

Министерство образования и науки Республики Казахстан
Костанайский государственный университет имени А. Байтурсынова
Кафедра машиностроения

Н.А.Камышева

ТЕХНОЛОГИЯ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Учебное пособие

Костанай, 2018

УДК 621.9 (075)

ББК 34.54 я 73

К 18

Автор:

Камышева Наталья Алексеевна, ст.преподаватель кафедры машиностроения

Рецензенты:

Баганов Николай Анатольевич –проректор по стратегическому развитию, науке и инновациям, ктн, ассоциированный профессор Костанайского инженерно-экономического университета им. М. Дулатова

Курманов Аяп Конлямжаевич – доктор технических наук, профессор кафедры машиностроения КГУ имени А. Байтурсынова

Щербаков Николай Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры машин, тракторов и автомобилей КГУ имени А. Байтурсынова

Камышева Н.А

К 18 Технология листовой штамповки: Учебное пособие.– Костанай: КГУ имени А. Байтурсынова, 2018. – 116 с.

ISBN

В учебном пособии приведены методики расчета основных технологических операций листовой штамповки и примеры их использования для расчета параметров, определяющих эффективность раскроя листа и полосы, размеров плоской заготовки перед формоизменяющими операциями (гибка и вытяжка), количества и последовательности штамповочных переходов; энергосиловых параметров штамповки. Изложена технология изготовления штамповой оснастки для холодной штамповки. Предназначено для бакалавров, обучающимся по специальности 5В072400-Технологические машины и оборудование

УДК 621.9 (075)

ББК 34.54 я 73

К 18

Утверждено и рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом Костанайского государственного университета имени А. Байтурсынова,

ISBN 978-601-7955-69-4

© Костанайский государственный
университет им. А. Байтурсынова
© Камышева Н.А., 2018

Содержание

	стр
Введение.....	5
Тема 1 Общие сведения о процессах листовой штамповки.....	6
1.1 Цели, задачи, структура и содержание дисциплины.....	6
1.2 История развития листовой штамповки.....	7
1.3 Преимущества листовой штамповки.....	10
Тема 2 Материалы для листовой штамповки и способы оценки штампуемости.....	11
2.1 Сортамент листового материала.....	11
2.2 Оценка штампуемости. Контроль и испытание штампуемых материалов.....	19
Тема 3 Анализ технологичности изготовления детали.....	21
3.1 Требования к технологичности конструкции детали.....	21
3.2 Особенности разработки технологии в зависимости от серийности изготовления детали.....	23
Тема 4 Основные операции листовой штамповки.....	28
4.1 Разделительные операции листовой штамповки.....	28
4.2 Формообразующие операции листовой штамповки.....	40
4.3 Расчет исходного размера плоской заготовки.....	43
4.5 Штамповка листовых неметаллических материалов.....	49
Тема 5 Штамповка в мелкосерийном производстве	54
5.1 Типы производств.....	54
5.2 Технологические процессы мелкосерийной штамповки.....	56
5.3 Штамповка эластичным инструментом.....	57
5.4 Гидростатическая штамповка.....	58
5.5 Ротационная вытяжка.....	60
5.6 Импульсные методы штамповки.....	61
5.7 Взрывная штамповка.....	62
5.8 Штамповка с использованием энергии пороха.....	64
5.9 Штамповка энергией взрыва газовых смесей.....	66
5.10 Магнитноимпульсная штамповка (МИШ).....	68
Тема 6 Завершающие операции листовой штамповки.....	71
6.1 Назначение и виды термической обработки.....	71
6.2 Очистка детали после закалки и отпуска.....	75
6.3 Нанесение антифрикционных покрытий.....	75
Тема 7 Технические требования к штампам листовой штамповки.....	76
7.1 Классификация штампов и их деталей.....	76
7.2 Штампы для гибки.....	78
7.3 Этапы проектирования штампов.....	79
7.4 Особенности автоматизированного проектирования штампов.....	80

Тема 8 Проектирование типовых конструкций штампов.....	83
8.1 Типовая конструкция штампа.....	83
8.2 Выбор прессы.....	85
8.3 Холодная штамповка в прецизионных штампах высокой точности	87
8.4 Проектирование матриц.....	88
8.5 Ручное проектирование штампов. Этапы проектирования	89
Тема 9 Рекомендации по выбору материала деталей штампа	94
9.1 Штамповые стали.....	94
9.2 Чугуны.....	96
9.3 Твердые сплавы.....	96
9.4 Абразивные материалы.....	97
9.5 Связки паст.....	97
Тема 10 Проектирование сложных штампов.....	100
10.1 Краткая характеристика и назначение сложных штампов.....	100
10.2 Комбинированные штампы последовательного действия.....	102
10.3 Знакомство с работой системы для проектирования сложного штампа.....	106
Список использованной литературы.....	114

Введение

Повышение производительности труда, улучшение качества и эксплуатационных характеристик деталей являются важнейшими задачами листоштамповочного производства. В последние годы появилось большое число новых способов и устройств, использование которых позволило бы значительно поднять технический уровень производства. Наместились основные направления интенсификации формоизменяющих операций, позволяющие сократить число переходов штамповки, номенклатуру оснастки и оборудования, изготавливать цельноштамповочные детали взамен штампосварных, исключить последующую механическую обработку, значительно повысить прочность, жесткость и точность деталей. Развитие машиностроения и металлообработки требует дальнейшего совершенствования технологических процессов и методов расчета деформационных характеристик операций листовой штамповки.

В настоящее время имеется много экспериментальных и теоретических исследований, посвященных изучению штампуемых деталей, рациональных принципов расчета технологических, прочностных характеристик. На основе этих исследований установлены соответствующие расчетные методики, общие правила и нормы проектирования, как конструкции деталей, так и технологического процесса штамповки, гарантирующие высокие эксплуатационные способности деталей при обеспечении минимизации энергосиловых характеристик, трудоемкости штамповки; повышении ресурсосбережения (повышения КИМ), т. е. расширении технологических возможностей листовой штамповки.

В данном пособии приведены методики расчета основных технологических операций листовой штамповки и примеры их использования для расчета параметров, определяющих эффективность раскроя листа и полосы; размеров плоской заготовки перед формоизменяющими операциями (гибка и вытяжка); количества и последовательности штамповочных переходов; энергосиловых параметров штамповки.

Тема 1 Общие сведения о процессах листовой штамповки

1.1 Цели, задачи, структура и содержание дисциплины

В настоящее время важной задачей, стоящей перед различными отраслями промышленности, является внедрение прогрессивных технологий, позволяющих повысить качество изготавливаемой продукции, уменьшить себестоимость и различные виды затрат на ее производство.

Одним из основных видов обработки металлов давлением (ОМД) является листовая штамповка, или штамповка из листовых заготовок. Холодная листовая штамповка (ХЛШ) отличается от других способов ОМД тем, что один из размеров обрабатываемых заготовок (толщина) существенно меньше двух других – длины и ширины.

Листовая заготовка может быть металлической или неметаллической и полученной прокаткой, прессованием или другими методами ОМД.

Номенклатура изделий, получаемых таким способом, весьма многочисленна и разнообразна и включает в себя как плоские, так и пространственные детали различных габаритов (от сотых долей до десятка миллиметров). Это позволяет создавать облегченные конструкции высокой жесткости и прочности. Кроме того, в процессе штамповки происходит упрочнение (наклеп) материала, что дает возможность получать изделия более высокой прочности по отношению к исходной заготовке.

В зависимости от массы и толщины заготовки применяется холодная или горячая листовая штамповка. В первом случае штампуют заготовки толщиной не более 10–15 мм. Заготовки большей толщины перед штамповкой обычно нагревают.

Необходимость и желательность использования ХЛШ для сравнительно тонких заготовок обусловлена рядом причин.

Во-первых, трудно поддерживать постоянную температуру заготовки;

-во-вторых, при холодной штамповке получают детали с хорошим качеством поверхности (при отсутствии окалины) и высокой точностью (при отсутствии тепловых деформаций);

-в-третьих, можно получать детали сложной пространственной конфигурации, что позволяет создавать облегченные конструкции заданной прочности и жесткости;

-в-четвертых, применение холодной штамповки позволяет резко сократить или вовсе исключить обработку резанием, что повышает коэффициент использования материала; в-пятых, ХЛШ отличается высокой производительностью.

ХЛШ является одним из наиболее прогрессивных технологических методов производства и имеет ряд преимуществ перед другими видами обработки металлов.

В техническом плане холодная штамповка позволяет:

- получать детали сложных форм, изготовление которых другими методами невозможно или затруднительно;
- создавать прочные и жесткие, но легкие по массе детали;
- получать детали с достаточно высокой точностью размеров, преимущественно без последующей механической обработки.

В экономическом плане холодная штамповка характеризуется:

- экономным использованием материала;
- высокой производительностью оборудования, с применением механизации и автоматизации производственных процессов;
- серийным и массовым производством с низкой себестоимостью изготавливаемых изделий.

В настоящее время ХЛШ широко применяется в мелкосерийном и единичном (опытном) производстве и характеризуется использованием универсальных и упрощенных штампов, а также новых технологических методов (штамповка взрывом, эластичным инструментом, импульсные методы). Кроме того, с развитием различных отраслей промышленности (радиоэлектроники, приборостроения и пр.) увеличивается доля изделий из листовых неметаллических материалов, успешно изготавливаемых методами листовой штамповки.

В общем комплексе технологии машиностроения все возрастающее значение приобретает обработка металлов давлением, в том числе листовая штамповка. Это один из способов обработки, при котором металл пластически деформируется в холодном состоянии при помощи штампов. Листовая штамповка применяется для изготовления самых разнообразных деталей практически во всех отраслях промышленности связанных с металлообработкой.

Целью дисциплины является подготовка специалистов, способных разрабатывать и реализовывать новые технологические процессы листовой штамповки.

Задачами дисциплины являются:

- сбор и анализ исходных данных для проектирования изделий машиностроения и технологий их изготовления;
- разработка рабочей проектной и технической документации, оформление законченных проектно-конструкторских работ;
- контроль соблюдения технологической дисциплины при изготовлении изделий;
- участие в работах по доводке и освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новой продукции;
- анализ результатов производственной деятельности, подготовка и ведение технической, технологической и эксплуатационной документации.

1.2 История развития листовой штамповки

Начало развития штамповки относится IX – X вв. К тому же периоду относятсяковка и чеканка цветных и благородных металлов в холодном и горячем для самых разнообразных целей.

Особом искусством русских мастеров того времени являлась выковка посуды из тонких листов металла.

Чеканка первоначально производилась путем нанесения узора стальными пуансонами (X – X вв.). В X в. появляется плоскорельефная чеканка с образованием рисунка, возвышающегося над плоскостью детали. С IX в. развивается искусство выпуклой чеканки, известная преимущественно по новгородским образцам, выполненным мастерами – художниками чеканочного дела. Новгородцы тогда же на ручных рычажных прессах при помощи несложных штампов изготавливали оружие и другие изделия.

До Великой Октябрьской социалистической революции листовая штамповка применялась в незначительных масштабах, преимущественно в производстве аппаратов, небольших электрических машин и мелких изделий.

Основное развитие в нашей стране листовая штамповка получила в период пятилеток, во время и после Великой Отечественной войны. В настоящее время листовая штамповка нашла широкое применение почти во всех областях металлообработки.

За годы пятилеток и в послевоенный период построены крупнейшие штамповочно-прессовые цехи на первоклассных тракторных заводах – гигантах – Волгоградском, Харьковском, Челябинском, на автозаводах – Московском, Горьковском, Минском, Ярославском, Липецком и др. Одновременно с этим выросли квалифицированные кадры рабочих – новаторов производства и ударников коммунистического труда, инженерно-технических и научных работников по листовой штамповке.

За последние годы возросла производительность труда в результате широкого применения полной или частичной механизации автоматизации процессов листовой штамповки, а также скоростных методов штамповки.

Наряду с ранее известными операциями листовой штамповки получают развитие такие, как сложные вытяжка, формовка, холодное выдавливание, штамповкой резиной, штамповка с подогревом, штамповка с глубоким охлаждением, групповые методы обработки и штамповка по элементам, высокоэнергетические – импульсные способы штамповки и ряд других.

Разработаны конструкции штампов, позволяющие успешно применять листовую штамповку не только массовом и крупносерийном производстве, но также и в серийном и мелкосерийном, для чего используется (в последние двух случаях) упрощенные и универсальные штампы. Все это способствует успешному использованию листовой штамповки во всех областях металлообработки.

Постоянное совершенствование способов листовой штамповки деталей вызвано тремя причинами: применением новых конструкционных материалов, задачами повышения качества деталей и требованиями

ресурсосбережения (снижением трудоемкости изготовления, сокращением сроков подготовки производства, повышением коэффициента использования материала и т. д.).

В последние годы основным направлением совершенствования процессов листовой штамповки считается так называемая интенсификация, заключающаяся в дополнительном прямом физическом воздействии на заготовку в традиционном процессе или в использовании специально подготовленных заготовок, что относится к косвенным способам интенсификации [1–9 и др.]. Классификация способов интенсификации приведена на рис. 1.



Рисунок 1- Классификация способов интенсификации операций листовой штамповки и их различные сочетания в одном процессе

Способы прямой интенсификации связаны с дополнительным (термическим, силовым, скоростным и др.) нагружением заготовки. Это, как правило, требует дополнительных энергетических затрат, использования дополнительного оборудования, оснастки и инструмента. Основная выгода от использования таких технологий, по мнению авторов исследований, усматривается в уменьшении числа переходов и операций, а также в уменьшении объемов ручных и доводочных работ. Однако в реальном производстве доля интенсифицированных процессов, связанных с дополнительным нагружением заготовки, ничтожно мала, за исключением

изготовления малогабаритных деталей из высокопрочных и (или) низкопластичных материалов.

Поэтому в настоящее время представляет повышенный интерес другое направление интенсификации процессов листовой штамповки, связанное с использованием специально подготовленных заготовок. Это может быть оптимизированная форма заготовки, специальное распределение толщины стенки, заданное изменение механических свойств и т. д. Во многих случаях использование специальных заготовок приводит к большему эффекту с меньшими затратами, чем это возможно другими способами, т. к. здесь не требуется ломка традиционной технологии, даже если затраты на подготовку таких заготовок несколько возрастают.

1.3 Преимущества листовой штамповки

Одним из основных методов обработки металлов в современном машиностроении является листовая штамповка. Получаемые с ее помощью детали имеют форму и размеры, соответствующие форме и размерам рабочих частей штампов.

Листовая штамповка получило широкое применение во всех отраслях промышленности: общем машиностроении, приборостроении, авиа- и автопромышленности. Так в современном автомобиле содержится около 70-80% штампованных деталей, в самолете до 75-80%, а в ряде производств широкого потребления количество штампованных деталей достигает (по количеству) 95-98%.

Листовая штамповка – один из видов холодной обработки давлением, при котором листовой материал деформируется в холодном или подогретом состоянии.

Листовой штамповкой изготавливаются разнообразные плоские и пространственные детали – от мелких, массой от долей грамма и размерами в доли миллиметра (секундная стрелка часов), до средних (металлическая посуда, крышки, кронштейны) и крупных (облицовочные детали автомобилей).

Толщина заготовки при листовой штамповке обычно не более 10 мм, но иногда может превышать 20 мм, в этом случае штамповка осуществляется с предварительным подогревом до ковочных температур.

При листовой штамповке используют: низкоуглеродистые стали, пластичные легированные стали, цветные металлы и сплавы на их основе, драгоценные металлы, а также неметаллические материалы: органическое стекло, фетр, целлулоид, текстолит, войлок и др.

Листовую штамповку широко применяют в различных отраслях промышленности, особенно, автомобилестроении, ракетостроении, самолетостроении, приборостроении, электротехнической промышленности.

Основные преимущества листовой штамповки:

-возможность изготовления прочных легких и жестких тонкостенных деталей простой и сложной формы, получить которые другими способами невозможно или затруднительно;

-высокие точность размеров и качество поверхности, позволяющие до минимума сократить механическую обработку;

-сравнительная простота механизации и автоматизации процессов штамповки, обеспечивающая высокую производительность (30 000...40 000 деталей в смену с одной машины);

-хорошая приспособляемость к масштабам производства, при которой листовая штамповка может быть экономически выгодна и в массовом, и в мелкосерийном производствах.

Холодная листовая штамповка заключается в выполнении в определенной последовательности разделительных и формоизменяющих операций, посредством которых исходным заготовкам придают форму и размеры детали.

Операцией листовой штамповки называется процесс пластической деформации, обеспечивающий характерное изменение формы определенного участка заготовки.

Операцией листовой штамповки называется процесс пластической деформации, обеспечивающий характерное изменение формы определенного участка заготовки.

Различают разделительные операции, в которых этап пластического деформирования обязательно завершается разрушением, и формообразующие операции, в которых заготовка не должна разрушаться в процессе деформирования. При проектировании технологического процесса изготовления деталей листовой штамповкой основной задачей является выбор наиболее рациональных операций и последовательности их применения, позволяющих получить детали с заданными эксплуатационными свойствами при минимальной себестоимости и хороших условиях труда.

Все операции выполняются при помощи специальных инструментов – штампов, которые имеют различные конструкции в зависимости от назначения. Штампы состоят из рабочих элементов – матрицы и пуансона, и вспомогательных частей – прижимов, направляющих, ограничителей и т.д. Пуансон вдавливается в деформируемый металл или охватывается им, а матрица охватывает изменяющую форму заготовку и пуансон.

Контрольные вопросы:

- 1 Цель, задачи дисциплины «Технология листовой штамповки»
- 2 К способам интенсификации процессов листовой штамповки относятся?
- 3 Перечислите преимущества листовой штамповки
- 4 Классификация операций листовой штамповки?
- 5 Что представляет из себя штамп?

Тема 2 - Материалы для листовой штамповки и способы оценки штампуемости

2.1 Сортамент листового материала

В листовой штамповке применяются разнообразные материалы – металлы, и их сплавы и неметаллические материалы с различными свойствами, формой и размерами.

Вид материала выбирается в зависимости от назначения штампуемой детали, требования к ней и способа штамповки.

Формы и размеры исходного материала определяются размерами детали, технологией штамповки, оборудованием и конструкцией штампа.

При выборе материала для штамповки следует учитывать основные требования:

- 1) конструктивно-эксплуатационные, т.е. пригодность материала, исходя из требований к заданной детали, требований к ней и условий ее эксплуатации;
- 2) технологические свойства материала, т.е. способность его к данному виду штамповки;
- 3) экономические требования – стоимость материала.

Основными механическими свойствами листовой стали и других металлов являются прочность, упругость, твердость, пластичность, ударная вязкость.

Прочность - свойство металла сопротивляться разрушению под действием внешних сил.

Упругость - свойство металла возвращаться к своей первоначальной форме после прекращения действия внешних сил.

Твердость - свойство металла сопротивляться проникновению в него другого тела.

Пластичность - свойство металла не разрушаться при значительном изменении его формы под действием нагрузки и сохранять измененную форму после того, как нагрузка будет снята.

Ударная вязкость - свойство металла противостоят ударным нагрузкам.

На пластические свойства алюминия оказывают влияние примеси железа и кремния, содержание которых не должно превышать 1%. Алюминиевые сплавы (дюралюминий) повышают прочность, но зато понижают пластичность по сравнению с чистым алюминием.

Наибольшее применение имеют:

- 1) сталь различных сортов и марок;
- 2) медь и ее сплавы;
- 3) алюминий и его сплавы;
- 4) магний и его сплавы;
- 5) цинк;
- 6) титан, кобальт, вольфрам, никель, молибден, тантал и их сплавы;

- 7) благородные металлы – золото, серебро;
- 8) неметаллические материалы.

Рассмотрим схему условного обозначения проката по ГОСТ 1577—93 - Прокат толстолистовой и широкополосный из конструкционной качественной стали (см рис 2).

По промышленному значению и количеству потребляемому при штамповке, наибольшее применение имеет сталь. Используется, главным образом, различные сорта малоуглеродистой листовой и полосовой стали, обладающие высокими пластическими свойствами. Также применяется углеродистая и легированная конструкционная сталь с содержанием углерода до 0,5-0,6%.

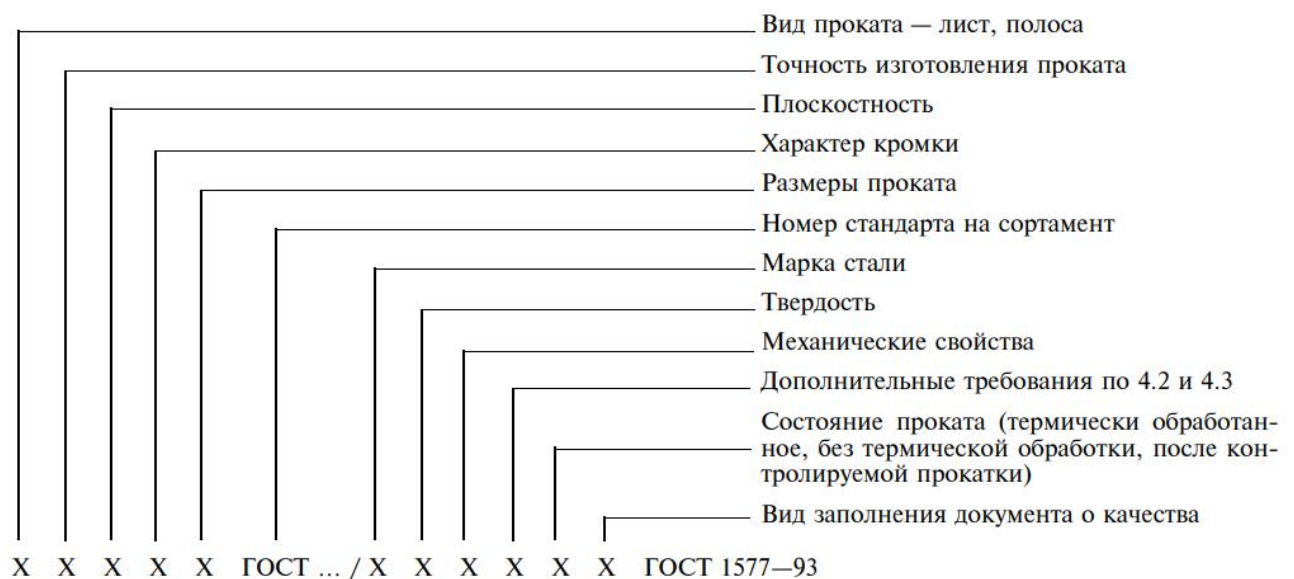


Рисунок 2- Схема условного обозначения проката

Сталь листовая углеродистая качественная и обыкновенного качества общего назначения регламентируется ГОСТ 19904-74 толщиной до 3,9 мм шириною не менее 500 мм поставляется в листах и рулонах и может быть как горячекатаная, так и холоднокатаная.

Имеет подразделения на группы: Г – глубокая и группа Н – нормальная.

В зависимости о состояния поверхности, качественная листовая сталь разделяется на 4 группы:

I – особой отделки, II – высокой отделки, III – повышенной отделки и IV – нормальной отделки.

Листы I и II изготавливаются холоднокатаными, III группы холодно- и горячекатаными и IV группы – горячекатаными.

Листовая углеродистая сталь поставляется тремя группами: группа А – поставляется по механическим свойствам : ст 0, ст 1, ст 2, ст 3, ст 5, ст 6, ст 7; группа Б – поставляется по химическому составу:

-мартеновская – М ст 0, М ст 1 кп, М ст 2 кп, М ст 3 кп, М ст 3, М ст 4 кп, М ст 4, 5, 6, 7;

-бессемеровская – Б ст 0, Б ст 3 кп, Б ст 4 кп, Б ст 5,6 и 6;

-группа В – сталь поставляемая по механическим свойствам с дополнительным требованиям по химическому составу – В ст 2 кп, В ст 3 кп, В ст 3, В ст 4 кп, В ст 4, В ст 5.

Листовая углеродистая, качественная сталь марок 05 кп, 08 кп, 08 пс, 10 кп, 10, 15 кп, 15, 20 кп, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, а также листовая углеродистая качественная сталь конструкционного назначения толщиной по 4 мм применяется в авто- и тракторостроения, приборостроения.

Легко поддаются формоизменения с большими деформациями (вытяжка, формовка). Важной технологической характеристикой тонколистовой качественной стали является величина зерен феррита, что особо важно для глубокой вытяжки.

Величина зерна определяется по балам (10-бальная шкала) по ГОСТ 5639-65 . Вид листа 05 кп, 08 кп, 10 кп 08 пс, 15 кп, 20 кп, 20 кп, 10, 15, 20 05 кп, 08 кп, 10 кп, 10, 15, 15 кп, 20 кп, 20 балл зерна феррита Холоднокатаный 6, 7, 8 6, 7, 8, 9 5, 6, 7, 8, 9 Горячекатаный 5, 6, 7, 8 5, 6, 7, 8, 9 5, 6, 7, 8, 8, 9, 10

Сталь толстолистовая, широкополосная универсальная из углеродистой стали общего назначения регламентируется ГОСТ 14637-69.

Выпускается толщиной от 4 до 160 мм в виде листов, рулонов и универсальной полосы (4-12 мм – рулоны; 6-60 мм – полосы).

Сталь тонколистовая, конструктивная низколегированная поставляется в соответствии с ГОСТ 17066-80 толщиной от 0,5 до 3,9 в рулонах и листах, как холодно- так и горячекатаная (марки 12 гс, 14 хгс, 10 хснд и др.).

Сталь тонколистовая, конструктивная легированная высококачественная, специального назначения (ГОСТ 11268-76).

Поставляется в листах холодно- и горячекатаной, толщиной до 3,9 мм (марка 25ХГСА, 12Х2НВФА, 21Х2НМФА и др.).

Сталь тонколистовая, широкополосная, универсальная комбинированная, легированная высококачественная специального назначения (ГОСТ 11269-76).

Толщина листов от 4 до 10 мм (холодно- и горячекатаная). Полосы – горячекатаные толщиной от 6 до 40 мм (марки 12ХГСА, 12Х2НМФА, 21Х2НМФА и др.).

Сталь сортовая коррозионностойкая, жаропрочная и жаростойкая (ГОСТ 24982-81), горячекатаная толщиной менее 2,0 мм и 11-22 мм, и холоднокатаная толщиной от 0,8 до 3,9 мм (марки стали ХН38ВТ, ХН78Т, ХН58В и др.).

Сталь сортовая электротехническая, нелегированная (ГОСТ 11036-75) марок 10864, 10895, 11864, 21895 и др. для магнитных цепей электрических аппаратов и приборов (листы и круг).

Примеры условных обозначений:

Лист Б-ПН-О-6х700х6000 ГОСТ 19903-74/20-ТВ1-М1-КИ-ТО-ДК1 ГОСТ 1577-93

Расшифровка - Прокат толстолистовой, нормальной точности по толщине (Б), нормальной плоскостности (ПН), с обрезной кромкой (О), размерами 6х700х6000 мм по ГОСТ 19903, из стали марки 20, с твердостью по (ТВ1), механическими свойствами по таблице 3 (М1), с испытанием на изгиб в холодном состоянии (КИ), в термически обработанном состоянии (ТО), с заполнением документа о качестве вида ДК1

Примеры условных обозначений, допускаемые в конструкторской документации:

Б-ПН-О-6х700х6000 ГОСТ 19903-74
Лист 20-ТВ1-М1-КИ-ТО ГОСТ 1577-93

Расшифровка: Прокат толстолистовой, нормальной точности по толщине (Б), нормальной плоскостности (ПН), с обрезной кромкой (О), размерами 6х700х6000 мм по ГОСТ 19903, из стали марки 20, с твердостью по таблице 2 (ТВ1), механическими свойствами по таблице 3 (М1), с испытанием на изгиб в холодном состоянии (КИ), в термически обработанном состоянии (ТО).

В штамповке большое применение имеют цветные металлы и сплавы, главным образом медно-цинковые. Медные листы и ленты М1, М2 и М3 изготавливаются холоднокатаными и горячекатаными и могут быть мягкими и твердыми.

Наибольшее применение имеют медноцинковые сплавы Л90 – томпак, Л80 – полутомпак, Л54, Л63 и Л68 – латуни. Сплавы обладают высокой пластичностью и штампуемостью. Листы и ленты бывают мягкими, полутвердыми и твердыми.

Применяются также сплавы меди с оловом, никелем, алюминием – бронзы (Бр ОЦ4, Бр ОФ6, 5-2,5 и др.) – для штамповки пружин электротехнических приборов и др. Бронзы, однако, имеют низкую штампуемость и сильно нагартовываются.

Листовой цинк – Ц1, Ц2, Ц3, Ц4. Алюминий и его сплавы: А1, А2, А3, АД, АД1, Д1, Д6, Д16. Магнитно-марганцевые сплавы – АМ1, АМ8, АМг6М, АМг5М и др. – имеют низкую штампуемость, штампуются с подогревом до 340-380 °С. Титан и его сплавы имеют малый удельный вес и большую прочность. Применяются марки сплавов ВТ1-1, ВТ1-2, ВТ1-5. Штампуются из-за низкой пластичностью в холодном состоянии, с подогревом до 400-540 °С. Никель марок Н1, Н2, Н3.

Никелевые сплавы НВ81 (мельхиор), НМЦ65-20 (нейзильбер), НМЖМЦ28-2,5-1,5 (монель-металл) – имеют высокую прочность и высокую пластичность. Вольфрам, тантал, молибден, ниобий – относятся к одной группе тугоплавких металлов, имеют невысокую пластичность и штампуются с подогревом до 350-450 °С.

Штамповка затруднена ввиду их сильного налипания на инструмент и значительной нагартовки.

Из неметаллических материалов наибольшее применение имеют: - электроизоляционный картон (ГОСТ 2824-75Е и 4194-85), прокладочный (ГОСТ 9347-74) и др. виды; - фибра – листовая (ГОСТ 14613-63Е), толщиной от 0,8 до 12 мм; - гетинакс (ГОСТ 2718-74) – листовый пластик на основе бумаги; - пластмассы (термореактивные и термопласты) – полиэтилен (ГОСТ 16338-70); полистирол, полипропилен, пенопласт, фторопласт, винипласт (ГОСТ 9639-71), стекло органическое конструкционное (ГОСТ 15809-70Е), целлулоид (ГОСТ 21228-75), резина листовая (ГОСТ 7338-77), эбонит (ГОСТ 2748-77), текстолит конструкционный (ГОСТ 5-78), кожа техническая (ГОСТ 20836-750). Механические свойства штампуемых металлов, сплавов и неметаллических материалов приведены в справочниках. Сортамент материала.

Для холодной штамповки применяется материал в виде листа, полосы и ленты, а в отдельных случаях прутковый материал и штучные мерные заготовки.

В зависимости от формы поперечного сечения стальной прокат подразделяется на простой, фасонный и специального вида.

К простому сортовому прокату относится квадратный (квадрат), круглый (круг), прямоугольный (полосовой), листовой, треугольный, шестиугольный (шестигранный), овальный, полукруглый, сегментный, шинный и некоторые другие виды.

Квадратная сталь выпускается горячекатаная, кованая и калиброванная со стороной квадрата до 200 мм и длиной прутка до 10 м. Круглую сталь различают горячекатаную, калиброванную и кованую диаметром до 250 мм и длиной прутка от 1,5 до 10 м.

Круглая сталь диаметром до 9 мм включительно поставляется в мотках. Размеры прямоугольной (полосовой) стали: ширина 12—200 мм, толщина 4—60 мм, длина 3—9 м. Поставляется в мотках или полосах.

Стандартами предусмотрен выпуск стали прокатной полосовой, широкополосной универсальной, горячекатаной рессорно-пружинной, трех- и двухслойной, а также холоднокатаной ленты (упаковочной, штамповочной, плющеной, для бронирования кабелей, пружинной и др.).

Листовой прокат в зависимости от толщины выпускается в листах и рулонах. К его основным разновидностям относится сталь листовая горячекатаная и холоднокатаная, тонколистовая кровельная, горячекатаная рифленая, горячекатаная толстолистовая двухслойная, трехслойная горячекатаная листовая и широкополосная, декапированная (с нанесенным

на поверхность слоем другого металла), электротехническая тонколистовая, толстолистовая коррозионностойкая, жаростойкая и жаропрочная и др.

Сортамент проката (рис.3) включает следующие профили: сортовой простой (рис.3,а); сортовой фасонный (рис.3,б); листовой, трубы, специальный (рис.3,в). Листовой прокат при толщине свыше 4 мм называется толстолистовым и менее 4 мм - тонколистовым. Трубы бывают бесшовные и сварные, а в зависимости от назначения -паропроводные, газовые, котельные и др. Специальные виды проката весьма разнообразны.

В заказе на фасонный сортовой прокат указываются его вид, основные размеры, марки стали, номера соответствующих стандартов и некоторые другие сведения.

Трубы стальные выпускаются сварные и бесшовные, общего и специального назначения.

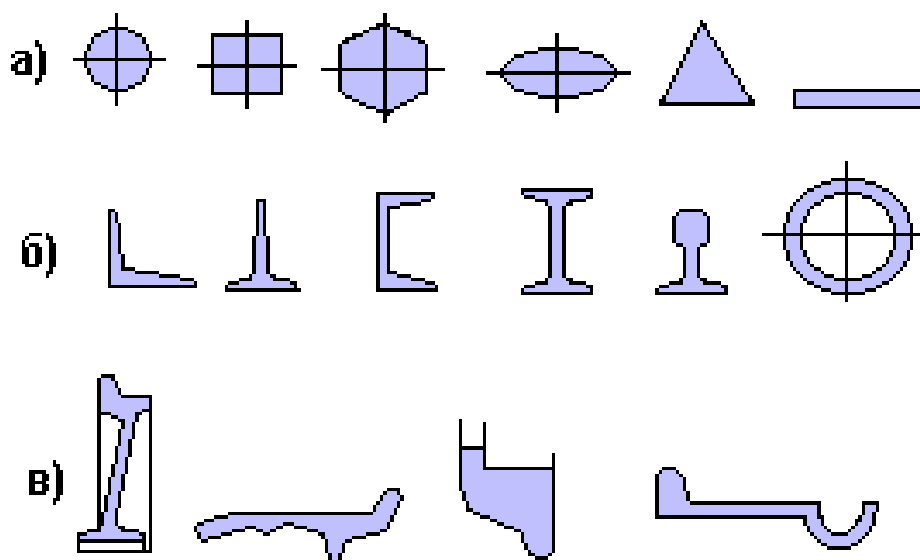


Рисунок 3 - Виды профилей проката

Их основные характеристики - наружный диаметр, толщина стенки и длина. К трубам стальным общего назначения относятся трубы бесшовные холоднокатаные, холоднотянутые и горячекатаные, водогазопроводные (оцинкованные и неоцинкованные, с резьбой и без резьбы, легкие обыкновенные и усиленные), тонкостенные с накатанной резьбой, электросварные (с прямым или спиральным швом, холоднотянутые и холоднокатаные).

К трубам специального назначения относятся трубы стальные прецизионные (повышенной точности изготовления), футерованные пластмассой, коррозионностойкие (из коррозионностойкой стали или биметаллические), из высоколегированных сталей, нарезные (бурильные), крекинговые и др. В заказе указываются основные размеры трубы, марка стали, из которой она изготовлена, и номер стандарта.

Например,

Труба 630х7—БСт2кп ГОСТ 8696—74,

где 630 наружный диаметр, мм;

7 толщина стенки, мм;

БСт2кп — марка стали.

К специальным видам проката относятся кольца, валы, зубчатые колеса, рельсы, а также профили с переменным поперечным сечением по длине (периодические профили).

Рельсы выпускаются железнодорожные (для широкой и узкой колеи), трамвайные, крановые, для метрополитена и др. В зависимости от основных характеристик рельсы подразделяются на типы.

Тип рельса отражается в цифровой части его маркировки.

Например, рельс

КР 100 ГОСТ 4121—76

где КР - крановые, 100 — номинальная ширина головки, мм. Периодические профили выпускаются трех-, четырех-, пяти- и семиступенчатые для валов электродвигателей, полувалов турбокомпрессоров, тракторов, автомобилей, дорожных машин и др.

Их применение позволяет сократить отходы металла в процессах обработки сложнопрофильных изделий, снизить трудоемкость и увеличить производительность труда, повысить сцепляемость с другими материалами (например, арматура в бетоне).

К продукции дальнейшего передела проката относится листовой прокат с покрытиями и гнутые профили.

К листовому прокату с покрытиями относится сталь тонколистовая оцинкованная, освинцованная, лакированная (включая хромированную), покрытая пластмассами, жечь горячего лужения и др.

В заказе на листовой прокат с покрытиями учитывают его назначение, толщину покрытия, сорт, размеры листов.

Так, оцинкованная сталь выпускается типов А (для штамповки деталей), Б (для холодного профилирования) и В (общего назначения). Жечь луженая подразделяется на консервную и разную.

Сортность листового проката с покрытиями определяется состоянием поверхности, наличием загнутых углов, рванин и другими показателями. Гнутые профили представляют собой прокат, изготавливаемый методом холодного профилирования листов, полос или лент на роликовых профилегибочных станках. Гнутые профили выпускаются типа швеллера, уголка, зетового, корытного, С-образного, замкнутого и др. Они находят широкое применение в машиностроении и строительстве.

По сравнению с горячекатаными они имеют меньшую толщину, более сложную форму и высокую точность изготовления.

При одинаковой прочности гнутые профили на 25—30 % легче горячекатаных. В заказе на прокат возможны три варианта по его длине.

Складскими (торговыми) являются длины в пределах размеров проката, указанных в стандартах.

Кратными являются такие длины проката, когда из одной заготовки получается несколько деталей с минимальным количеством отходов.

Мерные — это строго определенные длины, соответствующие размерам одной изготовленной детали.

2.2 Оценка штампуемости. Контроль и испытание штампуемых материалов

Технологическая деформируемость включает понятия штампуемость и допустимое формоизменение.

Штампуемость — сравнительная обобщенная характеристика, отражающая возможность пластической обработки металла до требуемой степени деформации.

Штампуемость зависит от качества и физического состояния металла, а именно химического состава, характеристик прочности, пластичности, анизотропии, размеров зерна и структурного состояния, объема неметаллических включений, склонности металла к деформационному старению, микрогеометрии поверхности листового проката, наличия внешних и внутренних дефектов и пр.

Допустимое формоизменение зависит не только от штампуемости, но и от условий штамповки, относительных размеров и формы детали, ее технологичности, содержания технологического процесса, сил контактного трения, конструкции штампов и их технического состояния, зазоров между рабочим инструментом, применяемого оборудования и пр. Допустимое формоизменение зависит также от вида напряженно-деформированного состояния зоны пластической деформации штампуемой детали. Чем больше сжимающие напряжения в зоне деформации, тем больше предельно возможное формоизменение металла. Технологическая деформируемость — понятие собирательное, определяемое системой металл—конструкция детали—технология штамповки - штампы—оборудование.

При хорошей технологической деформируемости, производственный процесс протекает стабильно, отсутствует брак, качество деталей высокое.

Существующие методы оценки штампуемости металла подразделяются на физико-химические, механические и технологические испытания (пробы), статистические и экспериментально-расчетные. Все перечисленные методы служат, в основном, для установления соответствия качества металла требованиям стандартов по химическому составу, механическим свойствам, его структуре и пр. Перед штамповкой исходный материал, в целях его пригодности для штамповки подвергается испытанию и контролю.

Сюда входит:

- 1) наружный осмотр поверхности и контроль размеров;

- 2) проверка химического состава;
- 3) контроль механических свойств;
- 4) контроль структуры;
- 5) технологические испытания.

Указания характеристики в целом позволяют определить штампуемость материала. Контролю поверхностью и размеров подвергается каждый лист, полоса, лента. Толщина проверяется на расстоянии 20-15 мм от края. Оценка микрометрии поверхности проводится в соответствии с ГОСТ 2789-73 и 2.309.73. При химических испытаниях устанавливается содержание основных химических элементов.

При механических испытаниях выявляются основные характеристики механических свойств – предел прочности, предел текучести, твердость, относительное удлинение и относительное сужение. Испытания производятся с помощью образцов по соответствующим стандартам и ГОСТам (ГОСТ 1497-73).

Твердость дает возможность косвенно судить о механических и технологических свойствах материала и проверяется на приборах Виккерса (ГОСТ 2999-59), Бринеля (ГОСТ 9012-59), Роквелла (ГОСТ 22975-78) и микротвердость на приборе ПМТ-3 (ГОСТ 9450-60). Твердость неметаллических материалов определяется по Шору.

Показатель нормальной анизотропии: $\frac{b}{a}$, где a – ширина, и b – толщина. Металлографические испытания выявляют микро- и макроструктуру – размеры и формы зерна, расположение включений и т.д. и проводятся с помощью оптических микроскопов МИМ7 и МИМ8 в соответствии с ГОСТ 5639-82, 16523-70. Технологические испытания выявляют технологические свойства, т.е. способность материала к тому или иному процессу штамповки и их вид и характер устанавливается в зависимости от характера операции. В холодной листовой штамповке применяются такие виды испытаний как:

1 Испытание на срез, с помощью которого устанавливается сопротивление материала срезу которое проводится на универсальных испытательных машинах с помощью вырубного штампа.

2 Испытания на вытяжку сферической лунки на приборе Эриксона (ГОСТ 10510-80).

О способности к вытяжке судят по глубине выдавленной лунки в образце до появления трещин или разрыва. Выдавливание лунки на приборе Эриксона не в полной мере соответствует условиям вытяжки в штампе, так как деформация в приборе происходит в основном за счет растяжения. При вытяжке в штампе имеет место радиальное растяжение и тангенсальное сжатие.

Более правильный результат дает испытание (проба) на вытяжку цилиндрических колпачков с определением предельной степени вытяжки (где d_0 и d_1 – диаметры заготовки и колпака) при которой происходит разрыв металла. Испытания производятся на прессах ПОШ, ЦНИИТМаш и др.

3 Испытания на гиб и перегиб осуществляют в тисках с различными радиусами губок, или в спецприспособлениях. Материал должен выдержать до разрушения определенное число гибов (ГОСТ 14019-80).

4 Испытания на отбортовку отверстия в листе (до появления трещин на кромке отверстия).

Контрольные вопросы:

- 1 Перечислите причины, при которых необходимо и желательно использовать ХЛШ для сравнительно тонких заготовок.
- 2 Чем вызвано постоянное совершенствование способов листовой штамповки деталей ?
- 3 В каких промышленных отраслях преимущественно применяют метод холодной штамповки?
- 4 Какие основные эксплуатационные требования предъявляют к штампуемым материалам?
- 5 Какие основные технологические требования предъявляют к штампуемым материалам?
- 6 Что понимается под штампуемостью материалов?
- 7 Какие характеристики механических свойств металлов и сплавов наиболее полно позволяют оценить штампуемость?
- 8 Приведите примеры штампуемых конструкционных качественных сталей.
- 9 Приведите примеры штампуемых конструкционных сталей повышенного качества.
- 10 Приведите примеры штампуемых легированных сталей.

Тема 3 Анализ технологичности изготовления детали

3.1 Требования к технологичности конструкции детали

Каждая деталь должна изготавливаться с минимальными трудовыми и материальными затратами. Эти затраты зависят в значительной степени от правильного выбора варианта технологического процесса, его оснащения, механизации и автоматизации, применения оптимальных режимов обработки и правильной подготовки производства. На трудоемкость изготовления детали оказывают особое влияние ее конструкция и технические требования на изготовление. При отработке на технологичность конструкции детали необходимо производить оценку в процессе ее конструирования.

Требования к технологичности конструкции детали согласно МР 186-85 следующие:

конструкция детали должна состоять из стандартных и унифицированных конструктивных элементов или быть стандартной в целом;

- детали должны изготавливаться из стандартных и унифицированных заготовок или заготовок, полученных рациональным способом;

- размеры и поверхности детали должны иметь соответственно оптимальные степень точности и шероховатость;

- физико-химические и механические свойства материала, жесткость детали, ее форма и размеры должны соответствовать требованиям технологии изготовления;

- показатели базовой поверхности (точность, шероховатость) детали должны обеспечивать точность установки, обработки и контроля;

- конструкция детали должна обеспечивать возможность применения типовых и стандартных технологических процессов ее изготовления.

При оценке технологичности конструкции детали необходимо:

- рассчитать показатели технологичности конструкции;

- разработать рекомендации по улучшению показателей технологичности;

- обеспечить технологичность конструкции детали путем внесения изменений.

Качественная оценка технологичности конструкции детали указывается словами «хорошо - плохо», «допустимо - недопустимо» и т.д., а количественная оценка характеризуется показателями технологичности и проводится по усмотрению разработчика.

Количественную оценку технологичности конструкции детали можно производить по следующим коэффициентам:

- коэффициенту унификации конструктивных элементов детали

$$K_{y.э.} = \frac{Q_{э.у.}}{Q_э}, \quad (1)$$

где $Q_{э.у.}$ – число унифицированных элементов детали, шт.,

$Q_э$ - общее число конструктивных элементов детали, шт.;

- коэффициенту использования материала

$$K_{и.м.} = \frac{m_д}{m_з}, \quad (2)$$

где $m_д$ – масса детали по чертежу, кг, $m_з$ – масса материала заготовки с неизбежными технологическими потерями, кг;

- коэффициенту точности обработки детали

$$K_{тч} = \frac{Q_{тч.н}}{Q_{тч.о}}, \quad (3)$$

где $Q_{тч.н}$ - число размеров не обоснованной степени точности обработки,

$Q_{тч.о}$ - общее число размеров, подлежащих обработке;

коэффициенту шероховатости поверхностей детали:

$$K_{ш} = \frac{O_{ш.н.}}{O_{ш.о.}}, \quad (4)$$

где $O_{ш.н.}$ — число поверхностей детали не обоснованной шероховатости, шт.,
 $O_{ш.о.}$ — общее число поверхностей детали, подлежащих обработке, шт.

Последовательность и содержание работ по обеспечению технологичности детали на отдельных стадиях разработки конструкции зависит от сложности и принадлежности детали. В зависимости от принадлежности детали подразделяются на взаимосвязанные и самостоятельные. Взаимосвязанные детали являются составными частями сборочных единиц и машин, а самостоятельные детали не входят в состав других изделий (например, сверло, зубило, ключ и др.).

Технологичность конструкции взаимосвязанной детали

- должна удовлетворять требованиям, предъявляемым к изделию, в состав которого она входит, и частичным требованиям, связанным непосредственно с ее технологичностью.

При отработке детали на технологичность можно использовать и другие количественные показатели согласно МР 186-85.

Ниже указаны основные показатели технологичности.

1 Вырубка (пробивка): — ширина выступов (впадин) должна быть больше толщины металла;

- стороны вырубаемого контура должны сопрягаться плавными кривыми возможно большего радиуса;

-радиус закругления наружного контура при сопряжении сторон под углом $\alpha > 90^\circ$ принимается $R \geq 0,25S$; при угле $\alpha \leq 90^\circ$ — $R \geq 0,5S$;

-при пробивке внутреннего контура — соответственно: $R \geq 0,3S$ и $R \geq 0,6S$;

— минимальные размеры пробиваемых отверстий зависят от их формы и механических свойств штампуемого материала;

— наименьшие размеры при обычной конструкции штампа составляют при штамповке из мягкой стали и латуни: для круглого отверстия $d \geq S$, для квадратного $a \geq 0,9S$, для прямоугольного $b \geq 0,8S$ и т. д.;

— наименьшие расстояния между краями пробиваемых отверстий, а также расстояния от края детали до края отверстия «е» составляют $e \geq S$ для круглых отверстий и $e \geq (1,5 \dots 2,0) S$ — для прямоугольных;

— при пробивке отверстий в согнутых или вытянутых деталях необходимо выдерживать определенные расстояния ($L \geq r_{вн} + d/2$) между отверстиями (d) и вертикальной стенкой детали во избежание набега края отверстия на сопряженную часть стенки и др.

1 **Гибка:** — радиус гибки должен превышать минимально допустимые радиусы — $r \geq [r]_{\min}$;

— высота гнутых полок H должна быть больше двойной толщины материала, т. е. $H > 2S$ и др.

- 2 **Вытяжка:** – радиус сопряжения внутренних стенок с дном $r_{п} \geq 2S$; для материалов $S = (1 \dots 6)$ мм должен быть $r_{п} \geq 2S$;
- для наружных стенок с фланцем $r_{м} \geq (3 \dots 4)S$. При использовании дополнительной последующей операции
 - калибровка – $r_{п} \geq (0,1 \dots 0,3)S$ и $r_{м} \geq (0,2 \dots 0,4)S$.
 - при изготовлении деталей, имеющих несимметрично вытянутую или гнутую форму, следует произвести их спаривание и др.

3.2 Особенности разработки технологии в зависимости от серийности изготовления детали

Технологический процесс вписывается в технологическую карту, являющуюся основным документом для организации, планирования и учета производства.

Карта технологического процесса содержит следующие пункты:

- наименование изделия;
- наименование детали;
- материал и марка заготовки;
- вид заготовки;
- количество деталей в одной заготовке;
- количество деталей на одно изделие;
- размер партии;
- черный вес детали (вес заготовки);
- чистый вес детали;
- норма расхода металла;
- номер операции;
- номер установки;
- номер перехода;
- наименование операций, установок и переходов; эскиз перехода;
- оборудование;
- приспособление;
- режущий инструмент;
- измерительный инструмент;
- припуск на сторону;
- число проходов;
- режимы обработки или резания (глубина резания, подача, число оборотов, скорость резания);
- мощность эффективная; расчетная длина заготовки;
- основное (технологическое) время;
- штучное время;
- подготовительно-заключительное время;
- норма времени на одну деталь, расценка.

Наименования изделия, детали и материал заготовки задаются независимо от типа производства.

Вид заготовки может быть разный: прокат, поковка или штамповка, отливка. В единичном производстве вид заготовки определяется ее минимальной стоимостью, т. е. способ получения заготовки должен исключать затраты на улучшение ее качества путем уменьшения припуска на обработку.

Стальные детали изготавливаются в основном из прокатных заготовок, поковки применяют редко, а штампованные или прессованные заготовки вообще не применяют. Литые заготовки как чугунные, так и стальные применяют лишь при условии, что другими способами их получить нельзя. Объясняется это тем, что изготовление штампов для поковки, штамповки или прессования, а также моделей для отливок требует больших затрат средств и времени.

В массовом производстве картина иная. Затраты на изготовление штампов металлических изделий, а также на специальные способы получения заготовок из стали, чугуна и цветных металлов окупаются переносом стоимости оборудования и приспособлений на очень большое количество деталей. Снижение стоимости изготовления деталей в массовом производстве за счет уменьшения веса заготовок (уменьшение припусков на обработку), сокращения времени на обработку и снижения квалификации используемой рабочей силы оправдывает все затраты на улучшение качества заготовок.

Крупносерийное производство мало отличается от массового, и в нем, как правило, используют все возможности для улучшения качества заготовки, например, уменьшают припуски на обработку.

Мелкосерийное производство (выпуск от 10 до 1000 изделий в год) требует расчета целесообразности применения специальных (улучшенных), т. е. усложненных способов получения заготовок.

Таким образом, вид заготовки во многом зависит от типа производства и оказывает влияние на стоимость механической обработки детали.

Количество деталей в одной заготовке. Из одной заготовки возможно изготовление нескольких деталей (например, призматических шпонок). Если деталь короткая, целесообразно обработать наружные поверхности, а потом разрезать ее на части. Этот способ обработки целесообразен в индивидуальном и серийном производствах.

В массовом производстве такие заготовки обрабатывают на автоматах или применяют специального профиля прокат, например прутки, из которого получается большое количество деталей.

Количество деталей на одно изделие знать необходимо при разработке технологического процесса в единичном и серийном производствах для определения партии деталей, обработка которых должна вестись одновременно.

Размер партии, т. е. количество деталей, одновременно запускаемых в производство, определяется с учетом годовой потребности в них. Вопрос рациональной обработки заготовки решается после установления размера

партии, предопределяющего выбор оборудования, приспособлений, измерительного инструмента и способа обработки. В массовом производстве станки постоянно выполняют закрепленные за ними операции.

Черный и чистый вес детали, а также норма расхода металла позволяют определить стоимость ушедшего в стружку металла и, таким образом, оценить, правильно ли выбран вид заготовки и разработан технологический процесс. Эти факторы особенно важны в массовом и крупносерийном производствах.

Содержание операции — основной части технологического процесса определяется типом производства. Если заготовка в единичном и мелкосерийном производствах обрабатывается на одном станке, то в крупносерийном производстве работа в большинстве случаев будет выполняться на разных станках, т. е. с дроблением операции. В крупносерийном производстве, приближающемся к массовому, и в массовом производстве операции укрупняются, часто объединяются даже операции, выполняемые на разных станках (в крупносерийном производстве). Укрупненные операции выполняются на специальных станках, называемых агрегатными. Объединение операций называется концентрацией операций.

Установка в единичном и мелкосерийном производствах в одной операции может повторяться, т. е. операция будет выполняться в несколько установок. В крупносерийном и массовом производствах операция обычно осуществляется в одну установку.

Переход. В единичном и мелкосерийном производствах обычно операция состоит из ряда переходов, в крупносерийном — в большинстве случаев из одного перехода, а в массовом производстве, как правило, операция выполняется в один сложный переход с использованием нескольких инструментов, работающих одновременно.

Наименование операций, установок и переходов в технологической карте обозначает последовательность обработки заготовки, которая может состоять из следующих ступеней:

первая — черновая обработка, в процессе которой срезается основная часть припуска;

вторая — чистовая обработка, в процессе которой достигается указанная в чертеже детали точность;

третья — отделочная обработка, в процессе которой достигаются указанные в чертеже чистота поверхности, точность изготовления детали.

После черновой обработки заготовка получает необходимую форму, кроме того, возникшие при ее изготовлении напряжения снижаются. Заготовка после дальнейшей обработки превращается в готовую деталь. При определении последовательности обработки в первую очередь выбирают установочные и измерительные базы как для черновой, так и для чистовой обработки.

Правильный выбор баз имеет решающее значение для точности изготовления детали.

Эскиз операции или перехода. Для ясного представления станочником последовательности обработки поверхностей каждая операция сопровождается эскизом обработки, в котором указывается состояние обрабатываемой заготовки после окончания данной операции или перехода.

Таким образом, по эскизам технологической карты можно проследить превращение заготовки в деталь; эскиз наглядно демонстрирует весь порядок обработки.

Если операция состоит из нескольких переходов, эскизом сопровождается каждый переход. Иногда дают один эскиз на несколько переходов, при этом на каждой поверхности указывается номер перехода.

Число переходов, объединяемых в одном эскизе, не должно превышать количества переходов, выполняемых в одну установку.

Линии, изображающие обработанную поверхность на эскизе перехода, обычно наносятся красным карандашом.

Оборудование. Выбор оборудования для выполнения планируемой операции производится исходя из наличия его в цехе. При выборе оборудования следует исходить из следующих соображений: полное использование мощности выбранного станка при достаточно высокой производительности его; обеспечение указанных в чертеже точности и чистоты обработки заготовки.

Приспособление. Выбор приспособления для установки заготовки и крепления одного или нескольких инструментов зависит от количества заготовок. В единичном производстве используют универсальные приспособления, не требующие дополнительных расходов на их изготовление; в серийном производстве используют не только универсальные, но и специальные приспособления, если их изготовление окупается снижением расходов на обработку заготовки. В массовом производстве окупаются самые сложные приспособления, даже специальные станки. Поэтому в массовом производстве имеются предназначенные для выполнения каждой операции свои приспособления.

В карте обычно указывается название или номер применяемого приспособления, присваиваемый технологическим бюро завода.

Режущий инструмент выбирают с учетом особенности обрабатываемой поверхности, материала заготовки и используемого оборудования.

Измерительный инструмент. В единичном производстве применяют обычно универсальный измерительный инструмент с точностью измерения, обеспечивающей точность замера в пределах допуска обработанной поверхности.

В серийном и массовом производствах применяют обычно калибры и точные измерительные приборы для периодического контроля

Припуск на сторону для данной операции или перехода равен слою металла, предназначенному для срезания. Если припуск на сторону срезается

в один проход, он равен глубине резания. Припуск на последующую обработку является частью общего припуска на обработку.

Число проходов равно частному от деления припуска на сторону на глубину резания. Припуск, как правило, срезают в один проход, отступление от этого правила делают в случае недостаточной мощности или недостаточной жесткости станка, приспособления, резца, обрабатываемой заготовки.

Контрольные вопросы:

- 1 Что такое технологичность конструкции изделия?
- 2 Назовите способы оценки технологичности конструкции изделия.
- 3 Как производится качественная и количественная оценки технологичности конструкции изделия?
- 4 Назовите факторы, влияющие на технологичность конструкции изделия.
- 5 По каким признакам классифицируются процессы штамповки?
- 6 Что понимается под технологической схемой процесса штамповки?
- 7 Какие процессы относятся к подгруппе листовой разделительной штамповки?
- 8 Какие процессы относятся к подгруппе листовой формоизменяющей штамповки?
- 9 Дайте определения основных процессов разделительной штамповки.

Тема 4 Основные операции листовой штамповки

Все операции листовой штамповки, в зависимости от степени деформации и характера, действующих на материал сил, разделяют на две группы: разделительные операции и формоизменяющие операции.

4.1 Разделительные операции листовой штамповки

Разделительные операции широко применяются в холодноштамповочном производстве (эскиз каждой операции можно посмотреть в теоретических сведениях первой лекции). С их помощью осуществляется отрезка рулонного и листового проката на ленты и полосы, вырубка различного рода плоских деталей, пробивка отверстий, как в плоских, так и в пространственных пустотелых деталях, вырезка плоских заготовок в виде кругов и криволинейных контуров.

Механизм разделения материала

Разделение материала обычно осуществляют воздействием двух режущих кромок на противоположные поверхности заготовки (рисунок 4).

Благодаря наличию зазора z между режущими кромками силы P , приложенные к противоположным поверхностям заготовки, образуют момент M , стремящийся повернуть заготовку. Поворот заготовки приводит к тому, что контактные напряжения имеют максимальную величину у режущих кромок и резко уменьшаются до нуля на границе контактного участка.

Концентрация напряжений у режущих кромок приводит к тому, что очаг пластических деформаций возникает у режущих кромок, а размеры очага деформации увеличиваются по мере роста деформирующего усилия. В определенный момент деформирования очаги деформации, распространяющиеся от противоположных режущих кромок, сливаются и образуют единый очаг пластических деформаций.

Дальнейшее сближение режущих кромок приводит к тому, что начинается сдвиг одной части заготовки относительно другой в направлении относительного движения режущих кромок. На стадии сдвига слои металла, параллельные плоскостям заготовки, изгибаются и удлиняются.

На ранней стадии сдвига режущие кромки внедряются в заготовку и образуются участки контакта заготовки с боковыми поверхностями режущего инструмента. Упираясь в боковые поверхности инструмента, заготовка приводит к образованию горизонтальных сил T и сил трения mT , которые вызывают сжимающие контактные напряжения, сглаживающие поверхность при перемещении режущего инструмента относительно заготовки. Так как очаг деформации зарождается у режущих кромок, то и накопленная в процессе сдвига интенсивность деформаций будет максимальной вблизи режущих кромок. Для каждого металла и заданной схемы напряженного состояния существует предельное значение интенсивности деформаций, которую может выдержать металл без разрушения. Поэтому по мере сближения режущих кромок наступает момент, когда пластичность металла будет исчерпана и начнется разрушение заготовки.

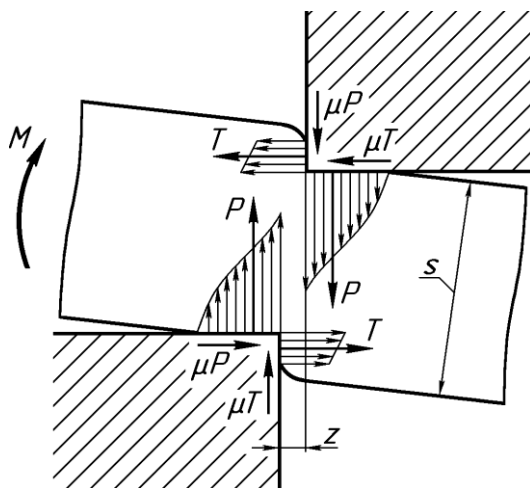


Рисунок 4 - Силы, действующие при разделении материала

Зарождение трещины происходит у режущих кромок (рисунок 5а). Трещины быстро развиваются в толщину заготовки и при встрече трещин процесс разделения материала заготовки заканчивается. Таким образом, разделение заготовки может завершаться при внедрении режущих кромок на определенную долю толщины. В этом случае поверхность среза будет иметь

два существенно отличающихся по гладкости участка: блестящий пояс и шероховатый участок – поверхность скола (рисунок 5б).

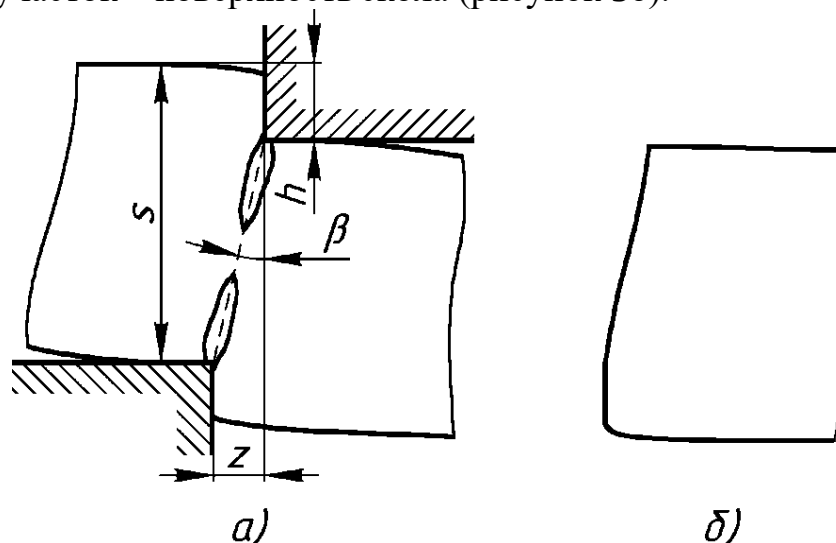


Рисунок 5 – Образование трещин скола (а) и форма боковой поверхности отделенной заготовки (б)

Высота блестящего пояса h возрастает с увеличением пластических свойств металла заготовки и для большинства штампуемых металлов колеблется от $0,1s$ до $0,3s$ (s – толщина заготовки). Для весьма пластичных материалов высота h достигает $(0,5...0,8)s$.

Трещины, образующиеся от режущих кромок, обычно слегка повернуты от вертикали к свободным поверхностям заготовки под углом $\beta = 4...6^\circ$, причем этот угол увеличивается с ростом пластичности металла. Образованию трещин и отклонению их от вертикали способствует расклинивающее действие сил P и T .

Условие совпадения трещин определяется из геометрических соображений (см. рисунок 5а) из соотношения

$$z = (s - h)\operatorname{tg}\beta. \quad (4)$$

Совпадение трещин обеспечивается определенным зазором, зависящим от свойств металла. А так как высота блестящего пояса h с изменением пластичности металла меняется в большем диапазоне, чем угол β , то зазор z должен уменьшаться с увеличением пластичности металла.

Если величина зазора между режущими кромками меньше значения, определяемого по формуле (4), то трещины параллельны и не совпадают (рисунок 5а). При дальнейшем движении отделенного материала по матрице перемычка между трещинами срезается и образуется пояс вторичного среза, который не только ухудшает качество поверхности раздела, но и является концентратором напряжений (рисунок 5б).

Увеличение зазора относительно значения не приводит к появлению пояса вторичного среза. При этом за счет увеличения поворота заготовки

или ее прогиба угол β , под которым идут образующиеся трещины, также увеличивается.

При наличии притупления режущих кромок расклинивающее действие сил P и T приводит к тому, что зарождение трещин происходит несколько выше торца режущего инструмента (рисунок 6а) и на отделенных частях заготовки образуются острые торцевые заусенцы (рисунок 6 б).

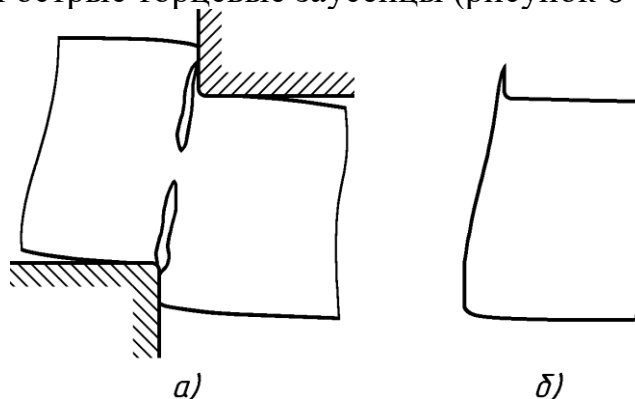


Рисунок 6 – Разделение материала с притупленной режущей кромкой (а) и образование торцевого заусенца (б)

Появление заусенцев нежелательно по соображениям техники безопасности. Кроме того, торцевые заусенцы могут сказываться на точности подачи заготовки при механизированной подаче. Высота торцевых заусенцев возрастает по мере притупления режущих кромок, а также при увеличении зазора z .

Пластические деформации, возникшие в заготовке до появления трещин, в условиях холодной штамповки вызывают упрочнение материала вблизи поверхности раздела. Ширина зоны упрочнения может колебаться в пределах $D = (0,6 \dots 0,8)s$.

Характер изменения силы резания и величина максимального усилия резки зависят от типа разделительной операции. Однако во всех случаях при расчете силы резания используют условную технологическую величину – сопротивление срезу s_{cp} . Эта величина объединяет все виды сопротивления вырезаемого металла и автоматически учитывает упрочнение металла к моменту скола. Как показывают исследования, сопротивление срезу зависит не только от механических свойств металла и степени предварительного наклепа, но и от относительной толщины вырубki, зазора z и скорости резания. Для большинства случаев изменение сопротивления срезу невелико, и при отсутствии справочных данных можно пользоваться соотношением:

$$s_{cp} = k_s s_B, \quad (5)$$

где коэффициент k_s устанавливается в зависимости от марки материала по таблице 1.

Таблица 1 – Значения k_s для штампуемых металлических материалов

Материал	ks
Сталь малоуглеродистая	0,75–0,90
Сталь нержавеющая марок 12Х13 и 12Х18Н9	0,68–0,72
Сталь шарикоподшипниковая ШХ15	0,72–0,78
Латунь	0,65–0,75
Алюминий мягкий	0,75–0,90
Алюминий твердый	0,55–0,70
Дуралюмин мягкий	0,65–0,75
Дуралюмин твердый	0,60–0,65

В соответствии с ГОСТ 18970-84 к разделительным относятся следующие операции:

Отрезка. Отрезкой называется разделительная операция, при которой осуществляется полное отделение части листовой заготовки по незамкнутому контуру путем сдвига.

Листовые материалы для холодной штамповки в большинстве случаев предварительно разрезают на полосы или заготовки необходимых размеров. Отрезка в большинстве случаев является заготовительной операцией и выполняется на ножницах или совмещается с другими операциями в штампах.

Вырезка. Вырезкой называют операцию отделения части заготовки по замкнутому контуру на ножницах. Для вырезки используют дисковые ножницы с наклонными ножами и ножницы с возвратно-поступательным движением ножей (вибрационные).

При вырезке необходимо максимально облегчить поворот заготовки относительно ножей с тем, чтобы обеспечить отделение заготовки по криволинейному контуру.

Вырубка и пробивка. Вырубкой и пробивкой называют разделительные операции, при которых осуществляется полное отделение части листовой заготовки в штампе по замкнутому контуру. При вырубке получают наружный контур детали, т.е. отделяемая часть является деталью (заготовкой, полуфабрикатом). При пробивке получают внутренний контур, а отделяемый материал является отходом. Например, при производстве шайб наружный контур получают вырубкой, а внутреннее отверстие пробивкой.

Вырубку и пробивку выполняют в штампах, рабочие органы которых (пуансон и матрица) установлены с определенным зазором (см рис 7).

Разделение металла проходит в три стадии. На первой стадии осуществляется упругая деформация до начала пластической деформации. Пуансон производит сжатие металла, появляется упругий прогиб, и металл слегка вдавливаются в отверстие матрицы.

На второй стадии протекает пластическая деформация. Вблизи режущих кромок пуансона и матрицы создается концентрация напряжений, которая вызывает течение металла и образование зоны смятия.

Третья стадия характеризуется разделением, когда напряжения в металле превышают сопротивление срезу. У режущих кромок появляются

скалывающие трещины, после чего происходит полное отделение вырубаемого (пробиваемого) контура.

Для окончательного удаления вырубленной детали из заготовки необходимо преодолеть сопротивление сил трения, возникающих между поверхностями среза взаимно смещенных частей, а также между металлом и рабочими частями штампа.

Качество полученных деталей определяется точностью наружных и внутренних контуров, качеством поверхности среза, размером торцевого заусенца, величиной утяжин вблизи поверхности среза, а также искажением заготовки вследствие изгиба. Основными факторами, влияющими на качество полученных деталей, являются: размер перемычек при раскрое материала; величина зазора между режущими кромками; твердость режущего инструмента и степень остроты режущих кромок; конструкция штампа; наличие смазочного материала.

Лист или полосу устанавливают на матрицу имеющую острые кромки. Пуансон, опускаясь вместе с верхней частью штампа, надавливает на лист. При этом, при отрезке и разрезке происходит смещение деформируемого материала в матрицу, заканчивающееся разрушением, т.е. вырубкой или пробивкой. Отделённая часть материала проваливается в отверстие в матрице, а отход при ходе пуансона вверх снимается с пуансона съёмником.

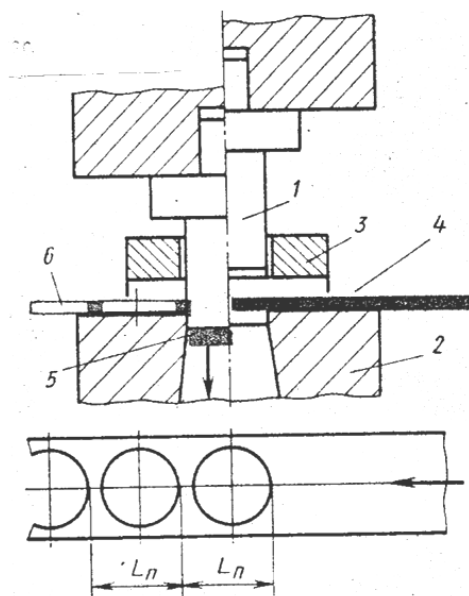


Рисунок 7 – Схема вырубki-пробивки

где L_p - шаг подачи, мм

При проектировании холодноштамповочных деталей необходимо назначать экономически целесообразные допуски, т.е. те, которые обеспечивают изготовление деталей без доделочных операций (зачистка, правка, калибровка, чеканка и др.).

Раскрой материала при вырубке зависит в большей степени от конструкции штампуемой детали, что также следует учитывать при

разработке конструкции детали. От типа раскроя материала зависит экономия металла, особенно в условиях крупносерийного и массового производства. Раскрой материала является первой операцией в технологическом процессе, связанной с потерями металла. Часто доля отходов на стадии раскроя является наибольшей по сравнению с отходами на последующих операциях.

Различные способы раскроя материала по экономичности и величине технологических отходов могут быть разделены на три вида:

1) раскрой с отходами, когда вырезка происходит по всему контуру детали, а перемычка имеет замкнутую форму (рисунок 8а);

2) малоотходный раскрой, когда вырезается или отрезается только часть контура детали, а в отход идет или перемычка между вырезками, или только боковая перемычка (рисунок 8б);

3) безотходный раскрой, когда вырезаемая деталь получается путем прямолинейной или криволинейной отрезки без образования перемычки (рисунок 8в).

Здесь следует отметить, что отходы от пробивки отверстий или окон, а также отходы в начале и конце листа или полосы, влияющие на общий коэффициент использования металла, зависят исключительно от конструкции детали и не характеризуют самого способа раскроя. Эти отходы неизбежны и почти неизменны при любом способе раскроя.

Для экономии металла основное значение имеют технологические отходы, зависящие от способа раскроя и определяющие его экономичность.

По характеру расположения вырезаемых деталей можно выделить следующие основные способы раскроя:

- прямой однорядный (рисунок 8а);
- прямой наклонный (рисунок 8б);
- многорядный (рисунок 8в);

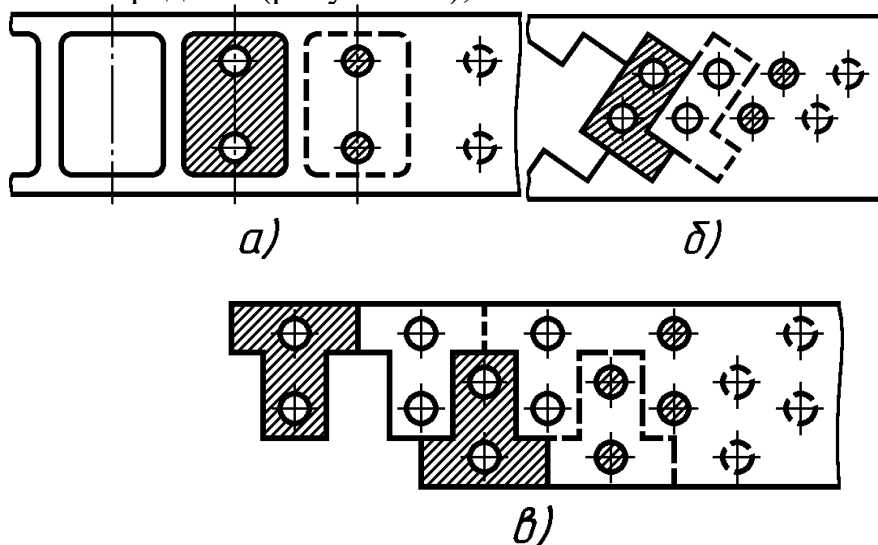


Рисунок 8 - Способы раскроя по экономичности:

а – с отходами; б – малоотходный и в – безотходный

- встречный прямой (рисунок 9а);
- встречный наклонный (рисунок 9б);
- комбинированный (для двух или более различных деталей) (рисунок 10в);
- с вырубкой перемычки (рисунок 9г).

При вырубке круглых заготовок можно использовать следующие типы раскроя: однорядный (рисунок 10а), многорядный с параллельным (рисунок 10б) и шахматным расположением заготовок (рисунок 10в).

Величина перемычки оказывает существенное влияние на процесс вырубки и качество изделия.

Основное назначение перемычек – компенсировать погрешности подачи материала и его фиксации в штампе с тем, чтобы предотвратить получение бракованных деталей, т.е. чтобы не произошло наложение контуров соседних деталей.

С точки зрения усилия, необходимого для снятия материала с пуансона, выгоднее работать с возможно наименьшими перемычками. Кроме того, они являются прямой потерей материала, поэтому их ширина должна быть наименьшей.

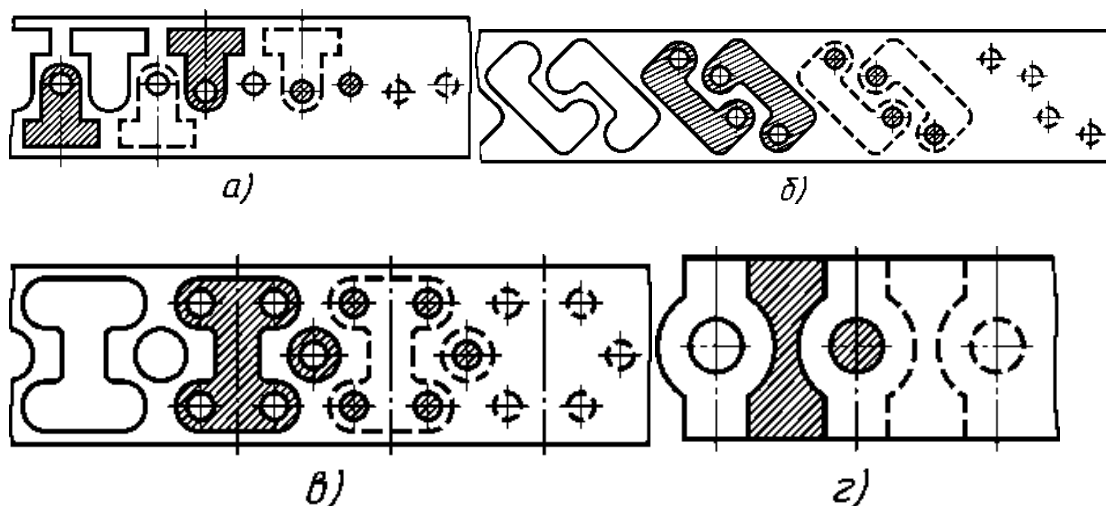


Рисунок 9 – Способы раскроя по характеру расположения заготовок:
а – встречный прямой; *б* – встречный наклонный; *в* – комбинированный и
г – с вырубкой перемычки

С другой стороны, перемычка должна обеспечить достаточную жесткость полосы или ленты при работе, чтобы не произошел разрыв. Величина перемычки также влияет на стойкость штампа: при недостаточной ширине перемычки стойкость штампа уменьшается.

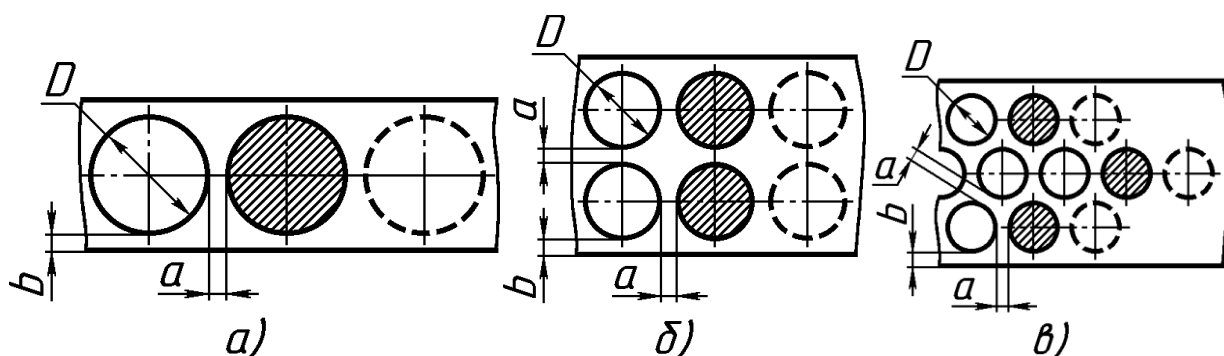


Рисунок 10 – Способы раскроя круглых заготовок: а – однорядный; б – многорядный параллельный и в – многорядный шахматный

Ширина перемычки зависит от следующих факторов:

- 1) толщины и твердости материала;
- 2) размеров и конфигурации детали;
- 3) типа раскроя;
- 4) способа подачи полосы в штамп на позицию вырубки;
- 5) типа упора штампа.

Оценку экономичности того или иного типа раскроя производят посредством коэффициента раскроя K_p :

$$K_p = \frac{F n_p}{L h} \cdot 100\% \quad (6)$$

где F – площадь поверхности детали, включая внутренние отверстия;

h – шаг вырубки (раскроя);

L – ширина полосы;

n_p – количество рядов раскроя.

Размеры перемычек между деталями a и боковых перемычек b (см. рисунок 10) в зависимости от толщины штампуемого материала:

s	a	b
Свыше 0,2 до 0,5	1,2–2,5	1,5–3,0
Свыше 0,5 до 4,0	1,0–3,2	1,3–3,6
Свыше 4,0 до 10,0	3,2–7,0	3,6–8,0

Наиболее экономичным будет раскрой с наибольшим значением K_p . В случае комбинированного раскроя в качестве площади F берется сумма площадей вырезаемых деталей.

Однако коэффициент раскроя не дает полного представления об общей величине полезного использования материала. Эта величина определяется общим коэффициентом использования металла $K_{и}$.

$$K_{и} = \frac{F_d n}{AB} \cdot 100\% \quad (7)$$

где F_d – площадь поверхности детали без отверстий;

n – количество деталей, вырубленных из полосы или ленты с длиной A и шириной B .

Коэффициент использования материала $K_{и}$ почти всегда меньше коэффициента раскроя $K_{р}$ за счет того, что при раскрое, как правило, присутствуют концевые отходы и часто вырезаемая деталь содержит отверстия, при отсутствии концевых отходов и отверстий $K_{и} = K_{р}$.

Круглые заготовки диаметром $D > 150$ мм обычно вырубают в один ряд (см. рисунок 10а). При меньших размерах выгоднее штамповать в несколько рядов в шахматном порядке (см. рисунок 10в). $K_{и}$ при параллельном и шахматном расположении круглых деталей на полосе или ленте определяют по следующим зависимостям:

при параллельном:

$$K_{и} = \frac{n_p \cdot 0,785D^2}{(D+a)[n_p D + 2b + a(n_p - 1)]} \cdot 100\% ; \quad (8)$$

при шахматном:

$$K_{и} = \frac{n_p \cdot 0,785D^2}{(D+a)[(D+2b) + (n_p - 1)(D+a)\cos\alpha]} \cdot 100\% , \quad (9)$$

Величина $K_{и}$ повышается при увеличении числа рядов вырубки и уменьшении размеров перемычек. Значительное повышение коэффициента использования металла в случае шахматного расположения заготовок при многорядном раскрое наблюдается, когда происходит увеличение числа рядов до семи. Дальнейшее увеличение числа рядов дает сравнительно небольшую экономию материала.

Чистовая вырубка и пробивка. Обычная вырубка-пробивка листового материала дает неровную, слегка криволинейную и шероховатую поверхность среза. Шероховатость поверхности в среднем составляет для блестящего пояса Ra 2,5–0,63 (6–7 классы), а для зоны скалывания Rz 80–20 (3–5 классы) по ГОСТ 2789-73.

В ряде случаев требуется изготовить штампованную деталь повышенной точности (3–2 класса) с гладкой и перпендикулярной поверхностью среза по всей высоте с шероховатостью поверхности Ra 0,63–0,32 (8 класс). Зачастую это достигается последующей доработкой на фрезерных, шлифовальных станках, что малопроизводительно и дорого.

Наиболее экономичными способами в крупносерийном и массовом производстве являются чистовая вырубка-пробивка и зачистка. Это дает значительные преимущества по сравнению с механической обработкой резанием.

Зачисткой называется разделительная операция, целью которой является отделение припуска со снятием стружки на боковых поверхностях полуфабриката, полученного вырубкой или пробивкой.

Вырубка со сжатием не всегда оказывается экономически целесообразной для получения деталей с точными размерами и гладкой боковой поверхностью. Достаточно хорошее качество вырубаемых деталей можно получить с применением операции зачистки. При зачистке качество поверхности среза повышается путем срезания припуска на боковых поверхностях детали и переводом части металла в стружку. Этот способ позволяет получать детали небольших размеров с точностью, соответствующей 2–4 классу. Достижимая при зачистке шероховатость поверхности обычно соответствует 7 классу, а при зачистке деталей из пластичных цветных металлов и сплавов – 8 классу шероховатости. Однако в большинстве случаев на верхней кромке детали образуется небольшой скол, который отсутствует при чистовой вырубке (пробивке).

Зачистке путем снятия припуска подвергаются как металлы, так и многие неметаллические материалы (гетинакс, фибра, текстолит и др.).

Зачистка по наружному контуру может быть выполнена следующими способами:

- 1) пуансоном меньше матрицы, когда матрица имеет размеры зачищаемой детали, а пуансон меньше этих размеров;
- 2) пуансоном больше матрицы, когда матрица имеет размеры зачищаемой детали, а пуансон – размеры заготовки;
- 3) обжимкой в конусной матрице или с заваленными режущими кромками;
- 4) вырубкой с зачисткой двумя матрицами, расположенными вертикально одна над другой.

Первый способ (зачистка срезанием припуска) является наиболее распространенным и широко применяется в приборостроении и точной индустрии (например, при производстве часовых шестеренок) для зачистки деталей весьма сложной конфигурации.

Процесс зачистки заключается в срезании небольшой стружки по контуру детали. Заготовка укладывается на матрицу закругленной стороной вниз, и при движении пуансона вниз кромками матрицы срезается припуск в виде стружки.

В зависимости от сложности контура обрабатываемой детали, рода и толщины материала зачистка может быть однократной и многократной. Количество операций устанавливается из следующих соображений. Для простого контура (без острых углов) детали толщиной до 3 мм для всех металлов ограничиваются одной зачисткой. При сложном контуре (с острыми углами) для деталей из твердой стали толщиной до 3 мм требуется две операции. Для всех металлов толщиной свыше 3 мм необходимо применять 2–3 зачистные операции.

Этот способ зачистки применяется преимущественно для деталей из цветных металлов и сплавов. Его достоинствами являются хорошая шероховатость поверхностей и меньшая стоимость изготовления рабочего

инструмента штампа, поскольку не требуется строгой пригонки пуансона к матрице.

По третьему способу (при зачистке обжатием) зачистка производится путем прогонки предварительно вырубленной заготовки через конус матрицы ($1-2^\circ$), переходящий в цилиндрический пояс (рисунок 2.28в). Часто вместо конусной матрицы используют матрицу с закругленными (заваленными) режущими кромками радиусом $r_m = (0,2 \dots 0,3)s$.

Односторонний припуск на обжатие не должен превышать $0,06-0,08$ мм во избежание поломки пуансона под действием значительных усилий. Зазор между пуансоном и матрицей принимают равным порядка $0,1$ мм.

Зачистка обжатием используется преимущественно для стальных деталей как окончательная чистовая операция. Матрицу для зачистки алюминиевых деталей (например, ложек) делают с фаской вместо закругления.

По четвертому способу комбинирование операций вырубки и зачистки может осуществляться как по принципу объединения вырубки с зачисткой пуансоном больше матрицы, так и объединением вырубки с зачисткой обжатием. Одновременную вырубку с зачисткой можно применять для деталей простой формы толщиной $0,5-5,0$ мм, а для сложных – до 2 мм.

Надрезкой называют разделительную операцию, при которой происходит частичное отделение части заготовки по незамкнутому контуру с формоизменением отделяемой части. Часто надрезка используется для получения безотходных сеток. Для этого используется пилообразный пуансон (нож) с поперечным возвратно-поступательным движением.

При надрезке с гибкой пуансон обычно делают со скосом, а зазор между режущими кромками пуансона и матрицы принимают такими же, как и при обычной вырубке-пробивке. На участке изгиба заготовки зазор берется несколько большим толщины заготовки, а кромки пуансона и матрицы на этом участке имеют скругления.

Обрезка. Обрезка – это отделение краевой части (припуска) полуфабриката, полученного формоизменяющими операциями.

В большинстве случаев для обеспечения заданных размеров после вытяжки полые детали подвергаются последующей обрезке кромок или фланца, для чего предусматривается специальный припуск на обрезку. Необходимость обрезки объясняется рядом причин: образованием фестонов вследствие анизотропии холоднокатаного металла; неточностью фиксации заготовки на матрице; неравномерностью толщины штампуемого материала, зазора и смазки и т.п. Без обрезки можно вытягивать лишь неглубокие детали.

Обрезка может осуществляться дисковыми ножами или в штампах (см рис 11 и 12).

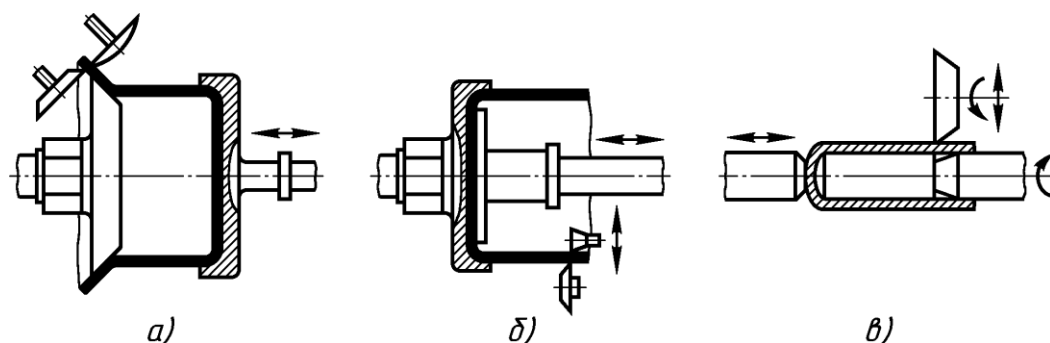


Рисунок 11 – Обрезка дисковыми ножами заготовок с фланцем (а), без фланца (б) и в патронном производстве (в)

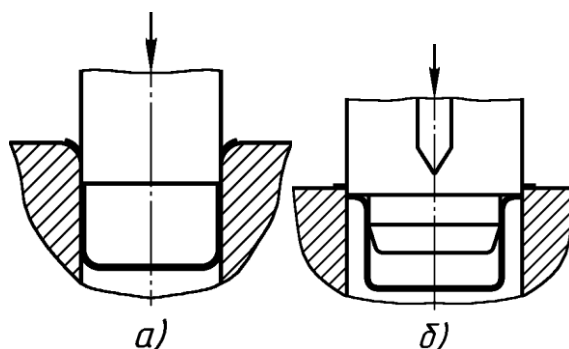


Рисунок 12 – Обрезка в штампе заготовок без фланца (а) и с фланцем (б)

При обрезке осесимметричных и неосесимметричных полуфабрикатов средних размеров могут использоваться двухдисковые ножницы, аналогичные применяемым при вырезке (рисунок 11). Обрезка дисковыми ножницами может применяться для полых заготовок с фланцем (рисунок 11а) и без него (рисунок 11б). Использование дисковых ножниц для обрезки целесообразно в мелко- и среднесерийном производстве, так как ножи и приспособления для перемещения обрезаемой заготовки сравнительно дешевы и просты. При обрезке осесимметричных полуфабрикатов небольших размеров (например, при производстве патронов), несмотря на массовый характер производства, используется обрезка с помощью дискового ножа, но на специализированном оборудовании (рисунок 11в). В этом случае отделение отхода осуществляется внедрением режущей кромки дискового ножа, причем сопряженной режущей кромкой является кромка оправки, поддерживающей заготовку изнутри. Такой вариант используют в условиях серийного производства.

Способы обрезки в штампах разнообразны. Обрезку припуска на полых полуфабрикатах без фланца, как правило, совмещают с вытяжкой и осуществляют ступенчатым пуансоном (рисунок 12а).

Обрезка осуществляется на заключительной стадии вытяжки второй ступенью пуансона, имеющей режущие кромки. Отделение отхода осуществляется отрывом, что приводит к шероховатой поверхности.

Оставшийся на пуансоне кольцевой отход снимается с пуансона съемником и удаляется из рабочей зоны штампа.

Обрезку припуска на полуфабрикатах с фланцем обычно осуществляют по схеме, представленной на рисунке 12б.

Заготовка до обрезки фиксируется ловителем пуансона при его движении. Отделение отхода осуществляется режущими кромками пуансона и матрицы, как при обычной вырубке.

Величина зазора принимается такой же, как для вырубки. Отделенная часть фланца в виде кольцевого пояска смещается по пуансону и в дальнейшем накопившийся отход срезается острыми кромками ножей-рассекателей, выполненных на пуансоне.

Усилие обрезки на дисковых ножницах рассчитывается, как для отрезки, а усилие обрезки в штампах приближенно может быть определено, как для обычной вырубки .

4.2 Формообразующие операции листовой штамповки

При формообразующих операциях стремятся получить заданную величину деформации, чтобы заготовка приобрела требуемую форму.

Основные формообразующие операции: гибка, вытяжка, отбортовка, обжим, раздача, рельефная формовка. Схемы формообразующих операций представлены на рисунке 13.

Гибка

Гибкой называют формоизменяющую технологическую операцию листовой штамповки, при которой из плоской или изогнутой заготовки получают изогнутую пространственную деталь путем изменения кривизны срединной поверхности заготовки без существенного изменения ее линейных размеров. Гибка является весьма распространенной операцией листовой штамповки.

Гибка может быть одно-, двух-, трех-, четырех- и многоугловой (рисунок 14). К ней также относятся операции по закатке краев плоской заготовки. Гибка может совмещаться и с другими операциями: отрезкой, вырубкой, пробивкой. Производится она на кривошипных и гидравлических прессах, на горизонтально-гибочных машинах, а также специальных гибочных станках-автоматах.

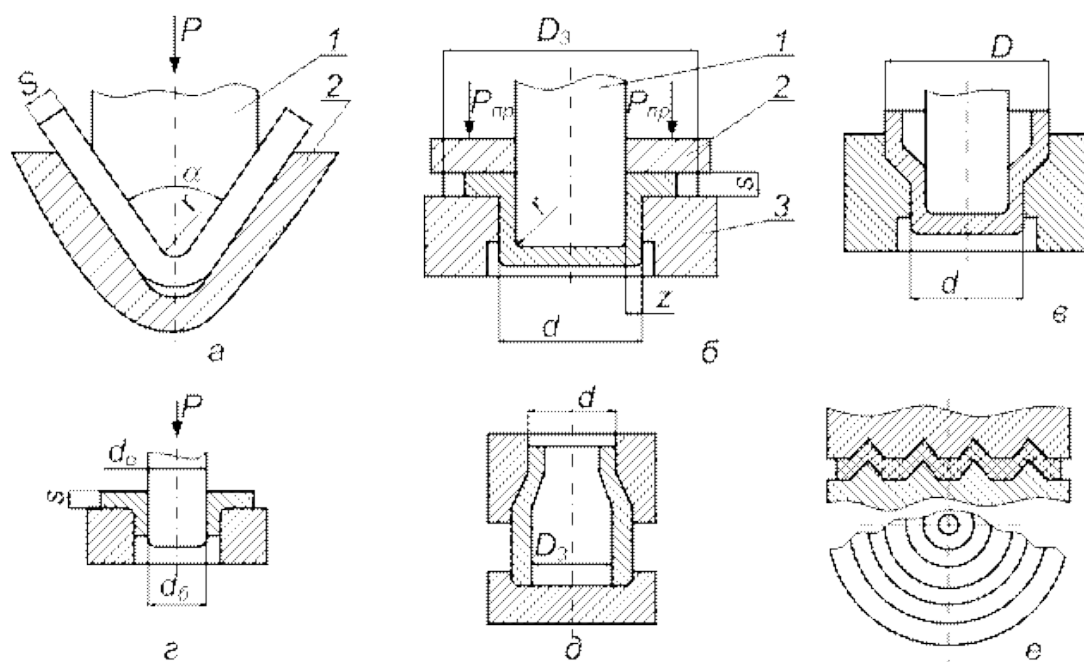


Рисунок 13 - Формообразующие операции листовой штамповки

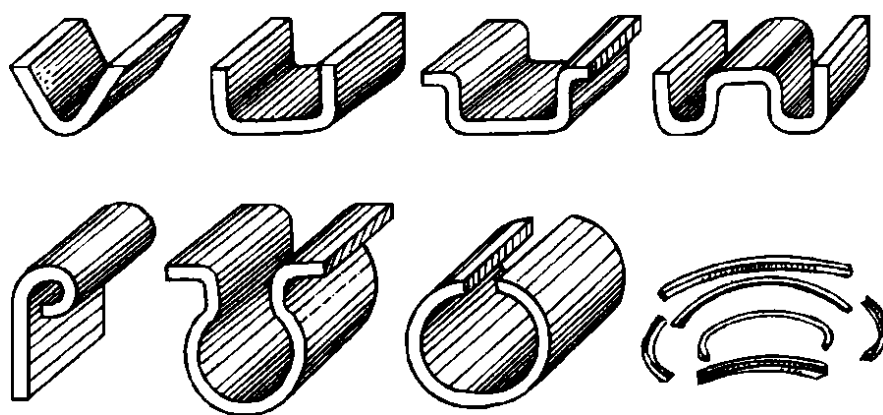


Рисунок 14 – Заготовки, полученные гибкой

В холодной листовой штамповке в большинстве случаев применяется гибка с малым радиусом закругления

Вытяжкой без утонения называется формоизменяющая операция, в процессе которой плоская или полая заготовка превращается в полое изделие любой формы без принудительного утонения стенки.

При вытяжке заготовка протягивается пуансоном через отверстие матрицы, в результате чего периметр заготовки уменьшается.

При первой вытяжке (свертке) плоская заготовка превращается в полое изделие или полуфабрикат, при последующих вытяжках поперечные размеры полого полуфабриката уменьшаются при одновременном увеличении его высотных размеров.

Вытяжка без утонения стенок (см рис 15,16) осуществляется при значительном уменьшении поперечных размеров и незначительном естественном изменении толщины стенки, которым пренебрегают. Кроме

этого наблюдается незначительное изменение площади поверхности полуфабриката. Вытяжка с утонением стенок характеризуется принудительным уменьшением толщины стенки заготовки.

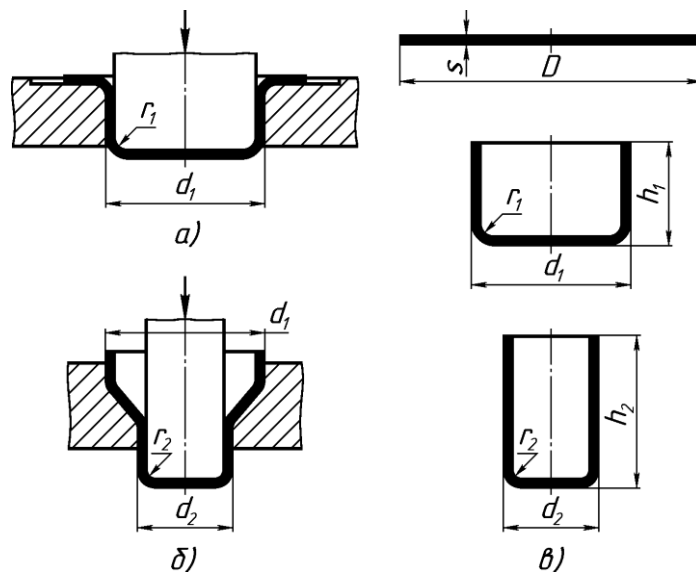


Рисунок 15 – Вытяжка без утонения: а) первая (свертка); б) последующие; в) межоперационные эскизы

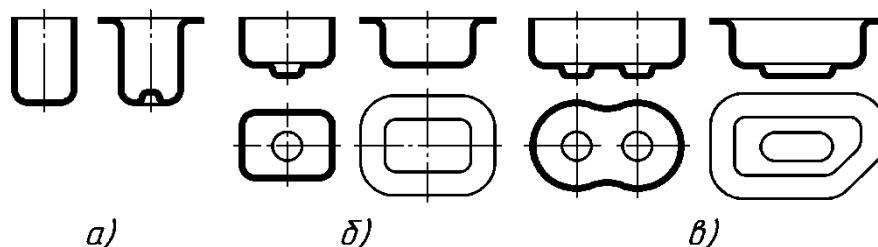


Рисунок 16 – Формы изделий, получаемых вытяжкой без утонения: а) тела вращения; б) коробчатой формы; в) сложной формы

По форме и технологическим особенностям полые детали, получаемые вытяжкой, делят на три группы:

- 1) детали, имеющие форму тела вращения (осесимметричные) (рисунок 16а);
- 2) детали коробчатой формы (рисунок 16б);
- 3) детали сложной формы (например, корпусные детали автомобилей) (рисунок 16в).

Детали после вытяжки могут быть с фланцем или без него, с плоским или фасонным дном (рисунок 16а–в).

В зависимости от формы детали заготовка может подвергаться либо вытяжке в чистом виде, либо вытяжке в сочетании с формовкой, гибкой, обжимом или отбортовкой.

Вытяжку осуществляют в вытяжных штампах на кривошипных прессах простого, двойного и тройного действия, а также на гидропрессах простого и двойного действия.

4.3 Расчет исходного размера плоской заготовки

Диаметр исходной заготовки D находят из условия неизменной толщины и площади ее поверхности при вытяжке, т.е. $F_{\text{заг}} = F_{\text{дет}}$. Расчет ведется по срединной поверхности – поверхности бесконечно малой толщины, делящей толщину стенки заготовки пополам (см рис. 17).

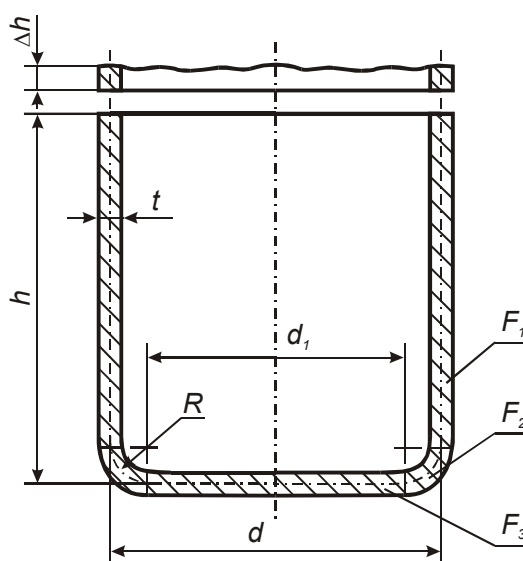


Рисунок 17- Гильза с припуском под обрезку:

F_1, F_2, F_3 – площади элементов детали (цилиндра, тороида, дна соответственно)

Сечение детали по чертежу разбивает на отдельные элементы. Для цилиндрической гильзы это: дно, тороид (с радиусом R) и цилиндр. Площади этих элементов вычисляют по геометрическим формулам:

$$\text{площадь цилиндра: } F_1 = \pi d(h - R), \quad (10)$$

$$\text{площадь тороида: } F_2 = \frac{\pi^2 R}{2} (d - 0,74R), \quad (11)$$

$$\text{площадь дна: } F_3 = \frac{\pi(d - 2R)^2}{4}, \quad (12)$$

Площадь детали (F) определится как сумма площадей ее отдельных элементов:

$$F = F_1 + F_2 + F_3. \quad (13)$$

Прокат, который используют в качестве исходного материала для листовой штамповки, характеризуется анизотропией свойств, в частности, пластичность вдоль и поперек листа неодинакова.

Данное обстоятельство является причиной появления неровностей (фестонов) на краях изделия, полученного вытяжкой.

Для того, чтобы получить ровный край, верхнюю часть (Δh) изделия обрезают.

Припуск на обрезку учитывают при расчете площади исходной заготовки путём увеличения на $\sim 5\%$ суммарной площади изделия.

Исходя из формулы площади круга, окончательно имеем:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{заг}}}{\pi}} = 1,13 \sqrt{1,05(F_1 + F_2 + F_3)} \quad (14)$$

где $F_{\text{заг}}$ – площадь плоской заготовки.

Расчет усилия вырубki заготовки

Усилие вырубki определяется как произведение площади среза и сопротивления металла срезу ($\sigma_{\text{ср}}$):

$$P_{\text{выр}} = l \cdot t \cdot \sigma_{\text{ср}} \cdot k, \quad (15)$$

где l – периметр вырубki (для круглых отверстий $l = \pi \cdot D$);

t – толщина листа;

$\sigma_{\text{ср}}$ – предел прочности материала заготовки на срез (см. табл. 2);

k – коэффициент, учитывающий притупление режущих кромок ножа, неравномерность толщины и механических свойств материала (принимают $k = 1,1 \dots 1,3$).

Таблица 2- Сопротивление срезу $\sigma_{\text{ср}}$, МПа некоторых сплавов (средние значения) в отожженном состоянии

Материал	Сталь 08кп	Сталь 10	Сталь 20	Латунь Л68
$\sigma_{\text{ср}}$, МПа	265	290	310	250

Определение усилия вытяжки

Необходимость использования прижима

При вытяжке тел вращения пластическая деформация чаще всего характеризуется коэффициентом вытяжки m , который определяют как отношение диаметра (по срединному сечению) изделия после вытяжки к диаметру до вытяжки:

$$m = \frac{d}{D}, \quad (16)$$

где m – коэффициент вытяжки;

d – диаметр изделия после операции вытяжки, мм;

D – диаметр изделия до операции вытяжки, мм.

Для первого перехода D соответствует диаметру исходной плоской заготовки. Если вычисляется отношение диаметра изделия, заданного чертежом, т.е. окончательно изготовленного, к диаметру плоской заготовки, то получают общий коэффициент вытяжки $m_{\text{общ}}$. В том случае, когда определяется отношение диаметров заготовки до и после однократного пропуска в отверстие матрицы, говорят о коэффициенте вытяжки соответствующего перехода: m_1 – на первом переходе; m_2 – на втором и т.д.

Коэффициент вытяжки – величина меньшая единицы. Чем меньше значение коэффициента вытяжки, тем больше деформируется металл. Однако уменьшение коэффициента вытяжки ограничено прочностью протянутого изделия и условием появления складок (гофров) на заготовке. Появление складок на цилиндрической поверхности изделия можно в некоторой степени предотвратить применением прижима (см. рис. 2), но часто в прижиге нет необходимости. Установлено, что при вытяжке гофры не образуются, если:

$$m \geq 1 - \frac{100 \cdot t}{4,5 \cdot D}, \quad (17)$$

где $\frac{100 \cdot t}{D}$ – относительная толщина заготовки, выраженная в процентах.

Если коэффициент вытяжки удовлетворяет условию (8), то вытяжку можно производить без прижима. В случае, когда требуется коэффициент вытяжки меньше, чем рассчитанный по формуле (8), необходимо применить прижим – складкодержатель. По итогам сравнения значений следует сделать вывод об использовании или не использовании прижима.

Расчет количества переходов

Для определения возможности получения заданной гильзы за один переход необходимо сравнить минимально допустимые значения коэффициента вытяжки на первом переходе, определенные опытным путем (табл. 4), с расчетным значением общего коэффициента вытяжки $m_{\text{общ}}$.

Если определяемое по табл. 3 значение минимально допустимого коэффициента вытяжки m_1 окажется больше, чем требуемый общий коэффициент вытяжки $m_{\text{общ}}$, это означает, что за один переход гильзу изготовить невозможно – следует принять вытяжку в несколько переходов. В таком случае на первом переходе необходимо проектировать минимально допустимый коэффициент вытяжки из табл. 3.

Таблица 3- Допускаемые минимальные коэффициенты вытяжки деталей из сталей 08кп, 10, 20 и мягкой латуни

Коэффициент вытяжки на переходах	$\frac{100 \cdot t}{D}$, % Относительная толщина заготовки					
	св. 0,1 до 0,3	св. 0,3- до 0,6	св. 0,6 до 1,0	св. 1,0 до 1,5	св. 1,5 до 2,0	св. 2,0
m_1	0,59	0,57	0,55	0,53	0,51	0,5
m_2	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78	0,77
m_3	0,83	0,82	0,81	0,8	0,79	0,78
и т.д.						

Это связано с тем, что для многооперационной вытяжки допустимый коэффициент вытяжки каждого последующего перехода больше предыдущего в связи с упрочнением материала в результате его пластической деформации. Число переходов, необходимых для вытяжки высоких гильз, определяется путем последовательного подсчета диаметров вытяжки ($d_1, d_2, \dots d_n$) на каждом переходе до получения диаметра, равного заданному диаметру детали.

Расчет усилия вытяжки

В общем виде усилие, необходимое при вытяжке, определяется как сумма

$$P = P_{\text{ДЕФ}} + Q, \quad (18)$$

где $P_{\text{ДЕФ}}$ – усилие деформации заготовки;
 Q – усилие прижима.

Усилие, необходимое для вытяжки детали без ее разрушения, не должно превышать предельного значения, равного прочности детали в ее наиболее слабом сечении. Максимально допустимое усилие вытяжки ($P_{\text{ДЕФ}}$), при котором не допускается отрыв дна вытягиваемой цилиндрической гильзы, определяется из условия:

$$P_{\text{ДЕФ}} = \pi \cdot d \cdot t \cdot \sigma_B \cdot k, \quad (19)$$

где σ_B – предел прочности на растяжение материала заготовки (см табл 4);

k – эмпирический коэффициент, учитывающий напряжения в стенках вытягиваемого изделия. Данный коэффициент зависит от величины коэффициента вытяжки m (см табл 5)

Таблица 4 Предел прочности на растяжение σ_B материалов заготовок в отожженном состоянии (средние значения)

Материал	Сталь 08кп	Сталь 10	Сталь 20	Латунь Л68
σ_B , МПа	340	365	420	320

Таблица 5 –К выбору эмпирического коэффициента

m	до 0,55	св. 0,55 до 0,58	св. 0,58 до 0,60	св. 0,60 до 0,63	св. 0,63 до 0,65	св. 0,65 до 0,68	св. 0,68 до 0,70	св. 0,70 до 0,73	св. 0,73 до 0,75	св. 0,75 до 0,78
k	1	0,93	0,86	0,79	0,72	0,66	0,6	0,55	0,5	0,45

Усилие прижима Q вычисляют исходя из удельного усилия и площади его приложения, т.е. площади кольцевой части заготовки, ограниченной диаметром пуансона и текущим диаметром самой заготовки

$$Q = F \cdot q, \quad (20)$$

где F – площадь части заготовки, зажатой между матрицей и прижимом;
 q – удельное усилие, зависящее от вида штампуемого материала (табл 6).

Таблица 6 - Удельное усилие q

Материал	Сталь 08кп	Сталь 10	Сталь 20	Латунь Л68
q	2,8	2,5	2,2	1,8

Для цилиндрических деталей:

$$Q = \pi \cdot q \frac{D^2 - d^2}{4} \quad (21)$$

Усилие прижима обычно составляет 10-30 % от усилия деформации при вытяжке.

Раздача. Операция раздачи предназначена для увеличения диаметра краевой или средней части полой цилиндрической заготовки или трубы. Раздача краевой части осуществляется с помощью конического пуансона (рисунок 18а), а раздача срединной части выполняется в штампах с разъемными матрицами, эластичными средами и другими способами

(рисунок 18б). В частности, раздачей производится закатка краев в штампе (рисунок 18в).

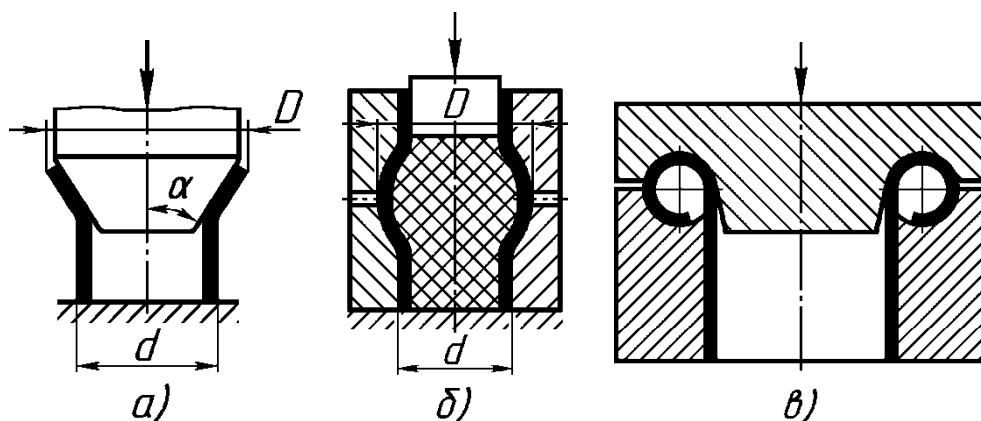


Рисунок 18 – Разновидности раздачи:
а) краевой части; б) срединной части и в) закатка края

При раздаче со сжатием, осуществляемой коническим пуансоном, схема деформированного состояния зоны пластической деформации объемная: в радиальном (перпендикулярном образующей) и меридиональном направлениях происходит сжатие, в окружном – растяжение. Напряженное состояние является плоским: сжатие в меридиональном и растяжение в окружном направлениях. В радиальном направлении напряжения отсутствуют, так как внешняя поверхность заготовки не нагружена.

Раздача с растяжением производится путем протягивания пуансона через полую заготовку, удерживаемую с помощью предварительно полученного фланца. При таком способе меридиональные напряжения, как и окружные, также являются растягивающими. В листовой штамповке наибольшее распространение получила раздача со сжатием.

Формовка

Формовка – это операция, с помощью которой получают местные углубления и выпуклости в листовых и пространственных заготовках за счет уменьшения толщины заготовки при неизменных ее наружных размерах. В большинстве случаев формовка используется для получения ребер жесткости различной конфигурации, рельефных деталей и мембран различного профиля. Формовка может осуществляться как жестким инструментом (рисунок 19а), так и подвижными средами, например, эластичной средой (рисунок 19б).

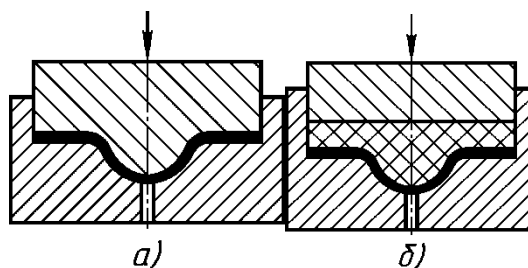


Рисунок 19 - Формовка : жестким (а) и эластичным (б) инструментом

При формовке очаг деформации в основном охватывает часть заготовки, расположенную над отверстием матрицы. Схема напряженного состояния близка к схеме двухосного растяжения и формообразование происходит за счет утонения материала заготовки. Высота получаемого углубления (рифта) h ограничивается возможностью разрушения заготовки в местах наибольшего утонения и существенно зависит от механических характеристик материала заготовки. Высота рифта h зависит от размерных характеристик рабочего инструмента, формы углубления в плане, толщины материала и коэффициента трения. Высота увеличивается с увеличением радиуса закругления кромки пуансона и максимальна, когда торец пуансона имеет сферическую форму (для осесимметричных рифтов). Некоторое влияние на высоту рифта оказывает радиус закругления рабочей кромки матрицы. С увеличением этого радиуса возрастает ширина зоны пластической деформации и облегчается перетекание материала из плоских участков заготовки.

Большие значения высоты можно получать для овальной или прямолинейной (в плане) форм углублений.

Контактное трение оказывает влияние также на расположение зоны наибольшего утонения и распределение толщины материала вдоль образующей. С уменьшением коэффициента трения участок с наибольшим утонением смещается к вершине углубления (например, при формовке гидростатическим давлением наименьшая толщина будет на вершине сферообразного углубления).

4.4 Штамповка листовых неметаллических материалов

Неметаллические материалы обладают различной штампуемостью: некоторые штампуются в холодном виде, другие – только в подогретом состоянии. Неметаллические материалы, подвергаемые разделению, условно можно разделить на четыре группы:

- 1) материалы повышенной хрупкости (слюда, миканит, органическое стекло, гетинакс, эбонит);
- 2) материалы средней хрупкости (текстолит);
- 3) легкоштампуемые материалы, разделяемые на обычных штампах (картон, бумага, фибра);
- 4) волокнистые и эластичные материалы, вырезаемые только с помощью просечек (фетр, кожа, резина простая и губчатая).

Материалы первых двух групп на штампах обычного типа не вырезаются, так как при разделении возникают трещины, приводящие к выкрашиванию частиц даже после штамповки. С целью улучшения поверхности среза такие материалы вырезают на штампах с сильным прижимом и со скошенными режущими в виде клина на матрице. Угол

заточки составляет 40–45°. Благодаря этому давление концентрируется на небольшой площади и появление трещин сводится к минимуму.

Усилие прижима можно определить по формуле

$$P_{пр} = qLs, \quad (22)$$

где L – длина контура резания;

q – давление прижима, зависящее от толщины материала s :

s , мм:	До 1	1,0–2,0	2,0–3,0
q , МПа:	10	15	20

Штамповку материалов первых двух групп толщиной свыше 1 мм следует производить в нагретом состоянии. Термический режим устанавливают в зависимости от рода и толщины материала. Для текстолита используют режимы, приведенные в таблице 7.

Таблица 7 – Режимы нагрева текстолита перед разделением

Толщина материала s , мм	Температура нагрева T , °C	Время нагрева t , мин
1–2	130+10	3
2–4	180+10	5
4–6	200+5	5

Для гетинакса при $s = 0,5...3$ мм $T = (80...110) + 10$ °C и $t = 5...8$ мин. на 1 мм толщины. При этом следует учитывать, что при указанной температуре усадка гетинакса составляет около 0,2 % линейных размеров. Для органического стекла $T = 100...120$ °C, а эбонит штампуются при $T = 60...80$ °C. Остальные материалы не требуют подогрева при выполнении разделительных операций.

Вырезку деталей из слюды производят без подогрева. Длина пуансона и толщина матрицы должны быть минимально возможными. Зазор между пуансоном и матрицей берется минимальным – примерно 0,01–0,02 мм на размер.

Величина зазоров между пуансоном и матрицей при вырезке обычными штампами составляет $(0,04...0,05)s$ для гетинакса, текстолита и фибры и $(0,02...0,03)s$ для мягкого картона, кожи и фетра.

Картон, бумагу и фибру можно штамповать на штампах простого и совмещенного действия. Фибра хорошо штампуются в увлажненном состоянии.

Вырезка деталей простой конфигурации из мягких волокнистых и упругих материалов типа фетра, войлока, кожи и резины осуществляется при помощи просечек – специальных контурных ножей (штанцев), имеющих форму детали (рисунок 20). При работе они внедряются в материал до соприкосновения с подкладкой и таким образом осуществляют полное разделение материала. Для съема детали с ножей внутри просечек поме-

щается выталкиватель. В качестве подкладки используется дерево или фибра. При вырезке бумажных и других тонколистовых прокладок применяется штамповка пачками (до 50 листов). Для вырезки деталей сложной конфигурации используют ленточно-ножевые штампы, у которых режущее полотно изготовлено из ленточной стали, изогнутой по форме вырезаемой детали.

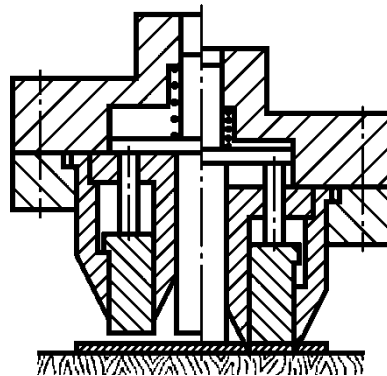


Рисунок 20 – Вырезка неметаллических материалов просечкой

Резка листов слоистых пластмасс и других хрупких материалов должна производиться на ножницах с параллельными ножами, так как при резке на гильотинных ножницах в результате изгиба отрезаемой части заготовки наклонным ножом на ее поверхности образуется сеть трещин (так называемая «елочка»). Резка листов на полосы должна производиться с надежным прижимом материала. Глубина перекрытия режущих кромок ножей должна составлять не более 0,5 мм.

Размеры перемычек при раскрое неметаллических материалов принимаются в 1,5–2,0 раза больше, чем для металлов.

Достижимая точность при обычном способе штамповки примерно 5-го класса точности. Если необходимо получить деталь с более точными размерами и хорошей шероховатостью поверхности среза, то применяется зачистка, аналогичная зачистке металлических деталей. Зачистка производится в холодном виде.

Припуск на зачистку при вырезке гетинакса, текстолита и эбонита составляет 25 %, а фибры около 20 % от толщины материала. Применяется также и двукратная зачистка. Припуск для второй зачистки составляет 0,6–0,7 от припуска для первой. Угол скоса режущей кромки зачистной матрицы составляет 45°.

Усилие вырезки неметаллических материалов определяется по тем же формулам, что и для металлов. Значения сопротивления срезу при разделении различных неметаллических материалов представлены в таблице 8.

Основными формоизменяющими операциями при штамповке неметаллических материалов являются гибка, вытяжка и формовка.

Гибке поддаются большинство неметаллических материалов в холодном или нагретом состоянии. Не поддаются гибке гетинакс, коллекторный и прокладочный миканиты.

Тонколистовой текстолит (до 2–3 мм) подвергается гибке после нагрева до 150–170 °С. Нагрев лучше всего производить в печи или с помощью инфракрасных лучей в течение 1–2 мин. Стеклотекстолит гнется аналогично текстолиту, а температура его нагрева составляет 230 °С.

Таблица 8– Сопротивление срезу неметаллических материалов $\sigma_{ср}$, МПа

Материал	$\sigma_{ср}$	
	при обычной вырезке	при просечке
Текстолит	80–150	90
Гетинакс	70–110	120
Слюда	50–80	50–80
Фибра	140–200	–
Эбонит	30	–
Резина	6–10	8
Бумага	20–40	20
Картон	30–60	30
Кожа	45–55	50

Органическое стекло подвергается гибке при температуре $T = 105...150$ °С и охлаждении наружных слоев на воздухе в течение 10–15 с. Гибка деталей из органического стекла производится на болванках (пуансонах), покрытых байкой или мягкой листовой резиной. Болванки изготавливаются из текстолита, гетинакса, дерева, алюминиевых сплавов и чугуна. Нагретую заготовку укладывают на болванку, прижимают ее слегка рукой для придания ей требуемой формы, после чего края заготовки и болванки скрепляют струбцинами, также обитыми байкой. Снимают деталь с болванки после ее охлаждения до 30–40 °С.

Гибкий миканит подвергается изгибу без нагрева, а формовочный гнется в штампах – пресс-формах, нагретых до 150–170 °С, с выдержкой под давлением в течение 20 с.

Гибку картона и фибры выполняют после предварительной вырезки и увлажнения заготовки (1,5–2 часа на 1 мм толщины).

Вытяжкой и формовкой изготавливают большое количество различных деталей, в основном из термопластичных пластмасс: полиэтилена, поликрилата, поливинилхлорида, органического стекла и др. К таким изделиям относятся корпуса и облицовка различных приборов, футляры, бачки и другие объемные изделия сложной конфигурации.

Большинство неметаллических материалов подвергается вытяжке и формовке в нагретом состоянии, фибра вытягивается в увлажненном состоянии. Технология формообразования деталей из неметаллических материалов основана на оптимальной степени нагрева и перевода их в высокопластичное или вязкотекучее состояние.

Технологические процессы формовки-вытяжки выполняются следующими способами:

- 1) вакуумной или пневматической формовкой с применением одной только матрицы или формы;
- 2) формовкой-вытяжкой в штампах с жестким или эластичным пуансоном и жесткой матрицей.

Первый способ (рисунок 21) широко применяется при изготовлении деталей из органического стекла, полиэтилена и др. Второй способ используется в основном при изготовлении деталей из слоистых пластмасс и частично органического стекла.

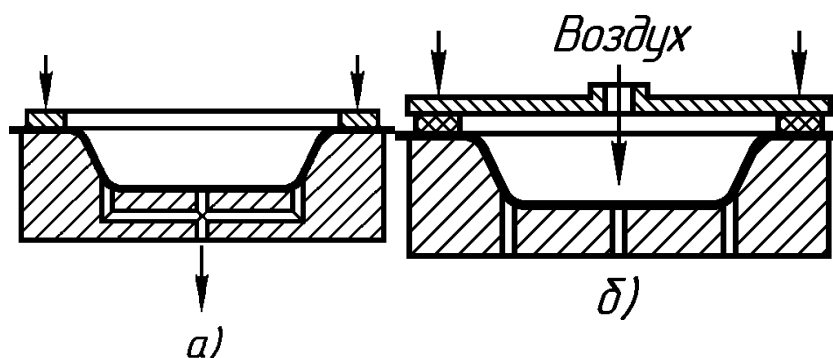


Рисунок 21 - Вакуумная (а) и пневматическая (б) формовка-вытяжка термопластов

Процесс вакуумной формовки (рисунок 21а) выполняется в несколько последовательных операций: нагрев заготовки; вытягивание нагретого листа сжатым воздухом; формовка вытянутого листа вакуумом; охлаждение изделия; обрезка краев. Вакуум-формовочные установки позволяют формовать изделия до 2 м длиной из заготовок толщиной до 3–4 мм.

Другим промышленно распространенным способом является пневматическая формовка в жестких формах (рисунок 21б), применяемая для изготовления корпусных деталей из более толстых заготовок (до 15–20 мм). Обычно процесс пневматической формовки осуществляется в два приема: предварительная формовка при низком давлении в течение 15–30 с, а затем окончательная формовка при повышенном давлении воздуха. Величина последнего определяется опытным путем в зависимости от толщины материала и формы изделия.

Для формовки глубоких изделий сложной формы нашли применение комбинированные методы формовки, в которых пневматическая формовка сочетается с механической формовкой пуансоном. В ряде случаев применяется формовка в упругой матрице, иногда даже без применения сжатого воздуха.

В мелкосерийном производстве крупные сферические детали из органического стекла изготавливают путем вытяжки в вытяжных штампах с нагревом заготовки до 115–120°C или формовкой под вакуумом в особом сосуде с обогревом заготовки инфракрасными лучами.

Из слоистых материалов вытяжке подвергаются лишь фибра, текстолит и стеклотекстолит.

Фибру перед вытяжкой вымачивают так же, как и перед гибкой. Перед штамповкой увлажненная заготовка и штамп посыпаются графитом или тальком в качестве смазки. Вытяжка осуществляется с прижимом. Отштампованную деталь снимают с вытяжного пуансона, надевают на болванку, имеющую форму и размеры пуансона, и высушивают в камере при 70 °С в течение 12 часов, а затем просушивают на открытом воздухе.

Из текстолита и стеклотекстолита вытяжкой можно изготавливать лишь неглубокие цилиндрические, конические и полусферические детали, но только в нагретом состоянии. Текстолит нагревается до 150–170° С и вытягивается в штампах с прижимом, стеклотекстолит нагревается до 230° С и вытягивается в пресс-формах.

Из других материалов вытяжке подвергаются картон и кожа. Из картона вытягивают небольшие крышки и пробки, а из кожи – уплотнительные манжеты и сальники. Кожу вытягивают с нагревом в масле до 200 °С, а картон – в штампах, нагретых до 120 °С.

Контрольные вопросы:

- 1 Опишите механизм разделения металлических материалов.
- 2 Дайте определение операции отрезки. На каком оборудовании может осуществляться отрезка?
- 3 Чем вырубка отличается от пробивки? Приведите три стадии вырубки и пробивки.
- 4 Перечислите основные способы раскроя материала по экономичности и величине технологических отходов.
- 5 Приведите основные способы раскроя материала по характеру расположения вырезаемых деталей.
- 6 Чем коэффициент раскроя материала отличается от коэффициента использования материала?
- 7 Назовите основные способы осуществления чистовой вырубки и пробивки.
- 8 С какой целью проводят операцию зачистки? Приведите способы зачистки наружного контура и отверстий.
- 9 Дайте определение операции надрезки. Перечислите разновидности надрезки.
- 10 Назначение операции обрезки. Укажите особенности обрезки на ножницах и в штампах.
- 11 Перечислите группы разделяемых неметаллических материалов.
- 12 Чем вырезка просечкой отличается от разделения в штампе?
- 13 Приведите особенности формоизменения неметаллов.
- 14 Чем отличается вакуумная формовка-вытяжка от пневматической?

Тема 5 Штамповка в мелкосерийном производстве

5.1 Типы производств

В соответствии с ГОСТ 14.004–83 в зависимости от широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска изделий современное производство подразделяется на различные типы: единичное, серийное и массовое.

Основные технологические признаки типов производства:

1 Единичное производство. Широта номенклатуры, малый объем выпуска (штуки, десятки штук); операции на рабочих местах повторяются нерегулярно или не повторяются совсем; не применяются специальное оборудование, оснастка, инструменты; квалификация рабочих высокая; себестоимость продукции относительно высокая; технологическая документация сокращенная и упрощенная.

2 Массовое производство. Узкая номенклатура, большой объем выпуска изделий, непрерывное изготовление изделий в течение продолжительного времени; на каждом рабочем месте закрепляется выполнение постоянно повторяющейся операции; оборудование высокопроизводительное специальное, оснастка и инструмент специальные; квалификация рабочих-операторов низкая, квалификация наладчиков оборудования высокая; себестоимость продукции относительно низкая; технологическая документация разрабатывается очень подробно.

3 Серийное производство. Ограниченная номенклатура изделий, изготовление периодически повторяющимися партиями; сравнительно большой объем выпуска. По всем организационным характеристикам серийное производство занимает промежуточное положение между массовым и единичным производством. Серийное производство подразделяется на мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное.

Программа выпуска заготовок и готовых деталей и срок выполнения этой программы в значительной степени влияют на рентабельность применения того или иного метода получения заготовок. Эти понятия определяют в конечном счете тип производства.

Общая характеристика штамповки малыми партиями.

Особенности холодной штамповки – высокая производительность и дороговизна стационарных штампов в сочетании с большой их стойкостью – приводят к тому, что применительно к этому способу обработки понятие мелкосерийное производство имеет совершенно иные количественные границы, чем, например, при обработке на металлорежущих станках. Для определения этих границ необходимо установить основные признаки, отличающие мелкосерийное штамповочное производство от серийного.

Таковыми признаками будут:

- большая номенклатура выпускаемой продукции по отношению к наличному парку оборудования, в результате чего на каждый пресс приходится не менее 50 наименований деталей в месяц;
- значительное число переналадок штампов в смену (в среднем не менее двух);

-нестабильность продукции (в среднем каждое изделие находится в производстве не более 3-4 лет);

-общее число деталей каждого наименования, подлежащих изготовлению до прекращения выпуска изделия, в несколько раз меньше полной стойкости стационарных штампов, выполняющих операции по их обработке.

Из рассмотрения этих признаков следует, что изготовление малых партий деталей штамповкой должно отражаться на всей совокупности факторов, относящихся к технологической подготовке и организации производства: к типу и составу оборудования, квалификации и количественным соотношениям различных категорий рабочих, структуре технологических процессов, конструкции штампов и т.д.

В качестве оборудования могут быть использованы как прессы общего назначения (в основном механические и гидравлические прессы простого действия), так и специальные прессы или станки. В первом случае необходимая быстрота переналадки достигается за счет конструкций штампов. Во втором случае переналадка производится либо сменой или переналадкой инструмента, либо использование принципов группового метода, для чего служит комплект инструментов, позволяющий обработать без переналадки целую группу деталей. Состав оборудования определяется конкретными условиями производства (конструкциями штампуемых деталей, величиной партий и пр.).

Квалификация рабочих в условиях мелкосерийной штамповки должна быть, как правило, значительно выше, чем в условиях массового производства, где штамповщик выполняет простые и однообразные операции. Работа на специальном оборудовании требует серьезных знаний в области технологии, измерительной технике и пр., а при эксплуатации прессов с программным управлением приближается к квалификации инженера. Это же относится и к работе на универсальных штампах, где переналадку часто выполняет сам штамповщик. Поэтому средний разряд в цехах и на участках мелкосерийного производства обычно на 1,5-2 единицы выше, чем в цехах массового и крупносерийного производства.

5.2 Технологические процессы мелкосерийной штамповки

Технологические процессы мелкосерийной штамповки могут быть осуществлены как на базе специальных, так и универсальных средств штамповки и строятся либо по принципу дифференциации, либо концентрации операций. Большое число возможных вариантов технологического процесса для каждой детали требует их разработки и сопоставления по экономическим показателям, что связано с большими затратами времени и труда технологов, т.е. с увеличением сроков подготовки производства. Поскольку такие сроки обычно бывают очень жесткими, выбирается только один из возможных вариантов, причем далеко не всегда оптимальный, что нередко причиняет немалые убытки предприятиям.

Решение этой проблемы следует искать в унификации технологических процессов и, в частности, их типизации, а также в применении групповой технологии. Существенную пользу приносят средства механизации инженерного труда (информационно-поисковые системы, печатающие автоматы), а также полная или частичная автоматизация проектирования технологических процессов.

Конструкции штампов, применяемые в мелкосерийном производстве, резко отличаются от аналогичных штампов крупносерийного производства. Они разделяются на две группы.

Упрощенные штампы, предназначенные для изготовления определенных деталей, т.е. являющиеся специальными, но отличающиеся от стационарных штампов значительно меньшими трудоемкостью, металлоемкостью и себестоимостью.

Универсальные штампы, служащие для образования однотипных элементов на разнообразных деталях.

Штампы 1-й группы выполняют преимущественно разделительные операции (вырезку, пробивку и их сочетания), а также некоторые формоизменяющие операции (формовку ребер и выступов, отбортовку и вытяжку).

Штампы 2-й группы служат для образования контура на плоских деталях и заготовках стандартных элементов (закругления, вырезы в углах) и отверстий для гибки и частично для формовки небольших пространственных элементов.

Упрощенные специальные штампы по возможностям формообразования могут приближаться к стационарным штампам и таким образом обеспечивают некоторую концентрацию операций. Универсальные штампы, напротив, требуют дифференциации операций, с вытекающими отсюда последствиями: увеличение производственного цикла и производственных площадей. Повышение трудоемкости деталей. Во многих случаях оказывается целесообразным сочетать в одном технологическом процессе штампы обоих типов, например, разделительные операции производить на упрощенных специальных штампах, а гибку – на универсальных.

5.3 Штамповка эластичным инструментом

Одним из экономически эффективных методов штамповки в условиях мелкосерийного и опытного производства является штамповка эластичным инструментом, когда один из рабочих инструментов изготовлен из резины или полиуретана. При этом значительно упрощается конструкция инструмента и удешевляется его изготовление, отпадает необходимость изготовления и пригонки второго рабочего инструмента, сокращаются сроки подготовки производства.

Штамповка эластичным инструментом (см рис 22) применяется как для разделительных операций – вырубки-пробивки, так и для формоизменяющих операций – гибки, вытяжки и формовки.

В качестве эластичных сред для штамповки используются резины и полиуретаны. Резины менее износостойки и работают при сравнительно небольших давлениях, обычно не превышающих 20–30 МПа.

В последнее время вместо резины все шире применяется полиуретан, получаемый из синтетического каучука на основе сложных полимеров эфира. Полиуретаны более износостойки и выдерживают давления порядка 1000 МПа (в закрытых объемах). Прочность полиуретана в 6–8 раз выше, чем у резины, и достигает 600 МПа. Чаще всего используют полиуретаны марок СКУ-6Л, СКУ-7Л, СКУ-ПФЛ. Последняя марка обычно используется для разделительных операций. Не допускается нагрев полиуретана свыше 70–80 °С.

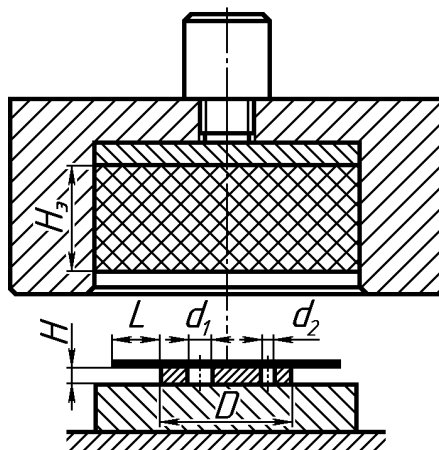


Рисунок 22 – Вырезка эластичным инструментом

Разделительные операции. С помощью эластичных сред можно вырезать детали из алюминиевых сплавов и меди толщиной до 3 мм; из стали (легированной и углеродистой), латуни и бронзы толщиной до 2 мм.

Разделение материала осуществляется с использованием типовой универсальной оснастки для вырубки (пробивки). За один ход прессы производится вырубка детали по контуру и пробивка отверстий и пазов в соответствии с конфигурацией вырезного шаблона (пуансона). Контейнер, в котором располагается эластичный инструмент, обычно изготавливают из стали 40Х с твердостью после термообработки HRC 28–32.

Вырезные шаблоны простой конфигурации и толщиной более 2–3 мм изготавливаются из углеродистых сталей марок У8, У8А, У10, У10А. Более тонкие и сложные по контуру шаблоны делают из легированных сталей марок Х12, Х12М, Х12Ф1. Твердость шаблона после закалки составляет HRC 56–60, шероховатость рабочей поверхности после шлифования Ra 0,25–1,00.

5.4 Гидростатическая штамповка

Жидкость (вода, реже машинное масло, глицерин) используется в качестве деформирующего инструмента при выполнении таких формоизменяющих операций, как вытяжка и формовка. Часто их совмещают с разделительными операциями.

При гидростатической штамповке, как и при штамповке эластичным инструментом, различают два способа деформирования:

- 1) жидкостью в жесткую матрицу;
- 2) жестким пуансоном в жидкость.

Первый способ (рисунок 23а) применяется при штамповке деталей сферической, конической, криволинейной формы, а также при вытяжке прямоугольных деталей.

Гидростатическую штамповку можно проводить без прессы, поскольку необходимое давление жидкости $q = 5 \dots 25$ МПа создается насосом.

К недостаткам этого способа относится значительное утонение материала при вытяжке в донной части детали, достигающее 30–40 %.

Первый способ также применяется при изготовлении полых деталей из трубчатых заготовок. Номенклатура таких деталей весьма разнообразна – это тройники и крестовины, корпуса гидроаппаратов и полых деталей, полые осесимметричные, эксцентриковые, кулачковые и коленчатые валы, детали рам велосипедов и др.

Нагружение заготовки при штамповке деталей из трубчатых заготовок производят чаще всего не только гидростатическим давлением q , но и осевой сжимающей силой P_a , передающейся на торцы заготовки жесткими осевыми пуансонами (рисунок 23б). При штамповке деталей с отводами к вершине отвода прикладывается усилие подпора P_s . Штамповка производится в жесткой разъемной матрице, состоящей, как правило, из двух частей. Для предотвращения их раскрытия под действием значительных контактных напряжений со стороны заготовки части матрицы удерживаются в сомкнутом положении под действием усилия P_c .

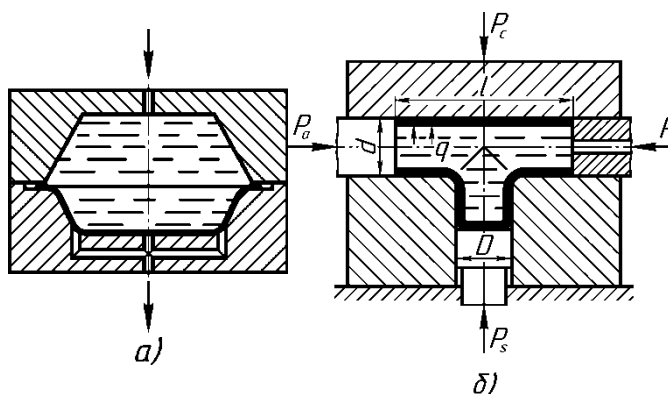


Рисунок 23 – Гидростатическая штамповка в жесткую матрицу плоских (а) и трубчатых (б) заготовок

При штамповке на прессе рабочее давление создается за счет усилия прессы и регулируется дроссельным клапаном. Использование жидкости в качестве деформирующей среды значительно сокращает число операций вытяжки: 1–2 вместо 3–5 при вытяжке жестким инструментом.

Для получения годной детали должно быть определенное соотношение между давлением жидкости q и удельным усилием осевого сжатия от P_a . При большом давлении и малом значении удельного усилия сжатия на торце бокового отвода возникают растягивающие напряжения, приводящие к утонению стенки и ее разрыву. При малом давлении и большом удельном усилии сжатия заготовка может потерять устойчивость с образованием складок в центральной части. Усилие подпора P_s уменьшает величину растягивающих напряжений и дает возможность увеличить длину отвода и получить качественную деталь.

5.5 Ротационная вытяжка

Ротационная вытяжка осуществляется в процессе перемещения деформирующего инструмента по поверхности заготовки относительно вращающейся оправки (пуансона) (рисунок 24). В качестве деформирующего инструмента могут выступать ролики, роликовые и шариковые головки, давилники и круговые матрицы. Ротационная вытяжка относится к операциям с дополнительной локализацией очага пластической деформации. При определенных условиях напряженное состояние в очаге деформации может приближаться к трехосному сжатию, в связи с чем существенно повышаются пластические характеристики материала и предельно допустимая степень деформации может быть повышена до 80–90 % за один проход. Это дает возможность заменить ротационной вытяжкой многооперационную вытяжку в обычных штампах сложных по конфигурации деталей, включая сферические, конические и др.

Ротационной вытяжкой получают детали диаметром 2–5000 мм, толщиной стенки 0,1–40 мм и длиной от 10 мм до нескольких метров. Этот способ успешно используется при изготовлении полых изделий как из обычных малоуглеродистых и коррозионностойких сталей, алюминиевых и медных сплавов, так и труднодеформируемых и тугоплавких сталей и сплавов, а также в мелкосерийном производстве. Изменяя геометрию деформирующего инструмента и оптимизируя режимы обработки, можно получать изделия с точностью размеров по 5–6-му квалитетам и низкой шероховатостью поверхности (R_a 0,1–0,2).

Различают два способа ротационной вытяжки:

- 1) без утонения стенки;
- 2) с утонением стенки.

Для ротационной вытяжки используют токарно-давилные и специальные станки, имеющие от одного до четырех роликов, с

горизонтальным или вертикальным расположением оправки, в том числе полуавтоматы, автоматы и станки, оснащенные ЧПУ и ЭВМ.

При ротационной вытяжке с утонением стенки схема напряженного состояния приближается к неравномерному всестороннему сжатию, что способствует повышению предельной степени деформации материала.

Ротационная вытяжка с утонением может осуществляться роликами, роликовыми и шариковыми устройствами, наклонными вращающимися и качающимися матрицами.

5.6 Импульсные методы штамповки

Среди новых технологических процессов, использующих один из пары жесткий инструмент, достойное место занимают методы, использующие импульсные источники энергии. В специальной литературе такие методы получили название высокоэнергетических, импульсных или высокоскоростных. При этом подразумеваются большие мощности, развиваемые источником энергии, кратковременный характер приложения нагрузки к деформируемой заготовке и высокие скорости ее деформирования.

В основу классификации импульсных методов положен вид источника используемой энергии и промежуточная среда, передающая энергию от энергоносителя к деформируемой заготовке (рисунок 25).

Импульсные методы штамповки применяются в разнообразных процессах штамповки: вытяжке, формовке, вырубке и пробивке, резке, калибровке, запрессовке и развальцовке труб, различных сборочных операциях и т.п.

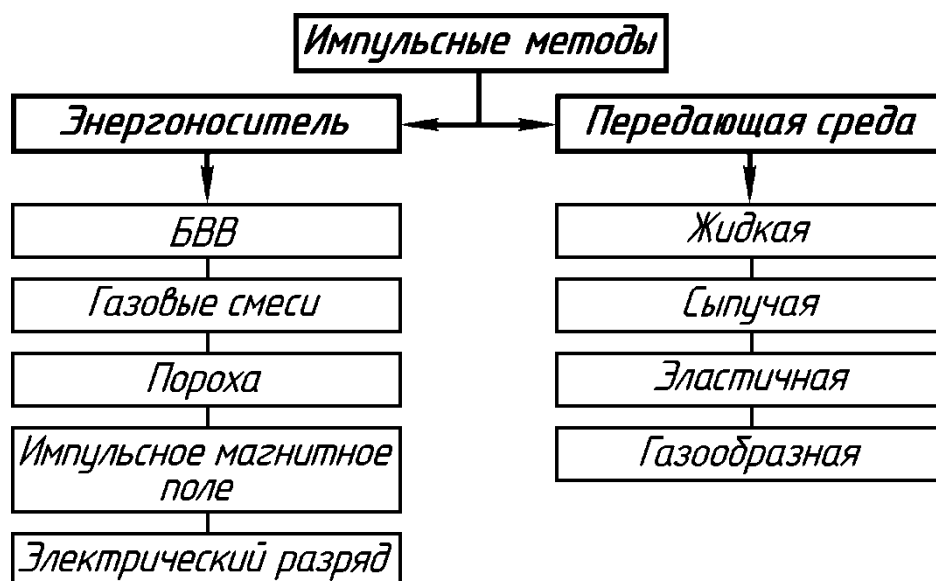


Рисунок 25 – Классификация импульсных методов штамповки

К преимуществам импульсных методов штамповки можно отнести: упрощение и снижение себестоимости оснастки и технологии, повышение точности штамповки труднодеформируемых материалов в холодном состоянии, выполнение операций, осуществление которых обычными статическими методами невозможно. Кроме этого, при высоких скоростях деформирования успешно обрабатываются многие труднодеформируемые сплавы, а углеродистые и легированные стали и некоторые пластичные сплавы цветных металлов значительно повышают свои характеристики пластичности.

При обычных способах штамповки скорость деформирования достигает сравнительно небольших значений, а при использовании импульсных методов она возрастает на один-два порядка.

В таблице 9 приведены некоторые данные о значениях скоростей деформации и деформирования для ряда технологических процессов ОМД.

Таблица 9 – Скорости деформирования и деформации в различных процессах ОМД

Наименование процесса	Скорость деформирования, м/с	Скорость деформации, с-1
Испытание на растяжение	10-5 – 10-2	$3 \cdot 10^{-4}$ – $3 \cdot 10^{-1}$
Протяжка труб	0,05–0,5	5–50
Глубокая вытяжка листа	0,05–1	5–100
Листовая прокатка	0,25–25	250–25000
Ковка на молотах	2,5–10	25–100
Импульсная штамповка	30–500	$3 \cdot 10^4$ – $5 \cdot 10^5$

Наиболее широкое применение в промышленности получили следующие импульсные методы штамповки: взрывная, электрогидроимпульсная и магнитно-импульсная штамповка (в частности, магнитно-эластоимпульсная штамповка). Меньшее распространение нашли штамповка энергией пороховых, горючих и сжиженных газов.

5.7 Взрывная штамповка

Взрывная штамповка основана на деформации листовой заготовки давлением ударной волны, образующейся при детонации взрывчатых веществ. Ее достоинствами является высокая экономическая эффективность в результате снижения капитальных затрат и сокращения сроков подготовки производства. Преимуществом также является возможность штамповки деталей из труднодеформируемых материалов.

Взрывная штамповка может осуществляться с использованием промежуточной среды между зарядом и заготовкой или при непосредственном расположении заряда на поверхности заготовки. В качестве промежуточных сред обычно выступают воздушная атмосфера,

жидкость или песок. Наибольшее распространение в промышленности нашла штамповка взрывом в жидкости – так называемая гидровзрывная штамповка (рисунок 26).

При штамповке взрывом в качестве источника энергии применяются бризантные взрывчатые вещества (БВВ). Обычно используют тротил, тетрил, гексоген, аммонит, аммонал и другие, которые могут быть в виде порошка, прессованных брикетов (шашек), литых зарядов различной формы, листов и шнуров. Скорость детонации БВВ колеблется в пределах 3600–8300 м/с, а время детонации составляет 20–30 мкс.

Механизм деформирования и кинематика движения частиц заготовки достаточно сложны и зависят от многих факторов – формы и массы заряда, расстояния между зарядом и поверхностью заготовки (дистанции взрыва), размеров бассейна.

При помощи взрывной штамповки можно осуществлять различные технологические операции: вытяжку, формовку, раздачу, калибровку, вырубку-пробивку и даже развальцовку и сварку.

После детонации заряда при гидровзрывной штамповке образующиеся в короткий промежуток времени газы повышают давление в прилегающих слоях воды до величин порядка 10 ГПа. В жидкости возникает ударная волна, которая со скоростью 2–3 км/с перемещается от источника взрыва. По мере распространения ударной волны ее скорость и создаваемое давление быстро затухают. Поэтому взрывной штамповкой нельзя производить глубокую вытяжку, а приходится прибегать к многооперационному процессу. Для некоторых материалов получены следующие предельные значения коэффициентов вытяжки ($k_{пр} = d/D$):

Материал:	08кп	Ст3	2Х13	12Х18Н9Т	АМг6М
$k_{пр}$:	0,63	0,65	0,64	0,63	0,61

При разработке технологий взрывной штамповки выполняют расчеты требуемой работы деформирования, массы заряда и дистанции взрыва.

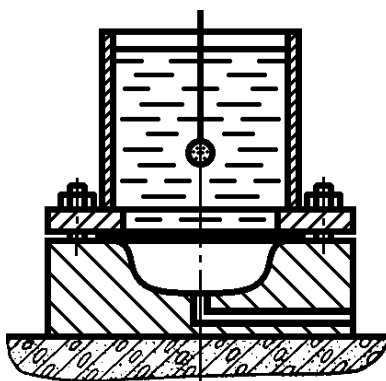


Рисунок 26 – Схема гидровзрывной штамповки

Работа деформирования заготовки в случае гидровзрывной вытяжки и формовки приближенно может быть определена по формуле

$$A_d = 0,91sh_{\text{пр}}^2 \sigma_v, \quad (23)$$

где $h_{\text{пр}}$ – величина прогиба заготовки.

Масса сосредоточенного заряда, требуемого для деформирования заготовки, зависит от формы заряда и дистанции взрыва. В общем случае она может быть определена, исходя из потребной работы деформирования заготовки A_d , удельной энергии заряда БВВ (отнесенной к единице массы заряда) w и КПД установки:

$$m = \frac{A_d}{w\eta}. \quad (24)$$

Для сферической формы заряда и дальних дистанций, часто используемых на практике, масса заряда (в килограммах) может быть рассчитана по эмпирической зависимости:

$$m = \left(8,75 \cdot 10^{-3} \frac{\rho A_d s R^{1,8}}{F} \right)^{0,8}, \quad (25)$$

где ρ – плотность штампуемого материала, кг/м³;
 R – дистанция взрыва, м;
 F – площадь деформируемой поверхности, м²;
 A_d – в Дж;
 s – в мм.

Оптимальные дистанции взрыва выработаны многолетней практикой. Для изделий типа днищ радиусом r , штампуемых сферическим зарядом, рекомендуются следующие дистанции: при вытяжке прямым способом $R = (0,4 \dots 0,5)r$ и для реверсивной вытяжки $R = (0,3 \dots 0,4)r$. Если днища штампуются рассредоточенным зарядом, то $R = (0,1 \dots 0,2)r$. При штамповке коробок, патрубков, обтекателей и других деталей сложной формы дистанция взрыва принимается в долях величины прогиба: на первой операции $R = (0,8 \dots 1,0)h_{\text{пр}}$, на последующих $R = (0,5 \dots 0,7)h_{\text{пр}}$. При формовке местных рельефов, ребер жесткости взрыв производится на дистанции $R = 50 \dots 100$ мм.

В зависимости от размеров и формы штампуемых деталей взрывная штамповка может осуществляться различными способами: при больших габаритных размерах деталей – гидровзрывной штамповкой в бассейнах или бронекамерах, при штамповке небольших деталей – штамповкой в наземных установках.

Оснасткой для взрывной штамповки является матрица, так как роль пуансона выполняет промежуточная среда, что значительно снижает трудоемкость изготовления оснастки. Матрицы могут быть литые из

металлов, а также изготовлены и из неметаллических материалов. При штамповке деталей из тонколистовых материалов используют литые матрицы из чугуна, а для толстолистовых материалов – из стального литья. Из неметаллических материалов для изготовления матриц в основном используют дерево, железобетон и компаунды на основе эпоксидных смол и пластика.

Недостатками взрывной штамповки являются низкая производительность, сложность манипулирования крупногабаритными заготовками и оснасткой, высокая доля ручного труда и повышенные требования к технике безопасности.

5.8 Штамповка с использованием энергии пороха

Основным видом взрывчатого превращения пороха является горение, не переходящее в детонацию. Скорость горения пороха в основном зависит от давления газов, температуры горения и природы пороха. Для штамповки используют дымный и бездымные (пироксилиновые и нитроглицериновые) пороха. Скорость горения бездымных порохов в 10 раз меньше, чем дымного. Однако бездымные пороха обладают большим запасом энергии (в 2 раза).

Различают несколько схем штамповки энергией пороховых газов, возникающих в результате сгорания порохового заряда (рисунок 5.12):

- 1) непосредственным воздействием на заготовку;
- 2) воздействием через передающие среды;
- 3) метанием бойка или рабочего инструмента.

Схема штамповки давлением пороховых газов, непосредственно воздействующих на заготовку (рисунок 27а), эффективна с точки зрения наиболее полного использования энергии порохового заряда. Она используется для проведения формообразующих операций листовой штамповки: вытяжки, формовки, раздачи и др.

При штамповке по второй схеме благодаря использованию передаточной среды (эластичные материалы, жидкость) создается более равномерное распределение давления на поверхность заготовки и более плавное изменение его во времени (рисунок 27б). Однако возможны прорывы пороховых газов через жидкость непосредственно к поверхности заготовки. Устраняется этот недостаток размещением между пороховым зарядом и жидкостью поршня (рисунок 27в). Недостатком пороховой штамповки через передаточные среды является сравнительно невысокий КПД.

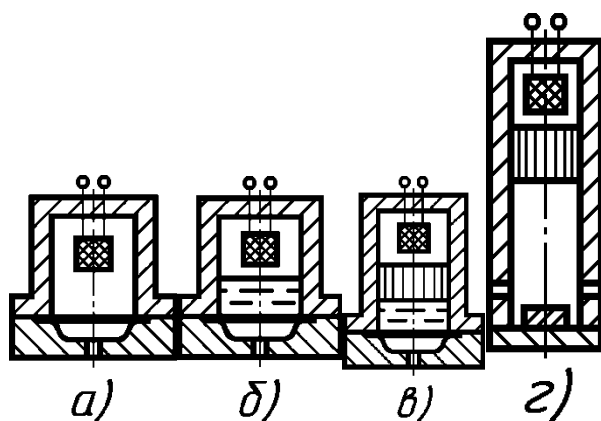


Рисунок 27 – Способы штамповки энергией пороховых газов: а) непосредственно пороховыми газами; б) через жидкость; в) через жидкость и поршень; г) за счет кинетической энергии бойка

Наибольшее применение в качестве энергоносителя нашли пороха в установках ударного действия – пресс-пушках, приводящих в движение жесткий рабочий инструмент (боек). Пресс-пушки реализуют третью схему штамповки энергией пороховых газов (рисунок 28г). Работа деформирования заготовки в таких установках совершается за счет кинетической энергии бойка, накопленной в процессе его разгона пороховым энергоносителем. На пресс-пушках эффективно выполняются такие операции листовой штамповки, как вытяжка, формовка и калибровка.

В приведенных схемах используются патронированные пороховые заряды, обладающие высокой плотностью энергии, безопасностью в обслуживании и позволяющие автоматизировать процесс штамповки.

5.9 Штамповка энергией взрыва газовых смесей

Штамповка осуществляется энергией, высвобождаемой при сгорании или детонации газовых смесей. Этот метод нашел применение для получения деталей из плоских и полых тонкостенных заготовок из пластичных материалов. Он сравнительно прост, дешев и обеспечивает равномерное давление на заготовку.

Наиболее доступными и экономичными газовыми смесями являются кислородно-водородные и кислородно-метановые смеси, обладающие высокой теплотворной способностью. При сжигании смеси в замкнутой емкости могут протекать два основных вида реакции:

- 1) адиабатическое сгорание, когда химическое превращение протекает во всем объеме с невысокой скоростью продуктов горения;
- 2) газовая детонация, когда реакция протекает со сверхзвуковой скоростью и распространяется в детонационной форме.

Наибольшее применение нашла схема штамповки, изображенная на рисунке 28. Перед штамповкой в камеру сгорания под давлением 0,3–0,5 МПа от отдельных источников вводится смесь, состоящая из кислорода и горючего газа. Воспламенение смеси осуществляется от искры

обыкновенной автомобильной свечи. В верхней части установки (в трубке) создается детонационная волна, распространяющаяся по всему объему с давлением 1000–1500 МПа.

Возможности штамповки газовыми горючими смесями ограничены габаритами деталей и большой металлоемкостью оборудования.

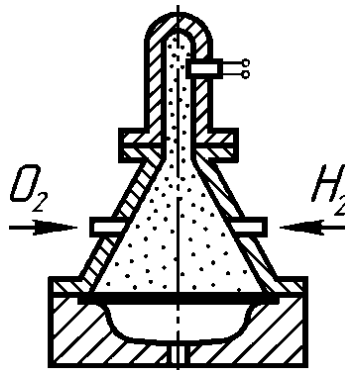


Рисунок 28 - Схема штамповки взрывом газовых смесей

В отдельных случаях при штамповке тонколистовых материалов в качестве энергоносителя используются сжиженные газы, помещенные в нетеплоизолированную емкость. Давление, potřebное для штамповки, создается за счет быстрого испарения жидкого газа.

Так, при испарении 1 литра жидкого азота при 0°С образуется 650 литров газа. Кроме жидкого азота, являющегося наиболее доступным газом, можно использовать и сжиженный воздух.

Электрогидроимпульсная штамповка (ЭГИШ). Данный метод заключается в воздействии на обрабатываемую заготовку волн сжатия, образующихся при высоковольтном электрическом разряде в рабочей жидкости. В качестве рабочей жидкости чаще всего используется вода.

Схема ЭГИШ представлена на рисунке 29. При подаче высокого напряжения от конденсаторной батареи между электродами, помещенными в жидкость, возникает токопроводящий искровой канал. Мгновенное расширение искрового канала приводит к возникновению в жидкости ударной волны, которая деформирует заготовку по внутренней форме матрицы. Иногда для стабилизации разряда и пробоя длинных разрядных промежутков электроды соединяют тонким проводником, то есть инициирование разрядного промежутка производится электрическим взрывом межэлектродного проводника.

Использование высоковольтного электрического разряда или взрыва проводника в жидкости обеспечивает выполнение всех основных технологических операций листовой штамповки: вытяжки, формовки, отбортовки, калибровки, запрессовки, разделительных и совмещенных операций. Кроме этого ЭГИШ используется для очистки литья, снятия и перераспределения остаточных напряжений.

Основными преимуществами ЭГИШ перед статическими методами штамповки являются: упрощение и удешевление технологической оснастки, повышение точности размеров деталей за счет снижения пружинения, улучшение качества поверхности штампуемых деталей, повышение штампуемости материала. По сравнению со взрывной штамповкой ЭГИШ характеризуется лучшей управляемостью процессом, возможностью плавного изменения энергии импульса и возможностью многократного разрядного импульса, а также безопасностью в работе и большими возможностями для автоматизации процесса.

Давление на переднем фронте ударной волны при разряде составляет от 100 до 1000 МПа, а скорость деформирования заготовки достигает значений 100–200 м/с. Оценить величину давления (в МПа) в выходном сечении разрядной камеры (непосредственно у поверхности заготовки) можно по эмпирической формуле:

$$p_m = \frac{1,58 \cdot 10^{-4}}{l} \left(\frac{CU^6}{L^2} \right)^{0,2}, \quad (26)$$

где l – расстояние от центра разряда до поверхности заготовки, см;

C – емкость конденсаторной батареи, Ф;

U – напряжение разрядки, В;

L – индуктивность разрядного контура, Гн.

Энергия, запасенная конденсаторной батареей установки, определяется по формуле:

$$A = \frac{CU^2}{2}, \quad (27)$$

при этом напряжение разрядки обычно не превышает 35–40 кВ.

К недостаткам ЭГИШ следует отнести большой расход электроэнергии, ограниченную энергоемкость установок (до 150 кДж) и повышенную себестоимость изготовления деталей по сравнению со штамповкой взрывом.

5.10 Магнитноимпульсная штамповка (МИШ)

Метод МИШ основан на мгновенном разряде конденсаторной батареи установки через соответствующий индуктор, являющийся рабочим органом. При этом в окружающем индуктор пространстве возникает импульсное магнитное поле высокой напряженности. Это магнитное поле индуцирует вихревые токи противоположного направления в материале заготовки, расположенной вблизи индуктора. При взаимодействии мощного поля индуктора с индуцированным в заготовке током и его магнитным полем возникают электромеханические (пондеромоторные) силы, стремящиеся оттолкнуть заготовку от индуктора, тем самым деформируя ее (рисунок 29).

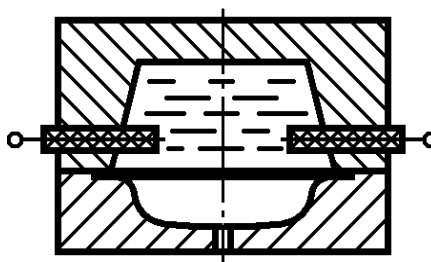


Рисунок 29 – Схема электрогидроимпульсной штамповки

МИШ получила применение в промышленности при выполнении различных операций листовой штамповки: неглубокой вытяжки, формовки, вырубки-пробивки, отбортовки, обжиге и раздаче трубчатых заготовок, а также сборочных операций при создании неразъемных соединений. Поскольку давление на заготовку создается без участия промежуточных сред, то это позволяет штамповать детали из полированных и лакированных заготовок без повреждения поверхности. Импульсный характер нагружения позволяет напрессовывать металлические трубчатые заготовки на детали из неметаллических материалов, обеспечивая при этом равномерное давление, заданный натяг и герметичность соединения.

По сравнению с другими импульсными методами МИШ обладает следующими достоинствами: возможностью более точного дозирования энергии разряда и регулировки параметров процесса, более высокой точностью размеров штампуемых деталей, сравнительно высокой производительностью метода, возможностью автоматизации процесса, возможностью выполнения сборочных операций.

При штамповке материалов с низкой электропроводностью применяют «спутники» – промежуточные прокладки из материала с высокой проводимостью (меди, алюминия и их сплавов), которые помещают между заготовкой и индуктором.

Время разрядки конденсаторной батареи при МИШ составляет порядка 20–50 мкс, а частота разрядного тока обычно имеет несколько десятков килогерц. Скорость деформирования заготовки достигает 300–400 м/с. Импульсное магнитное поле создает давление на заготовку, сравнимое с давлением при взрывной штамповке, и оценивается по формуле (в МПа)

$$p = 0,1\mu \left(\frac{H_0}{5000} \right)^2, \quad (28)$$

где μ – магнитная проницаемость материала заготовки;

H_0 – напряженность магнитного поля, А/м.

Воздействовать магнитным полем на заготовку можно и через передаточную среду, в качестве которой обычно используют эластичный материал (рисунок 30,31).

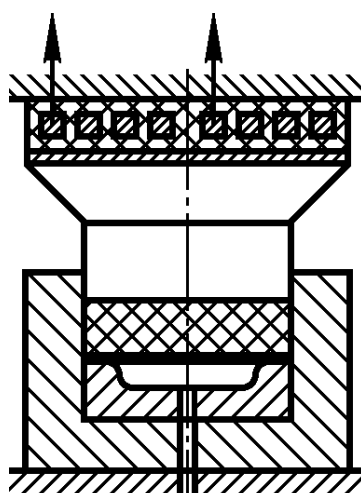


Рисунок 30 – Схема магнитно-эластоимпульсной штамповки

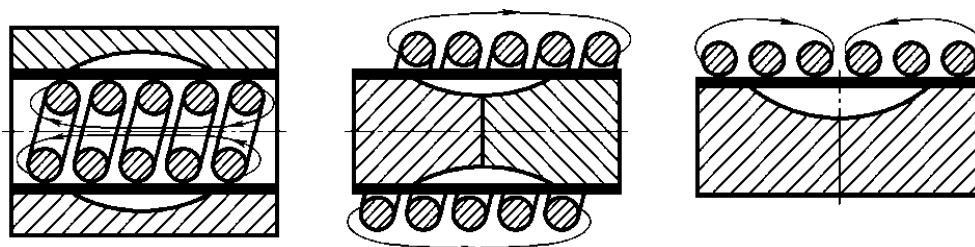


Рисунок 31 – Схемы магнитноимпульсной штамповки

Электропроводность заготовки в этом случае не имеет значения. Такой метод называют магнитно-эластоимпульсной штамповкой (МЭИШ). Для повышения давления, действующего на заготовку, подвижную пластину между индуктором и эластичной средой делают в форме концентратора.

К недостаткам магнитноимпульсной штамповки следует отнести: сложность получения глубоких деталей, ограничения по форме и геометрическим размерам штампуемых деталей, необходимость применения «спутников» при штамповке материалов с низкой электропроводностью, низкую стойкость индуктора при штамповке стальных заготовок, а также ограниченную энергоемкость установок (до 240 кДж).

Сравнительные характеристики импульсных методов штамповки, нашедших наибольшее применение в промышленности, представлены в таблице 10

Таблица 10 -Сравнительные характеристики импульсных методов штамповки

Характеристика	Метод импульсной штамповки				
	Взрывом	ЭГИШ	МЭИШ	Пороховы ми газами	Горючим и газами
Габариты штампуемых деталей, мм	250–8000	50–1200	5–150	10–500	100–500
Толщина заготовок, мм	2–30	0,1–5	0,1–1,5	0,5–5	0,5–3
Точность размеров деталей в	9–12	7–12	6–9	7–11	7–11

квалитетах					
Погрешность задания энергии	0,20–0,25	0,20–0,25	0,05–0,10	0,10–0,15	0,15–0,20
КПД	0,10–0,15	0,10–0,15	0,20–0,25	0,25–0,30	0,25–0,30

Контрольные вопросы:

- 1 Какие типы производств Вы знаете?
- 2 Основные черты мелкосерийного производства
- 3 К штампам первой группы относятся?
- 4 К штампам второй группы относятся?
- 5 Какие материалы могут использоваться в качестве эластичного инструмента?
- 6 Приведите достоинства и недостатки способов штамповки эластичным инструментом.
- 7 Опишите способы вытяжки эластичным инструментом.
- 8 Укажите достоинства гидростатической штамповки.
- 9 Опишите процесс ротационной вытяжки. Что используется в качестве рабочего инструмента?
- 10 Приведите классификацию импульсных методов штамповки. Укажите преимущества импульсных методов по сравнению со статическими.
- 11 Что может использоваться в качестве передаточной среды при штамповке взрывом?
- 12 Какие способы использования энергии пороховых газов применяются в пороховых технологических установках?
- 13 Каким образом используется электрический разряд при импульсной штамповке?
- 14 Охарактеризуйте возможности магнитноимпульсной штамповки.

Тема 6 Завершающие операции листовой штамповки

6.1 Назначение и виды термической обработки

Термическая обработка формирует физико-механические свойства инструмента: теплостойкость, прочность, твердость, износостойкость. Для изготовления инструмента используют такие виды термической обработки, как отжиг, закалка, отпуск, химико-термическая обработка. При неправильно выбранных или при нарушении заданных режимов термической обработки инструмент может оказаться вообще неработоспособным. Поэтому высокая культура термической обработки, особенно закалки и отпуска, предопределяет высокое качество инструмента.

Отжиг осуществляют для снятия внутренних напряжений и понижения твердости после горячей обработки давлением (прокатка, ковка, штамповка) и сварки заготовок. Перед повторной закалкой инструментов, если первичная выполнена неправильно, инструменты также отжигают. Для этого заготовку или инструмент нагревают до температуры 830—850 °С,

выдерживают при этой температуре 3—4 часа, а затем охлаждают с различными скоростями.

Повышение температуры отжига и увеличение выдержки при этой температуре способствуют более полному растворению карбидов в аустените. После закалки и отпуска получается более легированный мартенсит, что повышает красностойкость инструмента. Однако увеличивается опасность окисления и обезуглероживания поверхностных слоев заготовки или инструмента. Поэтому обычно стремятся сокращать время нагрева стали при высоких температурах. Для повышения пластичности быстрорежущей стали перед холодной обработкой давлением (волочение, редуцирование, ротационное обжатие, прокат тонких листов, рубка, штамповка) рекомендуют термическую обработку, занимающую промежуточное место между отжигом и неполной закалкой. Сталь нагревают до 720—780 °С, выдерживают при этой температуре один час, после чего охлаждают в масле или на воздухе

Цель закалки — увеличить твердость инструмента, превратив исходную перлитную структуру быстрорежущей стали в мартенсит. Для этого необходимо исходный перлит превратить в аустенит, нагревая сталь до температуры аустенитных превращений. Затем сталь быстро охлаждают в масле до температуры мартенситных превращений, чтобы аустенит не превратился в промежуточные структуры. После этого охлаждение должно быть медленным, чтобы обеспечить более полный распад аустенита.

Нагрев. Быстрорежущая сталь обладает пониженной теплопроводностью. Поэтому нагрев до закалочной температуры 1200—1300 °С необходимо осуществлять медленно, для того чтобы избежать появления закалочных трещин — следствия высоких внутренних растягивающих напряжений в сердцевине инструмента от разности объемов горячих поверхностных слоев инструмента и относительно холодной сердцевины. Инструмент сначала медленно подгревают до температуры 780—840 °С, а затем быстро нагревают до окончательной температуры. Быстрый нагрев уменьшает рост зерна стали и обезуглероживание поверхностных слоев инструмента. Крупногабаритные и фасонные инструменты подгревают дважды, сначала до 400—500 °С, а затем до 780—840 °С.

Температура окончательного нагрева, продолжительность подгрева и окончательного нагрева зависят от целого ряда факторов:

- а) требуемых физико-механических свойств инструмента;
- б) химсостава стали;
- в) теплоемкости и теплопроводности стали,
- г) продолжительности фазовых превращений и процессов растворения карбидов в аустените;
- д) физических свойств нагревающей среды;
- е) конфигурации и размера нагреваемого инструмента.

Поэтому режим термической обработки назначают и экспериментально проверяют не только для конкретного инструмента из стали данной марки,

но и для каждого номера плавки стали этой же марки, и даже для каждого проката стали той же плавки. Установленный таким образом режим нагрева строго контролируется и поддерживается.

Например, отклонение температуры нагрева допускается в пределах $\pm 10^\circ\text{C}$. Время выдержки при окончательном нагреве быстрорежущей стали в хлорбариевых ваннах 6—7 с на каждый миллиметр сечения инструмента, а в печах с газовой средой 10—12 с. Температура окончательного нагрева, в зависимости от марки стали, колеблется в пределах 1200—1300 $^\circ\text{C}$. Уточненные значения температуры и времени выдержки при нагреве под закалку можно найти в специальной литературе.

Инженеру важно знать, что повышение температуры окончательного нагрева и увеличение времени выдержки при этой температуре способствует более полному растворению карбидов. В результате после закалки и отпуска получаем более легированный мартенсит, что повышает твердость и теплостойкость инструмента. Однако при этом увеличивается опасность окисления и обезуглероживания поверхности инструмента, структура металла становится крупнозернистой, появляется ледобуритная сетка, что понижает прочность инструмента. Кроме того, уменьшение содержания свободных карбидов в стали вследствие их более полного растворения понижает износостойкость инструмента. Поэтому повышенные температуры нагрева и увеличенные выдержки можно рекомендовать лишь для простых инструментов, работающих с высокими скоростями, например, для резцов общего назначения. Для сложнорежущих и мелкопрофильных инструментов, протяжек, зуборезных, резбонарезных и других подобных инструментов такой нагрев неприемлем.

Охлаждение. Выбор метода охлаждения и охлаждающих сред зависит от состава стали, сложности инструмента и требуемых свойств.

Охлаждение до температуры мартенситного превращения следует вести быстро, чтобы аустенит не превратился в промежуточные структуры. Для каждой марки стали существует своя постоянная скорость охлаждения, а стало быть, и своя охлаждающая среда.

Охлаждение в интервале температур мартенситного превращения (300—200 $^\circ\text{C}$) следует вести более медленно, так как при быстрых структурных превращениях объем металла изменяется быстро, что может явиться причиной появления трещин. Поэтому для разных марок сталей и форм инструмента чаще всего применяется комбинированное охлаждение: сначала в одной среде, а затем в другой.

Охлаждающими средами могут быть: вода, масло, расплавы и растворы солей, щелочей, воздух.

Инструменты из углеродистой стали сложной конфигурации сначала охлаждают в воде до температуры 300—250 $^\circ\text{C}$, а затем в масле. Простые инструменты охлаждают только в воде.

Быстрорежущие инструменты простой формы охлаждают в масле, а небольшого поперечника (3—5 мм) даже на спокойном воздухе или под вентилятором.

Инструменты сложной формы, фасонные, подвергают ступенчатой закалке, т.е. комбинированному охлаждению, с целью снижения деформаций и возможности появления трещин. Сначала инструмент охлаждают в расплавленной калиевой селитре (хуже — в натриевой, разъедает инструмент) до температуры 500—450 °С с выдержкой при этой температуре 2—5 мин, в зависимости от сечения инструмента. Это область температур наибольшей устойчивости аустенита. Затем инструмент охлаждают на воздухе.

Для инструментов особо сложной формы, а также крупных размеров и большой длины рекомендуется изотермическая закалка, значительно уменьшающая внутренние напряжения и деформацию. При этом инструмент сначала охлаждают в соли с температурой 250—300 °С, выдерживают 40—60 мин., а затем на воздухе. Если температура соли 200—250 °С, то выдержка при этой температуре 30—40 мин, дальнейшее охлаждение на воздухе. Охлаждающая среда — смесь едких щелочей NaOH и KOH в различной пропорции в зависимости от требуемой температуры. Можно использовать смесь селитр KN03 (56 %) и NaN03 (44 %).

Светлая закалка. Нагрев инструмента обычный, в соляных ваннах, а охлаждение в растворе щелочей: 80 % KOH + 20 % NaOH + 6 частей воды на 100 частей щелочей. Чтобы поверхность инструмента не была пятнистой, перед нагревом его обезжиривают в горячем растворе следующего состава: на 1 л воды 250 г NaOH и 15 г Na3PG4. Затем инструмент высушивают при температуре 400—500 °С и только после этого переносят в ванну для нагрева под закалку, так как попадание влаги в соляную ванну может вызвать взрыв и выплескивание солей. После охлаждения инструмент промывают в горячей воде для удаления солей и высушивают или сразу же отпускают. Такая промывка с просушкой предохраняет инструмент от коррозии.

Нормальный отпуск. После закалки быстрорежущей стали в ее структуре остается около 20 % аустенита. В результате — пониженная твердость инструмента. Кроме того, во время работы инструмента под воздействием температуры резания аустенит как бы самопроизвольно распадается, превращаясь в мартенсит. Казалось бы, это неплохо. Но беда в том, что при таких структурных превращениях изменяется объем стали, причем только в отдельных частях инструмента. Возникают внутренние напряжения, которые, складываясь с напряжениями от действия сил резания, могут привести к поломке инструмента. Таким образом, прочность инструмента понижена. Понижена также и износостойкость, так как аустенит мягкий и быстро размазывается по детали. Поэтому оставшийся после закалки аустенит необходимо перевести в мартенсит. Этой цели служит отпуск. Закаленные инструменты загружают в печь, нагревают до 525—575 °С, выдерживают 1,0—1,5 часа и выгружают для остывания на воздухе. Так

повторяют два-три раза, т.е. делают двух-, трехкратный отпуск. В это время происходит превращение остаточного аустенита в мартенсит и выделение мелкодисперсных, устойчивых против коагуляции карбидов, что вызывает дисперсионное твердение, называемое вторичной твердостью. В результате остается 2—3 % аустенита, повышается твердость инструмента на 2—3 единицы HRC3. Во время последнего отпуска окончательно снимаются внутренние напряжения, что является второй задачей отпуска. Первая задача — перевод остаточного аустенита в мартенсит.

Обработка холодом. Сразу после закалки инструмент можно обработать холодом в жидком азоте (-197 °С) или в твердой углекислоте, растворенной в бензине (-80... -100 °С). После такой обработки в стали практически не остается аустенита и можно обойтись только одним отпуском для снятия внутренних напряжений. Кроме того, обработка в жидком азоте даже готового инструмента повышает его стойкость тем значительнее, чем больше нарушен режим термообработки инструмента.

Высокий отпуск. Задние поверхности многих инструментов после закалки и отпуска не шлифуют, как, например, у стандартных фасонных фрез, резьбонарезных гребенчатых фрез, резьбонарезных плашек. Не шлифуют фасонные поверхности инструментов, если в инструментальном цехе конкретного завода по той или иной причине сделать это невозможно. Тем не менее шероховатость таких поверхностей должна быть минимальной, и ее надо обеспечить лезвийной обработкой. Для этой цели делают неполную закалку инструмента с последующим высоким отпуском, нагрев до 920—950 °С, охлаждение на воздухе или в масле и высокий отпуск при температуре 700—720 °С. После отпуска сталь имеет твердость 260—270 НВ, несколько труднее обрабатывается, но обеспечивает меньшую шероховатость обработанной поверхности.

Такой закалке с высоким отпуском подвергают также протяжки перед чистовой лезвийной обработкой, хотя после последующей нормальной закалки и отпуска их шлифуют.

Высокий отпуск делают лапкам конусов инструментов и ушкам ножовочных полотен для понижения их твердости.

Низкий отпуск. Его проводят при температурах 200—250 °С для ответственных режущих инструментов, например, внутренних протяжек, чтобы исключить их поводку во время эксплуатации под действием остаточных внутренних напряжений. Такому отпуску подвергают уже готовые инструменты или инструменты перед чистовым шлифованием.

6.2 Очистка детали после закалки и отпуска

После термической обработки поверхности детали загрязнены окислами, солями ванн, иногда маслом, которые затрудняют дальнейшую механическую обработку инструмента и являются очагами коррозии. Поэтому инструмент подвергают очистке. Химическая очистка

осуществляется до полного удаления солей. Особенно эффективна, если соли необходимо удалить из щелей и пор. Последовательность очистки:

- кипячение в воде 20—30 мин для удаления грязи и следов масла;
- травление в 15—18-процентной соляной кислоте для удаления окислов;
- нейтрализация кислоты:
 - а) промывка в холодной проточной воде;
 - б) промывка в 1-процентном содовом растворе при температуре 70—90 °С в течение 5—10 мин;
- пассивирование в содово-натриевом растворе для защиты от коррозии.

Гидрополирование выполняется на агрегатах барабанного и карусельного типов струей жидкости со взвешенными в ней частицами абразива.

Состав рабочей жидкости:

- электрокорунд зернистостью 16—10 — 20 кг;
- сода кальцинированная (Na_2CO_3) — 200 кг;
- нитрит натрия (NaNO_2) — 0,75 — 1,00 кг;
- вода — 50 л.

Используется не только для очистки детали после термической обработки, но и для подготовки его под гальванические покрытия. Обработанная поверхность очень чистая, зависит от зернистости абразива и устойчивая от коррозии, так как покрывается пассивной пленкой из нитрита натрия, находящегося в растворе рабочей жидкости.

6.3 Нанесение антифрикционных покрытий

Эти покрытия мягче, чем материал основы, и выполняют функции твердых смазок, понижающих коэффициент трения и уменьшающих тем самым износ инструмента.

Особенно полезны для деталей, работающих в условиях повышенного трения.

Покрытия наносятся при комнатной температуре на подготовленные специальным способом рабочие поверхности инструмента.

Для улучшения сцепления с основой инструменты подвергаются нагреву до 200 °С. Низкая температура позволяет применить эти способы для инструментов из любых режущих материалов.

В качестве материалов для покрытий используют сульфиды и фосфаты различных металлов, ангидрид молибдена, а также эпилам (фторсодержащее поверхностно-активное вещество 6МФК-180 или 6СФК-180-05).

Наибольшее применение получили дисульфид молибдена MoS_2 , никель-фосфорное покрытие NiP и эпилам. Стойкость деталей с такими покрытиями в 1,5—6,0 раз выше, чем без них.

В случае никель-фосфорного покрытия на поверхности инструмента наносится слой химически восстановленного никеля, обладающий высокой

твердостью, что наряду с создаваемым диффузионным барьером способствует дополнительному повышению стойкости детали.

Контрольные вопросы:

- 1 Виды термической обработки и их назначение.
- 2 Разновидности закалки
- 3 Назначение и технология нормального отпуска
- 4 Назначение и режимы высокого и низкого отпуска.
- 5 Назначение и режимы отжига?
- 6 Технология очистки инструмента после закалки и отпуска.
- 7 От каких факторов зависит температура окончательного нагрева, продолжительность подогрева и окончательного нагрева?
- 8 В чем заключается необходимость нанесения антифрикционных покрытий?

Тема 7 Технические требования к штампам листовой штамповки

7.1 Классификация штампов и их деталей

Штамповка считается передовым и самым распространенным технологическим процессом в машиностроении, а штампы — одним из самых распространенных видов оснастки.

Штампы представляют собой дополнительные устройства к машинам, придающие деталям наиболее сложную и самую разнообразную форму без снятия металлической стружки. Особенность этой оснастки состоит в том, что в ней сочетаются и рабочие инструменты, изменяющие форму детали, и приспособления, устанавливающие и закрепляющие ее при обработке.

Штампы применяются для изменения формы детали как в холодном, так и горячем состоянии. В первом случае их называют штампами холодной штамповки, во втором — штампами горячей штамповки. Поскольку последние представляют особую область технологической оснастки, а их изготовление носит специфический характер и часто производится в особых штамповых цехах или мастерских, в этом разделе будет рассказано только о конструкции и производстве штампов холодной штамповки.

Штампы холодной штамповки можно разделить на следующие типы:

1. Вырубные штампы, с помощью которых производят вырезку из листового металла деталей различных конфигураций, а также заготовок, поступающих после вырубки на другие операции. Следовательно, эта группа более детально может быть разделена на собственно вырубные штампы, отрезные штампы, дыропробивные штампы и штампы обрзные.
2. Гибочные штампы, которые изменяют форму детали, изгибая ее вокруг одной или нескольких осей.
3. Вытяжные штампы, в которых детали придается выпуклая или вогнутая сосудообразная форма.

4. Обжимные и чеканочные штампы, которые изменяют форму детали за счет перераспределения металла заготовки. К обжимным штампам, например, относятся штампы для высадки головок заклепок, а к чеканочным — штампы для образования рельефных рисунков на поверхности деталей.

Штампы холодной штамповки состоят из большого количества различных деталей (см рис 32).

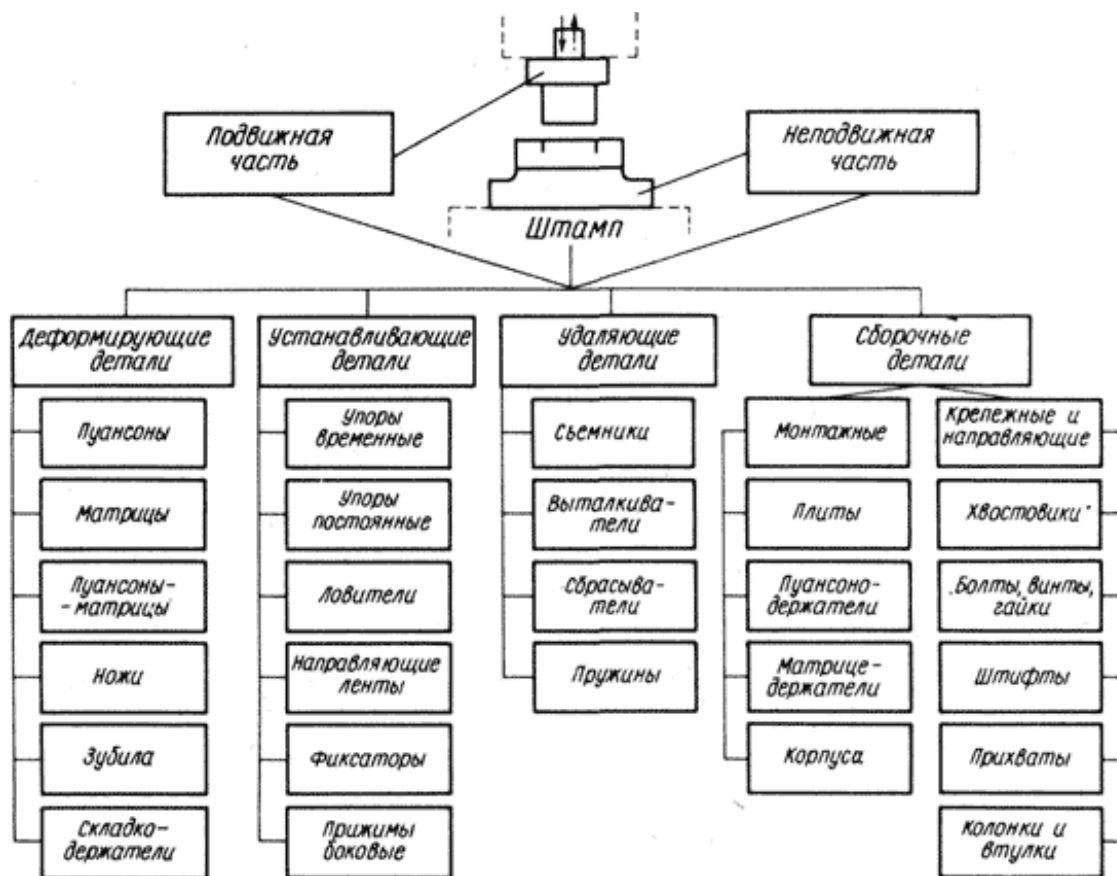


Рисунок 32- Классификация деталей штампа

По своему назначению эти детали могут быть объединены в несколько групп, несущих вполне определенные функции при штамповке:

- а) **рабочие части**, непосредственно образующие форму детали, заготовки и состоящие из пуансонов, матриц или их отдельных секций;
- б) корпусные детали, связывающие с машиной-орудием и друг с другом все рабочие части и остальные детали штампа; эти детали состоят из нижней и верхней плиты штампа и хвостовика, а также направляющих втулок и колонок;
- в) **установочные детали**, облегчающие установку детали или заготовки по отношению к обрабатываемому контуру рабочих частей;
- г) **съемно-удаляющие детали**, облегчающие высвобождение деталей или отходов из штампа после выполнения операций и состоящие из съемников и выталкивателей различных конструкций;
- д) **конструктивные детали**, необходимые для скрепления отдельных групп деталей с корпусными деталями; в состав этих деталей входят

различные конструкции пуансонодержателей и матрицедержателей, а также и все остальные крепежные детали, применяемые для соединения отдельных элементов штампа друг с другом.

7.2 Штампы для гибки

Гибочные штампы применяются для придания изогнутой формы изделию. Процесс гибки состоит в том, что плоскую заготовку кладут на матрицу, имеющую форму изогнутого изделия и придавливают сверху пуансоном. Контур пуансона параллелен контуру матрицы и отстоит от нее на расстоянии толщины изгибаемого изделия. Гибка является очень распространенной операцией холодной штамповки и осуществляется в штампах на универсальных одностоечных и двухстоечных прессах, а также на гидравлических прессах.

После того как изделие вынуто из штампа, благодаря упругим свойствам металла меняются угол и радиус гибки. Это свойство называется пружинением. Углом пружинения называется разница между углами гибки изделия при нахождении в штампе и вне его. Некоторые изделия нельзя изогнуть в одном штампе, поэтому для таких изделий - изготавливают операционные штампы, каждый из них производит только одну операцию гибки.

На рис. 33 показан гибочный штамп, предназначенный для получения изделия волнистого профиля из плоской заготовки. Верхняя и нижняя плиты штампа с направляющими колонками представляют собой стандартный универсальный блок, на который монтируется матрица 4 с упором 3 и пуансоном 2. Заготовка 1 перед гибкой закладывается между упорами 3. При движении вниз пуансон вдавливают заготовку в матрицу и придает ей требуемую форму.

К штампам для гибки относятся завивочные и скручивающие штампы. В завивочных штампах производится гибка простых по форме изделий: колец, петель, рамок из стальной проволоки. Процесс завивки состоит в том, что уступ пуансона, нажимая на проволоку, сгоняет ее по наклонной плоскости матрицы, у которой рабочие кромки закруглены. Проволока обвивается вокруг пуансона, а пуансон проталкивает завиток изделия через цилиндрический участок матрицы, который является калибрующим. При обратном ходе ползуна пресса изделие легко снимается с пуансона вследствие упругой деформации.

Принцип работы штампа для скручивания заключается в том, что поворот одной части заготовки относительно другой осуществляется благодаря специальной форме пуансона и матрицы.

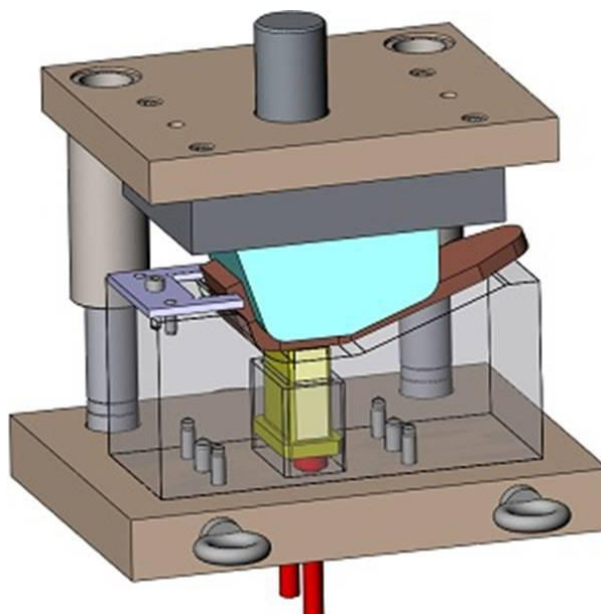


Рисунок 33- Гибочный штамп для получения изделия волнистого профиля из плоской заготовки

Заготовка первоначально занимает в подставке горизонтальное положение, затем под воздействием пуансона оба конца заготовки скручиваются одновременно. Такое скручивание может быть осуществлено при углах поворота не более 90° .

На машиностроительных заводах с крупносерийным и массовым производством для завивки и скручивания изделий применяют автоматы и специальные агрегаты.

7.3 Этапы проектирования штампов

Большую роль в обеспечении требуемого качества готового изделия играет проектирование штампов для холодной штамповки, за счет которых и происходит формирование детали с требуемыми геометрическими параметрами. Выполняются рабочие чертежи таких рабочих инструментов, устанавливаемых на штамповочных прессах, могут как в двух-, так и в трехмерном формате. Для решения этой задачи требуются соответствующие знания и навыки.

Разработка чертежа и последующее изготовление штампа, используемого для холодной штамповки, выполняются в несколько этапов:

- составление эскиза будущего штампа;
- изучение схемы, по которой будет выполняться раскрой материала, проверка такой схемы посредством специальной компьютерной программы;
- редактирование эскиза, если в том есть необходимость;
- окончательная проверка размеров разработанного штампа;
- обозначение положения и точных размеров отверстий, которые будут выполнены на рабочей поверхности штампа.

При разработке штампов часто приходится выбирать между качеством будущей детали и экономичностью производства

Разрабатывая штампы для холодной штамповки, необходимо разбить чертеж готового изделия на отдельные части и внимательно изучить их. После того как такая процедура будет выполнена, осуществляют производство штампов. При этом необходимо уделить особое внимание требованиям, которые предъявляются к параметрам готового изделия. Для каждого этапа технологического процесса холодной штамповки разрабатывается маршрутная карта, в которой учитываются как время выполнения отдельных операций, так и характеристики поковок на отдельных этапах обработки. В таком вопросе, как выполнение холодной штамповки металлической заготовки, значение имеют очень многие параметры, к которым, в частности, относятся последовательность выполнения технологических операций, распределение материала в полости рабочего инструмента, используемое оборудование и режимы обработки. После штамповки изделие может быть подвергнуто и ряду вспомогательных операций, к которым относятся отжиг и травление. При помощи таких операций готовому изделию придаются требуемые механические характеристики. Чтобы повысить износостойкость изделий, полученных методом холодной штамповки, на их поверхность наносят различные защитные покрытия. Первая из них состоит из трех операций:

- предварительной термической обработки заготовки (это необходимо для того, чтобы снизить прочность металла);
- подготовки поверхности заготовки к выполнению штамповки;
- непосредственно самой штамповки.

При выполнении холодной штамповки по второй технологической схеме к трем вышеуказанным этапам добавляется еще один – предварительная подготовка мерных заготовок, из которых и будут формироваться готовые изделия.

7.4 Особенности автоматизированного проектирования штампов

Процесс проектирования сложной технологической оснастки является трудно формализуемым и многовариантным, а результаты проектирования могут оцениваться с точки зрения различных, зачастую взаимоисключающих критериев. Следует заметить также, что проектирование оснастки является частью общего процесса технологической подготовки производства и, как следствие, связано с иными производственными процессами (изготовление, испытание, внедрение, наладка, модернизация оснастки, оптимизация конструкции по результатам эксплуатации и т. д.). Собственно проектирование оснастки на примере штампа сводится к:

- разработке и оптимизации схемы раскроя ленты;
- размещению вырубных и гибочных пуансонов;
- пространственной компоновке штампа;
- вставке стандартных компонентов (колонки, отлипатели и т. п.);
- проектированию нестандартных элементов.

Как элемент производственного процесса и объект автоматизации, проектирование такой сложной оснастки как штампы и пресс-формы подразумевает использование ряда обеспечивающих ресурсов, к которым относят, в частности:

- информационное;
- нормативное;
- логическое;
- алгоритмическое;
- программное.

Применение систем автоматизированного проектирования (САПР), с одной стороны, обеспечивает высокую производительность труда конструктора и сокращение сроков разработки внедрения в несколько раз при высоком качестве проектируемых конструкций, с другой — ограничивает диапазон возможных решений алгоритмизированными на текущем уровне развития систем автоматизированного проектирования процессами разработки (workflow).

По мнению отечественных авторов именно интегрированные САПР отличаются наиболее высоким качеством проектирования и являются перспективными для дальнейшей разработки и использования, несмотря на их значительную ресурсоёмкость и не преодоленные до сих пор трудности реализации. В настоящее время, тем не менее, на рынке представлены программные продукты, обеспечивающие меньшую степень автоматизации.

В отечественной системе КОМПАС-Штамп реализована автоматизация выбора стандартных и стандартизованных деталей оснастки из базы параметризованных прототипов деталей (информационно-нормативное обеспечение). Автоматизация процесса принятия конструкторских решений отсутствует и ограниченным образом фиксируется в виде дерева проектирования. Отсутствует автоматизированное создание развёртки изделия и оптимизация карты раскроя детали. Предусмотрена возможность выполнения простейших расчётов (определение центра давления штампа). В системе проектирования «СПРУТ-Штамп» принято представление штампов в виде древовидного графа со связями И/ИЛИ. Таким образом, для определённого вида обработки проектируется универсальный прототип штампа, который в дальнейшем конкретизируется конструктором.

Нетрудно видеть, что, несмотря на более прогрессивную структуру представления информации, идеологически система «СПРУТ-Штамп» является аналогом предыдущей САПР, дополненной инструментами сохранения дерева проектирования. Лидерами зарубежного рынка решений для проектирования штампов являются Cimatron и SiemensNX. Реализованные в них подсистемы проектирования штампов (ProgressiveDieDesign) в большей степени соответствуют классической схеме проектирования.

Ещё более наглядно полуавтоматизированная методика проектирования штампов реализована в приложении Loogopress.

Приложение состоит из трёх модулей, воспринимающих результаты проектирования как начальные данные.

На первом этапе производится развёртка детали и определение необходимого количества шагов формообразования.

При этом выполняются расчёты усилий гибки и вырубки, проверка на потенциально возможные дефекты (морщины и разрывы).

На втором этапе формируется рабочая зона штампа. Для этого развёртка в соответствии с маркированными ранее шагами размещается на ленте по позициям формообразования.

Заметим, что пуансоны по замкнутому контуру формируются автоматически.

Вырубные пуансоны по полуоткрытым контурам подстраиваются под реальную форму вырубки. Аналогично, гибочные пуансоны соответствуют форме изгибаемого участка на позиции. Модуль пространственной компоновки позволяет разместить рабочие элементы в пакете штампа типовой конструкции.

Таким образом, в настоящее время на рынке САПР представлено значительное количество программных продуктов, облегчающих труд разработчика оснастки. Системы характеризуются различной степенью универсальности и полнотой алгоритмического обеспечения.

Контрольные вопросы:

- 1 По каким технологическим признакам классифицируются штампы?
- 2 Этапы изготовления штампов?
- 3 Каким образом выбирают модель будущего штампа? Критерии выбора?
- 4 Как повысить износостойкость изделий?
- 5 Какие САПР для автоматизированной штамповки Вы знаете?
- 6 Понятие технологичности конструкции изделия.
- 7 Способы оценки технологичности конструкции изделия.
- 8 Способы обеспечения технологичности конструкции изделия.
- 9 Разработка маршрутных технологических процессов изготовления деталей с применением листовой штамповки
- 10 Содержание технологической подготовки производства.

Тема 8 Проектирование типовых конструкций штампов

8.1 Типовая конструкция штампа

Процессы проектирования и изготовления технологической оснастки в машиностроительном производстве занимают существенное место в цикле технической подготовки автомобилестроительной, авиационной, космической и других отраслей.

Изготовление деталей из листового материала является наиболее прогрессивным и экономичным технологическим методом производства,

позволяющим многократно повысить коэффициент использования материала при изготовлении деталей оболочкового типа, уменьшить потребное количество металлорежущих станков, снизить экологическую нагрузку на окружающую среду.

Штампы для листовой штамповки имеют самые разнообразные конструкции, они отличаются по способу действия, числу выполняемых на них операций, компоновке деталей, габаритам. Тем не менее, можно представить типовую конструкцию штампа, которая содержит отдельные группы деталей, характерные, как правило, для всех штампов.

В качестве типового штампа взят штамп для вырубки (рисунок 34). Он состоит из подвижной и неподвижной частей.

Подвижная часть – это верхняя плита штампа и все детали и узлы, закрепленные на ней.

Неподвижная часть – это нижняя плита штампа и все детали и узлы, на ней установленные. Подвижная часть штампа крепится к ползуну прессы при помощи хвостовика, нижняя часть – к подштамповой плите прессы прихватами.

Основные группы деталей штампа:

I – рабочие инструменты: пуансон 1 и матрица 2;

II – элементы крепления рабочих инструментов:

пуансонодержатель 3 и матрицедержатель 4;

III – базовые детали: верхняя 5 и нижняя 6 плиты;

IV – элементы направления базовых деталей штампа: направляющие колонки 7 и направляющие втулки 8;

V – элементы направления исходной заготовки: направляющие линейки 9;

VI – элементы фиксации исходной заготовки: упор 10;

VII – элементы удаления деталей и отходов: съемник 11;

VIII – присоединительные детали: хвостовик 12, прокладка 13 из закаленной стали.

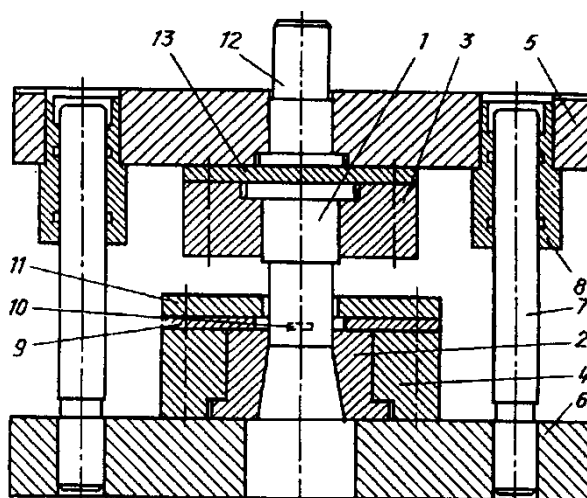


Рисунок 34 – Типовой штамп [1]

Традиционно в конструкции штампа выделяют две большие части: блок штампа и пакет штампа.

Блок штампа – узел, состоящий из верхней и нижней плит, соединенных направляющими колонками и втулками, служащий для монтажа деталей пакета штампа (рисунок 35).

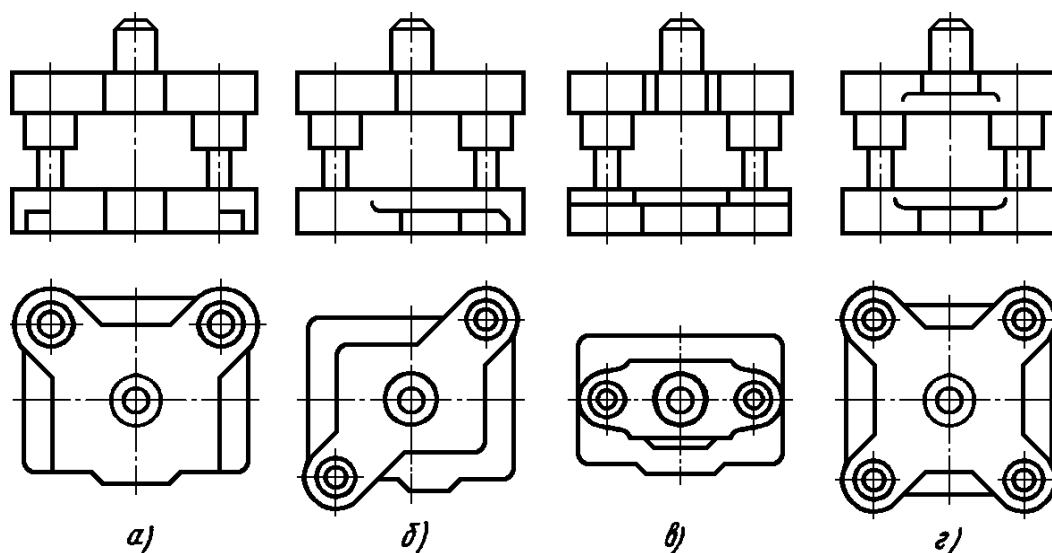


Рисунок 35 – Блоки штампов: а) – двухколонный блок с задним расположением колонок; б) – двухколонный, с диагональным расположением колонок; в) – двухколонный блок с центральным расположением колонок; г) – четырехколонный блок

Пакет штампа – рабочий инструмент, включающий в себя деформирующие, устанавливающие, удаляющие, фиксирующие и крепежные детали.

Блок штампа может использоваться многократно для получения разных деталей, он универсален. На одном и том же блоке можно штамповать разные детали, заменив лишь пакет штампа. Пакет же штампа служит для получения конкретной детали, т.е. является рабочим инструментом.

8.2 Выбор прессы

В листоштамповочном производстве благодаря высокой производительности, простоте эксплуатации широко используются кривошипные прессы.

Кинематическая схема кривошипного прессы (рисунок 36) – кривошипный механизм, состоящий из кривошипа 1, шатуна 2 с устройством регулировки длины шатуна 3, ползуна 4, подштамповой плиты 5 и стола прессы 6. Кузнечно-прессовое оборудование характеризуется допустимым технологическим усилием.

Кроме этого, как всякий кривошипно-шатунный механизм кривошипный пресс имеет ограниченную величину перемещения ползуна – рабочий ход, а также характеризуется расстоянием между нижним положением ползуна и подштамповой плитой прессы, этот параметр определяет наибольшую высоту штампа, который можно установить на данный пресс.

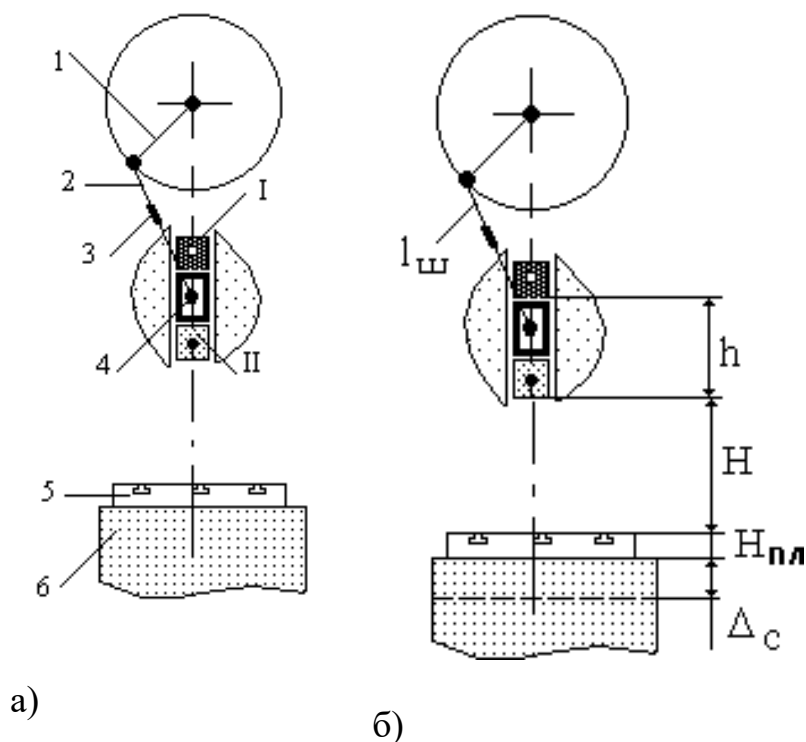


Рисунок 36 – Принципиальная схема (а) и основные геометрические характеристики кривошипного прессы (б)

I – верхнее положение ползуна; II – нижнее положение

Номинальная закрытая высота прессы – это технологический параметр, измеряемый наибольшим расстоянием в миллиметрах между неподвижным столом прессы и ползуном в его нижнем положении при наибольшем ходе с наименьшей длиной шатуна и снятой подштамповой плитой. Для прессов с передвижным столом закрытая высота определяется в нижнем его положении. Штамповка при снятой подштамповой плите не рекомендуется [2].

Закрытая высота штампа – это расстояние между внешними (опорными) поверхностями верхней и нижней плиты в сомкнутом (нижнем) положении штампа.

Если передвижной стол прессы опущен в нижнее положение, шатун отрегулирован на наименьшую длину и ход прессы является наименьшим, то на пресс может быть установлен штамп с наибольшей закрытой высотой.

Если передвижной стол поднят в верхнее положение, шатун отрегулирован на наибольшую длину и ход прессы является наибольшим, то на пресс может быть установлен штамп с наименьшей закрытой высотой.

Величина рабочего хода определяется после проектирования технологии изготовления детали, выбора рабочего контура деформирующих инструментов, схемы выполнения конкретной технологической операции.

Так, при проектировании разделительных и формоизменяющих операций без прижима величина рабочего хода определится из схем, представленных на рисунке 37.

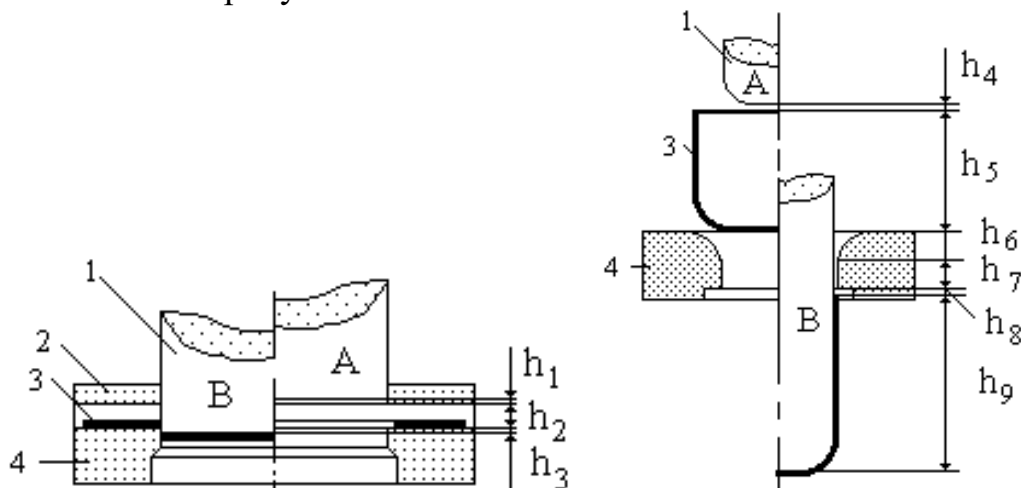


Рисунок 37 – Расчетные схемы для определения рабочего инструмента:
а) – для вырубки-пробивки; б) – для вытяжки

1 – пуансон; 2 – съемник; 3 – деформируемая заготовка; 4 – матрица; А – верхнее положение инструмента; В – нижнее положение

При вырубке-пробивке пуансон должен на несколько десятых долей миллиметра опуститься ниже зеркала матрицы, чтобы обеспечить полное отделение заготовки, до этого он должен преодолеть расстояние между съемником и матрицей, а при обратном ходе пуансон поднимается несколько выше рабочей поверхности съемника на расстояние, чтобы произошел съем отхода.

При вытяжке опускающийся пуансон преодолевает расстояние h_4 между торцом пуансона и верхним краем заготовки, необходимым для ее установки, опускается до дна заготовки на глубину h_5 , проходит сквозь формоизменяющую часть матрицы h_6 , через калибрующий пояс h_7 и протягивает всю заготовку через матрицу h_9 так, чтобы верхний край заготовки опустился немного ниже удаляющего среза матрицы на расстояние h_8 . После этого край детали отпружинит и при обратном ходе пуансона произойдет съем изделия об острый край матрицы.

Если штамповка ведется с прижимом заготовки, тогда рабочий ход следует увеличить на величину предварительного сжатия буфера, которое обеспечит требуемое усилие прижима.

Таким образом, выбор марки кривошипного пресса для выполнения конкретной технологической операции следует производить по двум

параметрам – по величине технологического усилия и по величине рабочего хода. Номинальное усилие пресса должно примерно на 25 % превышать расчетное технологическое усилие, величина хода рабочего инструмента не должна превышать наибольшей величины рабочего хода пресса.

Обычно при выборе оборудования для разделительных операций достаточно определиться с усилием пресса, так как величина рабочего хода инструмента мала. Для формоизменяющих операций этого недостаточно, необходимо также учитывать величину рабочего хода.

8.3 Холодная штамповка в прецизионных штампах высокой точности

В последние годы внедряется холодная штамповка в прецизионных штампах высокой точности (по методу немецкой фирмы «Файнтул»). Верхняя плита такого штампа имеет направление на четырех колонках с шариковыми направляющими. Штамповка осуществляется с точностью 0,01 мм на операциях вырубки и пробивки изделия. Устанавливаются штампы на гидравлический пресс тройного действия. Цикл работы пресса следующий: вначале нижний цилиндр пресса поднимает нижнюю часть штампа до соприкосновения с заготовкой изделия и одновременно совместно с верхней плитой и верхним цилиндром. Заготовка зажимается. Далее происходит вырубка и пробивка нижним и верхним цилиндрами. Отходы выталкиваются нижним толкателем, а готовое изделие - верхним толкателем.

Штампы при затуплении режущих кромок необходимо затачивать шлифованием нижней плоскости пуансона и верхней плоскости матрицы.

Крупные и сложные режущие и формообразующие рабочие части штампов изготавливают составными.

Матрица составлена из шести закаленных частей, которые привертываются к плите потайными винтами и устанавливаются на контрольных штифтах. Колонки служат для направления верхней половины штампа. Каждая часть обрабатывается до закалки на фрезерном или строгальном станке. После закалки плоскости обрабатывают на плоскошлифовальном станке.

Для крупногабаритных штампов цельные матрицы и пуансоны не изготавливают ввиду невозможности термообработки. Штампы, состоящие из отдельных секций, упрощают изготовление рабочего контура матриц и пуансонов и дают экономию по расходу инструментальной стали. Кроме того, если в таком штампе изнашивается составная часть, то ее легче заменить, чем целиком матрицу. Фасонные штампы для гибочных и вытяжных работ изготавливают также составными.

8.4 Проектирование матриц

В производстве используют сплошные, бандажированные и составные матрицы, представленные на рисунке 38. Крепление матриц

к плитам штампов осуществляется винтами и штифтами, винтами и врезкой в плиту при помощи матрицедержателей.

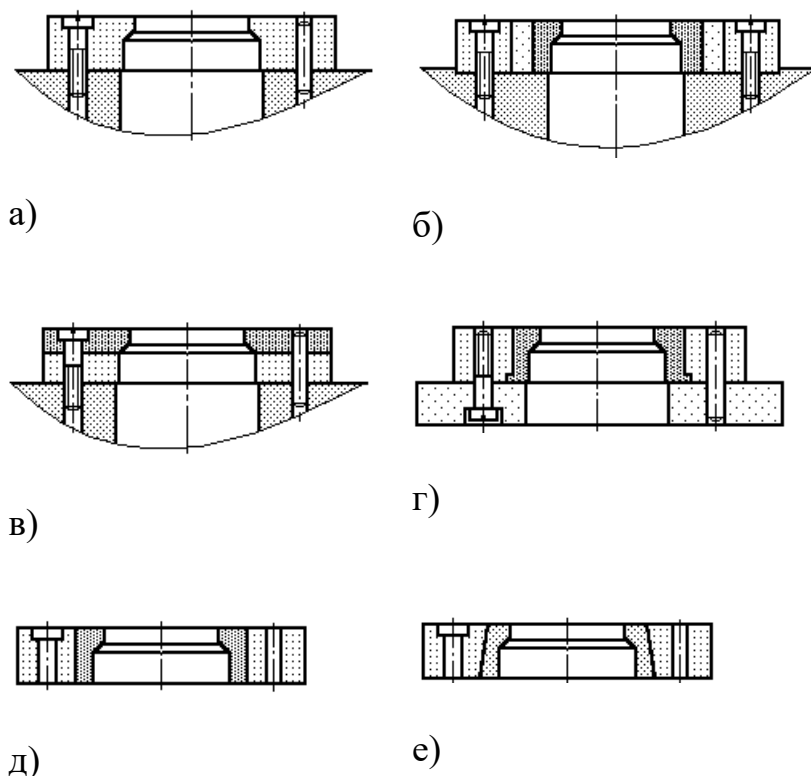


Рисунок 38 – Типы матриц и способы их крепления:

а) – сплошная матрица, крепление винтами и штифтами; б) – бандажированная матрица, крепление винтами и врезкой; в) – составная матрица; г) – сплошная матрица в матрицедержателе, крепление за счет посадки и буртика; д) – матрица в матрицедержателе, крепление за счет посадки (H7/n6); е) – матрица в матрицедержателе, крепление за счет малой конусности боковой поверхности ($1^{\circ}30' \div 3^{\circ}$)

Сплошные матрицы наиболее широко распространены, просты в изготовлении, но имеют пониженную прочность на разрыв по сравнению с бандажированными матрицами. Матрицы для операций листовой штамповки изготавливаются из инструментальных сталей типа У8А, У10А, Х12М, ХВГ, ШХ15

Бандажированные матрицы состоят из набора колец, надетых с натягом друг на друга. Это позволяет значительно увеличить прочность матрицы, экономить дорогие инструментальные стали, так как из инструментальной стали делается лишь внутренняя рабочая вставка. Бандажные кольца изготавливаются из качественных углеродистых сталей 60...20, прочность колец и их нагруженность убывает к наружной поверхности матрицы. Изготавливать такие матрицы сложнее, поэтому их

используют, если матрица испытывает внутреннее давление более половины ее предела упругости.

Составные матрицы применяются обычно при вырубке-пробивке. Из инструментальной стали изготавливается лишь рабочая часть матрицы (режущая кромка и цилиндрический пояс с фаской), подвергающиеся интенсивному износу. Основание, в котором выполнено провальное отверстие, изготавливается из углеродистой стали и воспринимает только изгибающие нагрузки.

Такая конструкция позволяет экономить дорогие и труднообрабатываемые инструментальные стали.

8.5 Ручное проектирование штампов. Этапы проектирования

В проектировании конструкции штампа листовой штамповки целесообразно придерживаться следующей последовательности: анализ исходных данных, выбор принципиальной схемы штампа, проведение расчетов по определению потребного усилия штамповки, выбор прессового оборудования и установление закрытой высоты штампа, определение центра давления штампа, подетальная разработка конструкции штампа, расчет на прочность и жесткость основных деталей его, и наконец, оформление сборочного чертежа штампа.

1 этап- уточнение исходных данных

К основным исходным данным, необходимым для проектирования штампов листовой штамповки, относятся сведения об операции, для которой должен быть спроектирован штамп, годовая программа 11 выпуска деталей, типы имеющегося на производстве оборудования, справочные материалы по типовым конструкциям штампов и его деталей, ГОСТы, ОСТы, РТМы, правила техники безопасности и др. [1 – 6, 8, 10, 11]. Анализ этих данных проводит технолог, разрабатывающий технологический процесс изготовления детали и составляющий заказ на проектирование штампа на какую-либо операцию, и конструктор штампа при получении такого заказа. Их совместные усилия позволяют наметить более оптимальный путь решения задачи по выполнению операции штамповки.

2 этап- выбор принципиальной схемы штампа

Этап выбора принципиальной схемы штампа является наиболее ответственным при разработке конструкции штампа. Опираясь на имеющиеся разработки типовых штампов [3, 4, 6, 8, 10, 11], проектант должен выбрать такой штамп, который мог бы обеспечить требуемые геометрические параметры заготовки, учитывая при этом возможность обеспечения заданной программы выпуска при соблюдении правил техники безопасности и экономики (простота конструкции, применение нормализованных узлов и деталей и др.). Принципиальная схема штампа должна полностью отображать его конструкцию, т. е. должны быть учтены все рабочие детали, виды направляющих исходной заготовки, направление хода заготовки и отходов, вид съемников и выталкивателей и др. Так,

например, при разработке конструкции штампа для разделительной операции при выборе принципиальной схемы необходимо учитывать некоторые правила. Штампы с неподвижным направляющим съемником позволяют автоматически (без участия рабочего) удалять заготовку (или отход) через провальное окно, что дает возможность применять быстроходное прессовое оборудование и многорядную штамповку. Такие съемники просты по конструкции, а потому наиболее распространены. Однако следует учитывать, что при применении неподвижных направляющих съемников наблюдается частичное ухудшение плоскостности заготовки. Поэтому их рекомендуют применять при штамповке из листа толщиной более 0,5 мм. В противном случае необходимо использовать штампы с верхним 12 прижимом-съемником, правда, при этом снижается жесткость штампа, усложняется его конструкция.

Разделительные штампы совмещенного действия рекомендуется применять при штамповке заготовок повышенной точности (9-11 квал.); при наличии жестких допусков на размеры, определяющих расположение отверстий относительно контура (менее $\pm 0,1$ мм для размеров до 20 мм и $\pm 0,15$ мм для размеров от 20 до 50 мм); при изготовлении заготовок, имеющих форму тел вращения. Штампы последовательного действия применяются в том случае, когда не предъявляются высокие требования к точности геометрических параметров. Они проще по конструкции и более надежны при работе в автоматическом режиме.

3 этап - определение закрытой высоты штампа

Штампы должны проектироваться на конкретные прессы в соответствии с технической характеристикой последних или на группу прессов, близких по мощности и аналогичных по технической характеристике. Рабочая зона выбранного пресса будет определять габариты штампа. Штамп изображается графически в нижнем рабочем положении, в котором наилучшим образом увязывается взаимодействие рабочих, прижимающих и удаляющих деталей штампа.

При этом почти исключается возможность конструктивных ошибок по несогласованности верхней и нижней частей штампа. Высота штампа в нижнем рабочем положении называется закрытой высотой штампа $H_{шт}$ (см. рис. 3), которая увязывается с закрытой высотой пресса. Обычно штамп проектируют ближе к наибольшей закрытой высоте пресса, учитывая желательность работы при укороченном (свинченном) шатуне, а также уменьшение высоты штампа вследствие последующих перешлифовок.

В большинстве случаев принимают $H - 5\text{мм} \geq H_{шт} \geq H_2 + 10\text{мм}$. Если закрытая высота штампа будет меньше H_2 , необходимо применять промежуточные подкладные плиты.

Шаговые ножи применяют в основном в штампах последовательного действия для обеспечения точной подачи полосы и повышения производительности. Их рекомендуется применять в многопереходных штампах, при небольшом шаге, когда нет возможности установить

постоянные или временные упоры, при необходимости обрезки одной или двух сторон полосы для получения заготовки. В зависимости от конфигурации заготовки и требуемой точности подачи в штампе могут быть установлены один или два ножа. Наиболее распространенные конструктивные формы шаговых ножей показаны на рис. 39:

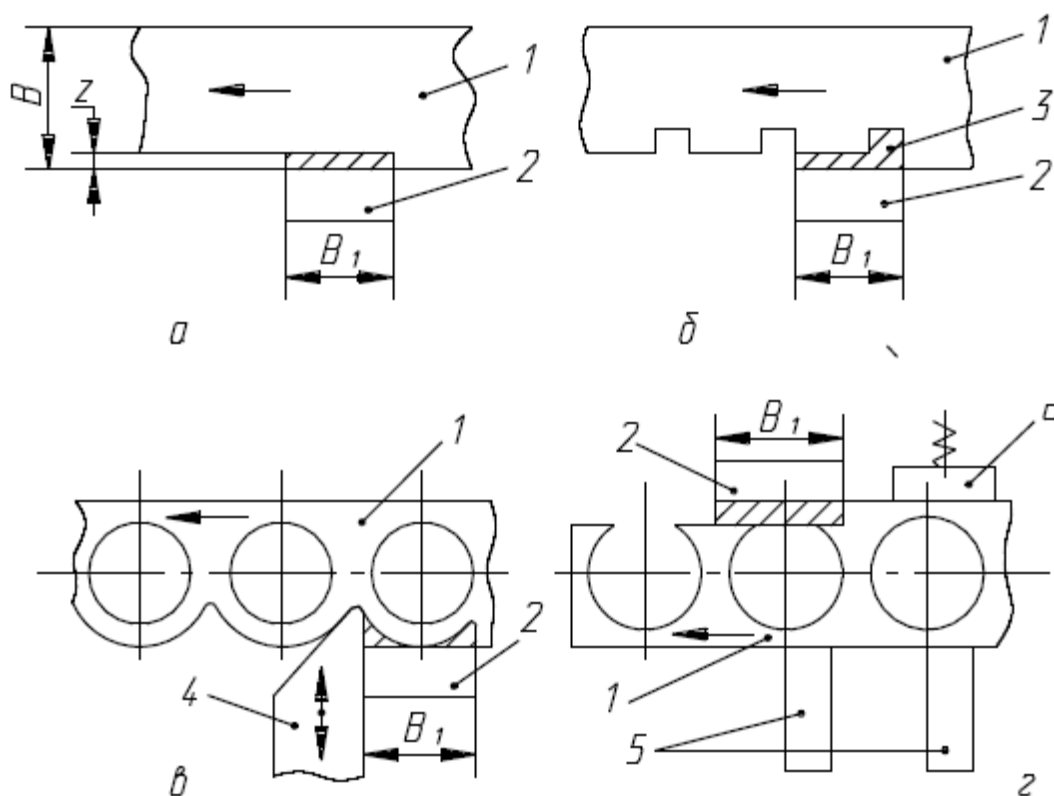


Рисунок 39- Конструктивные формы шаговых ложей: 1 — полоса, 2 — шаговый нож, 3 — выступ для предотвращения образования «усика», 4 — подвижной упор, 5 — временные упоры, 6 — боковой прижим

Наиболее простая в изготовлении форма, на рис. 14, а ее недостаток — образование «усиков» при затуплении ножа; более сложная форма на рис. 14, б, исключая образование «усиков». Применение шаговых ножей обычно связано с дополнительным расходом материала (припуск Z), что особенно ощутимо при штамповке мелких заготовок. Расхода можно избежать, 33 применяя ножи, изображенные на рис. 39, в, или располагая шаговые ножи в зоне отхода полосы (рис. 39, г). Рис. 14. Конструктивные формы шаговых ложей: 1 — полоса, 2 — шаговый нож, 3 — выступ для предотвращения образования «усика», 4 — подвижной упор, 5 — временные упоры, 6 — боковой прижим.

Съемники. Съемники вырубных штампов предназначены для съема отходов полосы с пуансонов либо для придания точного направления пуансонам. Последнее может быть рекомендовано при следующих условиях: в штампах, не имеющих направляющих

колонок; в многопуансонных штампах с различными размерами пуансонов; при вырубке тонколистовых и неметаллических материалов в штампе с верхним прижимом.

Фиксирующие детали штампов

Фиксирующие детали предназначены для ориентации исходной заготовки в требуемом положении относительно рабочего инструмента. Способ фиксации заготовки в рабочей зоне штампа является весьма важным эксплуатационно-производственным фактором, определяющим как производительность и точность обработки, так и безопасность работы.

К фиксирующим деталям относятся направляющие планки, упоры, фиксаторы и ловители. Рекомендации по выбору конструкции этих деталей смотрите в справочной литературе.

Толкатели. Толкатели в штампе необходимы для принудительного удаления заготовки из рабочей зоны. Наиболее распространенной конструкцией толкателя является толкатель, в котором выталкивание заготовки осуществляется двумя регулируемыми упорами и выталкивающей планкой (траверсой), проходящей через прямоугольную прорезь в ползуне пресса.

Упругие элементы (детали) в штампах используются в качестве привода. К ним прежде всего относятся: пружины, резина, полиуретан, сжатый воздух и жидкость.

В штампах их используют или в собранном виде (например, буферы) или в виде отдельных пружин и резиновых блоков.

Спиральные цилиндрические пружины сжатия применяют в штампах с широким диапазоном развиваемого усилия (ориентировочно от 0,5 до 800 кгс).

Часть их изготавливают одинарными, редко собранными в комплекты из двух или трех пружин. С помощью этих пружин приводится в действие большинство съемников, сбрасывателей, толкателей и других деталей штампа. Кроме спиральных пружин в штампах получили широкое применение тарельчатые пружины, позволяющие создать значительные нагрузки при малых габаритах.

Перечисленные пружины являются настолько распространенной деталью конструкции штампа, что их изготавливают как нормализованные детали, а конструкторы штампов вместо расчета пружин производят их подбор по таблицам и нормам.

В указанной литературе также показаны различные способы установки спиральных и тарельчатых пружин, рассмотрена область применения.

Крепежные детали штампов. Учитывая многоциклическую работу штампа со знакопеременным нагружением деталей и узлов, к выбору способа крепления предъявляют повышенные требования.

Основными крепежными деталями внутри штампа являются винт с внутренним шестигранником, обеспечивающий по сравнению со шлицевым более прочное соединение, и цилиндрический штифт.

Материал штифтов должен иметь твердость HRCэ 56...59. Наиболее целесообразно изготавливать штифты цианированными или цементированными из стали А12.

Число и диаметр деталей крепления назначают исходя из трех факторов: силового, конструктивного и масштабного. Длина винтов не должна превышать норм, установленных практикой. Рекомендуются применять винты длиной, не превышающей восьми его диаметров.

Следует стремиться к ограничению типоразмеров применяемых крепежных деталей в проектируемом штампе, что значительно облегчит труд изготовителей и наладчиков штампов. Фиксация одного сборочного узла пакета штампа обычно обеспечивается с помощью двух цилиндрических штифтов (реже — четырех). Планируя размещение крепежа на рабочих деталях, подвергаемых закалке до высокой твердости, необходимо соблюдать нормы максимально допускаемых толщин стенок.

Оптимальным вариантом эффективного применения штифтов является фиксация с их помощью одновременно двух или трех деталей. По аналогии с винтом длина штифта также не должна превышать 8d. При изготовлении штампов с составными (сборными) матрицами, когда невозможно применить обычное крепление винтами и штифтами, с успехом используется соединение и точная установка сборных матриц и пуансонов путем заливки их легкоплавким (сурмяно-свинцово-оловянно-висмутовым) сплавом или быстротвердеющей пластмассой (АТС-Т, стиракрил).

Контрольные вопросы:

- 1 По каким технологическим признакам классифицируются штампы?
- 2 По каким конструктивным признакам классифицируются штампы?
- 3 Этапы и особенности проектирования штампов для вырубки и пробивки?
- 4 Этапы и особенности проектирования штампов для гибки?
- 5 Этапы и особенности проектирования штампов для вытяжки?
- 6 Этапы и особенности проектирования штампов для отбортовки?
- 7 Этапы и особенности проектирования штампов для раздачи?
- 8 Содержание технологической подготовки производства?
- 9 Исходные данные для разработки технологического процесса холодной штамповки?
- 10 Порядок разработки технологического процесса холодной штамповки?
- 11 Виды технологической документации?

Тема 9 Рекомендации по выбору материала деталей штампа

9.1 Штамповые стали

При изготовлении технологической оснастки используются специальные стали, многие из которых обладают особыми свойствами в отличие от сталей, обычно применяемых в машиностроении.

Наиболее ответственные детали штампов, пресс-форм и форм для литья металлов под давлением изготавливаются из углеродистых и легированных инструментальных сталей определенных марок, выделенных в особую категорию и называемых штамповыми.

Штамповые стали в свою очередь подразделяются на три основные группы, а именно:

- 1 — штамповые для деформирования металлов в холодном состоянии;
- 2 — штамповые для деформирования металлов в горячем состоянии;
- 3 — штамповые, устойчивые против коррозии.

К каждой из указанных групп сталей в соответствии с их назначением предъявляются особые требования, характеризующие данную группу.

Штамповые стали первой группы, предназначенные для изготовления штампов холодной штамповки, должны иметь после окончательной термической обработки высокую твердость на рабочих поверхностях и режущих кромках, высокую износостойкость, необходимую для сохранения формы и размеров рабочих кромок при эксплуатации штампа, высокую прочность как рабочей кромки, непосредственно воздействующей на обрабатываемый материал, так и участков штампа, воспринимающих наибольшие изгибающие и скручивающие нагрузки.

Штамповые стали второй группы должны сохранять повышенные механические свойства при высоких температурах. Их термически обрабатывают таким образом, чтобы получить большую вязкость при меньшей твердости сравнительно со сталями других групп.

Штамповые стали третьей группы применяются для изготовления из них матриц пресс-форм и форм для литья металлов под давлением. Помимо свойств сталей второй группы, они должны обладать устойчивостью против воздействия агрессивных сред — химически активных пластмасс, агрессивных сплавов отливаемого металла.

Важнейшее требование, предъявляемое ко всем видам штамповых сталей, — сочетание твердости с высокой вязкостью. Штамповые стали должны обладать также особыми технологическими свойствами, к которым относятся:

- хорошая обрабатываемость, т. е. способность хорошо принимать обработку резанием и обработку давлением в холодном и горячем состоянии;
- хорошая прокаливаемость, т. е. возможность получить высокую и однородную твердость, равномерную мелкокристаллическую структуру на большую глубину;
- малая чувствительность к перегреву, т. е. возможность закалки с нагревом в достаточно широком интервале температур;
- малая деформация при термической обработке;

-небольшая чувствительность к обезуглероживанию при нагреве, снижающем твердость поверхностного (рабочего) слоя металла;

-хорошая шлифуемость, определяющая высокое качество шлифованной и полированной поверхности.

С точки зрения требований, предъявляемых к сталям, идущим на изготовление технологической оснастки, углеродистые инструментальные стали имеют ряд существенных недостатков:

-низкая износостойкость и красностойкость (при нагревании до температуры свыше 250° С сталь теряет свою твердость);

-несквозная прокаливаемость, вследствие чего твердость в средних слоях закаленных деталей значительно ниже, чем на поверхности;

-склонность к образованию трещин, усадок и значительных короблений при термообработке;

-низкая коррозионная стойкость, особенно при нагреве.

Вследствие этого углеродистые инструментальные стали употребляют только для изготовления таких деталей оснастки, которые работают с низкими нагрузками, а также в тех случаях, когда к конструкции самой оснастки не предъявляется высоких требований.

В сравнении с углеродистыми сталями легированные инструментальные стали обладают следующими преимуществами:

-повышенной вязкостью в закаленном состоянии;

-более глубокой прокаливаемостью;

-меньшей склонностью к короблению, изменению размеров и трещинам при закалке;

-большей стойкостью против коррозии;

-большей износостойкостью и красностойкостью.

Для изготовления менее ответственных деталей оснастки применяются углеродистые конструкционные стали с нормальным и повышенным содержанием марганца. Наиболее часто используются стали марок: Ст3, Ст4, Ст5, Ст6, 15, 20, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 70, 60Г, 65Г.

Для изготовления отдельных видов деталей оснастки находят применение также легированные конструкционные стали, например: 15Х, 20Х, 30Х, 35Х, 40Х, 50Х, 30ХМ, 35ХМ, 20ХГ, 35Х12, 40ХН, 45ХН, 50ХН, 20ХГС, 30ХГС.

9.2 Чугуны

Для изготовления ряда деталей технологической оснастки используются отливки из серого чугуна.

Способность серого чугуна удерживать в своих порах смазку широко используется конструкторами станочных приспособлений для изготовления деталей; работающих на трение.

Большая износостойкость некоторых марок чугуна позволяет использовать его для изготовления прижимов, пуансонов и матриц в

вытяжных, формовочных и отбортовочных штампах простой формы. Для пуансонов и матриц вытяжных штампов сложной формы на ряде заводов применяют отливки из чугуна, легированного никелем, хромом и марганцем. При изготовлении некоторых конструкций пресс-форм для пластмасс серый чугун используют на опорные плиты.

Обозначаются литейные чугуны буквами СЧ, за которыми следуют четыре цифры, разделенные знаком тире. Первые две цифры означают временное сопротивление разрыву в кГ/мм^2 , а вторые две — предел прочности при изгибе в кГ/мм^2 .

В инструментальном производстве применяются в основном отливки из серого чугуна марок СЧ 15—32, СЧ 22—44, СЧ 28—48, СЧ 32—52, СЧ 35—56.

9.3 Твердые сплавы

Применение твердых сплавов для изготовления деталей технологической оснастки обусловлено их исключительной твердостью, а также стойкостью в условиях нагрева до высоких температур. Благодаря высоким технологическим свойствам и способности некоторых марок твердого сплава сопротивляться ударам, вибрациям и выкрашиванию, твердые сплавы вольфрамокобальтовой группы получили широкое применение при изготовлении высадочных штампов для горизонтально-ковочных машин, ответственных деталей штампов для холодной штамповки, а также некоторых деталей станочных приспособлений, подверженных сильному износу.

Вольфрамокобальтовые твердые сплавы применяют в следующих случаях:

ВК6 — для пуансонов и матриц штампов холодной штамповки, быстроизнашивающихся деталей приспособлений и деталей станков, работающих на трение (центры и т. п.);

ВК8 — для холодновысадочных матриц, волочильных и калибровочных вставок, работающих по стали, цветным металлам и сплавам, быстроизнашивающихся деталей приспособлений, работающих на трение, направляющих, работающих с сильным износом, и т. п.;

ВК10 — для деталей высадочных, дыропробивных и гибочных штампов, работающих в условиях умеренных нагрузок, волочильных и калибровочных вставок, работающих по стали, быстроизнашивающихся деталей приспособлений;

ВК15 — для деталей штампов, работающих при средних ударных нагрузках, высадочного и дыропробивного инструмента, работающего в условиях повышенных напряжений, вставок для волочения прутков и труб из стали при повышенных обжатиях;

ВК20 и ВК25 — для деталей штампов, работающих при больших ударных нагрузках.

Для армирования рабочих частей штампов (пуансонов, матриц) применяются твердые сплавы, выполненные в виде брусков, пластин, дисков соответствующих размеров.

Изготавливаются также литые твердые сплавы, выпускаемые в виде прутков диаметром 6—7 мм и длиной 400—450 мм. Они предназначены для наплавки с помощью ацетилено-кислородного пламени на поверхности быстроизнашивающихся деталей штампов и режущего инструмента.

К этой группе относятся: стеллиты, основой которых служат хром, вольфрам и кобальт, и стеллитоподобные — сормайт № 1, сормайт № 2, основой которых являются хром, никель и железо.

9.4 Абразивные материалы

Применяющиеся в инструментальном производстве абразивные материалы делятся на твердые и мягкие.

К твердым абразивным материалам относят дробленые минералы естественного или искусственного происхождения, имеющие кристаллическую структуру и обладающие высокой твердостью. Их применяют для снятия значительного слоя металла при доводке в размер и при подготовке поверхности деталей к полированию.

Для доводочных работ применяют шлифпорошки и микропорошки или приготовленные из них пасты, а для полирования — только пасты.

Мягкие абразивные материалы применяются при окончательной отделке рабочих поверхностей оснастки. Используются полирующие материалы естественного и искусственного происхождения.

К естественным полирующим материалам относятся крокус, мел, тальк, венская известь, трепел, диатомит, каолин; к искусственным — окиси хрома, железа и алюминия.

Мягкие абразивные материалы используются для доводки и полирования преимущественно в виде паст, которые наносят на поверхности притиров или сопрягаемых деталей.

9.5 Связки паст

В качестве связок при изготовлении паст используются воск, стеарин, парафин, олеиновая кислота, расщепленный жир, касторовое масло, керосин и бензин. В отдельных случаях применяют скипидар, рыбий жир, обезвоженное говяжье или свиное сало, канифоль и не высыхающие растительные масла.

Особенно широкое распространение получили пасты, разработанные Ленинградским государственным оптическим институтом (ГОИ). Особенностью этих паст является содержание компонентов, оказывающих химическое воздействие на поверхностные слои обрабатываемого металла, образующих на нем тончайшую пленку окислов, которая затем легко удаляется абразивными зёрнами.

Пасты ГОИ изготавливаются трех составов: грубая, применяемая для снятия припусков в десятые доли миллиметра; средняя — для снятия припусков в сотые доли миллиметра и тонкая — для снятия припусков в тысячные доли миллиметра и придания обрабатываемой поверхности зеркального блеска. Алмазы и алмазные пасты. В инструментальном производстве алмазы используются в виде отдельных кристаллов, порошков и паст. Наиболее крупные зерна применяются для изготовления резцов, зерна величиной от 200 до 50 мкм идут на изготовление шлифовальных кругов, брусков, алмазных надфилей, притиров для обработки закаленных сталей и твердых сплавов, а самые мелкие порошки алмаза (от 40 до 1 мкм) — для изготовления доводочных и полировочных паст.

Получили распространение как естественные, так и синтетические (искусственные) алмазы. По своей работоспособности синтетические алмазы (в определенных условиях) не уступают, а часто превосходят естественные алмазы. Это объясняется их высокой однородностью и особым характером поверхности зерен, способствующей их лучшему закреплению в инструменте.

Размер алмазных зерен классифицирован на порошки (с буквой А) и микропорошки (с буквами АМ). В обозначениях зернистости порошков из синтетических алмазов добавляется буква С (например, АС 16, АСМ40).

В инструментальном производстве широко используются алмазные круги для шлифования, заточки и доводки деталей из твердых сплавов и закаленных сталей. Внедрение алмазного шлифования позволяет изготавливать многие виды штампов с вставками из твердых сплавов, что увеличивает стойкость штампов от 30 до 120 раз в сравнении со стойкостью штампов из закаленной стали.

Корпус алмазного круга изготавливается обычно из Дюралюминия или пластмассы и на его поверхность наносится алмазоносный слой небольшой толщины на металлической или органической (пластмассовой) связке.

Для доводочных работ используются алмазные пасты, которые наносят на притиры. Наиболее эффективными являются алмазные пасты, состоящей из 30—40% (по массе) алмазного порошка и 70—60% оливкового или касторового масла.

Готовые к употреблению алмазные пасты выпускаются двенадцати зернистостей, которые условно разделены на четыре группы: крупные, средние, мелкие и тонкие. Для удобства различения паст их упаковка имеет разные цвета. Сами пасты выпускаются светлого цвета, чтобы по потемнению пасты в процессе работы можно было судить о съеме обрабатываемого материала.

Весовое содержание алмазного порошка в пасте называется концентрацией. Концентрация зависит от зернистости порошка и подразделяется на три группы: нормальную — Н (например, АСП14Н), повышенную — П (например, АСП10П) и высокую — В (например, АСП7В).

Чем больше зернистость алмазного порошка и тверже обрабатываемый материал, тем больше должна быть концентрация алмаза в пасте. Расфасовывают алмазные пасты в тубики массой 20, 40 и 80 г.

Кубический нитрид бора (КНБ), в промышленности называемый кубонитом, эльбором или боразоном, представляет собой новый абразивный синтетический материал, выпускаемый в виде мелких кристаллов кубической формы темно-коричневого цвета размером до 0,5 мм. Получают его путем синтеза нитрида бора при высоких давлениях и температурах в специальных камерах на гидравлических прессах.

Твердость кубического нитрида бора близка к алмазу (до 10 000 кг/мм² по Виккерсу), а абразивная способность почти такая же, как у алмазов; адгезия со сталью значительно меньше или совсем не наблюдается; теплопроводность ниже, чем у алмазов, вследствие чего он быстрее нагревается до высокой температуры, но обладает теплостойкостью в 1,5 раза выше, чем у алмаза. Применяется в виде зерен, порошков и микропорошков для изготовления шлифовальных кругов и паст. Используется для обработки твердых сплавов, труднообрабатываемых сталей, особенно в тех случаях, когда требуется высокая размерная точность.

Шлифовальные инструменты из кубического нитрида бора изготавливают на керамической, металлокерамической и органической связках. Порошки изготавливают в соответствии с принятой классификацией зернистости для синтетических алмазов. Пасты выпускаются с концентрацией эльбора 8%. При обработке сплавов на железной основе и закаленных сталей стойкость инструмента в 4-5 выше алмазного.

Примечания:

- 1 Стали У8А и 8ХФ для матриц не применяют.
- 2 Пуансоны закаливают по всей высоте, исключая хвостовую часть под расклепку.
- 3 При штамповке мягких материалов, тонколистовых и сложных деталей допускается изготовление матриц без термической обработки.
- 4 В некоторых случаях для штамповки небольших партий деталей из мягких сталей, цветных металлов и неметаллических материалов толщиной до 1 мм допускается применять сталь 45 и 50.
- 5 Стали У8А и У10А имеют достаточную твердость после термической обработки, но подвержены сильной деформации, что вызывает необходимость последующей механической обработки деталей.

Контрольные вопросы:

- 1 Какие требования предъявляют к изготовлению штампов?
- 2 Почему окончательную обработку матриц и пуансонов производят только после их термической обработки?
- 3 Как выбирают материал, тип заготовки при изготовлении штампа?
- 4 В каких случаях и почему при изготовлении матриц и пуансонов

штампов для холодной штамповки применяют стали У8А, У10А и легированные стали Х12М, 9ХС, Х12Ф1?

5 Из каких этапов состоит процесс изготовления штампов для холодной штамповки?

6 Какие способы термической обработки используются при изготовлении штамповой оснастки?

7 Какие материалы не применяются при изготовлении матриц?

8 Классификация связок паст?

9 Какие абразивные материалы Вы знаете?

10 В каких случаях применяют вольфрамокобальтовые твердые сплавы?

Тема 10 Проектирование сложных штампов

10.1 Краткая характеристика и назначение сложных штампов

По характеру выполнения операций штампы разделяются на простые и комбинированные.

Простыми штампами выполняется одна штамповочная операция, например вырубка кружка, пробивка отверстия. Комбинированными штампами выполняют две или несколько технологически различные операции.

Комбинированные штампы по способу совмещения операций во времени разделяются на штампы:

- совмещенного действия, в которых изготовление детали производится за один ход пресса сконцентрированными расположенными пуансонами при неизменном положении заготовки;

- последовательного действия, в которых детали изготавливаются за несколько переходов под различными пуансонами при последовательном перемещении заготовки.

Комбинированные (компаундные) штампы совмещенного действия. Такими штампами за один двойной ход пресса выполняют несколько штамповочных операций. Например, при изготовлении листов якоря или ротора пробивают отверстия под вал, вентиляционные отверстия и пазы, вырубают наружный контур (см рис 40).

Комбинированные совмещенные штампы для листов сердечников являются наиболее дорогими и трудоемкими. Изготовление их поручается высококвалифицированным слесарям-инструментальщикам.

Но комбинированные штампы являются более производительными, чем пазовые. Кроме того, они обеспечивают высокую точность штампуемых деталей.

Листы сердечников, изготовленные комбинированным штампом, имеют практически одинаковые размеры. Размеры пазов и расстояние между отдельными пазами могут отличаться в пределах допуска на изготовление.

Комбинированный совмещенный штамп (рис. 41) состоит из двух частей: верхней с пуансонами и нижней с матрицами.

У штампа две матрицы, одна состоит из отдельных секторов 1 и предназначена для вырубki пазов, вторая 14 имеет форму втулки и служит для пробивки отверстия под вал. Матрицы скреплены винтами с закаленным диском, врезанным в нижнюю плиту 17. Секторы 1 матрицы скреплены в единое целое напрессованным на них кольцом 16. Пазы пробиваются пуансонами 13, а отверстия под вал — пуансоном 9.

Пуансоны закреплены в пуансондержателе 7. По наружному диаметру лист якоря вырубается обоечным кольцом 6, служащим матрицей, а пуансоном является комплект секторов. Усилие при штамповке воспринимается закаленной пластиной 12. Верхняя часть штампа крепится к ползуну прессы за хвостовик 11. Для устранения сдвига верхней части штампа относительно нижней служат четыре колонки 15, которые входят в отверстия верхней плиты штампа.

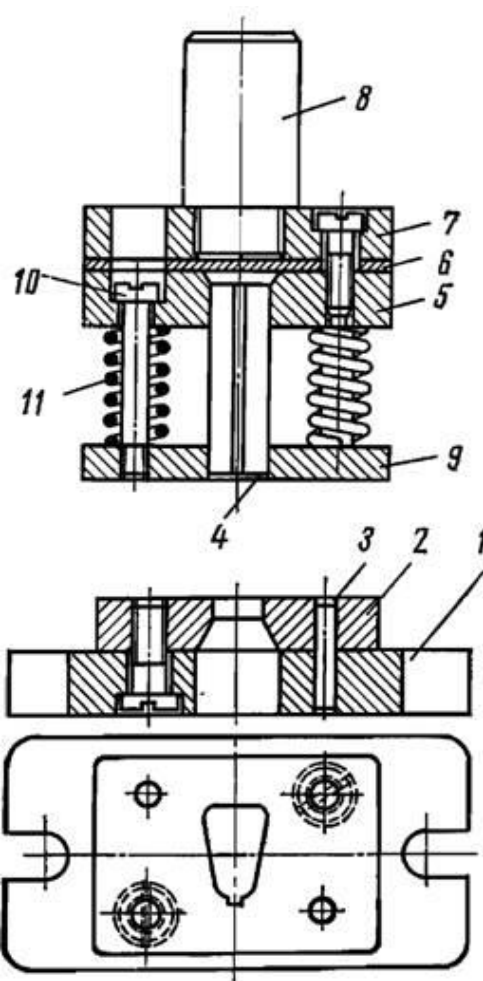


Рисунок 40- Пазовый штамп для пробивки пазов в листе статора

Для уменьшения зазора между колонками и отверстиями в плите колонки снабжают шариковыми направляющими, представляющими собой тонкостенную трубку-сепаратор, в которую вставлены шарики.

Подбором диаметров шариков можно зазор выбрать почти до нуля.

Если не предусмотреть специальные устройства для съема, то лист якоря после удара ползуна застрянет на пуансонах, а полоса — на матрице.

Съем листа якоря с пуансонов производится сбрасывателем S, приводимым в движение стержнем 10, который ударяется в неподвижный упор в конце хода ползуна.

Съем полосы с матрицы производится за счет усилий резинового буфера, которые передаются съемнику 5 через шайбу 4 и шпильки 2. Буфер находится между нижней плитой штампа и столом пресса и на чертеже не показан

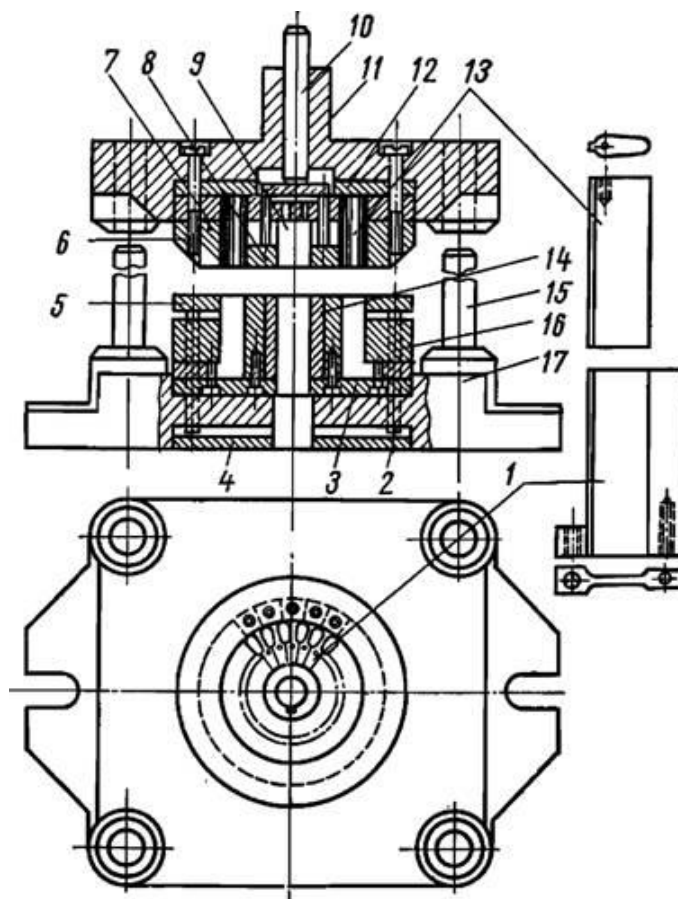


Рисунок 41- Комбинированный совмещенный штамп для листов якоря
1 — нижняя плита; 2 — матрица; 3 — штифт; 4 — пуансон; 5 — пуансонодержатель; 6 — прокладка; 7 — верхняя плита; 8 — хвостовик; 9 — съемник; 10 — винт; 11 — пружина съемника

10.2 Комбинированные штампы последовательного действия

Готовая деталь при штамповке комбинированными штампами последовательного действия получается за несколько переходов, выполняемых последовательно по мере продвижения полосы на величину, называемую шагом. В связи с этим указанные штампы часто называют шаговыми.

Комбинированные штампы последовательного действия находят широкое применение в массовом производстве при штамповке листов сердечников на пресс-автоматах. Указанные штампы имеют следующие преимущества перед совмещенными комбинированными штампами: более высокую производительность.

Благодаря штамповке «напровал» перемещение полосы, удаление отходов и готовых деталей осуществляются автоматически. Пресс-автоматы при этом могут работать с большим числом ходов в минуту; более простую конструкцию штампов, что делает их менее трудоемкими в изготовлении. Блочность конструкции создает удобства для заточки штампов и замены отдельных износившихся деталей штампа.

Последовательные штампы имеют несколько меньшую точность изготовления листов сердечников за счет погрешностей перемещения полосы при штамповке. Однако при высоком качестве изготовления штампов эта погрешность не оказывает существенного влияния на качество поверхности пазов в собранном сердечнике.

Рассмотрим принцип действия комбинированного штампа последовательного действия на примере работы штампа для изготовления шайбы (рис. 42, а).

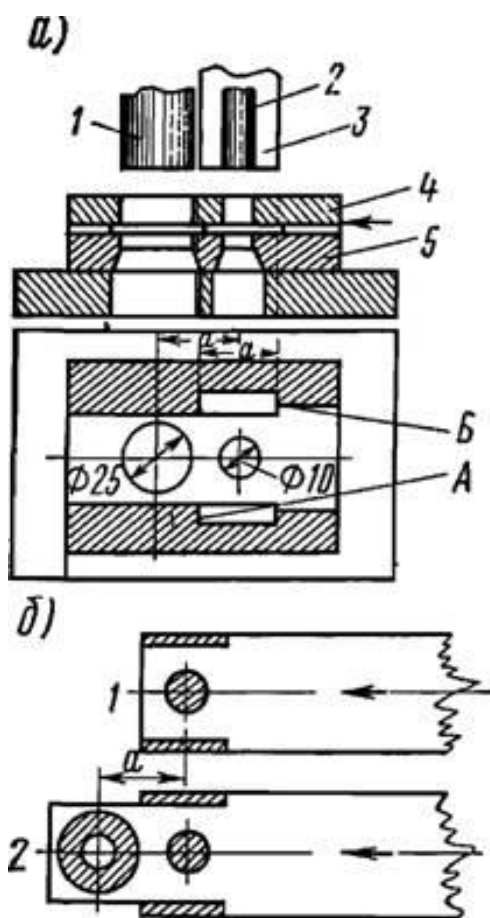


Рисунок 42- Комбинированный штамп последовательного действия для вырубki шайбы: а — схема устройства штампа; б — схема штамповки

В штампе совмещены две операции: пробивка отверстия и вырубка наружного контура. Вырубка шайбы в штампе производится в следующей последовательности

Полоса, из которой штампуется шайба, с небольшим зазором вводится в паз Б съемника 4 и подается до упора в точку А. При включении ползуна первым ударом пуансон 2 пробивает в полосе отверстие диаметром 10 мм, а боковые ножи 3 отсекают от кромок узкие полоски длиной a , называемой шагом штамповки (рис. 42, б, положение 1).

После первого удара полоса подается вперед на величину шага до упора срезами в точки А. На второй позиции при втором ударе ползуна пуансон 1 вырубает наружный контур с диаметром 25 мм, и готовая шайба проваливается через отверстия матрицы и плиты штампа на стол прессы, а на первой позиции пуансон 2 и ножи 3 подготавливают вырубку последующей шайбы (положение 2). Таким образом, начиная со второго удара, из-под штампа выходит одна готовая шайба.

Разность между рабочими размерами матрицы и пуансона называется зазором.

От величины зазора зависит качество поверхности штампуемых деталей. Он оказывает влияние на стойкость штампов и на расход энергии при штамповке. Величину зазора нельзя устанавливать произвольно. При вырубке деталей из толстого материала штампом с малым зазором поверхность среза получается неровной, так как поверхности скольжения, идущие от кромок пуансона, не совпадают с поверхностями скольжения, возникающими у кромок матрицы.

При большом зазоре поверхность среза получается с рваными заусенцами, образующимися вследствие затягивания и обрыва металла в зазоре.

В случае неравномерного распределения зазора по периметру при большом затуплении режущих кромок пуансона и матрицы могут иметь место заусенцы и другие дефекты среза. Величина зазора z обычно принимается в процентах от толщины s штампуемого материала и устанавливается чаще на одну сторону.

Величину зазора при штамповке других материалов можно найти в справочнике по штамповке. При штамповке деталей из электротехнической стали величина зазора принимается равной 3—6% от s .

Установлен следующий порядок расчета размеров рабочих частей штампов. При вырубке наружного контура номинальный размер матрицы Z_M (см рис. 43, а) принимается равным наименьшему предельному размеру изделия $D_{д.наим}$

Номинальный размер пуансона D_n определяется как разность между номинальным размером матрицы и зазором на обе стороны ($2z$). При пробивке отверстий (рис. 43, б) номинальный размер пуансона d_n берется равным наибольшему предельному размеру отверстия $d_{д.наиб}^*$

Номинальный размер матрицы определяется как сумма номинального размера пуансона и величины зазора на обе стороны.

Допуски на изготовление рабочих частей штампов обычно устанавливаются «в тело» — плюс для матрицы и минус для пуансона. В связи с тем что допуски на изготовление рабочих деталей штампов увеличивают зазор, при расчете номинальных размеров пуансонов и матриц величина зазора z принимается минимальной из допустимой для данной толщины штампуемого материала.

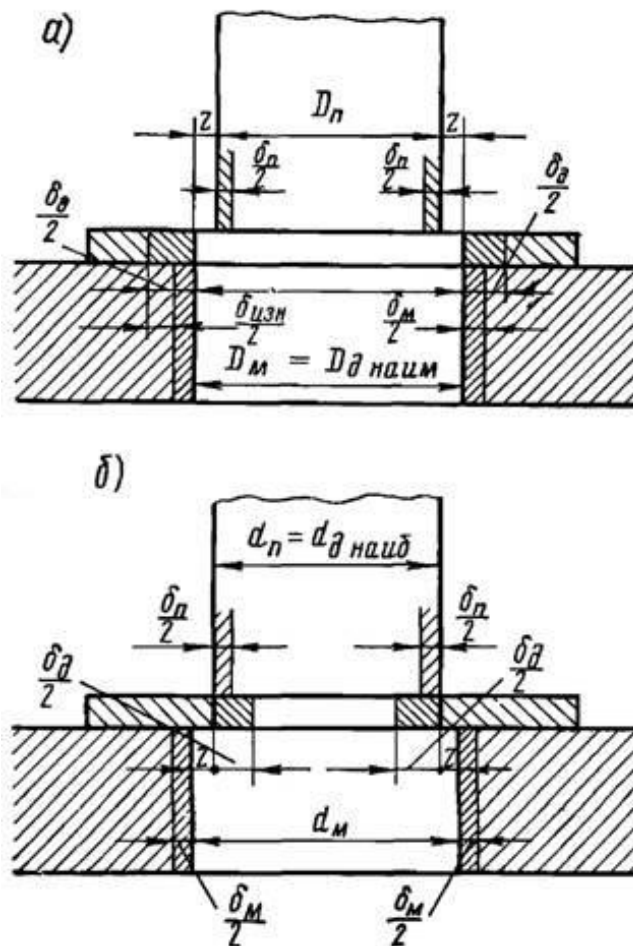


Рисунок 43- Схема расположения зазоров и полей допусков на изготовление рабочих частей штампов: а— при вырубке наружного контура; б — при пробивке отверстия; δ_{Π} — допуск на изготовление пуансона; δ_{δ} — допуск на изготовление матрицы; δ — допуск на изготовление детали

Номинальные размеры матриц определяются по формулам: при вырубке наружного контура

$$D_{\text{м}} = D - H O_{\text{д}}; D_{\text{п}} = D_{\text{м}} - 2z = D - H O_{\text{д}} - 2z; \quad (29)$$

при пробивке отверстия

$$d_{\Pi} = d + BO_{\Pi}; \quad d_{\text{м}} = d_{\Pi} + 2z = d + BO_{\Pi} + 2z, \quad (30)$$

где $D_{\text{м}}$ и D_{Π} — номинальные размеры матрицы и пуансона при вырубке наружного контура;

d и d_{Π} — номинальные размеры матрицы и пуансона при пробивке отверстия;

D — номинальный наружный размер детали; d — номинальный размер отверстия детали;

HO_{Π} и BO_{Π} — нижнее и верхнее отклонения соответствующих размеров детали.

Допуск на изготовление рабочих частей может задаваться в чертеже штампа двумя способами:

- на пуансон и матрицу отдельно;
- только на матрицу с указанием, что пуансон должен быть изготовлен по матрице с обеспечением необходимого между ними зазора за счет размеров пуансона.

Второй способ применяется при изготовлении штампов со сложной конфигурацией рабочих частей.

10.3 Знакомство с работой системы для проектирования сложного штампа

Проектирование нетиповых многопозиционных последовательных штампов является не простой задачей, тем более, если в штампе выполняются несколько типов операций — разделительных, формоизменяющих и формообразующих. В процессе проектирования неоднократно приходится уточнять конструкцию элементов штампа, варьировать различными параметрами для достижения удовлетворительного результата.

Поставлена задача проектирования одного штампа из цепочки технологического процесса получения детали «муфта» автомобиля концерна «Ford» (см рис.44).

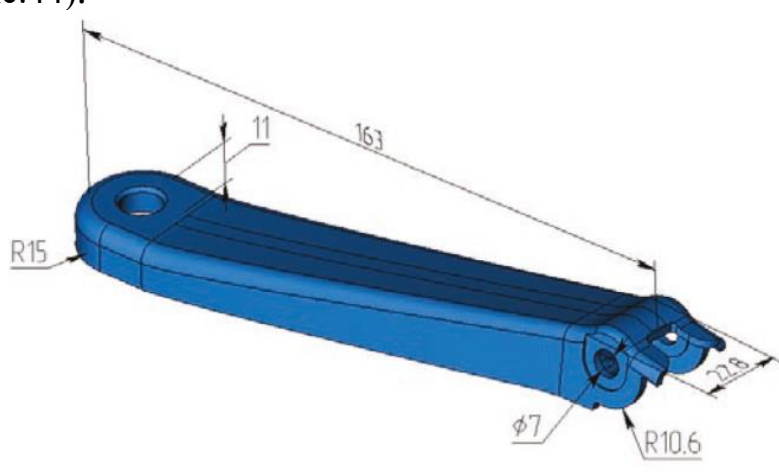


Рисунок 44- Штампуемая деталь

Штампуемая деталь окончательно формируется в шести штампах. Необходимо спроектировать первый штамп цепочки технологического процесса - штамп с автоматической подачей, для получения одного из промежуточных полуфабрикатов. В качестве исходных данных для проектирования штампа была получена готовая схема обработки, выполненная в виде параметрической модели системы T-FLEX CAD компании Топ Системы (www.topsystems.ru) Так же была известна модель пресса, для установки на который предназначался проектируемый штамп.

Судя по схеме обработки, штамповка осуществляется в одиннадцать позиций – несколько позиций вытяжки, чеканка, пробивка, гибка, завивка, вырубка по сложному контуру, отрезка отхода. Кроме этого на ряде позиций параллельно происходит пробивка для фиксаторов, шаговых ножей и вырубка фигурного отхода, для улучшения качества процессов вытяжки. Так же была поставлена задача проектирования автоматической подачи, встроенной в штамп. И так, легко видеть, что проектируемый штамп достаточно сложен, и типовые конструкции штампов в этом случае будет применить крайне затруднительно. Проектирование осуществлялось в системе параметрического моделирования T-FLEX CAD. В системе по умолчанию предустановлена библиотека стандартных элементов, кроме этого использовалась параметрическая библиотека деталей штампов «Стандартные детали ШЛШ». Никакие другие дополнительные программные модули не применялись.

В качестве основы для создания 3D моделей деталей и сборок штампа была взята параметрическая модель схемы обработки (см рис 45). Параметризация при проектировании сложного штампа существенно ускоряет и упрощает обрабатывание ситуаций, когда требуется оперативное изменение конструкции штампа, а такие ситуации – не редкость. Например, если в процессе или по завершении проектирования нам потребуется корректировка шага штамповки, формы, расположения или размеров рабочих контуров, расположения фиксаторов и прочих параметров – то связанная параметрическая модель поможет сделать это с минимальными затратами сил и средств.

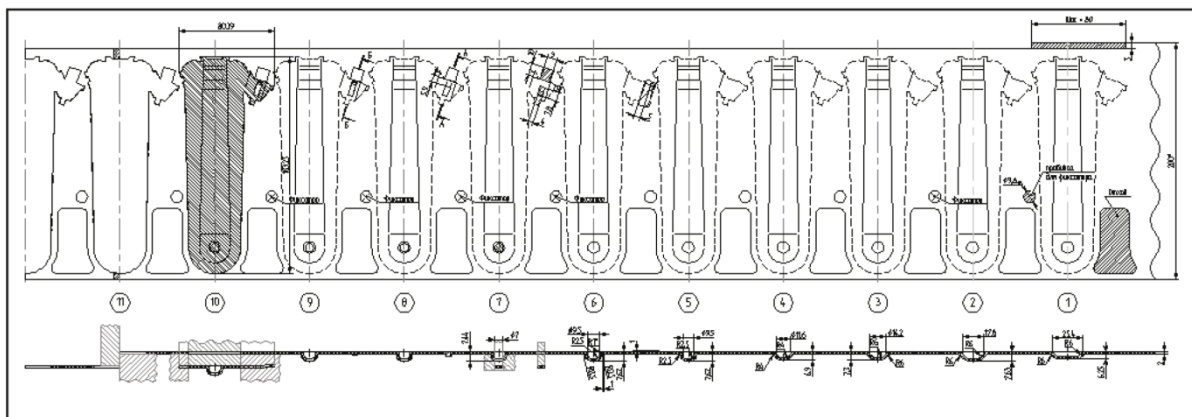


Рисунок 45- Параметрическая схема обработки

Система T-FLEX CAD поддерживает технологию фрагментов, то есть чертеж или модель могут ассоциативно использовать геометрию из других файлов. В случае со схемой обработки – мы используем ее в качестве фрагмента в прототипе для создания деталей штампа, геометрия которых непосредственно завязана на геометрию самой схемы обработки. По геометрии схемы обработки строятся рабочие контура исполнительных элементов штампа пуансонов и матриц. Для формирования исполнительных размеров этих деталей в данном случае было допустимо использовать эквидистантные отступы от исходных номинальных контуров.

При задании отступов учитывались зазоры штамповки и припуски на износ. Кроме пуансонов и матриц, с использованием параметрической модели схемы обработки удобно строить детали, определяющие взаимное расположение, направление и фиксацию исполнительных деталей штампа – это пуансонодержатели, прижимы, съёмники, плиты штампа. В этих деталях геометрия схемы обработки используется для формирования посадочных отверстий, направляющих контуров, провальных отверстий и прочих конструктивных элементов. Таким образом, большинство основных деталей штампа построены по геометрии схемы обработки, которая является подложенным фрагментом в файле каждой детали.

Для формирования общей сборочной модели штампа в T-FLEX CAD, сборку удобно разделить на функциональные узлы – вспомогательные под сборки.

Таковыми узлами стали узел пуансонов, узел матриц, узел прижима съёмника, а так же узел автоматической подачи материала.

Далее из деталей и подборок собираем общую сборку штампа.

Все стандартные изделия - винты, штифты, круглые пуансоны, шаговые ножи, фиксаторы, хвостовики, направляющие узлы, транспортные штыри, пружины и прочие изделия взяты из параметрических библиотек системы.

В виду сложности штампа, который содержит более 1000 элементов, необходимо всячески изучить и исследовать работу штампа до его воплощения в металле. Поэтому в сборку общей модели были заложены параметрические зависимости взаимного перемещения деталей штампа в зависимости от положения ползуна прессы. Другими словами теперь можно запустить имитацию работы штампа и проверить конструкцию на возможные проблемы при его работе. Для такой проверки в T-FLEX CAD присутствуют всевозможные сервисные функции, как-то, функция проверки пересечений тел, анализ зазоров, анализ корректности геометрии и прочие. Для имитации работы используется анимация, где помимо визуализации в каждый момент времени система может проверять всю модель на проникновение тел и стабильность зазоров. Результаты такого имитационного анализа могут быть выведены в отчет и динамически

отображаются на экране монитора. Визуальная часть имитации может быть сохранена в видео файл.

Однако не всегда удобно закладывать параметрические зависимости для имитации работы конструкции, если она имеет достаточно сложные взаимные перемещения деталей. Для таких случаев удобно использовать механизм T-FLEX CAD - сопряжения, или сборка с использованием кинематических сопряжений.

В частности в описываемом штампе есть узел клинороликовой автоматической подачи ленты, которая крепится к плитам штампа. При работе штампа верхние клинья подачи входят в контакт с нижними клиньями, и каретка совершает возвратно-поступательное движение. В каретке в свою очередь подпружиненные ролики так же совершают некое движение, в зависимости от направления движения самой каретки. При ходе ползуна прессы вниз каретка совершает обратный холостой ход, при ходе вверх – ролики заклинивают ленту материала, и осуществляется его подача под действием пружин. Модель этой подсорки была собрана с использованием механизмов сопряжений – заданы условия касаний, сносности, расстояния и прочие. Подсорка автоподачи вставляется в главную сборочную модель и сопрягается с плитами штампа. Таким образом, при имитации работы штампа узел автоматической подачи работает самостоятельно по заданным сопряжениям без заложенных на него параметрических зависимостей. Система сама определяет контакты тел и перемещает детали в соответствии с этими взаимодействиями.

Итак, была создана общая математическая модель штампа, с возможностью имитации работы штампа.

Предварительные модели деталей штампа отправлены изготовителям, для определения возможности изготовления. Анализ показал, что несколько крупных деталей изготовить невозможно, ввиду отсутствия соответствующего оборудования. Детали требуется разделить на несколько более мелких. Система T-FLEX CAD позволяет это сделать, не нарушая структуры сборки, для этого, достаточно в файле модели детали разделить ее на необходимые части и, методом ассоциативной детализации выгрузить эти части как отдельные детали. Исходный файл в данном случае автоматически преобразуется во вспомогательную подсорку (см рис 46).

Разделения деталей на части повело за собой корректировку количества и положения элементов крепежа. Так же обнаружилось, что необходимо скорректировать шаг штамповки и геометрию рабочего контура вырубной позиции. Это было бы достаточно не простой задачей, если основой всех деталей штампа не являлась одна параметрическая модель схемы обработки. Редактируем файл схемы обработки, корректируем на ней геометрию вырубного контура, корректируем положение элементов крепежа, меняем значение шага штамповки, изменив значение соответствующей переменной. Поскольку этот файл является фрагментом всех основных деталей штампа, изменения в нем автоматически переносятся во все детали – и они

обновляются в соответствии с новыми данными. Таким образом, в данном случае скорректировав схему обработки мы тем самым скорректировали всю основную 3D сборку штампа.

Общая компоновка штампа принята, но остается еще одна важная задача – проверка спорных деталей на прочность. Например, в нашем штампе присутствует деталь – вырубная матрица (см рис 47), в которой есть слабое звено элемент «висящий» на узком перешейке металла. Необходима проверка, не разрушится ли эта деталь под действием вырубного усилия и каков запас прочности.

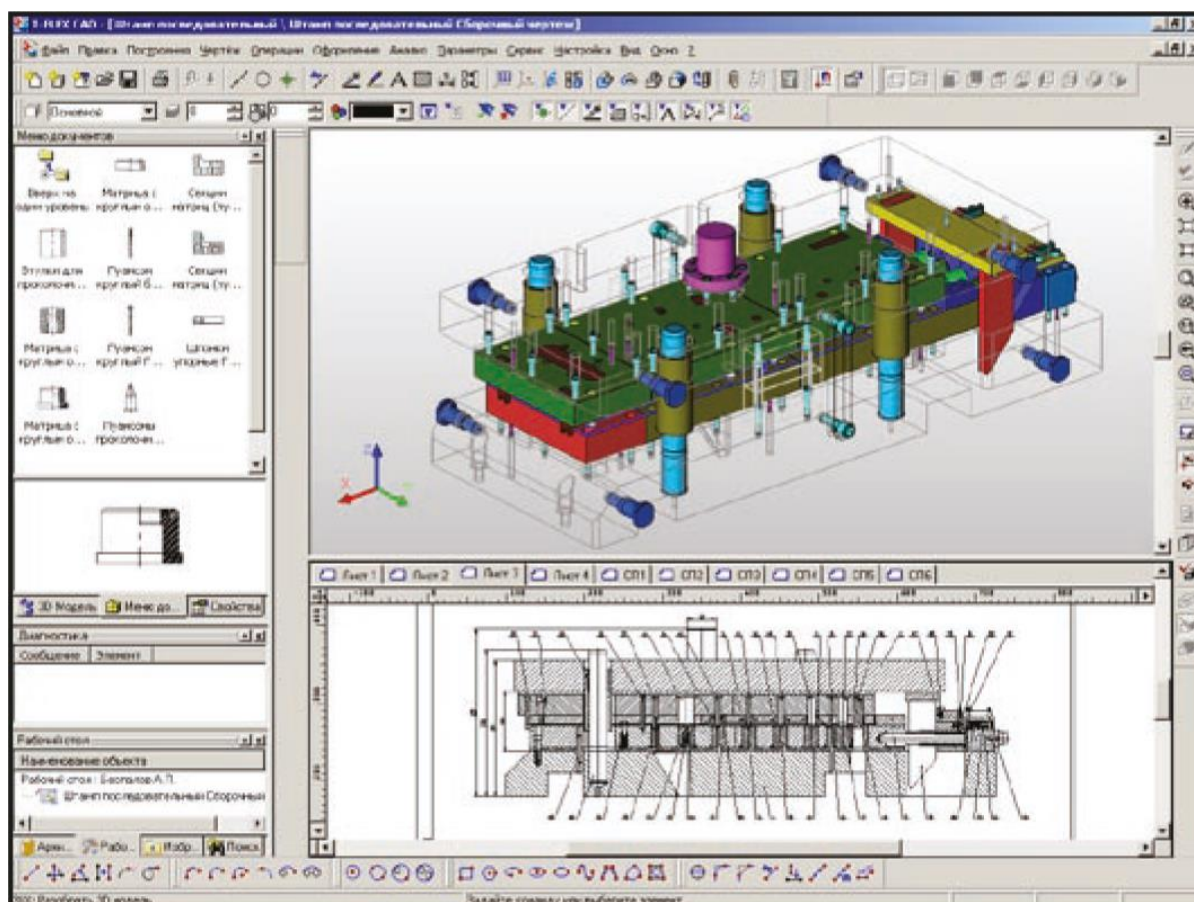


Рисунок 46- Общая 3D сборка штампа
с листами чертежей

Система T-FLEX CAD имеет встроенную подсистему анализа методом конечных элементов. Для постановки задачи для анализа открываем файл матрицы и создаем задачу статического анализа - система разбивает модель на конечные элементы, параметрами которых пользователь может управлять. Далее необходимо наложить закрепления и нагрузки. На рабочий контур накладываем распределенное вырубное усилие и создаем закрепление по нижней плоскости матрицы, по площадкам под головками винтов крепления и штифтовым отверстиям. Кроме этого в модели необходимо задать

соответствующий материал – сталь, и так как используется конкретная марка стали, выбираем соответствующие параметры для этой стали, такие как допустимое напряжение, модуль упругости и прочие. После этого запускаем задачу на расчет. Результаты расчета система выдаёт в графическом и цифровом видах (см рис.48).

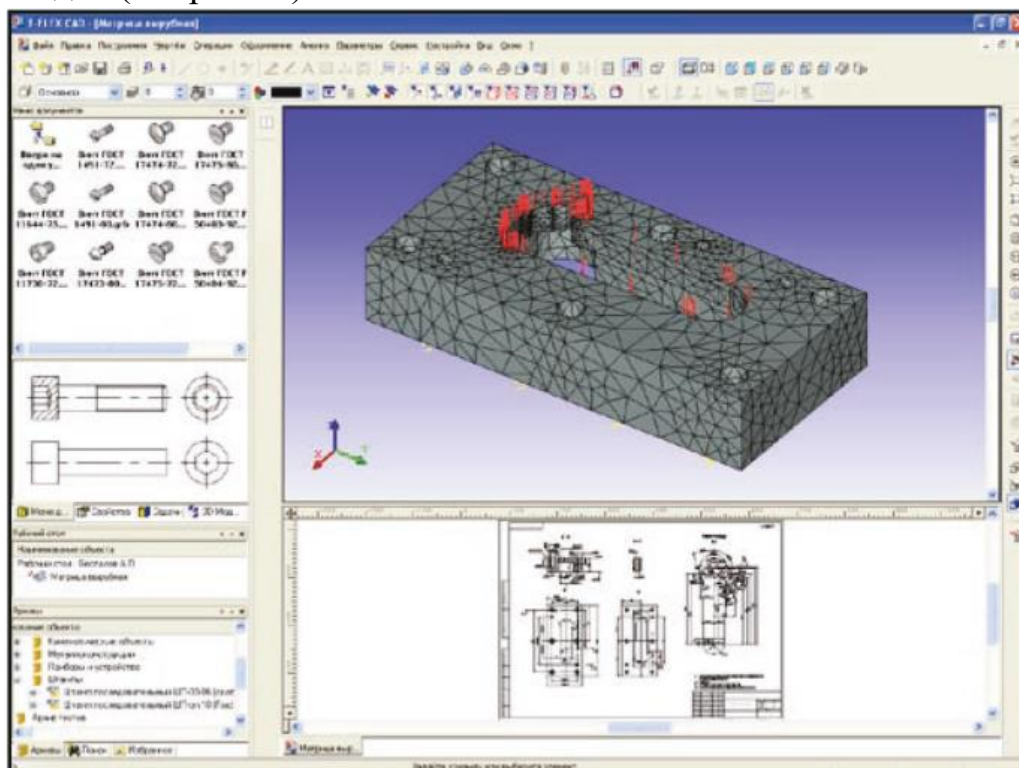


Рисунок 47- Вырубная матрица – поставлена задача для анализа методом КЭ

На выходе мы имеем данные по деформациям эквивалентным, коэффициенту запаса по напряжениям, напряжениям эквивалентным, модулю перемещения. Проанализировав результаты расчета, оказалось, что вырубная матрица имеет достаточный запас прочности. Система T-FLEX CAD позволяет подобным образом анализировать сборочные модели, но в данном, конкретном случае не было такой необходимости. Хочется отметить, что анализ детали проведен во встроенном бесплатном модуле экспресс анализа, который идет с системой в стандартном комплекте поставки. Существует профессиональная версия модуля T-FLEX Анализ, которая поставляется отдельно и имеет куда более широкий функционал. Итак, сборочная модель штампа готова, настало время оформлять чертежи и получать спецификацию. Система T-FLEX CAD не имеет разделений по формату файла – будь то 3D модель, 2D чертеж, спецификация, результаты анализа. В одном файле у нас может содержаться параметрическая модель с чертежом, а так же результаты анализа. Автоматически генерируемая спецификация может содержаться как в файле сборочного чертежа, так и в виде отдельного файла.

В файлах деталей методами проецирования получаем виды и необходимые разрезы для чертежа.

В полуавтоматическом режиме наносятся размеры с допусками, шероховатости, надписи, технические требования и прочие элементы оформления чертежа в соответствии с ЕСКД.

Система самостоятельно считает массу деталей и сборок. При проецировании система автоматически проставляет осевые линии и штрихует проекции. Сборочный чертеж так же получается проецированием видов и разрезов.

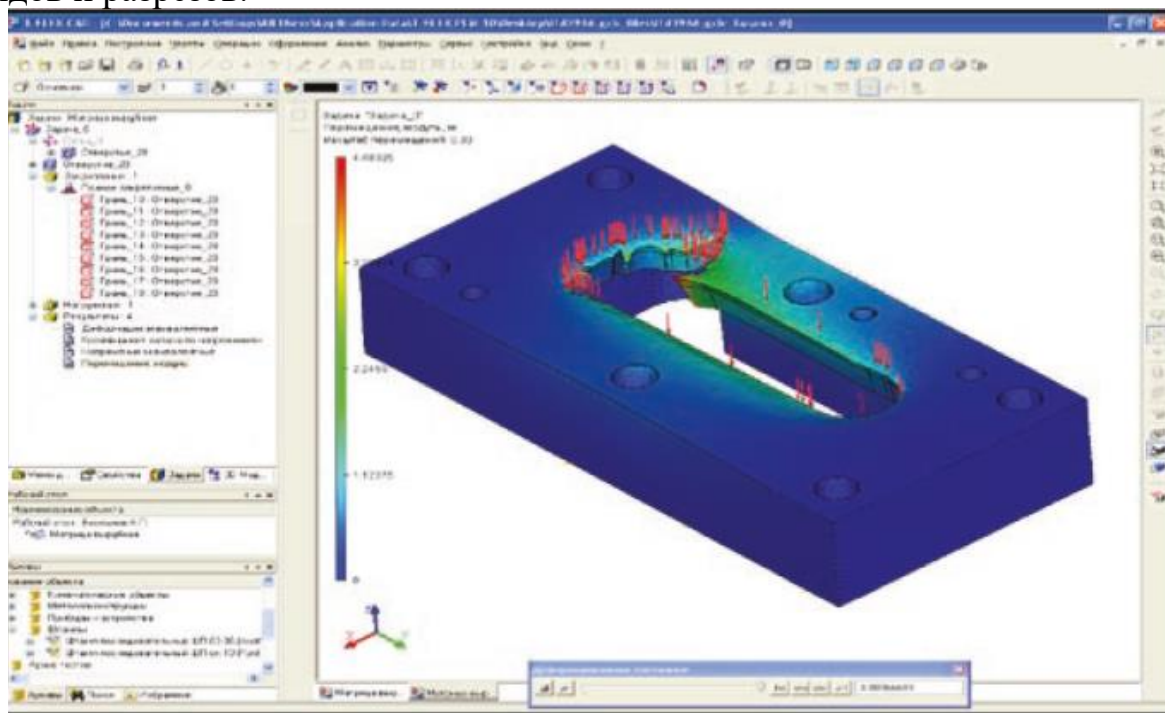


Рисунок 48- Визуальные результаты анализа детали

Система при создании разрезов самостоятельно определяет детали, к которым не нужно применять сечение, при прохождении его через ось детали. То есть, например винты, направляющие колонки, пуансоны и прочие детали при попадании в разрез разрезаться не будут, как и требуют этого правила оформления чертежей.

После того, как все чертежи оформлены, в сборочной модели автоматически получаем спецификацию, в полуавтоматическом режиме проставляются позиции (см. рис 49). Как это часто бывает, после окончательного оформления комплекта КД, поступает еще одно уточнение вырубного контура.

Требуется оперативное корректирование моделей и чертежей. В созданной модели T-FLEX CAD для корректировки достаточно поменять рабочий контур в файле схемы обработки.

И поскольку модели и чертежи деталей и сборки обновятся автоматически, возможна минимальная корректировка оформления чертежа.

В качестве дополнительных возможностей система T-FLEX CAD 3D позволяет получать фотореалистичное изображение еще не изготовленной конструкции. Такие изображения позволяют предоставить заказчику проекта возможность оценить внешний вид конструкции еще на этапе проектирования (см рис 50).

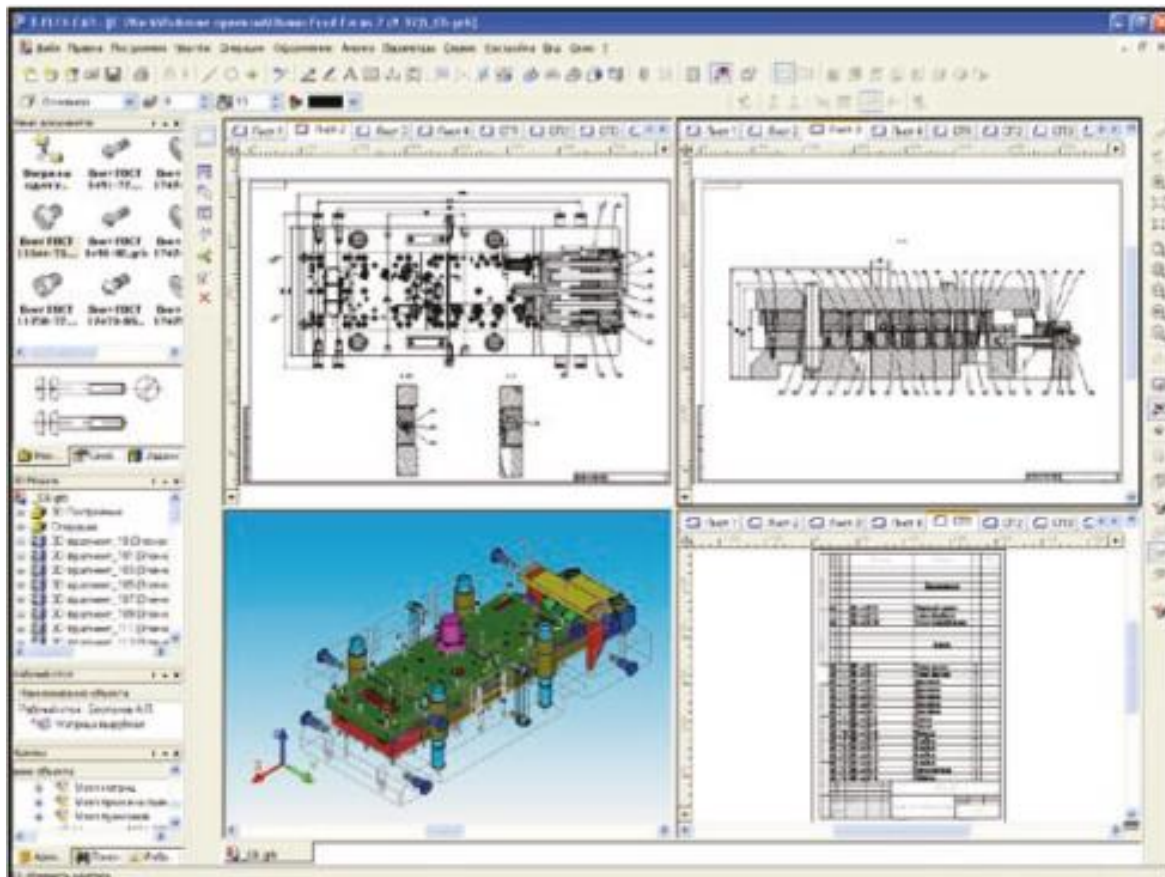


Рисунок 49- Сборочная модель, чертежи, спецификация.

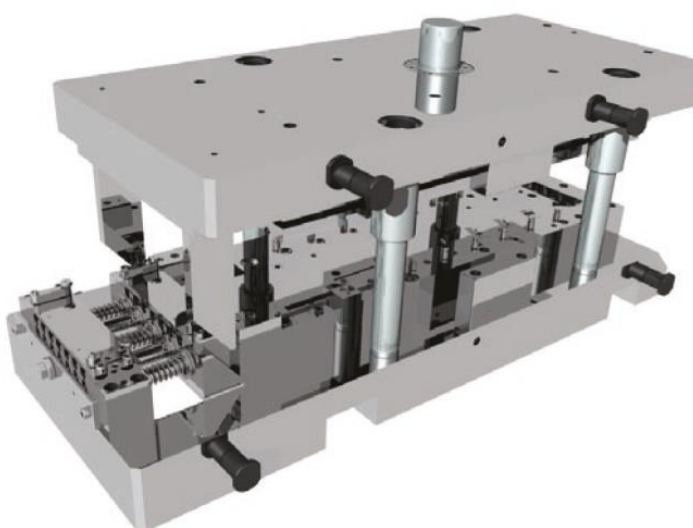


Рисунок 50 - Фотореалистичное изображение штампа.

Проектирование параметрической 3D модели штампа, с учетом всех изменений заняло 7 дней, оформление чертежей – более длительный процесс на него потрачено 10 дней. Внесение изменений в штамп на уровне схемы обработки – не более одного дня. Таким образом, на выходе проектирования мы имеем 3D модели деталей для передачи в САМ систему, например T-FLEX ЧПУ, чертежи и спецификацию. При необходимости в дальнейшем внесения изменений, новый комплект моделей и КД будет получен не позже чем через один день, что весьма неплохо, учитывая размеры и сложность штампа.

Контрольные вопросы:

- 1 Какие штампы называют «Сложными»?
- 2 Каким образом определяются номинальные размеры матриц ?
- 3 Какие программы существуют для проектирования сложных штампов?
- 4 Назовите этапы проектирования сложных штампов?
- 5 Основные задачи системы T-FLEX CAD
- 6 Содержание технологической подготовки производства.
- 7 Исходные данные для разработки технологического процесса холодной штамповки.
- 8 Порядок разработки технологического процесса холодной штамповки.
- 9 Виды технологической документации?
- 10 В какой области машиностроения применяются комбинированные штампы последовательного действия?

Список использованной литературы

- 1 Ярушин С.Г. Технологические процессы в машиностроении : Учебник для бакалавров. М.: Юрайт, 2011. – 564 с.
- 2 Технология обработки конструкционных материалов: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб., доп. М.: изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2010. – 678 с.
- 3 Технологические процессы в машиностроении: учеб для вузов / С.И. Богодухов, Е.В. Бондаренко, А.Г. Схиртладзе, Р.М. Сулейманов, А.Д. Проскурин; под общ. Ред. С.И. Богодухова. – М.: Машиностроение, 2009, – 640 с.
- 4 Технология конструкционных материалов: Учебник для вузов. М.:изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2008.
- 5 Технология конструкционных материалов. Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов. 6-е изд., испр. и доп. / А.М. Дальский, Т.М. Барсукова, А.Ф. Вязов и др. – М.: Машиностроение, 2005. – 592 с.
- 6 Технология конструкционных материалов. Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов. / А.М. Дальский, Т.М. Барсукова, Л.Н. Бухаркин и др.; под. ред. А.М. Дальского . – 5 изд., исправленное. М.: Машиностроение, 2003. – 512 с., ил.
- 7 Лямбах Р.В. Автоматизация технологических процессов холодной прокатки листов. / Шишкинский В.И. - М.: Metallurgia, 1991
- 8 Шестаков Н.А. Моделирование процессов обработки металлов давлением в программном комплексе FORMING: учеб. пособие для вузов. / Власов А.В. - М.: МГИУ, 2006 Гриф УМО
- 9 Демин В.А. Проектирование процессов толстолистовой штамповки на основе прогнозирования технологических отказов: моногр. - М.: Машиностроение-1, 2002
- 10 Беляев, В.А. Холодная штамповка и проектирование штампов: метод. рекомендации по выполнению лабораторных работ для студентов специальности 170104 / В.А. Беляев. – Бийск: Изд-во АлтГТУ, 2007.
- 11 Верещагин, П.В. Проектирование штампов: учебное пособие для студентов специальности 170104 / П.В. Верещагин, В.А. Беляев. – Бийск: Изд-во АлтГТУ, 2006.
- 12 Зубцов, М.Е. Листовая штамповка: учебник для студентов вузов / М.Е. Зубцов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1980.

- 13 Мастеров, В.А. Теория пластической деформации и обработка металлов давлением / В.А. Мастеров, В.С. Берковский. – М.: Металлургия, 1989.
- 14 Попов, Е.А. Основы теории листовой штамповки. учебное пособие для вузов / Е.А. Попов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1977.
- 15 Попов, Е.А. Технология и автоматизация листовой штамповки: учебник для вузов / Е.А. Попов, В.Г. Ковалев, И.Н. Шубин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000.
- 16 Романовский, В.П. Справочник по холодной штамповке / В.П. Романовский. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979.
- 17 Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка / под общ. ред. Л.И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988.
- 18 Беляев, В.А. Холодная листовая штамповка: учебное пособие / В.А. Беляев; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2008. – 128 с.