	0,10	5,0

Примерную стоимость совмещенного штампа можно подсчитать по формуле

$$C_{шт} = 0,003 LB + K'_\phi (L + B) + \sum_{i=1}^{i=n} P_i n_i K''_\phi \text{ руб.} \quad (13)$$

Стоимость пластинчатого штампа при магнитном или механическом креплении в блоке может быть определена по формуле

$$C_{шт} = 0,0003 LB + 0,5 K_\phi (L + B) \text{ руб.} \quad (14)$$

Для ориентировочной оценки стоимости гибочного штампа с одним пуансоном можно воспользоваться формулой

$$C_{шт} = K_\tau K_\phi V \sqrt{LB} \text{ руб.} \quad (15)$$

где L и B — длина и ширина матрицы, мм;

K_τ — коэффициент, зависящий от типа штампа;

K_ϕ — коэффициент, зависящий от формы профиля матрицы и пуансона.

Значения коэффициентов K_τ и K_ϕ приведены в табл. 9 и 10.

Приведенные формулы (11) — (15) дают возможность получить ориентировочную стоимость штампов в рублях.

Таблица 9

Тип штампа	Значения коэффициента K_T
Пакетный открытый	1,0
Пакетный с выталкивателем	1,3
На блоке с выталкивателем	2,0

Таблица 10

Профиль матрицы и пуансона	Значения коэффициента K_Φ
Простой	0,1
Усложненный	0,2
Сложный	0,3

Стоимость вытяжных штампов типовой конструкции можно подсчитать ориентировочно по формуле (11). При этом коэффициент K_T для штампов простого действия берется равным 0,0015 и для комбинированных (вырубка и вытяжка) — 0,0025.

Коэффициент формы контура детали в плане для круглого сечения берется равным $K_\Phi = 0,04$ и для более сложного сечения (прямоугольного, овального и др.) $K_\Phi = 0,1$.

По разрешению руководителя курсового проектирования студент для определения стоимости специальных инструментальных штампов в зависимости от формы контура детали может воспользоваться данными табл. 11, не производя соответствующих расчетов.

Таблица 11

Тип и конструктивная схема штампа	Стоимость штампа в руб. для деталей с размером периметра 2 (L + B)							
	200 мм		600 мм		2400 мм		свыше 2400 мм	
	простая	сложная	простая	сложная	простая	сложная	простая	сложная
Вырубные простые без направляющих устройств	40	60	70	100	120	180	200	300
Вырубные простые с направляющими колонками	60	90	100	150	170	260	280	420
Пробивные простые без направляющих устройств	25	35	40	60	80	110	130	200
Пробивные простые с направляющими колонками	40	55	65	95	130	170	210	320
Пробивные многопуансонные (20—100 отв.) с направляющими колонками	—	—	90	115	200	320	390	520

Типы и конструктивные схемы штампов	Стоимость штампа в руб. для деталей с размером периметра $2(L + B)$							
	200 мм		600 мм		2400 мм		свыше 2400 мм	
	прос- тая	слож- ная	прос- тая	слож- ная	прос- тая	слож- ная	прос- тая	слож- ная
Вырубные последова- тельного действия с на- правляющей плиткой	65	100	101	160	—	—	—	—
Вырубные последова- тельного действия с направляющими колон- ками	90	150	150	240	270	330	—	—
Вырубные совмещенного действия с направляю- щими колонками	110	180	180	220	260	330	400	550
Гибочные без направ- ляющих устройств	20	30	30	40	45	60	70	100
Гибочные с направляю- щими колонками	30	45	45	60	68	90	105	150
Вытяжные без направ- ляющих устройств	50	70	80	110	140	200	230	340
Вытяжные с направля- ющими колонками	75	105	120	165	210	300	350	510
Вытяжные для прессов двойного действия	—	—	175	240	305	330	510	740
Обрезные с направляю- щими колонками	70	105	115	115	200	305	330	490
Совмещенные для об- резки и пробивки с на- правляющими колон- ками	155	200	200	242	280	360	440	600
Совмещенные для вы- рубки и вытяжки с на- правляющими колон- ками	190	250	255	305	360	460	560	760

Примечания: 1. L — длина, B — ширина штампуемой детали в плане.
2. Стоимость штампов для деталей промежуточных размеров находят методом интерполирования.

Данные расчетов технологической себестоимости детали по всем разработанным вариантам плана ее изготовления вписываются в сводную таблицу, которая приводится в пояснительной записке к курсовому проекту (см. прил. 2).

3.7. ОЦЕНКА ВАРИАНТОВ ПЛАНА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ И ВЫБОР НАИБОЛЕЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОГО ИЗ НИХ

Варианты плана изготовления детали студент обязан оценить с экономической, технической и организационной точек зрения и выбрать из них наиболее целесообразный для практического осуществления.

Экономическая оценка производится путем сравнения технологической себестоимости детали при изготовлении ее по каждому из разработанных вариантов. Технологический процесс, обеспечивающий наименьшую себестоимость детали при заданной годовой программе, будет экономически наиболее целесообразным.

Рассматривая варианты плана изготовления детали с технической точки зрения, студент должен оценить, какой из них позволяет получить деталь наиболее высокого качества в части соблюдения ее геометрической формы, точности размеров отдельных ее элементов и чистоты поверхности, как в зоне обработки, так и в прилегающих к ней зонах.

Оценивая варианты с организационной точки зрения, следует рассмотреть, насколько каждый из них соответствует организационной форме производства и всем обслуживающим это производство процессам реального заготовительно-штамповочного цеха современного самолетостроительного или ракетостроительного завода. Только тот технологический процесс может быть признан целесообразным, который согласуется с установленным по заданной программе типом производства.

Необходимо также, чтобы выбранный технологический процесс обеспечивал наиболее высокую производительность труда при данных конкретных условиях и способствовал облегчению труда рабочих. Существенное значение при этом будет иметь наличие ручной доводки деталей в процессе штамповки или после нее. Рациональный технологический процесс изготовления деталей штамповкой по возможности не должен иметь ручных доводочных операций. Вместе с тем надо иметь в виду, что в единичном и мелкосерийном производстве доводочные операции в большинстве случаев неизбежны.

Каждый из вариантов плана изготовления детали следует рассмотреть с точки зрения продолжительности цикла подготовки производства. Предпочтение должно быть отдано тому варианту, который обеспечивает наиболее короткий цикл.

Требования, предъявляемые к технологическим процессам при оценке их с указанных точек зрения в ряде случаев вступают в противоречие между собой. Так, например, экономически целесообразный технологический процесс может не обеспечить

в должной мере предъявляемые к деталям требования качества; процесс, рациональный с технической точки зрения, может не соответствовать масштабу производства и т. д.

Из всех разработанных вариантов плана студент обязан выбрать тот, который обеспечит наиболее высокую экономическую эффективность при одновременном обеспечении надлежащего качества деталей и соответствия установленному типу производства.

Для наглядного представления об экономичности вариантов плана изготовления детали студент обязан построить совмещенный график зависимости технологической себестоимости детали C_d от годовой программы $N_{год}$. При этом следует иметь в виду, что затраты $C_{мд}$, $C_{штд}$, $C_{обд}$ от величины $N_{год}$ не зависят и для любой программы будут иметь одинаковые значения, тогда как $C_{нд}$ и $C_{штд}$ с увеличением программы будут уменьшаться.

Обозначая

$$C_{мд} + C_{штд} + C_{обд} = A \quad (16)$$

и

$$C_{нд} + C_{штд} = \frac{1}{N_{год}} \left(\frac{T_{из} C_p m_{об}}{60 \cdot 100} K_T K_{лоп} + \frac{C_{шт} + C_p}{D} \right) = \frac{B}{N_{год}}, \quad (17)$$

получим, что

$$C_d = A + \frac{B}{N_{год}}. \quad (18)$$

Графически зависимость стоимости одной детали C_d от размера годовой программы $N_{год}$ выразится кривой (рис. 3).

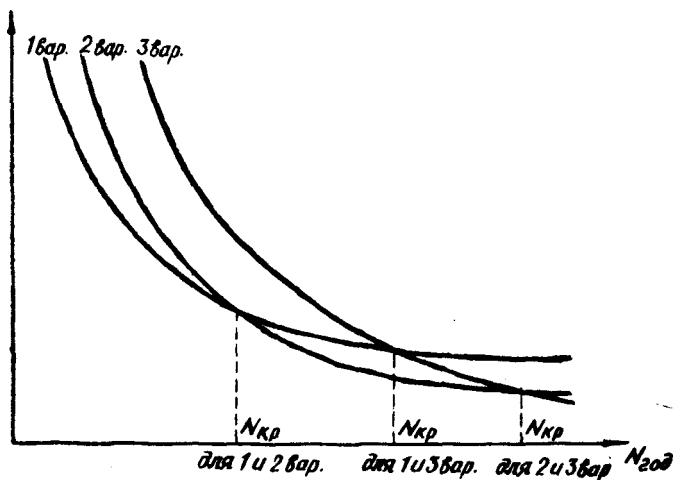


Рис. 3. Зависимость технологической себестоимости детали C_d от годовой программы выпуска

Для различных вариантов плана изготовления детали кривые будут различными. В точке пересечения кривых варианты будут равноценными (критическая точка соответствует критической программе). Для двух вариантов имеет место одна критическая точка, для трех и более вариантов — несколько критических точек.

Построение таких кривых представляет сложную задачу, так как требует определения координат нескольких точек на каждой кривой. Задача значительно упрощается, если расчеты себестоимости вести применительно к программе годового выпуска деталей.

Технологическая себестоимость годового выпуска деталей при этом может быть выражена формулой

$$C_{\text{год}} = N_{\text{год}} C_d = AN_{\text{год}} + B. \quad (19)$$

Эта зависимость графически представляется в виде прямой, которая может быть построена по двух точкам.

При оценке вариантов плана и выборе наиболее целесообразного из них производится графическое построение зависимости $C_{\text{год}} = f(N_{\text{год}})$. Причем, прямые для всех рассматриваемых вариантов плана изготовления детали изображаются на одном общем графике (рис. 4). Графики $C_d = f(N_{\text{год}})$ строить не следует.

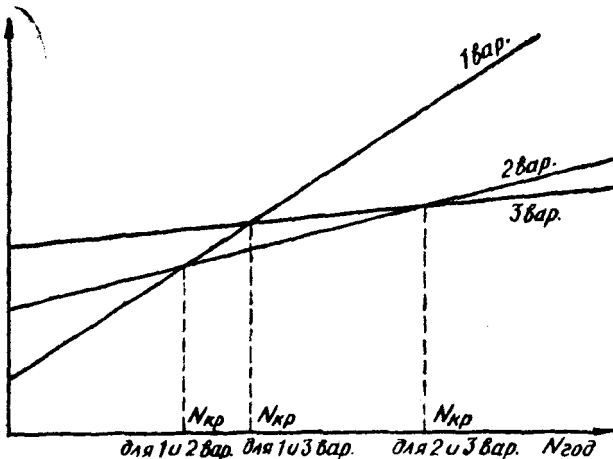


Рис. 4. Зависимость технологической себестоимости годового выпуска деталей $C_{\text{год}}$ от годовой программы

4. РАЗРАБОТКА РАЗВЕРНУТОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ

На выбранный вариант плана изготовления детали, после согласования его с руководителем курсового проекта, разрабатывается развернутый (рабочий) технологический процесс. Это наиболее ответственный этап выполнения курсового проекта, так как развернутый (рабочий) технологический процесс оказывает существенное влияние на экономическую эффективность всего производственного процесса, связанного с изготовлением детали, и на содержание всех остальных разделов проекта.

На первой стадии разработки развернутого технологического процесса определяется форма, размеры заготовки и расход материала на деталь. Затем уточняется характер, количество и последовательность операций. Кроме штамповочных операций, развернутый технологический процесс должен включать все остальные операции, необходимые для изготовления детали (подготовительные, вспомогательные, доводочные и др.), например такие, как расконсервация материала, промежуточная термообработка (закалка, отжиг — с указанием места, какое они должны занять в процессе), снятие заусенцев, доводка деталей после штамповки и т. п. Наряду с уточнением структуры технологического процесса, при этом производят его детализацию, расчленяя каждую штамповочную операцию на переходы и приемы.

Так, например, при выполнении операции резки на гильотинных ножницах необходимо:

установить задний упор ножниц на заданную ширину полосы;

обторцевать лист;

отрезать полосу.

Затем уточняются номенклатура и типаж оснастки и производится выбор штампов для проектирования. После утверждения номенклатуры штампов для конструкторской разработки руководитель курсового проектирования, при необходимости, вносит соответствующие коррективы в задание.

Для каждой операции производится выбор оборудования и заполняются технологические карты установленного образца (прил. 3, вкладка), определяется коэффициент оснащенности принятого технологического процесса.

В развернутом технологическом процессе должны быть указаны средства контроля годности детали.

При техническом нормировании развернутого технологического процесса, в отличие от разработанных ранее вариантов

плана изготовления детали, нормы времени устанавливаются на каждый прием. Норма времени на операцию определяется путем суммирования поэлементных норм.

На каждую штамповочную операцию студент обязан выполнить технологические расчеты, определяющие параметры технологического процесса и исходные данные, необходимые для разработки конструкций штампов. Методические указания по выполнению этих расчетов приводятся ниже.

Коэффициент оснащенности операций $\eta_{осн}$ рассчитывается как отношение количества единиц оснастки Q , необходимой для изготовления детали, к количеству штамповочных операций ϵ , входящих в состав технологического процесса ее изготовления.

$$\eta_{осн} = \frac{Q}{\epsilon}. \quad (20)$$

Для заготовительно-штамповочных цехов предприятий, изготавливающих летательные аппараты при среднесерийном производстве, коэффициент $\eta_{осн}$ бывает близок к 1.

Разработка развернутого технологического процесса изготовления детали и его оформление должно выполняться в полном соответствии с требованиями ГОСТ ЕСТД и ЕСТПП.

Ниже освещается характер, содержание, порядок и методика технологических расчетов, которые должен выполнить студент при разработке развернутого технологического процесса изготовления детали.

5. РАСКРОЙ МАТЕРИАЛА И РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ

Разделительные операции характеризуются отделением одной части материала от другой по замкнутому и незамкнутому контуру. К ним относятся: операции отрезки, вырубки, пробивки, надрезки и др.

5.1. РАСКРОЙ МАТЕРИАЛА

Раскрой должен производиться в соответствии с техническими требованиями, предъявляемыми к качеству изделий, при этом необходимо стремиться к наиболее экономичному использованию материала, высокой производительности процессов штамповки и высокой стойкости инструмента. Экономичность раскроя оценивается коэффициентом использования материала η_p , который определяется по формуле

$$\eta_p = \frac{F_1 n}{BL} \cdot 100 \% , \quad (21)$$

где F_x — площадь вырубаемой заготовки;
 n — количество деталей, полученных из листа;
 B — ширина листа;
 L — длина листа.

При расчете ширины полосы необходимо добиваться получения максимально возможного количества деталей. Примеры рационального раскроя приводятся на рис. 5.

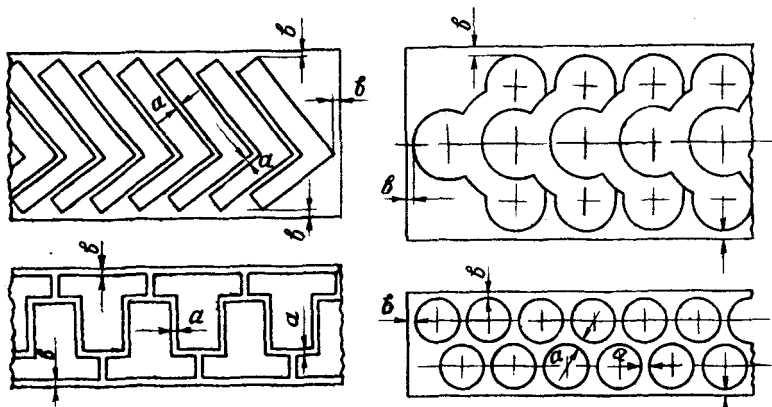


Рис. 5. Примеры рационального раскроя полосового материала

Величина перемычек между вырезаемыми заготовками a и от края заготовки до края полосы b зависит от формы и размеров заготовки, толщины и марки штампуемого материала, вида раскроя и способа подачи полосы в штамп.

Определение перемычек производится по таблице работы [1], (табл. 166). При выборе варианта раскроя необходимо учитывать следующее:

- 1) масса полосы при подаче ее в штамп вручную не должна превышать 12 кг, а длина 2 м;
- 2) при вырубке заготовок с поворотом полосы перемычки необходимо увеличивать на 50% по сравнению с табличным значением;
- 3) количество рядов при вырубке круглых или многоугольных деталей не рекомендуется принимать более 3-х, так как при большем количестве рядов стоимость штампов резко возрастает;
- 4) раскрой заготовок, имеющих сложную конфигурацию, следует производить графически с применением шаблонов;
- 5) безотходную или малоотходную вырубку рекомендуется применять для деталей невысокой точности (14—15 квалитеты);

б) для заготовок из титановых сплавов перемычки увеличиваются в два раза — при штамповке с подогревом — и на 30% — при штамповке без подогрева.

Габариты листов, лент и полос выбираются по соответствующим ГОСТам [10].

При выполнении курсового проекта необходимо составить 3—4 различных варианта раскроя (разное расположение заготовок на полосе и на листах различных габаритов) и выбрать из них наиболее экономичный. Раскрой листов в большинстве случаев выполняется на гильотинных ножницах с наклонными ножами. Подбор ножниц производится по каталогу, исходя из длины и усилия резки.

Усилие резки определяется по формуле

$$P = 0,5 \frac{S_0^2}{\operatorname{tg} \varphi} \sigma_{ср} \cdot K, \quad (22)$$

где $\sigma_{ср}$ — сопротивление материала срезу;

φ — угол створа ножей;

$K = 1,3$ — коэффициент, учитывающий изгиб материала при резке, неравномерность толщины материала и приупление ножей.

5.2. РАСЧЕТ УСИЛИИ ПРИ ВЫРУБКЕ И ПРОБИВКЕ

Усилие резания при вырубке и пробивке необходимо определять для выбора штамповочного оборудования и расчета деталей штампов на прочность. При выполнении этих операций в штампах с параллельными режущими кромками усилие резания определяется по формуле

$$P = L \cdot S_0 \cdot \sigma_{ср}, \quad (23)$$

где L — длина периметра резания, мм.

Если вырубка и пробивка производится в штампах со скошенными режущими кромками, то усилие резания уменьшается на 40—80% (см. [1], табл. 8), однако при этом эксплуатационные качества оснастки снижаются из-за возникающих затруднений в механизации процесса подачи полосы (искривление отхода) и при ремонте рабочих частей штампа. В самолетостроении такие штампы применяются только для вырубке заготовок толщиной $S_0 > 6$ мм.

Для снятия полосы или готовой детали с пуансона в конструкциях штампов обычно применяют либо жесткие съемники, либо съемники, работающие с помощью пружин, резины, жидкости или сжатого воздуха. Усилие, необходимое для снятия материала с пуансона, берется в зависимости от усилия резания по формуле

$$P_{\text{сн}} = K_{\text{сн}} \cdot P, \quad (24)$$

где $K_{\text{сн}}$ — коэффициент, зависящий от типа штампа и толщины вырубаемого материала (выбирается по таблицам работы [1]);

P — усилие резания, рассчитанное по формуле (23).

В случае применения в штампе жесткого съёмника усилие снятия полосы с пуансона не рассчитывается и при подборе пресса во внимание не принимается.

Если при штамповке деталь или отход проталкивается через проем матрицы, то при подборе прессового оборудования необходимо учитывать также усилие проталкивания, которое определяется по формуле

$$P_{\text{пр}} = K_{\text{пр}} \cdot P \cdot n, \quad (25)$$

где $K_{\text{пр}}$ — коэффициент, учитывающий трение при движении материала через «поясок» матрицы (выбирается по таблицам работы [1]);

$n = \frac{h}{S_0}$ — количество деталей, находящихся одновременно в пояске матрицы;

h — высота цилиндрического пояска матрицы.

Величина общего или полного усилия штамповки, по которому производится выбор пресса, определяется по формуле

$$P_{\text{общ}} = KP + P_{\text{сн}} + P_{\text{пр}} = P (K + K_{\text{сн}} + K_{\text{пр}} \cdot n), \quad (26)$$

где $K = 1,3$ — коэффициент, учитывающий неравномерность механических свойств, толщины штампуемого материала и при тупление режущих кромок пуансона и матрицы.

5.3. РАСЧЕТ ЗАЗОРОВ МЕЖДУ МАТРИЦЕЙ И ПУАНСОНОМ В ВЫРУБНЫХ И ПРОБИВНЫХ ШТАМПАХ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ РАБОЧИХ ЧАСТЕЙ ШТАМПОВ

Величина зазора z между матрицей и пуансоном оказывает существенное влияние на усилие вырубки, качество поверхности среза и стойкость режущих кромок инструмента. Зависит она от толщины и марки вырезаемой заготовки (см. [1], табл. 11).

Зазор получают за счет увеличения (против номинального) размера матрицы или за счет уменьшения размера пуансона. Так как точность наружного контура определяется матрицей, а точность отверстия пуансоном, то принимается следующее правило выбора направления зазора: при вырубке деталей по контуру матрица выполняется по номинальным размерам детали, зазор выдерживается за счет пуансона, т. е.

$$\dot{D}_m = d_m; \quad (27)$$

$$D_m = D_m - z. \quad (28)$$

При пробивке отверстия в детали, пуансон изготавливается по номинальным размерам, матрица — с учетом зазора, т. е.

$$D_m = d_{отв}; \quad (29)$$

$$D_m = D_m + z. \quad (30)$$

Исполнительные размеры рабочих частей штампа рассчитываются из условия сохранения максимально допустимых припусков на износ матрицы и пуансона.

Схемы построения допусков и зазоров при изготовлении штампа, а также формулы для определения исполнительных размеров приводятся в справочной литературе (см. [1], с. 572—582). В случае сложной конфигурации вырубаемой детали один из инструментов изготавливается по шаблону, а второй подготавливается по первому с соблюдением необходимых зазоров.

Пример. Необходимо произвести раскрой листа и рассчитать технологические параметры процесса изготовления заготовки, показанной на рис. 6. Материал заготовки—Д16АТ л. 1,5.

Анализируя геометрическую форму, размеры и назначение заготовки, приходим к следующим выводам:

- а) заготовка предназначена для изготовления детали гибкой;
- б) согласно рекомендациям, линиягиба детали не должна совпадать с направлением волокон;
- в) для предотвращения возможности повреждения поверхности материала, а также снижения утомляемости штамповщика при работе целесообразно принять в полосе одностороннее расположение заготовок;
- г) заготовки в полосе рационально располагать как указано на рис. 7;
- д) для удобства работы длина полосы не должна превышать 1,5—2 м.

Определяем ширину полосы (см. [1], табл. 169). При подаче полосы в штамп вручную и разрезке листов на гильотинных ножницах ширина полосы для раскроя листа по варианту (б)

$$B = D + 2b + \Delta_{ш},$$

где $D = 90$ мм — размер вырезаемой заготовки поперек полосы;
 $b = 2,2$ мм — наименьшая величина боковой перемычки (см. [1], табл. 166);

$\Delta_{ш} = 0,8$ мм — односторонний допуск на ширину полосы

$$B = 90 + 2 \cdot 2,2 + 0,8 = 95,2 \text{ мм.}$$

Для раскроя листа по варианту (а) $B = 100$ мм — (получено графическим построением с учетом величины $b = 2,2$ мм и $\Delta_{ш} = 0,8$ мм).

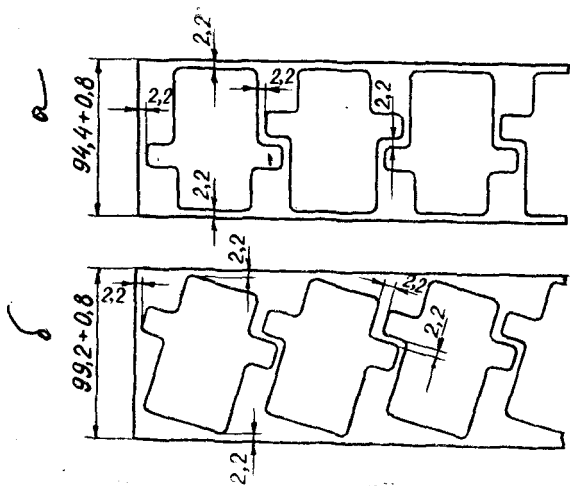


Рис. 7. Варианты расположения заготовок на полосе

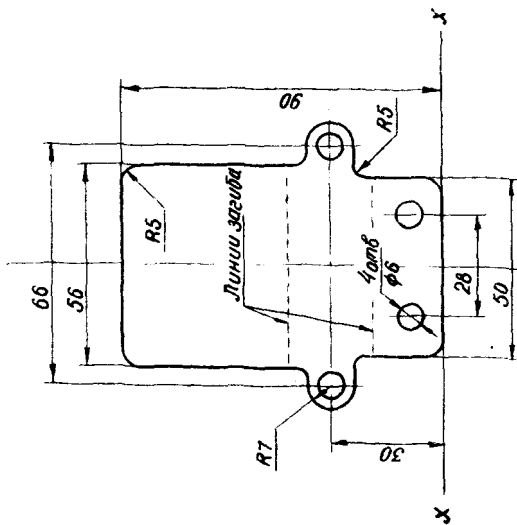


Рис. 6. Заготовка для детали, изготовленной гибкой

По ГОСТу выбираем листы габаритом $1,2 \times 2$ м и $1,5 \times 3,0$ м. Для того чтобы направления волокон не совпадали с линией изгиба, полосы необходимо нарезать поперек листов. Шаг расположения заготовок при раскрое определяем из геометрических построений. По варианту (а) — $t = 70$ мм; б) — $t = 72$ мм. Таким образом, из выбранных листов можно изготовить следующее количество заготовок (табл. 12):

Таблица 12

Габариты листов, м × м	Варианты раскроя	Количество		
		полос из листа	заготовок из полосы	заготовок из листа
1,2 × 2,0	а	2000: 95,2 ≈ 21	1200:70 ≈ 17	21·17 ≈ 356
	б	2000:100 ≈ 20	1200:72 ≈ 16	20·16 ≈ 320
1,5 × 3,0	а	3000: 95,2 ≈ 31	1500:70 ≈ 21	31·21 ≈ 651
	б	3000:100 ≈ 30	1500:72 ≈ 20	30·20 ≈ 600

Для определения площади заготовки разбиваем ее на ряд простых фигур: прямоугольники площадью $f_1 = 56(90 - 30 - 7) = 2968$ мм²; $f_2 = 50(30 - 7) = 1150$ мм²; $f_3 = 66 \cdot 14 = 924$ мм² и круг площадью $f_4 = \frac{\pi \cdot 14^2}{4} \approx 153$ мм². Общая площадь заготовки

$F = \sum_{i=1}^{i=n} f_i = 1150 + 924 + 2968 + 153 = 5195$ мм². Производим расчет коэффициента использования материала:

$$\eta_{1a} = \frac{5195 \cdot 357}{1200 \cdot 2000} \cdot 100 \approx 77,3\% ; \quad \eta_{1б} = \frac{5195 \cdot 320}{1200 \cdot 2000} \cdot 100 \approx 69,3\% .$$

$$\eta_{2a} = \frac{51,95 \cdot 651}{1500 \cdot 3000} \cdot 100 \approx 75,2\% ; \quad \eta_{2б} = \frac{51,95 \cdot 600}{1500 \cdot 3000} \cdot 100 \approx 69,2\% .$$

Наиболее экономичным будет раскрой из листа 1200×2000 — вариант (а). Резку листов на полосы будем производить на гильотинных ножницах с наклонным ножом. Ножницы подбирают по усилию резки и длине вырезаемых полос. Усилие резки

$$P = 0,5 \frac{S_0^2}{\text{tg } \varphi} \sigma_{ср} \cdot K = 0,5 \frac{1,5^2}{\text{tg } 20^\circ} 30 \cdot 1,3 \approx 1250 \text{ Н.}$$

По каталогу выбираем ножницы модели Н-472 (ГОСТ 6282-52).

Техническая характеристика ножниц

Наибольшая толщина разрезаемого листа (для материала с $\sigma_v = 500 \text{ кН/м}^2$)	1,6 мм
Наибольшая длина разрезаемого листа	1600 мм
Наибольшая ширина отрезаемой полосы	500 мм
Число ходов, мин	55
Габариты ножниц: длина	2400 мм
ширина	1445 мм
высота	1250 мм

Заготовки из полосы вырубам в инструментальном штампе совмещенного действия (вырубка—пробивка). Усилие вырубки определяем по формуле $P = LS_0 \sigma_{ср}$. Для заданной детали периметр вырубаемого контура (наружный и внутренний) будет равен

$$L = \pi \cdot 6,4 + 40 + 46 + 2 \cdot 13 + 43 \cdot 2 + \frac{\pi \cdot 10}{4} \cdot 8 + \frac{\pi \cdot 14}{2} \cdot 2 = 75,36 + 304,76 \approx 381 \text{ мм}.$$

Тогда

$$P = 381 \cdot 1,5 \cdot 300 = 171450 \text{ Н}.$$

Определяем усилие снятия отхода с пуансонов по формуле $P_{сн} = P K_{сн}$; $K_{сн} = 0,12$ (выбираем по табл. 9 [1] для $S_0 = 1,5 \text{ мм}$, тип штампа — многопуансонный). Тогда

$$P_{сн} = 0,12 \cdot 171450 \approx 20570 \text{ Н}.$$

Определяем усилие проталкивания заготовки через матрицу по формуле $P_{пр} = K_{пр} \cdot P$. При штамповке деталей в штампе совмещенного действия вырубамая заготовка продавливается через цилиндрический поясok матрицы (высоту пояса принимаем $h = 4 \text{ мм}$) и затем выталкивается обратно на поверхность матрицы. Отход при пробивке отверстий удаляется «на провал» через матрицу.

При вырубке с обратным выталкиванием (для заготовки): $K_{пр} = 0,14$; $n = 1$ и при вырубке на провал (для отхода):

$$K_{пр} = 0,1 \text{ и } n = \frac{4}{1,3} \approx 3. \text{ Тогда}$$

$$P_{пр} = 0,14 \cdot 305 \cdot 1,5 \cdot 300 \cdot 1,0 + 0,1 \cdot 75 \cdot 1,5 \cdot 300 \cdot 3 = 19215 + 10125 \approx 29340 \text{ Н}.$$

Общее усилие штамповки

$$P_{общ} = KP + P_{сн} + P_{пр} = 1,3 \cdot 171450 + 20570 + 29340 \approx 272845 \text{ Н} \approx 273 \text{ кН}.$$

6. ОПЕРАЦИИ ГИБКИ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА

При расчете технологических параметров гибки определяются размеры заготовки для изготовления детали, усилие гибки, величина пружинения материала, а также проверяется возможность изгиба заготовки по заданному радиусу. Кроме того, для получения качественной детали необходимо правильно выбрать схему штампа, определить зазор между матрицей и пуансоном (для П-образных деталей), радиус закругления кромок матрицы, глубину рабочей поверхности.

6.1. ПРОВЕРКА ВОЗМОЖНОСТИ ИЗГИБА ЗАГОТОВКИ ПО ЗАДАННОМУ РАДИУСУ

Проверка заключается в сопоставлении величины заданного радиуса изгиба борта детали с минимально допустимым для данного материала радиусом гибки — r_{min} .

Практически r_{min} определяется экспериментальным путем; величины r_{min} для различных материалов приводятся в справочниках (см. [1], табл. 23, 24, 25).

6.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЗАГОТОВКИ

Определение размеров заготовки (развертки) для деталей, изготавливаемых гибкой, производится по нейтральному слою, длина которого до и после деформации остается постоянной (рис. 8). Для тонких материалов ($S_0 < 1,0$ мм) при расчетах

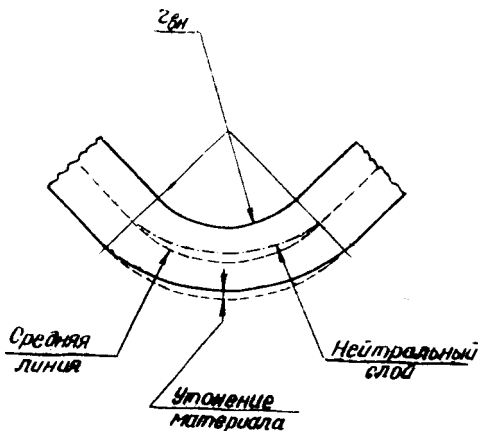


Рис. 8. Расположение нейтрального слоя в изгибаемой заготовке

условно принимается, что нейтральный слой проходит по середине сечения заготовки. При гибке более толстых заготовок, в результате утонения материала в очаге деформации и изменения формы поперечного сечения, нейтральный слой в месте изгиба смещается от середины сечения в сторону внутреннего радиуса изгиба (к пуансону). Это необходимо учитывать в расчетах длины заготовки. В общем случае длина заготовки в любом сечении определяется по формуле

$$L = \sum_{i=1}^{i=n} l_i + \sum_{i=1}^{i=n-1} \frac{\pi \varphi_i}{180} (r_{\text{вн } i} + x S_0), \quad (31)$$

где l_i — длина прямолинейного участка;

φ_i — угол изогнутого участка;

$$\varphi_i = 180 - \alpha_i,$$

α_i — внутренний угол гибки;

$r_{\text{вн } i}$ — внутренний радиус изгибаемой детали;

x — коэффициент, учитывающий смещения нейтрального слоя (см. [1], гл. II, п. II).

6.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЯ ГИБКИ

Усилие гибки определяется из условия равенства изгибающих моментов внутренних и внешних сил. Формулы для определения $M_{\text{изг}}$ и расчет усилия изгиба для различных схем гибки приводятся в справочниках (см. [1], с. 88—93).

6.4. РАСЧЕТ ПРУЖИНЕНИЯ МАТЕРИАЛА ПРИ ГИБКЕ

Детали, полученные гибкой, обычно не соответствуют форме деформирующего инструмента — они «отпружинивают». Основная причина этого заключается в наличии упругой составляющей деформации $\epsilon_{\text{упр}}$, которая неизбежно возникает при выполнении гибочных операций:

$$\epsilon = \epsilon_{\text{упр}} + \epsilon_{\text{пласт}}, \quad (32)$$

После снятия нагрузки упругая деформация исчезает — происходит разгрузка; деталь при этом изменяет свою форму. Поэтому для получения детали по чертежу необходимо производить корректировку инструмента с учетом пружинения материала. Доработка инструмента обычно производится по углу и величине радиусагиба.

При гибке листового материала по $r_{\text{вн}} > 10 S_0$ размеры инструмента определяются по следующим формулам:

$$r = \frac{1}{\frac{1}{r_0} + \frac{3 \sigma_T}{E S_0}}; \quad (33)$$

$$\alpha = \alpha_0 + \gamma; \quad (34)$$

$$\gamma = \alpha_0 \left(\frac{r_0}{r} - 1 \right); \quad (35)$$

$$\alpha = \alpha_0 \frac{r_0}{r}. \quad (36)$$

При гибке с $r_{\text{вн}} < 10 S_0$:

$$r_{\text{вн}} = \frac{1}{\frac{1}{r_0 + \frac{S_0}{2}} + \frac{3 \sigma_B}{E S_0}} - \frac{S_0}{2}; \quad (37)$$

$$\alpha = \left[1 + \frac{3 \sigma_B}{E} \left(\frac{r_0}{S_0} + \frac{1}{2} \right) \right] \alpha_0, \quad (38)$$

где r_0 — внутренний радиус изгибаемой детали (по чертежу);

r — радиус закругления пуансона;

α_0 — угол, на который гнется деталь (по чертежу);

α — угол пуансона с учетом корректирования;

γ — угол пружинения;

σ_T — напряжение текучести;

E — модуль упругости.

6.5. ВЫБОР КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ШТАМПОВОЙ ОСНАТКИ ДЛЯ ОПЕРАЦИИ ГИБКИ

К конструктивно-технологическим параметрам штамповой оснастки относятся:

1. Односторонний зазор — z между матрицей и пуансоном при двухугловой гибке. Он определяется в зависимости от толщины материала S_0 по формуле

$$z = S_0 (1 + n), \quad (39)$$

где n — коэффициент, зависящий от длины отгибаемых полок и толщины материала (см. [1], табл. 34). Иногда, с целью уменьшения пружинения, гибку производят с $z = S_0$, однако качество поверхности детали при этом снижается.

2. Радиусы закругления рабочей кромки матрицы

$$r_{\text{м}} = (2...3) S_0. \quad (40)$$

При уменьшении r_m на поверхности деталей наблюдаются вмятины, отпечатки рабочих кромок; утонение материала в очаге деформации возрастает.

3. Глубина рабочей полости матрицы — h . Для деталей, к которым не предъявляются высокие требования в отношении прямолинейности отгибаемых полок, данный параметр выбирается по формуле

$$h = r_{\Pi} + 2 S_0 + r_m, \quad (41)$$

где r_{Π} — радиус пуансона.

В противном случае глубина рабочей полости матрицы должна быть больше высоты изгибаемой детали.

4. Наличие прижима для повышения точности и прямолинейности дна детали при П-образной гибке. Определение возможности гибки деталей за один или несколько переходов, выбор конструктивных схем гибочных штампов, а также конкретные примеры техпроцессов и оснастки для выполнения гибочных операций приводятся в технической литературе [1, 11, 13, 20].

Пример. Рассчитать технологические параметры гибки для детали, представленной на рис. 9.

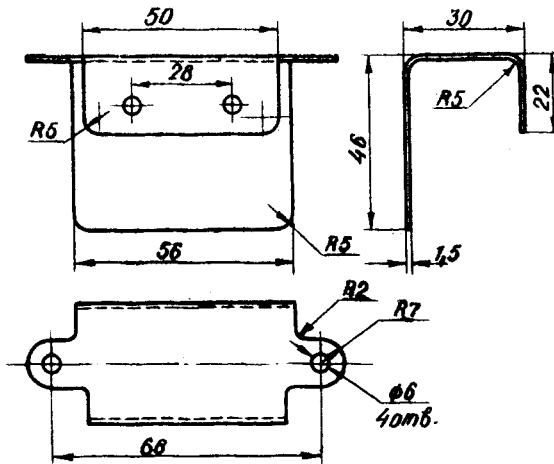


Рис. 9. Деталь, полученная гибкой из листовой заготовки

1. Определяем размеры заготовки:

$$L = 15,5 + 17 + 39,5 + 2 \left[\frac{\pi}{2} (5 + 0,47 \cdot 1,5) \right] = 89,9 \text{ мм.}$$

Учитывая, что деталь изготавливается по 12 качеству точности, принимаем для простоты расчета $L = 90$ мм.

2. Вычерчиваем развертку заготовки детали (см. рис. 6).

3. Производим проверку возможности изгиба заготовки по $r = 5$ мм. (Согласно [1], табл. 25 для материала Д16АТ после вырубki заготовок в инструментальном штампе $r_{min} = 3,0 S_0$; для данного случая $5 > 4,5$).

4. Определяем усилие гибки (см. [1], табл. 30, 32)

$$P = 2,5 B S_0 \sigma_{\pi} K_1,$$

где $B = 56$ мм — ширина детали; $K_1 = 0,2$ — для $\frac{l}{S_0} = \frac{6,8}{1,5} \approx 4,5$;

l — плечо в конце гибки, равное $l = r + 1,2 S_0 = 5 + 1,2 \cdot 1,5 = 6,8$ мм.

$$P = 2,5 \cdot 56 \cdot 1,5 \cdot 440 \cdot 0,2 = 18480 \text{ Н} = 18,5 \text{ кН}.$$

5. Определяем величину корректирования пуансона в связи с пружинением заготовки. Для $r_{вн} < 10 S_0$

$$r_{вн} = \frac{1}{\frac{1}{r_0 + \frac{S_0}{2}} + \frac{3 \sigma_{\pi}}{E \cdot S_0}} \cdot \frac{S_0}{2} = \frac{1}{\frac{1}{5 + \frac{1,5}{2}} + \frac{3 \cdot 44}{6900 \cdot 1,5}} \cdot \frac{1,5}{2} = 4,62 \text{ мм}.$$

В результате расчета получили $r_{вн} > r_{min}$, поэтому доработку инструмента произвести возможно.

7. ОПЕРАЦИИ ВЫТЯЖКИ

Задание на курсовое проектирование может предусматривать выполнение операций вытяжки как без утонения, так и с преднамеренным утонением стенок деталей. Детали могут иметь различную конфигурацию в плане, иметь или не иметь фланец.

7.1. РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ ЗАГОТОВКИ

Разработку технологического процесса вытяжки начинают с расчета размеров заготовки, из которой будет производиться штамповка — вытяжка заданной детали; исходные данные для расчета берутся из чертежа.

Для полых деталей, имеющих форму тел вращения, расчет ведется аналитическим методом, для деталей сложного в плане очертания — графоаналитическим методом.

Если чертежом предусматривается вытяжка с преднамеренным утонением стенок, размеры заготовки определяют из усло-

бня равенства объемов заготовки и детали. Если стенки детали имеют такую же толщину, как и заготовка, то изменением толщины материала в процессе вытяжки пренебрегают и расчет ведут из условия равенства поверхностей детали и заготовки.

Площадь последней при этом определяют по среднему размеру детали, равному полусумме наружного и внутреннего размеров. Однако для большинства деталей, которые включаются в задание на курсовое проектирование, определение размеров заготовки, вследствие сравнительно небольшой толщины штампуемого материала, можно производить по наружным размерам детали. Получаемые при этом погрешности имеют сравнительно небольшую величину и направлены на увеличение заготовки.

Во всех случаях при расчете заготовки следует учитывать припуск на обрезку, который необходим для получения высококачественных деталей заданных размеров с ровными краями.

Размер δ на обрезку цилиндрических деталей зависит от высоты H и диаметра d вытяжки; определяют его по эмпирической формуле*

$$\delta = \left(0,75 + 0,4 \frac{H}{d}\right) (1 + 0,02 H). \quad (42)$$

Полученный результат округляется с точностью до 0,5 мм в сторону увеличения припуска. Если деталь не имеет фланца, то припуск δ прибавляется к ее высоте; при наличии фланца припуск δ прибавляется к номинальному размеру его внешнего радиуса.

Расчет размеров заготовки ведется по формулам, приведенным в работах [1, 11, 13], которые в каждом отдельном случае выбираются студентом в зависимости от формы заданной детали. При малых радиусах закругления в углах деталей ($r < 1,5$ мм) можно пользоваться формулами, не учитывающими их. При $r > 1,5$ мм расчеты необходимо вести с учетом радиусов закругления.

При расчете заготовок для деталей прямоугольного очертания в плане и имеющих соотношения между радиусами закругления r углов и шириной B , а также высотой H и шириной B в пределах $r/B \leq 0,17$ и $H/B \leq 0,6$, детали разбиваются на ряд простейших элементов, для каждого из которых по соответствующим формулам рассчитываются размеры элементов заготовки. Для прямолинейных участков таких деталей расчет ведется так же, как и при выполнении простейших гибочных операций.

* Формула расчета припусков на обрезку деталей (42), формула определения коэффициентов вытяжки деталей с фланцем (50), формулы расчета радиусов закругления рабочей кромки матрицы при вытяжке деталей с фланцем и без фланца (52) и (53) выведены П. Я. Пытьевым на основе математической обработки обширных практических данных и проверены в заводских условиях.

Полученные размеры наносятся на миллиметровку, и очертание заготовки получают путем соединения нанесенных линий и точек плавной кривой. Острые углы при этом закругляются с тем расчетом, чтобы площади убавляемых и прибавляемых элементов были одинаковыми. Последовательность построения таких заготовок хорошо изложена в работах [1, 11, 12].

При вытяжке коробчатых деталей за две и больше операций (при $r/B > 0,17$ и $H/B > 0,6$) на прямолинейных участках происходит более сложная деформация штампуемого материала, чем при гибке, что сказывается на форме и размерах заготовки. Учитывая это, для квадратных деталей заготовку берут в форме круга, а для прямоугольных — в виде овала. Расчет таких заготовок выполняют по методике, изложенной в работе [1], с. 134—141.

Размеры припусков на обрезку деталей сложной конфигурации рассчитываются по формуле (42). Размер диаметра d при этом условно берется равным двум радиусам закругления угла детали. Если деталь имеет углы с разными радиусами закругления, то припуск рассчитывается для каждого из них. Для построения заготовки принимается наибольший припуск, который прибавляется к высоте детали по всему контуру.

Определение формы и размеров заготовки при вытяжке с преднамеренным утонением материала, когда толщина боковых стенок отличается от толщины исходной заготовки, производится по методике, изложенной в работе [1], с. 145.

Для получения окончательных размеров деталей по высоте или по форме и размерам фланца в технологическом процессе изготовления детали необходимо предусмотреть операцию обрезки припуска. В заключение студент оформляет чертеж заготовки.

Пример 1. Рассчитать диаметр заготовки для вытяжки цилиндрической детали, у которой дно и боковые стенки сопрягаются под углом 90° . Размеры цилиндра: $d_n = 80$ мм; $H = 90$ мм; $S_b = S_d = S_c = 1$ мм; $r_x = 1$ мм (рис. 10).

1. Припуск δ на обрезку определяем по формуле (42):

$$\delta = \left(0,75 + 0,4 \frac{H}{d_n} \right) (1 + 0,02 H) = \left(0,75 + 0,4 \frac{90}{80} \right) \times \\ \times (1 + 0,02 \cdot 90) \approx 3,5 \text{ мм.}$$

Тогда расчетная высота детали будет равна

$$H_1 = H + \delta = 90 + 3,5 = 93,5 \text{ мм.}$$

2. Поскольку $r_x < 1,5$ мм, для определения диаметра заготовки воспользуемся формулой, не учитывающей радиус за-

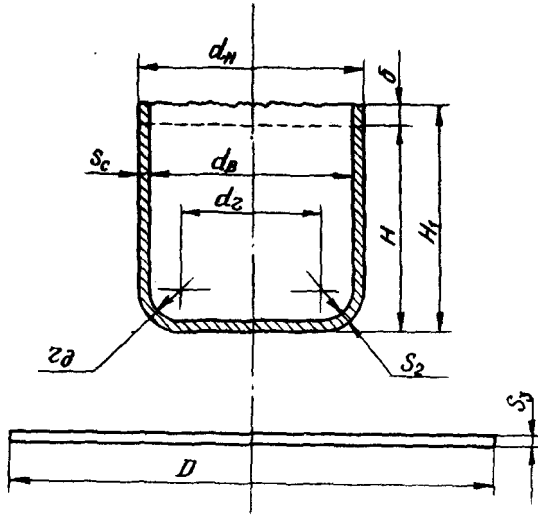


Рис. 10. Цилиндрическая деталь, полученная вытяжкой (к расчету диаметра заготовки)

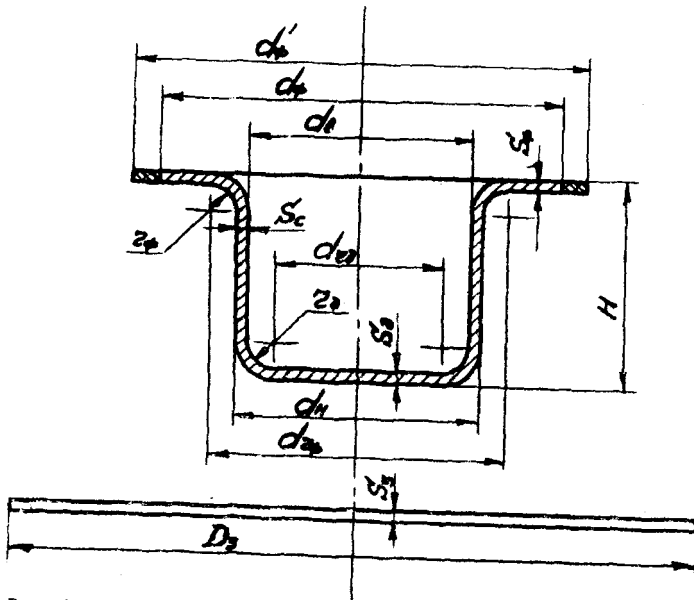


Рис. 11. Цилиндрическая деталь с фланцем, полученная вытяжкой (к расчету диаметра заготовки)

кругления у дна детали (см. [1], с. 120), расчет ведем по наружным размерам детали:

$$D_3 = \sqrt{d_n^2 + 4 d_n H} = \sqrt{80^2 + 4 \cdot 80 \cdot 93,5} \approx 191 \text{ мм.}$$

Пример 2. Определить диаметр заготовки для вытяжки цилиндрической детали с фланцем, у которой дно и боковые стенки и также боковые стенки и фланец сопрягаются под углом 90° . Размеры детали: $d_n = 60$ мм; $d_\phi = 90$ мм; $H = 70$ мм; $S_3 = S_c = S_x = S_\phi = 1$ мм; $r_x = r_\phi = 1,2$ мм (рис. 11).

1. Припуск на обрезку определяем по формуле (42)

$$\delta = \left(0,75 + 0,4 \frac{H}{d_n}\right) (1 + 0,02 H) = \left(0,75 + 0,4 \frac{70}{60}\right) \times \\ \times (1 + 0,02 \cdot 70) \approx 3,0 \text{ мм.}$$

Расчетный диаметр фланца с учетом припуска на обрезку будет равен

$$d'_\phi = d_\phi + 2\delta = 90 + 2 \cdot 3 = 96 \text{ мм.}$$

2. Поскольку $r_x = r_\phi < 1,5$ мм, для определения диаметра заготовки воспользуемся формулой без учета радиуса закругления

$$D = \sqrt{d_{\phi n}^2 + 4 d_\phi H} = \\ = \sqrt{96^2 + 4 \cdot 96 \cdot 70} \approx 160 \text{ мм.}$$

Пример 3. Рассчитать размеры и определить форму заготовки для прямоугольной коробочки, у которой дно и боковые стенки сопрягаются под углом 90° . Размеры детали: $L = 110$ мм; $B = 70$ мм; $H = 30$ мм; $r_x = 3$ мм; $r_k = 10$ мм; $S_c = S_x = S_3 = 2$ мм (рис. 12).

1. Деталь имеет следующие соотношения размеров:

$$\frac{r_k}{B} = \frac{10}{70} \approx 0,143 < 0,17 \text{ и } \frac{H}{B} = \frac{30}{70} \approx 0,43 < 0,6.$$

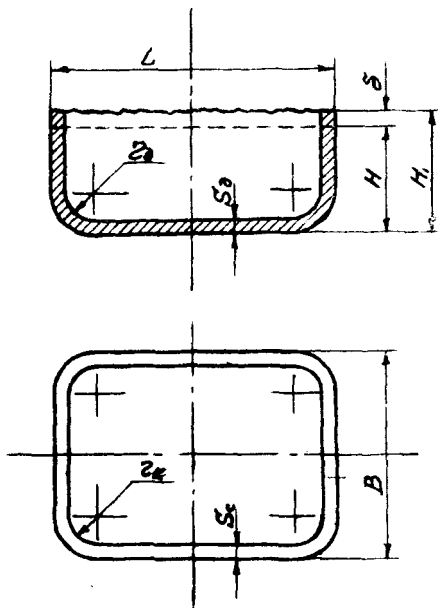


Рис. 12. Прямоугольная коробчатая деталь, полученная вытяжкой (к расчету размера заготовки)

при которых заготовку можно рассчитывать из предположения, что вытяжка происходит в основном в углах детали, а прямоугольные участки образуются путем гибки.

2. Определяем припуск на обрезку по формуле (42):

$$\delta = \left(0,75 + 0,4 \frac{H}{2r_k} \right) (1 + 0,02 H) = \left(0,75 + 0,4 \frac{30}{20} \right) \times \\ \times (1 + 0,02 \cdot 30) \approx 2,5 \text{ мм}.$$

Тогда расчетная высота детали будет равна

$$H_1 = H + \delta = 30 + 2,5 = 32,5 \text{ мм}.$$

3. Для графического построения заготовки вычерчиваем на миллиметровке в масштабе 1 : 1 или 1 : 2 один угол детали в двух проекциях. Для остальных углов этого делать не надо, так как радиусы закругления r_k для всех углов одинаковы (рис. 13).

4. Определяем длину отгибаемой части l стенки, включая закругления у дна:

$$l = H + \delta + 1,57 \left(r_k + \frac{S_c}{2} \right) + \frac{S_0}{2} = 30 + 2,5 + 1,57(3 + 1) + \\ + 1 \approx 40 \text{ мм}.$$

5. Определяем радиус закругления угла заготовки, исходя из условий вытяжки цилиндра диаметром $d_k = 2r_k = 20$ мм:

$$r_3 = \frac{1}{2} \sqrt{d_k^2 + 4d_k H - 1,72r_k d_k - 0,56r_k} = \\ = \frac{1}{2} \sqrt{20^2 + 4 \cdot 20 \cdot 32,5 - 1,72 \cdot 3 \cdot 20 - 0,56 \cdot 3} \approx 27 \text{ мм}.$$

6. В соответствии с расчетными размерами l и r_3 построим (см. рис. 13) угол заготовки со ступенчатым переходом (откла-

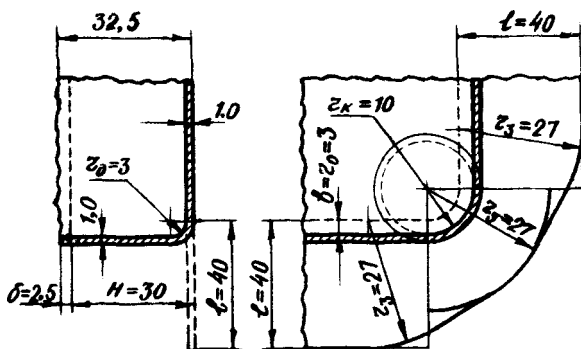


Рис. 13. Схема построения контура заготовки для прямоугольной детали (к расчету размеров и формы заготовки)

даваем длину отгибаемой части $l = 40,0$ мм и проводим линии, ограничивающие прямолинейные участки заготовки, проводим четверть окружности с радиусом $r_3 = 27$ мм).

7. Ступенчатый переход, равный $l + r_k - r_a - r_b = 40 + 10 - 3 - 27 = 20$ мм, делим пополам и через точку деления проводим касательную к окружности радиуса $r_3 = 27$ мм.

8. Углы между касательными и прямыми стенками заготовки закругляем радиусом $r_3 = 27$ мм.

Пример 4. Рассчитать размеры заготовки для цилиндрической детали, у которой плоское дно и боковые стенки имеют различную толщину и сопрягаются под углом 90° . Размеры детали: $d_n = 50$ мм; $H = 100$ мм; $S_c = 1$ мм; $S_a = S_b = 3$ мм; $r_d = 1,5$ мм (рис. 14).

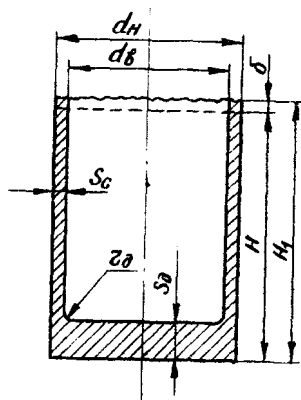


Рис. 14. Цилиндрическая деталь, полученная вытяжкой с утонением боковой стенки (к расчету диаметра заготовки)

1. Припуск на обрезку детали будет равен

$$\delta = \left(0,75 + 0,4 \frac{H}{d_n}\right) (1 + 0,02 H) = \left(0,75 + 0,4 \frac{100}{50}\right) \times \\ \times (1 + 0,02 \cdot 100) \approx 5 \text{ мм.}$$

Тогда

$$H_1 = H + \delta = 100 + 5 = 105 \text{ мм.}$$

2. Диаметр заготовки определяем из условия равенства объемов материала заготовки и детали:

$$V_{\text{заг}} = V_{\text{дет}}; \frac{\pi D^2 S_3}{4} = \frac{\pi d_n^2 S_d}{4} + \frac{\pi (d_n + d_b)}{2} (H_1 - S_a) S_c.$$

Откуда

$$D = \sqrt{\frac{2}{S_3} \left[\frac{d_n^2 S_d}{2} + (d_n + d_b) (H_1 - S_a) S_c \right]} = \\ = \sqrt{\frac{2}{3} \left[\frac{50^2 \cdot 3}{2} + (50 + 48) (105 - 3) 1 \right]} \approx 96 \text{ мм.}$$

7.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ОПЕРАЦИИ ВЫТЯЖКИ И ОПЕРАЦИОННЫХ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛИ

После определения формы и размеров заготовки выполняют расчеты по определению количества операций вытяжки и операционных размеров деталей. Студент при этом должен помнить,

что от правильности и точности выполнения этого этапа технологических расчетов зависит экономичность разработанного технологического процесса штамповки и качество отштампованных деталей. Необходимо стремиться к получению высококачественных деталей при минимально возможном количестве операций вытяжки в штампах наиболее простой конструкции и минимальной их стоимости.

В начале необходимо решить, как будет осуществляться процесс вытяжки: с прижимом заготовки или без прижима. Это решение принимается в зависимости от относительной толщины Δ материала штампуемой детали. Для первой операции при штамповке цилиндрических деталей берут отношение толщины материала S к диаметру заготовки D , а для последующих операций к диаметру изделия, полученному на предыдущей вытяжке (d_{n-1}):

$$\Delta_1 = \frac{S_0}{D} \cdot 100; \quad (43)$$

$$\Delta_n = \frac{S_0}{d_{n-1}} \cdot 100. \quad (44)$$

Если деталь имеет сложную форму в плане, то при первой вытяжке берут отношение половины толщины материала к наибольшему радиусу закругления угла заготовки R , а для последующих вытяжек — к наибольшему радиусу закругления угла изделия, полученному на предыдущей операции r_{n-1} :

$$\Delta_1 = \frac{S_0}{2R} \cdot 100; \quad (45)$$

$$\Delta_n = \frac{S_0}{2r_{n-1}} \cdot 100. \quad (46)$$

При $\Delta_1 < 1,5$, применяют вытяжку с прижимом и при $\Delta_1 > 2$ — без прижима. При $\Delta_1 = 1,5 \dots 2,0$ возможны оба варианта. Аналогично ведут расчет и для последующих операций; при $\Delta_n < 2,0$ производится вытяжка с прижимом и при $\Delta_n > 2,0$ — без прижима.

Расчет количества операций вытяжки и операционных размеров деталей ведут наиболее простым способом, через экспериментально установленный коэффициент вытяжки, без определения действительных напряжений, возникающих в процессе деформации штампуемого материала.

В случае вытяжки цилиндрических деталей без преднамеренного утонения материала расчеты диаметра d_1 при первой операции выполняются по хорошо известной формуле

$$d_1 = m_1 D_s \quad (47)$$

и для последующих операций — по формуле

$$d_n = m_n d_{n-1}. \quad (48)$$

Коэффициенты вытяжки в случае штамповки цилиндрических деталей без фланца со складкодержателем и без преднамеренного утонения материала, при радиусе закругления рабочих кромок пуансона и матрицы на первых операциях $r = (6 - 10) S_0$, приведены в табл. 13.

Таблица 13

Материал	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
Стали 0,5 08ВГ; 10ВГ	0,46—0,59	0,72—0,78	0,74—0,80	0,76—0,83	0,78—0,85
Стали 08; 10Г; 15Г	0,47—0,60	0,74—0,80	0,76—0,82	0,78—0,85	0,80—0,87
Стали 10...25; Сталь 2, де- капирован- ная сталь	0,53—0,67	0,77—0,84	0,80—0,86	0,82—0,88	0,84—0,90
Сталь 30ХГСА	0,65—0,80	0,90—0,97	0,93—0,98	0,94—0,99	0,95—0,99
Сталь не- ржавеющая 1Х18Н9Т 1Х18Н10Т	0,59—0,74	0,85—0,92	0,88—0,94	0,90—0,96	0,92—0,98
Латунь мяг- кая холодно- катанная Л68; Л62	0,44—0,51	0,63—0,67	0,65—0,68	0,66—0,69	0,68—0,71
Медь мягкая М1; М2 МЗ	0,45—0,56	0,68—0,75	0,70—0,76	0,71—0,77	0,73—0,79
Алюминий мягкий А; АО	0,45—0,57	0,69—0,76	0,70—0,78	0,72—0,79	0,75—0,80
Алюминие- вые сплавы отожженные АМцАМ; АВА-М	0,46—0,58	0,70—0,77	0,73—0,79	0,74—0,80	0,76—0,82
Алюминие- вый сплав отожженный АМГАМ	0,47—0,59	0,72—0,79	0,75—0,81	0,76—0,83	0,78—0,84

Материал	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
Алюминиевый сплав отожженный АМг6М	0,49—0,61	0,74—0,81	0,77—0,83	0,78—0,85	0,80—0,86
Дюралюминий отожженный или свежезакаленный Д16АМ	0,62—0,78	0,89—0,96	0,92—0,97	0,93—0,98	0,95—0,99
Магниевый сплав МА8 при холодном деформировании	0,83—0,95	—	—	—	—
Магниевый сплав МА8 при вытяжке с подогревом до 330—350°C	0,40—0,50	0,60—0,67	0,62—0,69	0,64—0,71	0,66—0,73
Титановый сплав ВТ5 отожженный	0,68—0,85	0,92—0,98	—	—	—

Большие значения приведенных коэффициентов вытяжки (в столбцах справа) соответствуют относительной толщине материала $\frac{S_0}{D} 100 = 0,1$, меньшие значения (в столбцах слева) — $\frac{S_0}{D} 100 = 2,0$. Коэффициенты вытяжки для промежуточных значений относительной толщины, а также для $\frac{S_0}{D} 100 < 0,1$ и $> 2,0$ определяются способом интерполирования. Так, например, для стали 08 и относительной толщины материала $\frac{S_0}{D} 100 = 1,0$ коэффициент вытяжки для первой операции определится из соотношения

$$\frac{0,60 - 0,47}{2,0 - 0,1} = \frac{m_1 - 0,47}{2,0 - 1,0}.$$

Отсюда

$$m_1 = \frac{(0,60 - 0,47)(2,0 - 1,0)}{2,0 - 0,1} + 0,47 \approx 0,54.$$

Если для вытяжки заданной детали потребуется больше пяти операций, значения коэффициента вытяжки для них берутся равными m_5 .

Если в штампах первых операций радиусы закругления рабочих кромок пуансонов и матриц отличаются от $r = (6 \dots 10)S_0$, то полученные коэффициенты вытяжки умножают на поправочный коэффициент K_K :

$$m_1' = m_1 K_K. \quad (49)$$

Коэффициент K_K при увеличении радиусов до $r = (11 \div 15)S_0$ берется равным $K_K = 0,97$ и при уменьшении радиусов до $r = (3 \div 5)S_0$ — $K_K = 1,2$. Количество операций вытяжки, необходимое для получения заданной цилиндрической детали, ориентировочно можно найти в зависимости от $\frac{S_0}{D_3} 100$ и $\frac{h_1}{d_n}$ по табл. 14.

Таблица 14

Количество вытяжных операций	Наибольшее значение $\frac{h_1}{d_n}$ при относительной толщине заготовки $\frac{S_0}{D_3} 100$					
	2—1,5	1,5—1,0	1,0—0,6	0,6—0,3	0,3—0,15	0,15—0,8
1	0,75	0,65	0,58	0,5	0,45	0,38
2	1,5	1,3	1,1	1,0	0,85	0,7
3	2,5	2,2	1,8	1,6	1,4	1,1
4	4,0	3,3	2,8	2,3	2,0	1,6
5	6,0	4,8	4,0	3,2	2,7	2,1
6	8,5	6,5	5,3	4,2	3,4	2,6

Примечание. Приведенные значения h/d относятся к стали 08 и 10Г. Для стали 05 и 08ВГ, а также алюминия и мягкой латуни следует брать ближайшие большие значения, а для листовой стали обычного качества (Ст.1, Ст.2 и декапированной стали) ближайшие меньшие значения.

Точное количество вытяжных операций определяется путем расчета операционных диаметров, последний из которых должен быть равен диаметру изделия.

В случае вытяжки деталей с фланцем, вследствие уменьшения степени деформации по сравнению с деталями без фланцев, для первой операции применяются более жесточенные коэффициенты, которые зависят от относительной величины фланца $\frac{d_{\phi}}{d}$ и могут быть определены по эмпирической формуле

$$m_{\phi} = m_1 - 0,1 \left(\frac{d_{\phi}}{a} - 1 \right), \quad (50)$$

где m_1 — коэффициент первой вытяжки для цилиндрических деталей без фланца, который берут из табл. 13.

В связи с тем, что условия вытяжки деталей с фланцем на второй и последующих операциях одинаковы с деталями без фланца, коэффициенты вытяжки для них берутся из табл. 13 без какой-либо корректировки.

Вытяжку без складкодержателя (в случае, если $\frac{S_0}{D} 100 > 2$) рекомендуется выполнять в штампах с конической матрицей (рис. 15). Коэффициент вытяжки при этом изменяется в зависимости от соотношения между нижним d_2 и верхним d_1 диаметрами ее конусного отверстия. Значения коэффициентов m для первой вытяжки без прижима приведены в табл. 15.

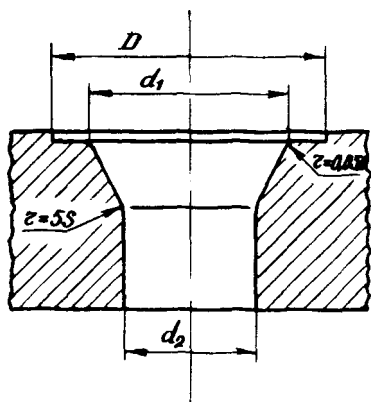


Рис. 15. Вытяжная матрица с конической рабочей проемой

Меньшие (левые в столбцах значения m соответствуют относительной толщине заготовки $\frac{S_0}{D} 100 = 3$) и большие (правые в столбцах) $\frac{S_0}{D} 100 =$

$= 1,0$. Коэффициенты вытяжки для промежуточных значений относительной толщины заготовки находят способом интерполирования.

Коэффициенты вытяжки для второй и последующих операций при штамповке без складкодержателя берут такими же, как и при штамповке со складкодержателем, т. е. согласно табл. 13.

При вытяжке прямоугольных коробчатых деталей с закругленными углами, удовлетворяющих соотношениям $\frac{r}{B} \leq 0,17$ и $\frac{H}{B} \leq 0,6$, расчет операционных размеров выполняют по углу, имеющему наименьший радиус закругления. В этом случае коэффициент вытяжки, в связи с тем, что прямые участки контура уменьшают степень деформации материала в углах и повышают устойчивость фланца к образованию гофра, берут меньшей величины, чем при вытяжке цилиндрических деталей. Следует иметь

Таблица 15

Материал	Отношение d_2/d_1		
	0,6	0,7	0,8
Стали 05; 08ВГ; 10ВГ	0,49—0,58	0,57—0,66	0,62—0,73
Стали 08; 10Г; 15Г	0,50—0,59	0,58—0,67	0,65—0,74
Стали 10-25; Ст. 2; Ст. 3; декапировальная сталь	0,57—0,66	0,66—0,75	0,74—0,83
Сталь 30ХГСА	0,70—0,78	0,81—0,90	0,91—0,99
Сталь нержавеющая 1Х18Н9Т; 1Х18Н10Т	0,63—0,73	0,72—0,83	0,82—0,92
Латунь мягкая Л68; Л62	0,46—0,56	0,54—0,63	0,60—0,71
Медь мягкая М1, М2; М3	0,47—0,57	0,55—0,65	0,61—0,72
Алюминий мягкий А; ОА	0,48—0,58	0,56—0,66	0,63—0,73
Алюминиевые отожженные сплавы АМцАМ АВА-М	0,49—0,59	0,57—0,67	0,64—0,74
Алюминиевый отожженный сплав АМгА-М	0,50—0,60	0,59—0,68	0,66—0,76
Алюминиевый отожженный сплав АМг6-М	0,52—0,62	0,61—0,73	0,69—0,81
Дюралюминий отожженный или све- жезакаленный Д16АМ	0,66—0,77	0,76—0,88	0,86—0,97
Магнийевый сплав МА8 при холодном деформировании	0,89—0,95	—	—
Магнийевый сплав МА8 при вытяжке с подогревом до 330—350°C	0,43—0,50	0,48—0,57	0,56—0,65
Титановый отожженный сплав ВТ5	0,75—0,85	0,84—0,97	—

в виду, что коэффициенты вытяжки для таких деталей зависят также и от отношения $\frac{r}{B}$.

Значения m_1 с учетом этой зависимости для коробчатых деталей без фланца при штамповке со складкодержателем, без утонения стенок приведены в табл. 16.

Большие значения коэффициентов вытяжки (в столбцах справа) соответствуют относительной толщине штампуемого материала $\frac{S_0}{D} 100 = 0,1$ и меньшие значения (в столбцах слева) — $\frac{S_0}{D} 100 = 2,0$ (здесь D — ширина заготовки). Промежуточные значения m_1 находят способом интерполирования.

Если коробчатая деталь имеет фланец, то коэффициенты вытяжки, найденные по табл. 16, корректируются в зависимости от

Материал	Отношение $\frac{S_0}{D} 100$							
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
Стали 0,5; 08 ВГ, 10 ВГ	0,27—0,31	0,28—0,33	0,29—0,35	0,31—0,37	0,33—0,39	0,35—0,41	0,37—0,44	0,39—0,47
Стали 08; 10 Г; 15 Г	0,28—0,32	0,29—0,34	0,31—0,36	0,33—0,38	0,35—0,40	0,37—0,43	0,39—0,46	0,41—0,49
Стали 10-25; Сталь 2, Сталь 3; декапированная сталь	0,31—0,36	0,32—0,38	0,34—0,40	0,36—0,43	0,38—0,46	0,40—0,49	0,42—0,52	0,44—0,55
Сталь 30ХГСА	0,38—0,44	0,39—0,47	0,42—0,49	0,44—0,53	0,47—0,56	0,49—0,60	0,52—0,64	0,54—0,67
Сталь нержавеющей IX18H9T; IX18H10T	0,35—0,39	0,37—0,41	0,39—0,44	0,41—0,47	0,43—0,50	0,45—0,53	0,47—0,56	0,50—0,59
Латушь мягкая Л68; Л62	0,26—0,28	0,27—0,30	0,28—0,32	0,29—0,34	0,31—0,36	0,33—0,38	0,35—0,41	0,37—0,44
Медь мягкая М1; М2; М3	0,27—0,30	0,28—0,32	0,29—0,34	0,30—0,36	0,32—0,38	0,34—0,40	0,36—0,42	0,38—0,45
Алюминий мягкий А; А0	0,27—0,31	0,28—0,33	0,29—0,35	0,31—0,37	0,33—0,39	0,35—0,41	0,37—0,44	0,39—0,47
Алюминиевые отожженные сплавы АМцАМ; АВА-М	0,28—0,32	0,29—0,34	0,30—0,36	0,32—0,38	0,34—0,40	0,36—0,42	0,38—0,45	0,40—0,48
Алюминиевый отожженный сплав АМгМ	0,29—0,33	0,30—0,35	0,31—0,37	0,33—0,39	0,35—0,41	0,37—0,43	0,39—0,46	0,41—0,49
Алюминиевый отожженный сплав АМг6М	0,30—0,34	0,31—0,36	0,32—0,38	0,34—0,40	0,46—0,43	0,38—0,45	0,40—0,50	0,43—0,51
Дюралюминий отожженный или свежеспаленный Д16АМ	0,37—0,42	0,39—0,44	0,41—0,47	0,43—0,50	0,45—0,53	0,47—0,57	0,50—0,61	0,53—0,65
Магневый сплав МА8 при холдном деформировании	0,50—0,56	0,52—0,59	0,55—0,63	0,59—0,67	0,60—0,71	0,63—0,76	0,67—0,81	0,71—0,87
Магневый сплав МА8 при вытяжке с подогревом до 330—350°С	0,24—0,27	0,25—0,28	0,27—0,31	0,28—0,32	0,29—0,34	0,31—0,37	0,32—0,39	0,34—0,42
Титановый сплав ВТ5 отожженный	0,41—0,46	0,43—0,48	0,45—0,51	0,47—0,55	0,50—0,58	0,52—0,63	0,55—0,67	0,58—0,72

его относительной величины по формуле (50). Вместо $\frac{d_\phi}{a}$ в нее подставляют $\frac{R_\phi}{R}$.

Для высоких прямоугольных коробок, которые вытягиваются за две и более операций, технологические расчеты следует выполнять так же, как для цилиндрических деталей. Пооперационные размеры деталей при этом рассчитываются через коэффициенты вытяжки, которые можно брать из табл. 13. Методика расчета для таких деталей хорошо изложена в работе [1].

При вытяжке деталей с преднамеренным утонением материала расчеты пооперационных размеров выполняются по методике, изложенной в работах [1, 11, 12].

Для каждой операции, кроме поперечных и продольных операционных размеров, рассчитывается также высота детали. Расчет ведется по формулам, приведенным в работе [1] (с. 154—156).

Полученные путем расчета операционные размеры деталей округляются с точностью до 0,5 мм в сторону их увеличения. В технологических картах (прил. 3, вкладка) студент выполняет операционные эскизы с простановкой всех размеров. В расчетно-пояснительной записке вычерчивается совмещенный пооперационный эскиз деталей.

Пример 1. Рассчитать операционные размеры вытяжек для цилиндрической детали, изображенной на рис. 10. Ее размеры такие же, как и в примере 1 (п. 7.1.). Размер заготовки $D_3 = 191$ мм. Материал — сталь 20.

1. Определяем относительную толщину заготовки и отношение $\frac{h_1}{d_n}$:

$$\Delta_1 = \frac{S_0}{D} \cdot 100 = \frac{1}{191} \cdot 100 \approx 0,524; \quad \frac{h_1}{d_n} = \frac{93,5}{80} \approx 1,17.$$

2. По табл. 14 определяем примерное количество операций вытяжки, необходимых для получения заданной детали. (Примерно три операции).

3. По табл. 13 находим коэффициенты вытяжки для трех операций:

$$m_1 = 0,53 + \frac{(0,67 - 0,53)(2 - 0,524)}{2 - 0,1} \approx 0,64;$$

$$m_2 = 0,77 + \frac{(0,84 - 0,77)(2 - 0,524)}{2 - 0,1} \approx 0,83;$$

$$m_3 = 0,8 + \frac{(0,86 - 0,8)(2 - 0,524)}{2 - 0,1} \approx 0,85.$$

4. Подсчитываем операционные диаметры вытяжек:

$$d_1 = 191 \cdot 0,64 \approx 122 \text{ мм};$$

$$d_2 = 122 \cdot 0,83 \approx 102 \text{ мм};$$

$$d_3 = 102 \cdot 0,85 \approx 87 \text{ мм}.$$

Как видим, трех операций вытяжки для получения заданной детали ($d = 80$ мм и $h = 93,5$ мм) недостаточно.

По табл. 13 находим коэффициент вытяжки для четвертой операции

$$m_4 = 0,82 + \frac{(0,88 - 0,82)(2 - 0,524)}{2 - 0,1} \approx 0,85.$$

Подсчитываем диаметр четвертой вытяжки $d_4 = 87 \cdot 0,87 \approx 76$ мм.

Таким образом, для изготовления заданной детали необходимо четыре операции вытяжки.

Диаметр последней вытяжки получился меньше заданного. Это свидетельствует о том, что степень деформации по заданному диаметру будет меньше допустимой (фактически $m_4 = \frac{80}{87} = 0,92$, вместо 0,87 по таблице), тогда как на первых трех операциях пластические свойства материала будут использованы полностью.

Необходимо выровнять степень деформации по всем операциям. При этом штамповка будет происходить более уверенно и вероятность брака уменьшится. Принимаем следующие менее напряженные коэффициенты вытяжки: $m_1 = 0,65$; $m_2 = 0,84$; $m_3 = 0,86$; $m_4 = 0,89$.

Тогда операционные диаметры вытяжек будут равны: $d_1 = 124$ мм; $d_2 = 104$ мм; $d_3 = 90$ мм; $d_4 = 80$ мм.

5. Для облегчения вытяжек на первых трех операциях принимаем скошенную форму перехода от дна к боковым стенкам детали.

6. Подсчитываем операционные размеры высоты деталей, пользуясь формулами, приведенными в работе [1]:

$$h_1 = 0,25 \left(\frac{D}{m_1} - d_1 \right) = 0,25 \left(\frac{191}{0,65} - 124 \right) \approx 42,5 \text{ мм};$$

$$h_2 = 0,25 \left(\frac{D}{m_1 \cdot m_2} - d_2 \right) = 0,25 \left(\frac{191}{0,65 \cdot 0,84} - 104 \right) \approx 61,5 \text{ мм};$$

$$h_3 = 0,25 \left(\frac{D}{m_1 \cdot m_2 \cdot m_3} - d_3 \right) = 0,25 \left(\frac{191}{0,65 \cdot 0,84 \cdot 0,86} - 90 \right) \approx 79 \text{ мм}.$$

7. Вычерчиваем совмещенный пооперационный эскиз вытяжки с простановкой всех основных размеров (рис. 16).

Пример 2. Рассчитать операционные размеры для цилиндрической детали с фланцем, изображенной на рис. 11. Размеры указаны в примере 2 (п. 7.1). Размер заготовки $D = 162$ мм. Материал — латунь Л68.

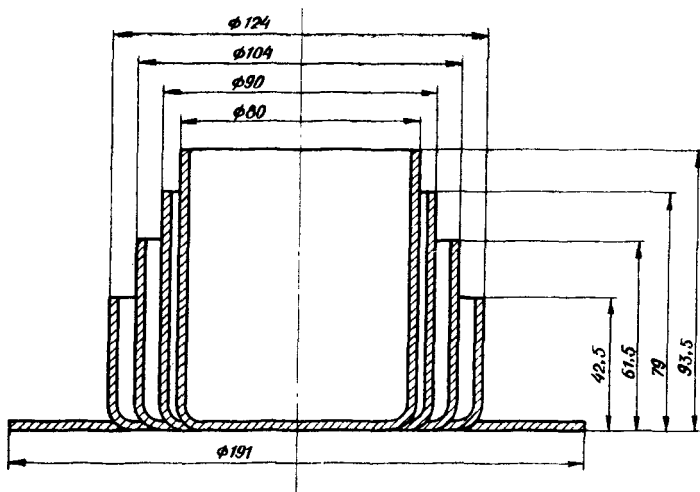


Рис. 16. Совмещенная пооперационная схема вытяжки детали, изображенной на рис. 10

1. Определяем относительную толщину заготовки и отношение $\frac{H}{d_n}$:

$$\Delta_1 = \frac{S_0}{D} \cdot 100 = \frac{1}{162} \cdot 100 \approx 0,62; \quad \frac{H}{d_n} = \frac{70}{60} \approx 1,16.$$

2. По табл. 14 находим ориентировочное количество операций вытяжки, необходимое для полного изготовления детали. Деталь может быть изготовлена за две вытяжки.

3. По табл. 13 находим коэффициент первой вытяжки для цилиндрической детали без фланца:

$$m_1 = 0,44 + \frac{(0,51 - 0,44)(2 - 0,62)}{2 - 0,1} \approx 0,49.$$

4. Определяем относительную величину фланца:

$$\frac{d_{\text{фн}}}{d_n} = \frac{96}{60} \approx 1,6.$$

Корректируем по формуле (51) рассчитанный по таблице коэффициент вытяжки в зависимости от относительной величины фланца:

$$m_{\text{ф}} = m_1 - 0,1 \left(\frac{d_{\text{фн}}}{d_n} - 0,1 \right) = 0,49 - 0,1 (1,6 - 1,0) \approx 0,43.$$

Коэффициент второй вытяжки находим по табл. 13:

$$m_2 = 0,63 + \frac{(0,67-0,63)(2-0,62)}{2-0,1} \approx 0,66.$$

5. Подсчитываем операционные диаметры вытяжки:

$$d_1 = 162 \cdot 0,43 \approx 70 \text{ мм};$$

$$d_2 = 70 \cdot 0,66 \approx 46,5 \text{ мм}.$$

Диаметр d_2 имеет размер меньше заданного, в связи с чем вторая операция будет не догружена ($m_2 = \frac{60}{70} \approx 0,86$ вместо 0,66 допустимых по пластическим свойствам штампуемого материала), тогда как первая операция будет предельно загруженной. Для выравнивания степени деформации между первой и второй операциями примем следующие коэффициенты вытяжки: $m_{\phi} = 0,49$; $m_2 = 0,76$.

Тогда операционные диаметры вытяжек будут равны: $d_1 = 80$ мм; $d_2 = 60$ мм.

6. Для облегчения вытяжки на первой операции принимаем скошенную формулу рабочего контура пуансона.

7. Определяем высоту первой вытяжки по формуле, приведенной в работе [1]. Радиусы закругления r_1 на первой операции принимаем равным 2 мм.

$$\begin{aligned} \text{Тогда } h_1 &= 0,25 \left(\frac{D}{m_{\phi}} - \frac{d_{\phi}^2}{d_1} + 3,44r_1 \right) = 0,25 \left(\frac{162}{0,49} - \frac{96^2}{80} + \right. \\ &\left. + 3,44 \cdot 2 \right) \approx 56 \text{ мм} \quad \text{и} \quad h_2 = 70 \text{ мм}. \end{aligned}$$

8. Вычерчиваем совмещенный операционный эскиз вытяжки с постановкой всех основных размеров (рис. 17).

Пример 3. Рассчитать операционные размеры для цилиндрической детали, изображенной на рис. 14, при штамповке с утонением стенок. Размеры детали указаны в примере 4 (п. 7.1) Размер заготовки $D = 96$ мм. Материал АМцАМ. Высота готовой детали с припуском на обрезку $H_1 = 105$ мм.

1. Определяем относительную толщину заготовки

$$\Delta_1 = \frac{S_3}{D} \cdot 100 = \frac{3}{96} \cdot 100 \approx 3,12.$$

2. Принимаем, что первая вытяжка будет выполняться без преднамеренного утонения штампуемого материала. Последующее утонение стенок будет осуществляться за счет уменьшения внешнего диаметра детали. Внутренний ее диаметр получит окончательный размер ($d_{\text{вн}} = 48$ мм) при первой вытяжке и на последующих операциях изменяться не будет.

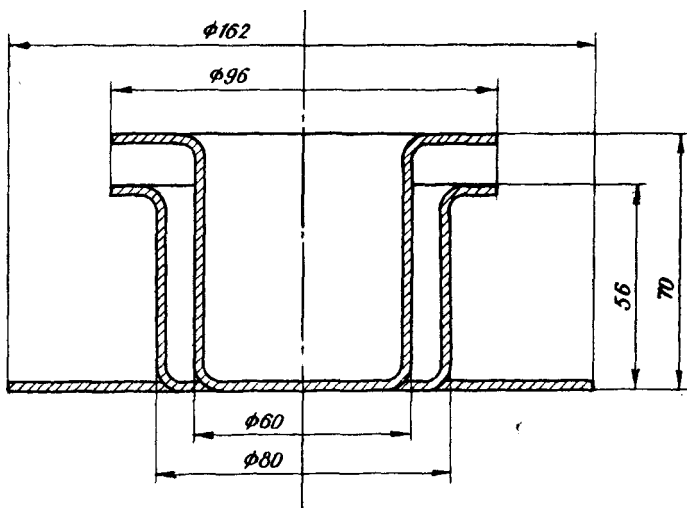


Рис. 17. Совмещенная пооперационная схема вытяжки детали с фланцем

3. Находим коэффициент вытяжки для первой операции по табл. 13.

$$m_1 = 0,46 \frac{(0,58 - 0,46) (3,12 - 2)}{2 - 0,1} \approx 0,39.$$

4. Находим размеры первой вытяжки: $d_1 = D \cdot m_1 = 96 \cdot 0,39 \approx 38,5$ мм.

Однако по принятому условию 2 необходимо, чтобы внутренний диаметр был равен $d_{\text{вн}} = 48$ мм, а наружный до утонения стенки $d_{\text{н}} = 54$ мм. Для получения этих размеров первая вытяжка будет происходить со значительно меньшей степенью деформации по сравнению с допускаемой. Действительный коэффициент вытяжки при этом составит

$$m_1 = \frac{54}{96} \approx 0,57.$$

Высота первой вытяжки будет равна

$$h = 0,25 \left(\frac{D}{m_1} - d_1 \right) = 0,25 \left(\frac{96}{0,57} - 54 \right) \approx 28,6 \text{ мм.}$$

5. Подсчитываем операционные размеры детали при второй операции (первой перетяжке):

$$d_2 = d_1 - 2(S_1 - S_2);$$

$$S_2 = m_{y1} \cdot S_1 = 0,4 \cdot 3 = 1,2 \text{ мм.}$$

Коэффициент утонения стенки m_{y1} находим по табл. 78 в работе [1]. Тогда $d_2 = 54 - 2(3 - 1,2) = 50,4$ мм.

Высоту детали после первой перетяжки найдем из соотношения

$$\frac{\pi D^2 S_3}{4} = \frac{\pi d_2^2 S_2}{4} + \frac{\pi (d_2 + d_B) S_{c2}}{2} (H_2 - S_3).$$

Отсюда

$$H_2 = \frac{S_3 (D^2 - d_2^2)}{2 S_{c2} (d_2 + d_B)} + S_3 = \frac{3 (96^2 - 50,4^2)}{2 \cdot 1,2 (50,4 + 48)} + 3 \approx 88 \text{ мм.}$$

6. В соответствии с минимально допустимым коэффициентом перетяжки ([1], табл. 78), толщина стенки при второй перетяжке может быть $S_3 = m_{y2} \cdot S_2 = 0,60 \cdot 1,2 \approx 0,72$ мм.

Заданная толщина стенки готовой детали $S_c = 1,0$ мм. Следовательно, вторая перетяжка будет происходить при меньшей степени деформации штампуемого материала. Действительный коэффициент перетяжки при этом будет равен

$$m_{y2} = \frac{1}{1,2} \approx 0,84.$$

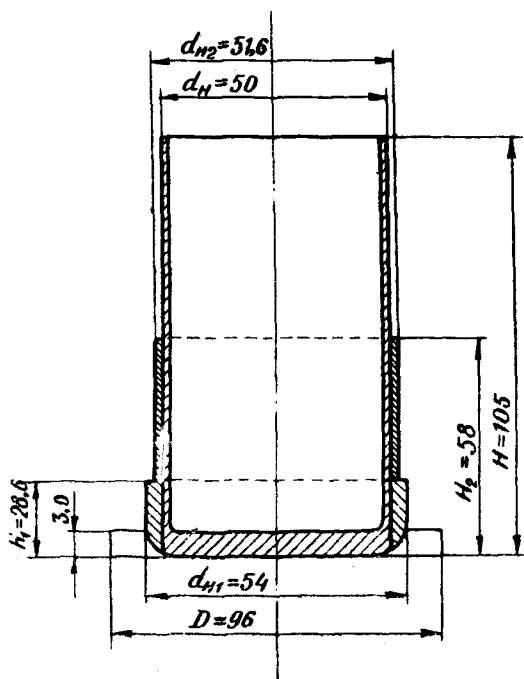


Рис. 18. Совмещенная пооперационная схема вытяжки детали с утонением боковой стенки

Для разгрузки первой операции целесообразно коэффициент утонения стенки m_{y1} взять не 0,4, а несколько большим, например 0,6. Тогда $S_2 = 0,6 \cdot 3,0 = 1,8$ мм.

7. Вычерчиваем совмещенный операционный эскиз вытяжки с простановкой основных размеров (рис. 18).

7.3. РАСЧЕТ ЗАЗОРОВ МЕЖДУ МАТРИЦЕЙ И ПУАНСОНОМ

Если к толщине стенки детали, получаемой вытяжкой, не предъявляется специальных требований, то величину одностороннего зазора между матрицей и пуансоном можно рассчитать по эмпирической инженерной формуле:

$$z = S_{max} + K_z (S_{max} + 1), \quad (51)$$

где S_{max} — максимальная толщина материала с учетом допуска на прокат.

Коэффициент K_z зависит от класса точности штампуемой детали и порядкового номера операции вытяжки. Его значения приведены в табл. 17.

Таблица 17

Операции	Квалитеты точности деталей		
	11 и 12	14 и 15	16
Первая вытяжка	0,070	0,105	0,135
Промежуточные вытяжки	0,140	0,175	0,210
Последняя вытяжка	0	0,120	0,150

При вытяжке с преднамеренным утонением материала величина зазора берется равной расчетной толщине стенки детали (полуфабриката).

Размеры зазоров, найденные по формуле (51) округляются в сторону увеличения с точностью до десятых долей мм.

Пример 1. Рассчитать величину одностороннего зазора в штампе для первой вытяжки детали, изображенной на рис. 10, Квалитет точности 12-й, толщина материала $S_{max} = 1,05$ мм.

Расчет ведем по формуле (51). Коэффициент K_z по табл. 17 для 12-го квалитета точности будет $K_z = 0,07$. Тогда

$$z = 1,05 + 0,07 (1,05 + 1) \approx 1,2 \text{ мм.}$$

7.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСОВ ЗАКРУГЛЕНИЯ РАБОЧИХ КРОМОК МАТРИЦЫ И ПУАНСОНА

Расчет радиуса закругления рабочей кромки матрицы (r_m) вытяжного штампа при первой операции вытяжки с прижимом цилиндрических деталей без фланца рекомендуется вести в за-

в зависимости от принятого коэффициента вытяжки по формулам (52), (53).

При $m = 0,45 - 0,5$

$$r_m = 2,5 S \left[\left(\frac{D_3}{S} \right)^{0,3} - 40 \frac{S}{D_3} \right] \quad (52)$$

и при $m = 0,58 - 0,7$

$$r_m = 2 S \left[\left(\frac{D_3}{S} \right)^{0,3} - 50 \frac{S}{D_3} \right], \quad (53)$$

где D_3 — диаметр заготовки; S — толщина заготовки.

При вытяжке цилиндрических деталей с фланцем r_m рассчитывают по формуле (54):

$$r_m = 3 S \left[\left(\frac{D_3}{S} \right)^{0,3} - 30 \frac{S}{D_3} \right]. \quad (54)$$

Радиусы закругления рабочих кромок пуансонов (r_n) при первой операции вытяжки определяют в зависимости от принятого коэффициента вытяжки. При $m = 0,45 - 0,5$

$$r_n = 3,3 S \left[\left(\frac{D_3}{S} \right)^{0,17} - 30 \frac{S}{D_3} \right] \quad (55)$$

и при $m = 0,58 - 0,7$

$$r_n = 2,2 S \left[\left(\frac{D_3}{S} \right)^{0,17} - 45 \frac{S}{D_3} \right]. \quad (56)$$

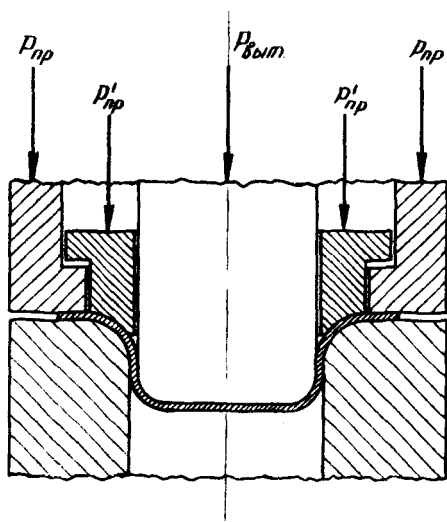


Рис. 19. Применение дополнительного фасонного прижима в зоне закругленного ребра матрицы

При $m = 0,51 - 0,57$ радиусы рабочей кромки матрицы следует определять как среднее арифметическое значение радиусов, рассчитанных по формулам (52) и (53), а радиус рабочей кромки пуансона — как среднее арифметическое значение радиусов, найденных по формулам (55) и (56).

В случае, если расчетное значение радиуса матрицы превысит $20S$, во избежание гофрообразования при выходе края плоской заготовки из-под прижима, рекомендуется применять фасонный прижим, удерживающий заготовку на закруглении

матрицы (рис. 19) или свободный конусный складкодержатель и матрицу с конусным входом.

По разрешению преподавателя для определения радиусов r_m и r_n на первой операции вытяжки можно воспользоваться табличными данными и рекомендациями работы [1], стр. 225. Однако следует иметь в виду, что полученные при этом результаты будут менее точными, а сам расчет менее квалифицированным.

Для промежуточных операций вытяжки радиусы закругления рабочих кромок матриц и пуансонов можно рассчитывать по приведенным выше формулам: (52), (53), (54), (55), (56), заменив диаметр заготовки D_3 на диаметр вытяжки d той операции, для которой определяются r_m и r_n . Для последней операции радиус закругления матрицы при вытяжке деталей с фланцем и радиусы закругления пуансона при вытяжке с фланцем и без фланца задаются равными соответствующим радиусам закругления штампуемой детали.

В том случае, если для этой операции радиусы, рассчитанные по приведенным выше формулам, будут иметь большие значения, чем предусмотрено чертежом детали, в технологический процесс вытяжки вводят еще одну заключительную (калибровочную) операцию для посадки и калибровки радиусов до заданного размера.

При вытяжке прямоугольных полых коробок и других деталей, имеющих форму, отличную от круглого цилиндра, расчет радиусов рабочих кромок матрицы и пуансона на первой операции следует вести по формулам (52) -- (56), в которых D_3 заменяют на $2R_3$ (R_3 — радиус заготовки в углах закругления).

Размеры радиусов, рассчитанные по формулам, округляются в сторону их увеличения при $r < 2$ с точностью до 0,1 мм, при $2 < r < 5$ — с точностью до 0,2 мм, при $5 < r < 10$ с точностью до 0,5 и при $r > 10$ — с точностью до 1,0 мм.

Пр и м е р. Рассчитать радиусы закругления рабочих кромок матриц и пуансонов для первой и второй операций вытяжки детали, изображенной на рис. 10. Материал детали — Сталь 20, $S = 1,0$ мм, диаметр заготовки $D_3 = 191$ мм, диаметр первой вытяжки $d_1 = 124$ мм, $m_1 = 0,65$.

Для штампа первой вытяжки радиус матрицы определим по формуле (53):

$$r_m = 2 \left[191^{0,3} - \frac{50}{191} \right] \approx 9,5 \text{ мм.}$$

Радиус пуансона определим по формуле (56):

$$r_n = 2,2 \left[191^{0,17} - \frac{45}{191} \right] \approx 5,0 \text{ мм.}$$

Для второй вытяжки радиус матрицы найдем по формуле (53) и радиус пуансона по формуле (56), заменив D_3 на $d_i = 124$ мм:

$$r_{\mu} = 2 \left[124^{0,3} - \frac{50}{124} \right] \approx 8,0 \text{ мм}$$

и

$$r_{\Pi} = 2,2 \left[124^{0,17} - \frac{45}{124} \right] \approx 4,2 \text{ мм.}$$

7.5. РАСЧЕТ УСИЛИИ ВЫТЯЖКИ И ПРИЖИМА

При выборе штамповочного оборудования и расчете деталей штампов на прочность необходимо знать усилия вытяжки и прижима. Их определение производится для всех операций вытяжки. Расчет разрешается вести по приближенным инженерным формулам без учета действительных напряжений, возникающих в стенках детали при штамповке.

Расчетная формула для первой операции вытяжки имеет вид

$$P_1 = 1,6 L_0 \cdot S_0 \cdot \sigma_0 \cdot \ln \frac{1}{m_1}, \quad (57)$$

для второй и последующих операций

$$P_n = 0,9 L_0 \cdot S_0 \cdot \sigma_0 \left(\ln \frac{1}{m_1} + 2 \ln \frac{1}{m_n} \right), \quad (58)$$

где L_0 — длина периметра сечения вертикальной стенки детали;

m_1 — коэффициент вытяжки первой операции;

m_n — коэффициент вытяжки той операции, для которой ведется расчет усилия вытяжки.

Длина криволинейных составляющих периметра L_0 рассчитывается по срединному радиусу закругления каждой из этих составляющих. Длина прямолинейных участков берется по чертежу детали.

Усилие прижима Q рассчитывается в зависимости от площади F заготовки (полуфабриката), находящейся под прижимом

$$Q = F \cdot q. \quad (59)$$

Давление q (усилие, которое приходится на единицу площади заготовки, находящейся под прижимом) берется в зависимости от материала штампуемой детали по табл. 18.

Таблица 18

Материал	Давление q 1 МПа $\times 10^{-1}$, (кгс/мм ²)
Стали 0,5; 0,8ВГ; 10ВГ	0,17—0,22
Стали 0,8; 10Г; 15Г	0,20—0,25
Стали 10-25; сталь 2; сталь 3; декапированная сталь	0,25—0,30
Сталь 30ХГСА	0,41—0,52
Сталь нержавеющая 1Х18Н9Т; 1Х18Н10Т	0,28—0,32
Латунь мягкая холоднокатанная Л68; Л62	0,15—0,20
Медь мягкая М1; М2; М3	0,10—0,15
Алюминий мягкий А; АО	0,06—0,09
Алюминиевые сплавы отожженные АМцАМ; АВА-М	0,08—0,11
Алюминиевые сплавы отожженные АМгАМ	0,13—0,17
Алюминиевые сплавы отожженные АМгБА	0,15—0,19
Дюралюминий отожженный или свежезакаленный Д16АМ	0,18—0,22
Магнийевый сплав МА8 при вытяжке с подогревом до 330—350°С	0,03—0,04
Титановый отожженный сплав ВТ5	0,47—0,60

Большие значения q относятся к штампуемому материалу толщиной $S_0 = 0,1$ мм, меньшие — к $S_0 = 5$ мм. Давления для промежуточной толщины находят способом интерполирования.

Суммарное усилие, которое должен преодолеть пресс, будет

$$P_{\text{ш}} = P + Q. \quad (60)$$

Рассчитанные значения усилий округляются в сторону увеличения с точностью до 100 Н.

Пример. Рассчитать усилие первой вытяжки и усилие прижима для детали, изображенной на рис. 10. Размеры детали, заготовки и первой вытяжки, а также радиус закругления рабочей кромки матрицы приведены в примерах 1 (п. 7.1, п. 7.2).
Материал — Сталь 20, $D = 191$ мм, $d_1 = 124$ мм, $S_0 = 1,0$ мм.

$$m_1 = 0,65 \frac{S_0}{a} 100 = 0,524, \quad \sigma_s = 420 \text{ МН/м}^2.$$

1. Для расчета усилия вытяжки воспользуемся формулой (57)

$$P_1 = 1,6 \pi d_1 S_0 \sigma_s \ln \frac{1}{m_1} = 1,6 \cdot 3,14 \cdot 124 \cdot 1 \cdot 420 \ln \frac{1}{0,65} \approx \\ \approx 112780 \text{ Н}.$$

Усилие прижима найдем по формуле (59). Площадь заготовки, находящейся под прижимом (рис. 20) будет

$$F = \frac{\pi}{4} (191^2 - 150^2) \approx 10980 \text{ мм}^2 = 0,01098 \text{ м}^2.$$

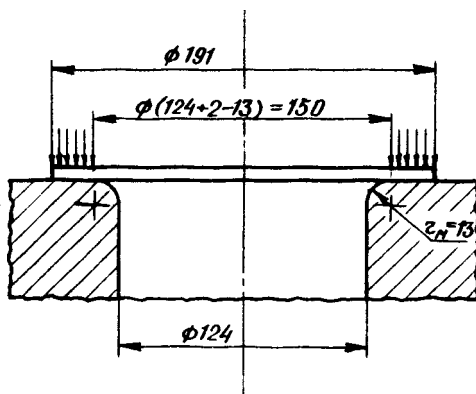


Рис. 20. К расчету площади заготовки, находящейся под прижимом

Давление прижима найдем из табл. 18:

$$\frac{0,3 - 0,25}{5 - 0,1} = \frac{0,3 - q}{5 - 1},$$

откуда $q = 2,6 \cdot \text{МПа}$.

Тогда $Q = 0,01098 \cdot 2,6 \approx 0,02855 \text{ КН} = 28550 \text{ Н}$,

и общее усилие пресса (одинарного действия)

$$P_n = 112780 + 28550 = 141330 \text{ Н}.$$

7.6. ВЫБОР СМАЗКИ

Применение смазки при выполнении операций вытяжки является обязательной мерой, обеспечивающей значительное облегчение штамповки. При разработке технологического процесса вытяжки студент обязан не только определить, когда и при каких операциях необходимо применять смазку, но и установить состав смазки, наилучший для данных конкретных условий, дать количественную оценку влияния выбранной смазки на отдельные параметры штамповки.

Вопросы выбора смазки для операций вытяжки хорошо изложены в работах [1, 11, 12].

Принятые студентом составы смазок с соответствующими обоснованиями приводятся в расчетно-пояснительной записке.

В картах технологического процесса против соответствующих операций вытяжки указываются марки смазок.

7.7. МЕЖОПЕРАЦИОННАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ

Известно, что в процессе вытяжки, в связи с большой степенью деформации, происходит упрочнение материала и потеря им пластических свойств. Поэтому в технологических процессах штамповки после двух—трех, а иногда и после каждой операции вытяжки (например, для глубоких деталей из дюралюминия) предусматривают термическую обработку для снятия нагартовки и восстановления пластичности материала. Если этого не сделать, то в штампуемых деталях образуются микротрещины, которые рано или поздно приведут деталь к разрушению.

Некоторые материалы (например, сплавы типа дюралюминия) поставляются в твердом (состаренном) состоянии и требуют перед формовочными операциями разупрочнения. Детали, отштампованные из отожженного дюралюминия, должны подвергаться закалке, которая выполняется перед последней формовочной операцией или после штамповки. Часть материалов (сплавы магния и титана) приобретают необходимые пластические свойства только в нагретом состоянии. Поэтому студент, разрабатывая технологический процесс штамповки, обязан предусмотреть операции термообработки и указать их режим. Соответствующие обоснования по этому вопросу приводятся в расчетно-пояснительной записке.

В картах технологического процесса после операций вытяжки указывается вид необходимой термообработки.

После термической обработки следует предусмотреть операции по удалению с деталей окисных пленок (для тех материалов, которые требуют этого). Соответствующие пояснения по этим вопросам приводятся в расчетно-пояснительной записке (механическое или химическое удаление, состав травильных растворов, необходимость промывки и т. д.). В картах технологического процесса эти данные не показываются.

При назначении операций термообработки рекомендуется пользоваться соответствующими разделами работ [1, 11, 12, 14].

8. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ

В отличие от выбора оборудования для вариантов плана изготовления детали, оборудование для развернутого технологического процесса подбирается по усилию штамповки. При этом берется суммарное усилие, слагаемыми которого являются ос-

новное усилие, необходимое для выполнения операции, а также усилия, необходимые для съема, проталкивания и выталкивания деталей. Основное усилие для гарантии увеличивается на 10—15% для гибки и вытяжки и на 30% для вырубки. Суммарное усилие должно быть равно или меньше номинального усилия пресса [1].

Пресс выбирают не только по усилию, но и по другим его параметрам, к которым относятся: величина хода ползуна, закрытая высота пресса, размеры его ползуна и стола. Эти параметры должны быть сопоставлены и согласованы с разработанными конструкциями штампов. В том случае, если не удастся подогнать штамп к прессу, выбранному по усилию, следует применить другой пресс, обеспечивающий возможность установки и эксплуатации спроектированного штампа. Возможно, что усилие этого пресса будет превышать усилие, необходимое для выполнения операции.

Обоснование решения по выбору такого пресса должно быть приведено в расчетно-пояснительной записке.

При выборе типа пресса следует учитывать также характер операций и вид производства. В ряде случаев эти обстоятельства могут оказать решающее влияние на выбор пресса.

9. ЗАПОЛНЕНИЕ БЛАНКОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ

Разработанный студентом технологический процесс оформляется на специальных бланках технологических карт, утвержденных кафедрой производства летательных аппаратов (прил. 3, вкладка). Операционные карты, в связи с известной простотой структуры заготовительно-штамповочных операций, не составляются.

При оформлении технологических карт вначале заполняются все графы, относящиеся к характеристике заданной детали: ее наименование, номер чертежа, количество деталей на изделие, марка материала, его сечение, размер детали и ее заготовки, а также рассчитанная студентом партия запуска деталей в производство.

В левом углу карты вычерчивается эскиз раскроя листа на полосы с простановкой необходимых размеров. Затем заполняются все графы, касающиеся раскроя материала: размер полосы; размер листа; выход деталей из листа; отход из полосы (%), отход из листа (%) — в том числе используемый и неиспользуемый, количество полос и листов на партию и вес отхода на партию.

После этого в соответствующую графу записываются операции и входящие в них переходы и приемы. Против каждой опе-

рации, в отведенной для этого графе, вычерчивается операционный эскиз детали, на котором последняя изображается в том виде, какой она получает после выполнения данной операции. Положение детали на эскизе должно соответствовать ее рабочему положению в штампе на прессе.

На эскизе проставляются основные операционные размеры детали (например, для цилиндрических деталей: диаметр, высота, радиус закругления у дна), т. е. те размеры, которые получили изменение в результате выполнения операции. Операционные эскизы аккуратно вычерчиваются в карандаше.

Затем производится последовательное заполнение всех остальных граф технологической карты, относящихся к первой операции. Аналогичным образом заполняются графы, относящиеся ко второй и последующим операциям.

Все операции, переходы и приемы нумеруются.

Наименование операции и переходов должно быть кратким, но достаточно ясным для рабочего. Наименование операций дается в изъявительном наклонении, а переходов и приемов — в повелительном.

В графе «оборудование» записывается тип, модель и номинальное усилие выбранных ножниц и прессов. В графе «инструмент» указывается тип штампа (например: блочный вырубной штамп с направляющими колонками, формблок для штамповки резиной и т. д.) и дается его шифр, в графе «приспособления и шаблоны» указываются шаблоны и приспособления, применяемые при штамповке.

В графе «инструмент» указывается также наименование инструмента, применяемого для контроля первой детали (например: шаблон, калибр, штангенциркуль, микрометр и т. д.) В этой же графе приводятся все виды вспомогательного инструмента, необходимые при штамповке (например: пинцет, щипцы, молоток, отвертка, напильник и т. д.). Для стандартных и нормализованных инструментов указывается номер ГОСТа или нормали.

В графе «норма времени» проставляется оперативное, штучное и подготовительно-заключительное время. Причем, оперативное время указывается на каждый переход, прибавочное и штучное — на операцию, подготовительно-заключительное время — на партию штампуемых деталей.

В последней графе против каждой операции проставляется специальность и разряд рабочего. Карты заполняются с обеих сторон листа. В том случае, если одного листа недостаточно, используется несколько бланков. При этом на первом из них указывается количество заполненных листов, а на всех последующих — порядковый номер листа.

10. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЛАНИРОВКА РАБОЧЕГО МЕСТА ШТАМПОВЩИКА

Для обеспечения высокопроизводительной штамповки и получения деталей высокого качества рабочее место штамповщика должно быть соответствующим образом оборудовано и организовано. Рядом с прессом на предусмотренных соответствующих площадях необходимо разместить: стол или ящик для заготовок, стол или ящик для готовых деталей, тару для отходов, шкаф или тумбочку для вспомогательного инструмента.

Правильная планировка рабочего места должна обеспечивать рациональное размещение тары и столов по отношению к прессу, быть удобной для штамповщика и способствовать сокращению потерь рабочего времени на перемещение заготовок, деталей и отходов в процессе работы.

Вид применяемой тары и столов, их габаритные размеры и характер размещения на рабочем месте по отношению к прессу зависят от формы и размеров заготовки, способа подачи заготовок, способа удаления деталей, типа и мощности пресса. С учетом этих факторов студент в пояснительной записке приводит эскиз планировки (схему) рабочего места штамповщика применительно к выбранному им прессу и дает соответствующие обоснования принятого решения. При этом рекомендуется пользоваться методикой, изложенной в работе [1], с. 672—676 и табл. 270.

Если для отдельных штамповочных операций требуется различные прессы, эскизы (схемы) планировки делаются для каждого прессы в отдельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. — Л.: Машиностроение, 1971.
2. Мещерин В. Т. Листовая штамповка. Атлас схем. — М.: Машгиз, 1958.
3. Согогелян Л. С. Средства техники безопасности в холодноштамповочном производстве. — М.: Машиностроение, 1964.
4. Пытьев П. Я., Смеляков Е. П. Курсовое проектирование по холодной штамповке листовых деталей. Методические указания. — Куйбышев: КуАИ, 1984.
5. Пытьев П. Я., Смеляков Е. П. Холодная штамповка деталей из листового материала. Учебное пособие. — Куйбышев: КуАИ, 1978.
6. Нормативы времени. Штамповочные, формообразующие и обтяжные работы по изготовлению листовых деталей самолета. — М.: Оборонгиз, 1953.
7. Нормативы времени. Холодная штамповка из листовых металлов при изготовлении двигателей. — М.: Оборонгиз, 1952.
8. Пытьев П. Я. Шаппы с пластмассовыми элементами. — Куйбышев: Куйбышевское книжное изд-во, 1965.

9. *Богданов В. М.* Штамповка деталей по элементам в мелкосерийном производстве. — М. —Л.: Машгиз, 1963.
10. Листы, полосы и ленты из цветных металлов. — М.: Стандартгиз, 1957.
11. *Зубцов М. Г.* Технология холодной штамповки. — М.: Машиностроение, 1967.
12. *Малов А. Н.* Технология холодной штамповки. — М.: Машиностроение, 1969.
13. *Смирнов-Аляев Г. А., Вайнтрауб Д. А.* Холодная штамповка в приборостроении. — М.: Машиностроение, 1963.
14. *Давыдов Ю. Н., Покровский Г. И.* Листовая штамповка магниевых сплавов. — М.: Машиностроение, 1965.
15. *Сапаровский С. В., Смеляков Е. П., Коларов А. Д.* и др. Новые способы холодной штамповки. — Куйбышев: Куйбышевское книжное изд-во, 1969.
16. *Никольский А. А.* Экономическое обоснование выбора оптимального варианта технологических процессов. — М.: МАТИ, 1975.
17. *Давыдов Ю. Н., Покровский Г. И.* Листовая штамповка легированных сталей и сплавов. — М.: Оборонгиз, 1962.
18. *Руднев Ю. М.* Листовые штампы. — М.: Машиностроение, 1968.
19. *Фойгельман Г. А.* Альбом конструкций универсальных штампов, блоков и узлов для холодной штамповки. — М.: Машиностроение, 1965.
20. Штампы для холодной штамповки (расчет и конструкции) РТМ-34-61, РТМ-34-65. — М.: Стандартгиз, 1966.

Сводная таблица расчетных показателей экономической целесообразности вариантов плана обработки деталей № _____

Статья затрат и итоговые показатели для построения графика зависимости		Варианты плана изготовления детали					
		год от	год.	I	II	III	IV
Переменные расходы	Стоимость основных материалов и полуфабрикатов ΣM_d на одну деталь в руб.						
	Основная и дополнительная зарплата штамповщиков с начислениями Σ шт. д. в руб. на одну деталь						
	Затраты на эксплуатацию оборудования Σ об. в руб. на одну деталь						
	$A = \Sigma M_d + \Sigma$ шт. д. + Σ об. в руб. на одну деталь						
Постоянные расходы	Основная и дополнительная зарплата настройщиков штампов с начислениями Σ шт. д. в руб. на одну деталь						
	Расходы на технологическую оснастку Σ шт. д., в руб. на одну деталь						
	Σ шт. д. + Σ шт. д. = $\frac{B}{N \text{ год}}$ в руб. на одну деталь						
Расходы на головной выпуск деталей	$A \cdot N$ год в руб. на годовой выпуск деталей.						
	$B = (\Sigma$ шт. д. + Σ шт. д.) N год в руб. на годовой выпуск деталей						
	Технологическая себестоимость годового выпуска деталей в руб. $S \text{ год} = AN \text{ год} + B$						

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
1. Состав технологической части курсового проекта и последовательность ее выполнения	5
2. Технологический анализ конструкции детали	6
3. Составление вариантов плана изготовления детали и выбор наиболее целесообразного из них	11
3.1. Определение типа производства	11
3.2. Составление плана изготовления детали в нескольких вариантах	13
3.3. Выбор типов и схем штамповой оснастки	14
3.4. Определение размера партии запуска деталей в производство	17
3.5. Нормирование вариантов плана изготовления детали по укрупненным нормативам и определение ее трудоемкости	20
3.6. Расчет технологической себестоимости детали	21
3.7. Оценка вариантов плана изготовления детали и выбор наиболее целесообразного из них	29
4. Разработка развернутого технологического процесса изготовления детали	32
5. Раскрой материала и разделительные операции	33
5.1. Раскрой материала	33
5.2. Расчет усилий при вырубке и пробивке	35
5.3. Расчет зазоров между матрицей и пуансоном в вырубных и пробивных штампах. Определение исполнительных размеров рабочих частей штампов	36
6. Операции гибки листового материала	41
6.1. Проверка возможности изгиба заготовки по заданному радиусу	41
6.2. Определение размеров заготовки	41
6.3. Определение усилия гибки	42
6.4. Расчет пружинения материала при гибке	42
6.5. Выбор конструктивно-технологических параметров штамповой оснастки для операций гибки	43
7. Операции вытяжки	45
7.1. Расчет размеров заготовки	45
7.2. Определение количества операций вытяжки и операционных размеров детали	51

7.3. Расчет зазоров между матрицей и пуансоном	65
7.4. Определение радиусов закругления рабочих кромок матрицы и пуансона	65
7.5. Расчет усилий вытяжки и прижима	68
7.6. Выбор смазки	70
7.7. Межоперационная термическая обработка деталей	71
8. Выбор оборудования	71
9. Заполнение бланков технологических карт	72
10. Организация и планировка рабочего места штамповщика	74
Литература	74
Приложения	76

Св. план 1984, поз. 15

*Петр Яковлевич Пытьев,
Евгений Петрович Смеляков*

ТЕХНОЛОГИЯ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ
В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Учебное пособие

Редактор О. Б. Хнырева
Техн. редактор Н. М. Каленюк
Корректор С. С. Рубан

Слано в набор 24.04.84 г. Подписано в печать 9.07.84 г.
ЕО 00281. Формат 60×84 1/16. Бумага писчая.
Высокая печать. Литературная гарнитура.
Усл. п. л. 4,65. Уч.-изд. л. 4,6. Т. 500 экз.
Заказ 447. Цена 20 к.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С. П. Королева,
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Типография УЭЗ КуАИ, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.