

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»  
Индустриально-педагогический колледж

**А.С. КИЛОВ, К.А. КИЛОВ**

# ПРОИЗВОДСТВО ЗАГОТОВОК. ЛИСТОВАЯ ШТАМПОВКА

СЕРИЯ УЧЕБНЫХ ПОСОБИЙ ИЗ ШЕСТИ КНИГ

Книга 2

ПОЛУЧЕНИЕ ЗАГОТОВОК ИЗ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА И ГНУТЫЕ  
ПРОФИЛИ

Рекомендовано Ученым советом государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по программам среднего и высшего профессионального образования для подготовки дипломированного специалиста всех технических специальностей

Оренбург 2004

ББК 34.623 я73  
К 39  
УДК 621.7 (075.8)

Рецензент

кандидат технических наук, доцент К.Н. Абрамов

**А.С. Килов, К.А. Килов**

к 39

**Производство заготовок. Листовая штамповка:**

**Серия учебных пособий из шести книг. Книга 2. Получение заготовок из листового материала и гнутые профили:**

**- Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 182с.**

В учебном пособии показаны возможности листовой штамповки (ЛШ) в промышленности, рассмотрены возможные схемы раскроя листового проката и расчет основных технологических параметров при ЛШ. Показано производство профилей, в том числе, труб и сварки тонколистового материала, а также производство заготовок из неметаллических листов. Приведены сведения об охране труда и технике безопасности в штамповом производстве.

Учебное пособие предназначено для студентов, изучающих дисциплины «Технология конструкционных материалов», «Технология заготовительных производств», «Проектирование и производство заготовок».

К 2704030000

ББК 34.62337 я73

© Килов А.С., 2004

© ГОУ ОГУ, 2004

## Предисловие

Любую машину (двигатель, преобразователь, орудие) собирают из деталей (элементарных частей), изготовленных без применения сборочных операций и приспособлений. Надежность и долговечность машины зависит от качества деталей, из которых она собрана. Качество детали в основном определяется заготовкой, которую получают тем или иным методом: литьем; сваркой; обработкой резанием или обработкой давлением и тем или иным способом: ковкой; объемной или листовой штамповкой.

В современном машиностроении детали (заготовки) делают из металлов и сплавов, а также из неметаллических (пластмасс, резины, древесины, керамики) и порошковых материалов.

К заготовкам, независимо от метода и способа их получения, предъявляются следующие требования:

- поверхности, используемые как базовые на первой операции обработки должны быть чистыми без заусенцев и других дефектов, чтобы избежать значительных погрешностей установки при дальнейшей обработке или сборке;

- механические и физические свойства материала заготовки, его химический состав, структура и зернистость должны быть стабильными по всему объему;

- все поверхности заготовки не должны иметь механических повреждений, в противном случае возможен выпуск некачественных деталей;

- геометрические размеры заготовок должны приближаться к геометрическим размерам готовой детали;

- коэффициент использования материала должен быть максимальным, а трудоемкость дальнейшей обработки - минимальной, но при этом должно быть обеспечено получение качественной детали (по размерам и шероховатости поверхности) в соответствии с чертежом после механической обработки на металлорежущих станках;

- все внутренние напряжения должны быть сняты за счет применения термообработки.

Каждый из указанных методов или способов представляет самостоятельную отрасль машиностроения и описан в специальной литературе, но, в тоже время, отсутствуют обобщенные сведения по производству заготовок различными методами и способами, что вызывает затруднения при выполнении студентами курсовых и дипломных проектов.

В связи с этим по инициативе авторов разрабатывается и издается серия учебных пособий, которая призвана способствовать лучшему обеспечению студентов учебно-методической литературой.

В серии книг «ПРОИЗВОДСТВО ЗАГОТОВОК» рассмотрены такие вопросы, как получение штампованных и литых заготовок, комбинированные сварные заготовки и листовая штамповка, спеченные формовки из порошковых материалов, композитные и пластмассовые заготовки.

## Введение

Листовая штамповка - процесс получения из листового материала (листов, полосы, ленты) изделий, имеющих плоскую или пространственную форму без существенного изменения толщины металла. Она бывает горячей и холодной. Горячая листовая штамповка применяется для заготовок толщиной более 20 мм, применяемых в котельном производстве.

Основными направлениями развития технологии и оборудования для обработки металлов давлением (ОМД) и в частности, листовой штамповки являются:

1. максимальное приближение формы и размеров заготовки к форме и размерам готовой детали (безоблойная штамповка, штамповка в разъемных матрицах);
2. повышение качества изделий;
3. обработка материала в состоянии сверхпластичности;
4. значительная интенсификация скоростей и мощностей оборудования;
5. специализация, комплексная механизация и автоматизация технологических процессов и оборудования (высадочные автоматы и конвейерные линии);
6. совершенствование вспомогательных процессов.

ОМД один из древнейших видов обработки.

Возраст археологических находок, полученных операциями ОМД - 85 веков. Обработка металлов давлением - как наука выделилась в начале 20 века. Сейчас операции ОМД или полученные с их помощью изделия и материалы используются во всех областях хозяйства (все виды машиностроения, военная и радиотехническая промышленность, предметы домашнего потребления и т.д.

Ускоренный темп роста машиностроительной промышленности и связанное с ним расширение областей применения процессов штамповки, значительное увеличение номенклатуры изготавливаемых изделий и необходимость быстрого освоения производства большого числа новых штамповок высокого качества, снижения стоимости их изготовления — все это требует коренного изменения системы технологической подготовки штамповочного производства за счет использования ЭВМ для автоматизации и оптимизации процессов проектирования.

Технологический процесс штамповки должны разрабатывать специалисты высокой квалификации. Разработка процесса настолько трудоемка, что в среднесерийном и особенно в мелкосерийном производстве часто приходится отказываться от разработки подробных технологических процессов.

Применение ЭВМ для разработки технологического процесса штамповки и конструирования штампов, расчета оптимального варианта загрузки оборудования значительно сокращает сроки подготовки производства, исключает субъективные ошибки технолога при проектировании и позволяет рассчитать все параметры процесса с помощью научно обоснованных рекомендаций по специальным методикам и точным формулам различной сложности.

При автоматизированном проектировании за очень небольшой промежуток времени могут быть просчитаны десятки, а если необходимо, и сотни различных вариантов. При этом исключаются ошибки, возможные при ручном проектировании, которые часто обнаруживаются лишь при производственном внедрении процессов. Эффективность автоматизированного проектирования повышается при использовании экономико-математических моделей и методов оптимизации, позволяющих решать с помощью ЭВМ задачи выбора оптимального сочетания параметров процессов штамповки и всей совокупности процессов с учетом рациональной загрузки оборудования.

Однако создание автоматизированных систем проектирования — очень трудоемкий процесс, который до недавнего времени требовал больших затрат труда и времени из-за отсутствия опыта, а также теории и методологии создания этих систем.

Проектирование автоматизированных систем технологической подготовки штамповочного производства требует комплексного исследования процессов штамповки, и построения стройной системы правил проектирования, обеспечивающих значительное повышение эффективности производства. Вопросам исследования процессов штамповки с целью создания научно обоснованных методов расчета их параметров было посвящено большое число теоретических и экспериментальных работ. Однако традиционными методами не удавалось создать надежную систему правил проектирования процессов штамповки, исключая субъективные ошибки проектировщиков. Применение средств и методов кибернетики и методов прикладной математики (теории исследования операций, математической статистики и др.) для исследования и математического описания процессов штамповки не только создает объективную базу для проектирования, но и позволяет управлять процессом проектирования с целью поиска оптимального варианта технологического процесса.

# 1 Основы листовой штамповки

Листовая штамповка один из видов обработки давлением листового материала с получением заготовок или готовых деталей. Ее применяют для получения различных деталей, в том числе: мелких (деталей часов, приборов и т.д.); средних (деталей велосипедов, мотоциклов, металлической посуды и т.д.); крупных облицовочных (деталей кузова автомобилей, тракторов, вагонов, самолетов и т.д.) и очень крупных толстолистовых деталей (днища котлов и резервуаров, корпуса судов и т.д.) /1/.

По сравнению с другими методами обработки листовая штамповка характеризуется следующими преимуществами:

- возможностью изготовления легких, жестких и прочных тонкостенных деталей простой или сложной формы, которые невозможно (сложно) получить другими способами;

- практически полной взаимозаменяемостью деталей, полученных листовой штамповкой;

- широкими возможностями автоматизации (роботизации) либо механизации производственных процессов;

- высокой производительностью и коэффициентом использования металла и низкими трудозатратами;

- малой шероховатостью поверхности деталей, обусловленной исходным материалом;

- получаемые детали практически не требуют механической обработки, т.к. изделия практически точные по размерам /2/.

## 1.1 Выбор заготовок

Все заготовки можно классифицировать по различным принципам и разделить на группы по нескольким признакам, а именно: по степени точности, по способу производства, по материалу /3/.

Выбор заготовки – это, значит, решить следующие вопросы:

- 1) установить оптимальный способ изготовления заготовки;

- 2) определить размеры, форму и расположение поверхностей заготовки, а также установить расчетную номинальную массу заготовки. Для этого нужно назначить припуски, установить допуски и предельные отклонения размеров заготовки, а также допуски ее формы;

- 3) провести технико-экономическое обоснование выбора данной заготовки;

- 4) разработать и оформить графический документ (чертеж) на деталь, на котором должны быть сформулированы технические требования на изготовление заготовки.

Выбор способа получения заготовки – всегда очень сложная, подчас трудно разрешимая задача, так как различные способы получения детали часто могут обеспечить технические и эксплуатационные требования, предъявляемые

к ней. Выбранный способ получения заготовки должен быть экономичным, производительным и нетрудоемким процессом, обеспечивающим высокое качество детали. Оценку целесообразности и технико-экономической эффективности применения того или иного способа получения заготовки необходимо проводить с учетом всех его преимуществ и недостатков.

При выборе метода производства заготовки для получения конкретной детали необходимо ориентироваться, в первую очередь, на материал заготовки и требования к детали /4/, при этом, прежде всего, следует определить наиболее целесообразный метод получения заготовки с точки зрения обеспечения эксплуатационных свойств. Ответственные детали, к которым предъявляются высокие требования по направлению волокон необходимо получать обработкой давлением. Такие технологические процессы относятся к высокопроизводительным и металлосберегающим /5/.

В качестве основных характеристик, влияющих на выбор способа получения заготовки, рекомендуется рассматривать указанные в /4/ рациональность и экономичность конструкции. На эти признаки влияют многие факторы, в том числе, материал детали, ее форма и размеры, точность и качество поверхности, тип производства.

Одной из основных задач при выборе оптимального способа получения заготовки является выполнение всех требований, предъявляемых к качеству готовой продукции которое, в первую очередь, зависит от уровня технологического процесса.

Многие мероприятия, направленные на повышение качества конечной продукции, бывают связаны с необходимостью применения более дорогого заготовительного оборудования, специальной технологической оснастки или включением в технологический процесс дополнительных операций. Естественно, что все это может потребовать и дополнительных расходов, но эти расходы должны быть компенсированы качеством получаемых деталей.

## 1.2 Классификация заготовок

По степени точности заготовки бывают:

- 1) грубые,  $KИМ < 0,5$ ;
- 2) пониженной точности  $0,5 \leq KИМ < 0,75$
- 3) точные  $0,75 \leq KИМ \leq 0,95$ ;
- 4) повышенной точности, для которых  $KИМ > 0,95$ .

$KИМ$  (коэффициент использования металла) - это отношение массы детали ( $M_0$ ) к норме расхода материала  $H_{рм}$ .

$$KИМ = M_0 / H_{рм}$$

Исходя из равенства толщины материала заготовки и получаемой детали при листовой штамповке рациональнее применять не коэффициент использования металла, а коэффициент раскроя  $K_{рас}$ . Его можно представить как отношение площадей детали (без площади отверстий, если они имеются) к

площади листа (полосы, ленты), из которого штампуют детали. Математически коэффициент раскроя металла можно представить формулой

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

где  $K_{\text{рас}}$  – коэффициент раскроя материала;

$S_{\text{д}}, S_{\text{л}}$  - площадь детали и листа, соответственно,  $\text{м}^2$ ;

$n$  – количество полученных из листа деталей, штук;

$f$  – площадь поверхности контура детали,  $\text{м}^2$ ;

$B$  и  $L$  - ширина и длина листа (полосы, ленты),  $\text{м}$ .

Когда деталь не имеет отверстий, то  $\text{КИМ} = K_{\text{рас}}$  (при наличии отверстий в детали полезная площадь уменьшится, что приведет к снижению коэффициента раскроя).

По виду материала заготовки бывают:

1) металлические, в том числе, из железоуглеродистых сплавов (стальные и чугуны), из сплавов цветных металлов (бронзы и латуни, магниевых и титановых сплавов);

2) неметаллические (пластмассовые, резинотехнические);

3) композитные.

По способу производства заготовки листовой штамповки являются пластически деформированными заготовками (полученными обработкой давлением), в том числе:

1) прокатные (прокат листовой, сортовой и трубы);

2) полученные волочением (проволока и профили);

3) прессованные заготовки;

4) гнутые (профили);

4) комбинированные сварные заготовки;

5) композитные заготовки, в том числе, пластмассовые, резиновые.

При выборе заготовок по виду деталей учитывают, что технологически из листового материала все их многообразие разделено на следующие типы:

1) пустотелые тела вращения – типа втулок, колец, гильз;

2) тела вращения в виде дисков;

3) ребристые и угловые детали;

4) коробчатые детали.

### **1.3 Выбор способа производства заготовок**

Выбор способа производства заготовок определяется следующими факторами:

1) технологическими свойствами материалов, его пластичностью;

2) конструктивными формами и размерами детали;

3) требуемой точностью размеров и качеством ее поверхности (шероховатость, остаточные напряжения и т.д.);

4) величиной программного задания, то есть объемом продукции или типом производства;

- 5) производственными возможностями оборудования;
- 6) временем, затрачиваемым на подготовку производства (изготовление моделей, штампов, пресс-форм и т.д.);
- 7) гибкостью производства, то есть возможностью быстрой переналадки оборудования и оснастки в условиях автоматизированного производства.

#### **1.4 Особенности получения заготовок**

Предъявляемые к машинам высокие требования по качеству, надежности и долговечности зависят от совершенства конструкции узлов, от качества обработки деталей и сборки узлов и машин. Изготовление заготовок и получение из них деталей обеспечивают технологические процессы, которые представляют собой единый технологический цикл, части которого тесно связаны между собой.

Технологические процессы машиностроительного производства - это методы изготовления деталей машин, то есть методы придания им требуемой формы и свойств. Технологические методы обработки листового материала - это пластическое деформирование либо пластическое деформирование в сочетании со сваркой /5/.

Знание методов проектирования и технологических процессов обработки деталей позволяет создавать более совершенные конструкции машин и приборов, обеспечивая одновременно экономическую целесообразность их изготовления. При разработке рациональной конструкции детали должна обеспечиваться ее экономичность. Рациональный выбор заготовки также обусловлен необходимостью экономии металла, обеспечением заданной структуры и свойств материала, в соответствии с назначением детали и условиями ее эксплуатации.

Особенности технологических процессов влияют на конструкцию деталей, как и конструкция деталей влияет на технологический процесс. Вариантность технологических процессов изготовления детали одной и той же номенклатуры определяется ее различными параметрами (назначением, материалом, размерами, массой, программой выпуска и т.д.). Получение необходимой геометрической формы, точности размеров, взаимного расположения и шероховатости поверхностей, как правило, объединяет в себе различные по своей сущности технологические методы (литье, сварку, обработку давлением или резанием).

Процессы сварки позволили существенно экономить металл и существенно упростить процесс получения сложных заготовок и неразъемных соединений.

Обработка давлением, в большинстве своем, металлосберегающая и высокопроизводительная технология. В настоящее время для производства заготовок обработке давлением подвергают до 85 % различных сталей и до 60 % цветных металлов.

Примерно 90 % деталей любой современной машины изготавливают с применением операций обработки давлением, в частности, штамповкой.

## 1.5 Материал заготовок

Металлы и сплавы – основной машиностроительный материал. Они обладают многими свойствами, обусловленными, в основном, их внутренним строением. Изменяя строение металлов и сплавов можно изменять их свойства в необходимом направлении, то есть расчетливо управлять свойствами. Конструкционные материалы удобно рассматривать по группам с близкими свойствами и применением. Из них важнейшими являются сплавы железа.

К какой группе должен относиться материал изделия, конструктор определяет до начала конструирования, как правило, без специальных расчетов, на основании представлений о размерах, форме, рабочих температурах, действующих нагрузках, способе изготовления и общей стоимости конструкции. Лишь после выбора группы материала возможно конструирование, уточнение способа изготовления и окончательный выбор марки материала /6/.

Все детали в процессе эксплуатации подвергаются воздействию внешних сил в той или иной мере. Нагрузки, действующие на деталь во время работы, весьма разнообразны, и они могут растягивать деталь или сжимать ее, изгибать или создавать кручение. При этом воздействия могут осуществляться плавно, постепенно (статически) или мгновенно (динамически). Поэтому важным свойством материалов является прочность при данном виде нагрузки. Она характеризуется максимальной нагрузкой, которую выдерживает материал, не разрушаясь. Воздействуя на деталь, внешние нагрузки изменяют ее форму, то есть деформируют.

Если к детали приложены сравнительно небольшие силы, под действием которых атомы в кристаллической решетке смещаются на расстояния, меньше межатомных, то после прекращения действия внешней силы деталь принимает свою первоначальную форму, то есть атомы возвращаются в устойчивое положение, и деформация исчезает. Свойство материалов принимать первоначальную форму после прекращения действия внешних сил называется упругостью, а деформация, исчезающая после снятия нагрузки, получила название упругой.

Если к заготовке приложены большие усилия, под действием которых атомы в кристаллической решетке сместятся на расстояния, больше межатомных, то после снятия внешней нагрузки атомы занимают новое устойчивое положение, соответствующее положению атомов соседнего ряда. После прекращения действия приложенной силы деформация не исчезает, и заготовка остается деформированной. Такая деформация называется пластической. Способность материала деформироваться под действием внешних нагрузок не разрушаясь и сохранять измененную форму после прекращения действия усилий, называется пластичностью.

Таким образом, пластичность - это возможность металла изменять форму или деформироваться без нарушения целостности при обработке давлением.

Материалы, не способные к пластическим деформациям, называются хрупкими. Такие материалы при значительной нагрузке или под действием ударных нагрузок разрушаются внезапно.

Основным материалом для листовой штамповки являются листы, лента и полосы из различных марок стали.

Оценка качества металла при исследовании его пластичности производится визуально по состоянию поверхности. При этом проводят испытания ленты, листов и полос толщиной до 4 мм на изгиб, испытания на перегиб, испытания на расплющивание, на растяжение и на сжатие, причем, некоторые технологические пробы, используемые для исследования металлов, стандартизированы.

Наибольшее распространение получили следующие виды механических испытаний: на растяжение, на ударный изгиб и ударную вязкость, на выносливость, на твердость, на жаропрочность и износостойкость /8/.

При разработке технологического процесса листовой штамповки необходимо учитывать способности к вытяжке. По способности к вытяжке качественную конструкционную сталь подразделяют на три сорта: ВГ - для весьма глубокой вытяжки, Г - для глубокой вытяжки, Н - для нормальной вытяжки. Для деталей сложной конфигурации металлурги производят сталь марки ОСВ - для особо сложной вытяжки

Для того чтобы узнать, удовлетворяет ли деталь предъявляемым к ней требованиям, производят специальные испытания (например, на истирание /7/). Вид испытания и характер его проведения указывают в технических условиях или на чертеже детали.

Жесткие, прочные, стойкие к удару и нагреву детали изготавливают из конструкционной углеродистой или легированной стали. По назначению стали бывают конструкционные, инструментальные и специальные /6/.

По качеству все стали подразделяют по содержанию серы и фосфора на обыкновенные (до 0,05 % S и 0,04 % P), качественные (не более 0,04 % S и 0,035 % P), высококачественные (не более 0,025 % S и 0,025 % P) и особовысококачественные (не более 0,015 % S и 0,025 % P).

Конструкционная сталь обыкновенного качества выпускается трех групп А, Б, В и обозначается от ст.0 до ст.6. Качественная углеродистая конструкционная сталь обозначается сотыми долями процента углерода, например, сталь 35.

Легированная конструкционная сталь обозначается буквенно-цифровым индексом, например, сталь марки 45ХН2А, где цифра 45- сотые доли процента углерода, буквы - обозначение легирующих элементов Х - хром, Н - никель, цифра 2-процентное содержание элемента в легированной стали, никеля 2%, отсутствие цифры после буквы указывает, что количество легирующего элемента (хрома) ~1%, обозначение других легирующих элементов Г - марганец, С - кремний, В - вольфрам, Т - титан, Ю - алюминий, Д - медь, М - молибден, Ф - ванадий, Б - ниобий, Р - бор, К - кобальт. Значение буквы А в маркировке стали зависит от места ее написания. В начале шифра она обозначает автоматную сталь, в середине шифра - количество азота в сплаве, в

конце шифра - высококачественную сталь.

Инструментальные стали бывают углеродистые, обозначают от У 7 до У 13 (цифры означают десятые доли процента углерода в сплаве), и легированные, в том числе и быстрорежущие, например Р 18 (цифра – процентное содержание вольфрама).

Для листовой штамповки также используют сталь специального назначения (электротехническую, коррозионно-стойкую, оцинкованную и т.д.). Наряду со сталью в листовой штамповке широко используют алюминий, медь, никель, магний, титан и их сплавы. Также используют неметаллические материалы, полимеры натурального и синтетического, такие как пластмассы (текстолит, органическое стекло, гетенакс, винипласт) происхождения и резину. Из натуральных для штамповки применяют материалы минерального (сланца) и животного (кожу, фетр, войлок) происхождения, а также материалы на основе бумаги (картон, фибру).

Основными требованиями, предъявляемыми к материалам, применяемым при изготовлении деталей листовой штамповкой, являются их пригодность к штамповке и последующей эксплуатации.

Выявление пригодности материала к той или иной штамповочной операции весьма сложно и требует проведения ряда испытаний.

Для листовой штамповки используют заготовки в виде листа, полосы, ленты или профилей различного поперечного сечения: труба, уголок, двутавр и т.д., но основным материалом для листовой штамповки являются ленты, листы и полосы толщиной до 4 мм.

Из неметаллических материалов штамповкой преимущественно получают прокладочные и изоляционные детали, художественные изделия.

Созданные высокомолекулярные соединения по многим физическим параметрам приближаются к традиционным конструкционным материалам, а по некоторым, например, по эластичности и превосходят их.

В последние годы высокомолекулярные соединения, обладающие высокой эластичностью, в частности, резина и полиуретан, находят все большее применение в различных отраслях промышленности, в том числе, в машиностроении [9]. Большинство пластмасс представляют собой сложную смесь различных компонентов, среди которых основное место занимают полимеры. Пластмассы, получаемые на основе синтетических смол или их композиций с различными наполнителями, легко перерабатываются в детали и изделия и удовлетворяют самым разнообразным требованиям в машиностроении и авиационной техники. Они могут быть широко использованы не только как заменители металлов, но и как основные конструкционные материалы для изготовления ответственных деталей и узлов машин и летательных аппаратов.

Пластмассам присущи свойства, выгодно отличающие их от других материалов. К их числу относятся: простота изготовления сложных деталей и изделий с минимальными последующими доработками; малая плотность деталей и изделий, не превышающая  $2500 \text{ кг/м}^3$  (в большинстве случаев от  $1000$  до  $1300 \text{ кг/м}^3$ ); высокая удельная прочность, вибрационная устойчивость,

фрикционные и антифрикционные свойства; высокая устойчивость против атмосферных воздействий и агрессивных сред; хорошие диэлектрические, звуко- и теплоизоляционные свойства; свето- и электромагнитная прозрачность. Детали из пластмасс отличаются высоким коэффициентом использования материала (до 95%).

К числу недостатков пластмасс следует отнести: невысокую длительную теплостойкость (до 300 °С); относительно низкие значения модуля упругости и ударной вязкости; старение, приводящее к изменению физико-механических свойств изделий в процессе длительного хранения и эксплуатации.

В настоящее время ежегодно производится более 50 млн. тонн пластмасс, а применение одной тонны изделий из пластмасс сберегает до пяти тонн стали или до трех тонн цветных металлов, снижая при этом трудоемкость производства до восьми раз /9/.

Пластмассы представляют собой многокомпонентные материалы. Они состоят из связующего вещества, наполнителя, пластификатора, красителя, смазывающего вещества, катализатора, ингибитора и других добавок.

Для изготовления пластмассовых заготовок используются в основном термопласты. Доля терморезистивных пластмасс в мировом производстве пластмасс составляет примерно 25 %. Среди важнейших областей применения пластмасс ведущее положение занимает строительная промышленность, электротехническая, промышленность предметов широкого потребления, общее машиностроение и производство упаковки.

Стеклопластики имеют высокий предел прочности, малую гигроскопичность, высокую химическую стойкость. Качество стеклопластиков зависит от их состава и технологии изготовления. Для формования стеклопластиков на основе фенолформальдегидных смол необходимы высокие давления и повышенная температура. Стеклопластики на основе эпоксидных смол затвердевают при повышенной и комнатной температуре.

Для производства крупногабаритных изделий из стеклопластиков необходимы следующие исходные материалы:

- связующие — полиэфиры, эпоксидные и модифицированные фенолформальдегидные смолы;
- мономеры — стирол, метилметакрилат, а также ненасыщенные полиакрилатные эфиры—сшивающие агенты;
- инициаторы — перекиси и гидроперекиси в сочетании с пластификаторами;
- активаторы — нафтенат кобальта, диметиламин для ускорения химических реакций;
- наполнители— стекломаты, стеклоткани, резаное стекловолокно;
- красители.

Основное отличие слоистых и волокнистых пластиков от металлов заключается в том, что они состоят из слоев наполнителя (в виде бумаги, ткани и пр.) и слоев скрепляющей их фенолформальдегидной смолы. Несмотря на то, что прессование гетинакса происходит при удельном усилии до 160 МПа и температуре до 160 °С, структура его неоднородна, она пронизана

микротрещинами, которые при воздействии усилий на заготовку становятся очагами концентрации напряжений в зоне деформации. Для деталей, изготавливаемых из слоистых материалов, эта концентрация напряжений опасна в связи с возможным появлением трещин в процессе штамповки.. Поэтому слоистые и волокнистые пластики, особенно гетинаксы, штампуют при соблюдении ряда условий, к числу которых относятся: малая скорость деформирования (при числе ходов пресса не более 50 в минуту); предварительное сжатие заготовки в штампе между матрицей и съёмником.

## 1.6 Производство листового материала

Листы из стали подразделяют на две основные группы. К первой относятся толстые листы, толщина которых превышает 4 мм, ко второй — тонкие листы с толщиной меньше 4 мм, при ширине от 600 мм и выше /8/.

Толстолистовая сталь подразделяется на резервуарную, мостовую, котельную, судостроительную, броневую и др. К группе толстых листов относится также универсальная или широкополосная сталь, прокатываемая на станах, имеющих вертикальные валки. В данном случае боковые кромки листа получаются прямыми в процессе прокатки. Толстые листы могут быть рифлеными, двух- и трехслойными и др.

В зависимости от марки стали тонкий лист можно подразделить на следующие категории: декапированная (отожженная и протравленная), кровельная сталь — черная или покрытая цинком, жель для консервной промышленности, электротехническая и пр.

По способу изготовления тонколистовая сталь подразделяется на горяче- и холоднокатаную.

### 1.6.1 Производство толстых и тонких листов

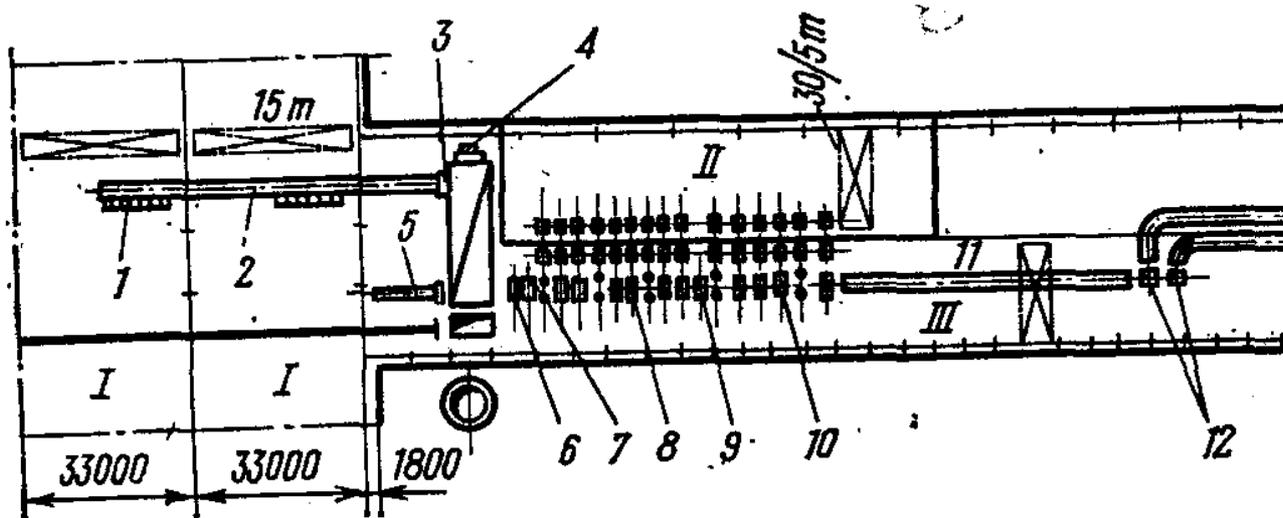
Прокатные цехи металлургических заводов изготавливают толстолистовую сталь толщиной от 4 до 160 мм и шириной от 600 до 5000 мм. Длина таких листов обычно принимается от 2 до 12 м, но при сматывании в рулон может достигать и больших значений.

Исходным материалом при прокатке толстых листов являются слябы. Масса и размеры слябов определяются размерами требуемых листов. Однако, при изготовлении листов толщиной более 50 мм и массой более 8000 кг в качестве исходного продукта берут тяжелые листовые слитки. Прокатку листов меньших размеров из слитков можно встретить лишь на старых заводах.

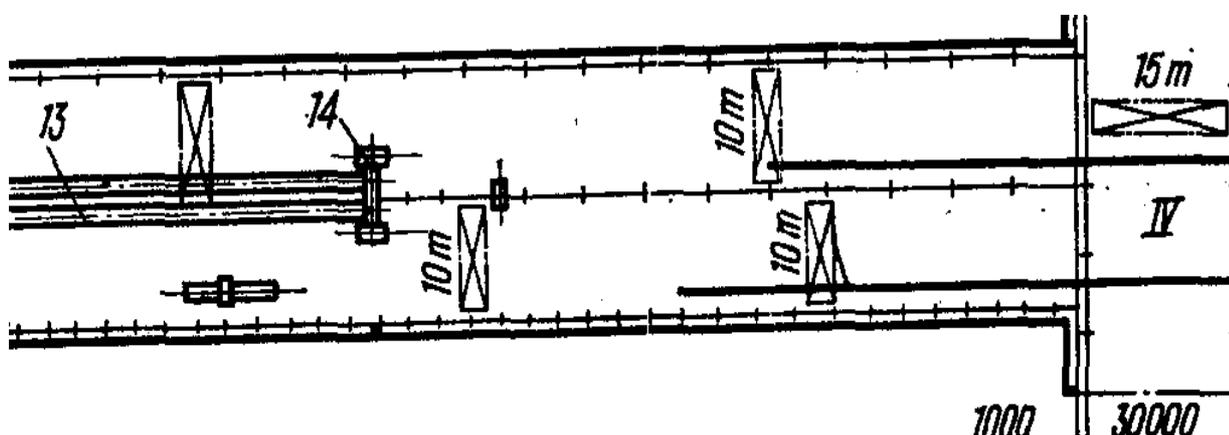
Для производства тонкого листа на непрерывных станах используют слябы толщиной до 250 мм и шириной до 1800 мм.

Листопрокатные станы имеют высокую производительность (более 250 тонн в час) благодаря высоким скоростям прокатки. При этом обеспечивается полная механизация и автоматизация всего технологического процесса.

Схема расположения оборудования непрерывного листопрокатного стана показана на рисунке 1 /17/.



Продолжение



I— пролет склада заготовок; II—машинный зал;  
 III—пролет стана; IV—склад готового проката

1 - загрузочная площадка; 2 - подводящий к печи рольганг;  
 3 - вталкивающее в печь устройство; 4 - методическая печь;  
 5 - выталкивающее из печи устройство; 6 - рольганг; 7 - ножницы  
 для отрезки переднего конца; 8 - черновые клети; 9 - летучие ножницы;  
 10 - чистовые клети; 11 - транспортер; 12 - моталки; 13 - транспортеры для  
 охлаждения рулонов; 14 - разгрузочное устройство

Рисунок 1 - Схема расположения оборудования непрерывного  
 листопркатного стана

## 1.7 Технологичность конструкции штампованных деталей

При проектировании деталей, получаемых листовой штамповкой, необходимо учитывать технологичность конструкции детали и обеспечивать рациональный раскрой материала.

Под технологичностью деталей, получаемых листовой штамповкой, следует понимать такое сочетание основных элементов ее конструкции, которое обеспечивает наиболее простое и экономичное изготовление детали при соблюдении технических и эксплуатационных требований к ней. Поэтому техническая документация конструкции детали и ее изготовления должна учитывать не только требования, связанные с назначением и условиями эксплуатации изделия, но и требования технологичности (возможности штамповки). Под возможностью штамповки понимают способность листового материала подвергаться различным формоизменяющим операциям без разрушения целостности или ухудшения его эксплуатационных свойств.

О возможности обрабатывать материал штамповкой можно судить по результатам испытаний механических свойств. Такими свойствами являются предел прочности  $\sigma_u$ , предел текучести  $\sigma_y$ , относительное удлинение  $\delta$  и равномерное удлинение до появления шейки  $\delta_{равн}$ .

Чем меньше  $\sigma_y, \sigma_u$  и их отношение  $\sigma_y/\sigma_u$ , тем больше  $\delta$  и  $\delta_{равн}$  и тем выше технологические свойства и возможность штамповки материала. Однако только эти параметры не достаточно полно характеризуют возможности штамповки материалов и их уточняют путем комплекса технологических испытаний, моделирующих конкретные операции штамповки.

К технологическим испытаниям относят следующие испытания: на срез (проводят в специальном вырубном штампе); на знакопеременный изгиб (проводят путем многократного изгибания и разгибания образца испытываемого материала в тисках специального устройства); на способность металла к вытяжке (определяют на приборе Эриксона по глубине выдавливания лунки сферическим пуансоном до появления трещин). Материал, толщиной 1 мм, у которого число Эриксона не меньше 11,5 мм, считается технологически пригодным для вытяжки. По способности к вытяжке качественную конструкционную сталь подразделяют на разные сорта. Для деталей сложной конфигурации металлурги производят сталь марки ОСВ - для особо сложной вытяжки. Для весьма глубокой вытяжки – ВГ, для глубокой вытяжки – Г, для нормальной вытяжки - Н. Технологичность также проверяют минимальным радиусом изгиба, при этом необходимо отсутствие следов разрушения.

Хорошей возможностью штамповки обладает материал, у которого:

- во-первых, получается чистая поверхность среза, ровный срез без трещин и заусенцев;

- во-вторых, обеспечивается минимальный радиус изгиба,  $R$  меньше приведенной толщины

$$R=KS,$$

где  $S$  - толщина листового материала, мм;

$K$  - коэффициент, изменяемый от 0,15 до 0,5;

- в третьих, наблюдается наименьшее коробление детали.

Следует иметь в виду, что на возможность штамповки металлов в значительной степени влияет структура и величина зерен металла или сплава, степень предварительного упрочнения и термообработка. Первый признак особенно важен для листовой штамповки, так как такой обработкой получают детали, характеризующиеся высокой точностью. Часто такие заготовки не требуют дальнейшей механической обработки (в отличие от заготовок, получаемых другими способами).

Разработка рациональной конструкции детали должна обеспечивать ее технологичность и экономичность. Данные характеристики зависят от многих факторов, в том числе, от материала и формы и детали, ее точности и качества поверхности, типа производства и др. При разработке процесса особое внимание следует уделять вопросам экономии материала, так как стоимость материала детали при штамповке составляет от 60 до 80 % ее общей стоимости.

Построение технологических процессов изготовления деталей в значительной мере зависит от назначения детали, марки и толщины материала, из которого она изготавливается, а также вида операций, с помощью которых предусматривается изготовление детали.

Для установления методов получения и последовательности операций необходимо произвести анализ конструктивных особенностей детали и заложенной в конструкцию детали точности.

Разработка технологического процесса листовой штамповки состоит из следующих этапов:

а) установление необходимых операций для получения заданной детали;

б) определение размеров заготовки;

в) выбор исходного материала, составление карты раскроя;

г) при горячей штамповке выбор метода и оборудования для нагрева.;

д) определение коэффициента использования металла;

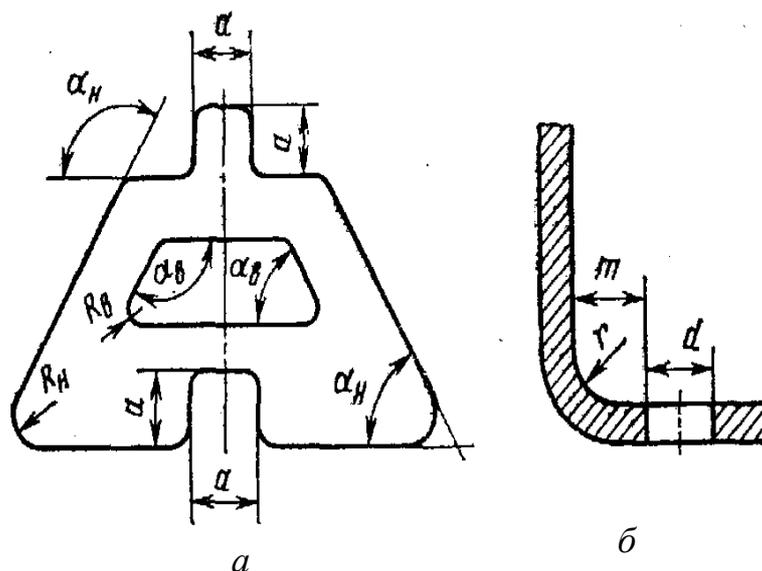
е) технологические расчеты на всех операциях;

ж) конструирование штампа;

з) составление технологической карты;

и) выбор оборудования (пресса) в зависимости от конструкции штампа и усилий на операциях.

К плоским деталям, получаемым листовой штамповкой предъявляются следующие основные технологические требования. Форма вырубляемых плоских деталей и получаемых отверстий в них должна быть по возможности простой. Ее строят правильными геометрическими элементами без узких и длинных прорезей и выступов. Ширина выступов и впадин должна быть больше толщины материала. На рисунке 2 а показаны эти соотношения,  $a > S$  ( $S$ - толщина материала). В противном случае детали могут быть изготовлены только обработкой резанием /10/.



а - расположение пазов и выступов  
б - расположение отверстий и радиусов

Рисунок 2 - Технологичность детали при вырубке и пробивке

При пробивке отверстий в деталях, полученных вытяжкой или гибкой, расстояние  $m$  между стенкой детали и отверстием должно быть больше суммы радиуса отверстия и половины толщины материала

$$m \geq R + 0,5S,$$

а если деталь изгибают после пробивки отверстия, то.

$$m \geq R + 2S$$

Применяя специальные штампы, можно получить отверстия и меньших размеров. Минимальные расстояния между пробиваемыми отверстиями или отверстиями и краями заготовки составляют для круглых отверстий  $n \geq S$ , а для прямоугольных отверстий  $n \geq$  (от 1,5 до 2) $S$ . При одновременной пробивке многих отверстий расстояние  $n \geq$  (от 2 до 3) $S$ .

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

Для наружного контура при  $\alpha_{вн} > 90^\circ$  радиус  $R_n \geq 0,25S$ , а при  $\alpha_n \leq 90^\circ$ ,  $R_n \geq 0,5S$ . Для внутреннего контура при  $\alpha_v > 90^\circ$  радиус  $R_v \geq 0,3S$ , а при  $\alpha_{вн} \leq 90^\circ$ ,  $R_v \geq 0,6S$ . Контуров деталей, получаемых резкой на ножницах скруглять не следует.

Минимальные размеры пробиваемых отверстий зависят от их формы и материала, из которого изготавливают детали, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Минимальные размеры пробиваемых отверстий

Материал	Форма отверстия:	
	круглая	прямоугольная
<b>Твердая сталь</b>	1,3S	1,0S
Мягкая сталь и латунь	1,0S	0,7S
Алюминий	0,8S	0,5S
Текстолит и гетинакс	0,4S	0,35S
<b>S – толщина материала, мм</b>		

Показателем эффективности раскроя является коэффициент использования материала, который, как и при объемной штамповке представляет собой отношение массы детали к норме расхода материала, необходимого на изготовление детали.

После разработки конструкции штампованной детали с обеспечением технологичности ее изготовления разрабатывают технологический процесс.

Разработка технологического процесса холодной штамповки включает в себя: анализ технологичности детали (исследование формы, соотношения размеров, объема выпуска, возможности штамповки материала) и разработку формы и размеров заготовки. В нее входит выбор методов подготовки материала под штамповку, режимов термической обработки, определение операций и переходов штамповки; конструирование штампов и выбор типа оборудования, средств механизации и автоматизации (подробнее см. ниже).

Любой технологический процесс листовой штамповки начинают с раскроя листового проката

### 1.8 Типы раскроя листового проката

Существуют следующие типы раскроя листового проката: с отходом, малоотходный и безотходный, причем, при безотходном раскрое коэффициент использования материала близок к 1 (100%).

Безотходный раскрой применяют при штамповке деталей, контуры которых различны, но сопрягаются друг с другом, например, раскрой заготовок оконных или мебельных петель (рисунок 3 а). Раскрой с отходом (перемычками) преимущественно применяют при штамповке деталей, имеющих криволинейные очертания и требующих повышенную точность размеров (рисунок 3).

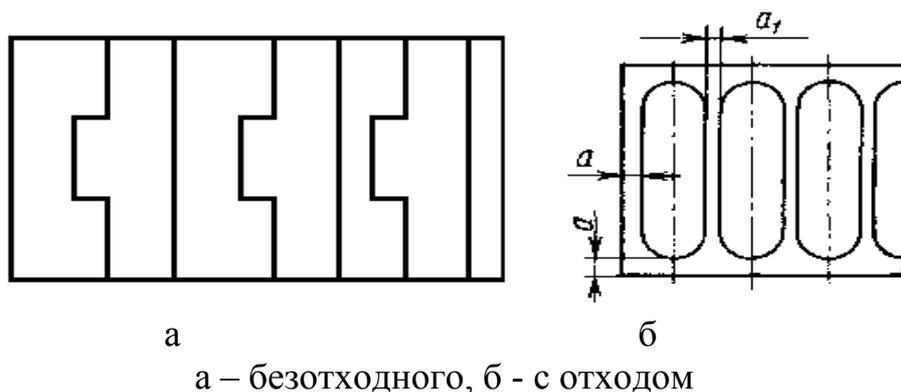


Рисунок 3 – Примеры раскроя металла

Раскрой с отходами (рисунок 3 б) применяют для изготовления деталей повышенной точности (8-13 квалитет), а также для деталей сложной конфигурации, раскрой с частичными отходами (рисунок 4) и без отходов (рисунок 3 а) применяют для простых по форме деталей низкой точности. По указанным схемам применяют однорядный и многорядный раскрой.

При раскросе с отходом деталь (или заготовку) получают вырубкой по замкнутому контуру. Этот раскрой характеризуется наличием остающихся перемычек, причем, перемычки бывают как между краями соседних деталей ( $a_1$ ), так и между краями детали и кромкой листа или полосы (боковые перемычки ( $a$ )) и они больше, чем перемычки между деталями, а именно,

$$\text{от } a = 1,15 a_1 \text{ до } a = 1,3 a_1.$$

Величины перемычек выбирают в зависимости от толщины и конфигурации детали так, чтобы обеспечить вырубку деталей по всему контуру без разрыва перемычек и без втягивания их в матрицу. Расход металла на перемычки должен быть минимальный и их величину определяют по таблицам, составленным на основании обобщения опытных данных (таблица 2).

Таблица 2 – Наименьшая величина перемычек

Толщина материала, мм	Ширина перемычек, мм		Толщина материала, мм	Ширина перемычек, мм	
	$a_1$ и $a$	$a_1'$ и $a'$		$a_1$ и $a$	$a_1'$ и $a'$
0,3	1,4	2,3	2,5	1,8	2,8
0,5	1,0	1,8	3,0	2,0	3,0
1,0	1,2	2,0	3,5	2,2	3,2
1,5	1,4	2,2	4,0	2,5	3,5
2,0	1,6	2,5	-	-	-

Примечание - Перемычки  $a_1$  - между небольшими деталями простой формы  $a_1'$  - между крупными деталями или деталями сложной формы;  $a$  - боковая, при работе с боковым прижимом (см. рисунок 3 б),  $a'$  - боковая, при работе без бокового прижима.

Величина перемычек зависит от толщины и твердости материала, размеров и формы вырубаемых деталей, а также от наличия в штампе упора, его типа и других факторов. В зависимости от перечисленных факторов ширина перемычек изменяется от 1,0 до 3,5 мм при толщине металла до 4мм и от 2,5 до 6,5 мм при работе с материалом толщиной от 4 до 10 мм.

При штамповке мелких и узких деталей выполняют раскрой с вырезкой перемычек (умышленно увеличивая ширину отхода).

Малоотходный раскрой характеризуется отсутствием боковых перемычек, при этом ширина перемычек должна быть равна ширине штампуемой детали. Такой раскрой осуществляют штамповкой из полосы, например, штамповка звеньев цепей пластинчатых конвейеров (рисунок 4).

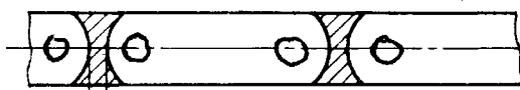
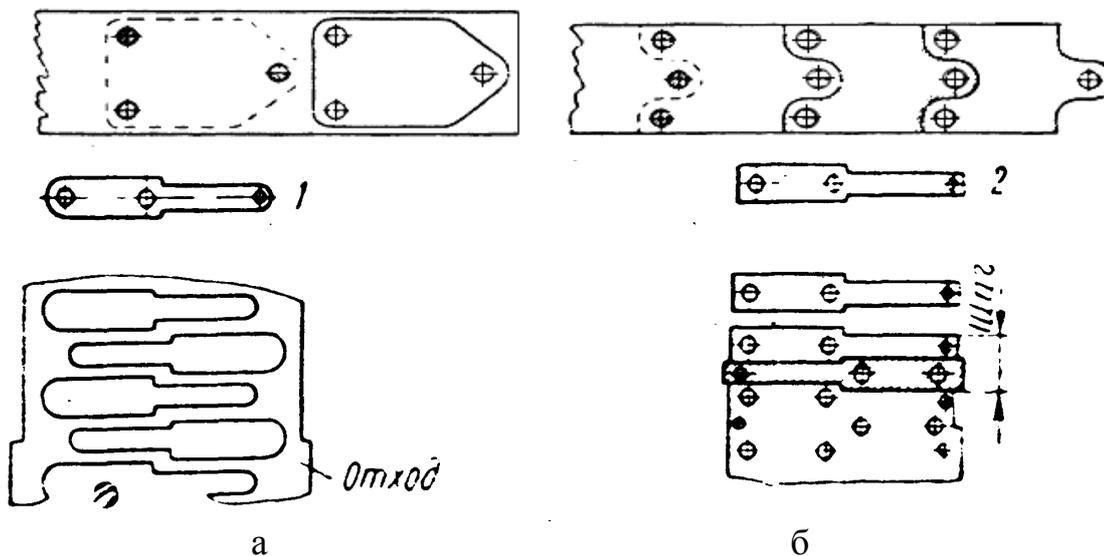


Рисунок 4 – Схема малоотходного раскроя

Вариантом уменьшения величины отхода металла является изменение формы детали или устранение перемычек [11].

**Удачное изменение формы детали (согласованное с конструктором) может обеспечить, даже при незначительных изменениях, значительную экономию материала, получаемая при этом экономия до 15%.**

Возможные примеры изменения формы показаны на рисунке 5.



1 – старая форма; 2 – новая форма  
а – старый раскрой; б – новый раскрой

Рисунок 5 - Примеры изменения формы детали и раскроя

Для указанных типов раскроя различают шесть основных видов раскроя деталей или заготовок в полосе.

При конструкции деталей желательно учитывать удобство их раскроя, так как раскрой материала в значительной степени зависит от конструкции деталей.

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

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

Штамповка из полосы - наиболее предпочтительная штамповка в плане автоматической подачи заготовки в зону штампа и уменьшения потерь на переемычки, за счет малоотходного раскроя. Коэффициент использования металла при нем выше, чем при штамповке с отходами и составляет до 90%.

Виды раскроя деталей показаны на рисунке 6.

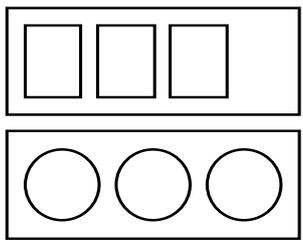
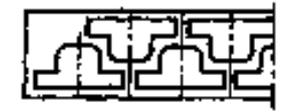
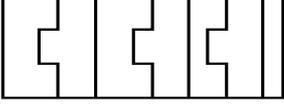
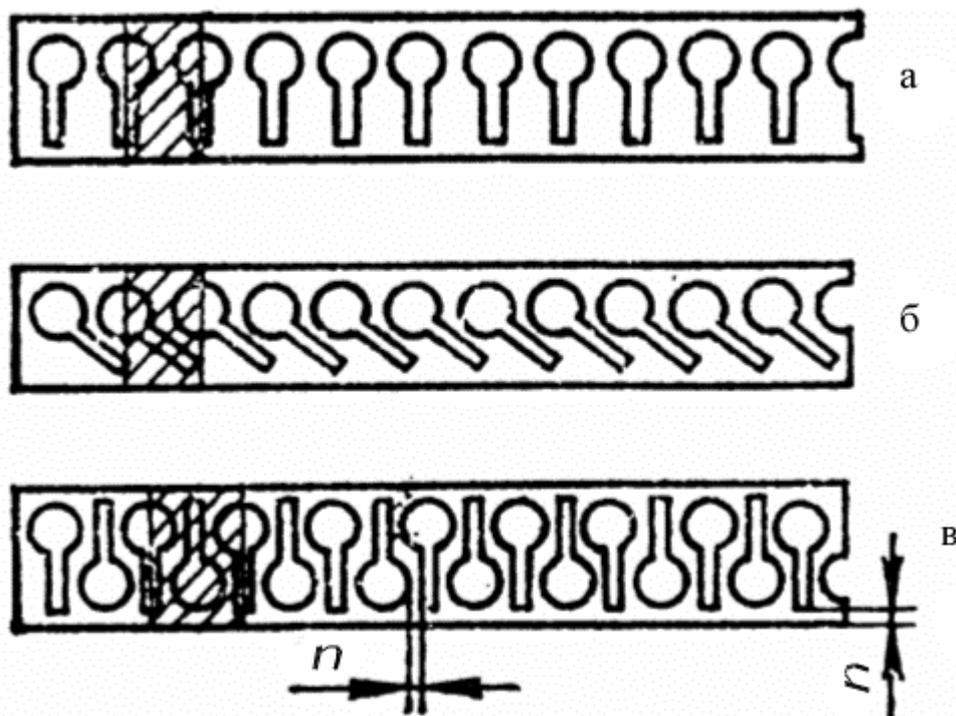
№	Вид раскроя	С отходом	Малоотходный и безотходный	Тип детали (заготовки)
1	2	3	4	5
1	прямой (однородный)			с вытянутой осью круглые
2	наклонный			Г - образные
3	встречный			Т и Ш - образные
4	комбинированный			разной формы, одинаковой толщины
5	многорядный			круглые, шестигранные
6	с вырезкой перемычек			узкие (стрелки) удлиненные

Рисунок 6 - Основные виды раскроя

При массовом производстве необходимо стремиться к использованию рулонной ленты вместо листового материала, а из последнего рационально получать карты или непосредственно детали (заготовки).

В связи со сложностью аналитического определения наиболее рационального раскроя, его целесообразно проводить с использованием вычислительной техники. При отсутствии ЭВМ либо программного обеспечения для оптимизации на практике часто используют опытно-графический способ раскроя. Из плотной бумаги (картона) вырезают шаблоны вырубаемых деталей и, комбинируя различные положения этих шаблонов на исходной полосе (ленте), определяют рациональный раскрой, обеспечивающий наибольший коэффициент использования металла.

Наиболее эффективен и сложен в выборе рациональный раскрой в случае вырубки фигурных деталей. Желательно использовать многорядный шахматный способ раскроя, так как он обеспечивает экономию металла (по сравнению с параллельным раскроем) за счет сближения рядов (рисунок 7).



а – прямой; б – наклонный; в - прямой встречный

Рисунок 7 - Способы раскроя полосового материала

Каждый прибавляемый ряд деталей при параллельном раскрое дает экономию металла от 3 до 5 %.

При шахматном раскрое экономия от 5 до 8 %.

Наклонный способ вырубки фигурных деталей (рисунок 7, б) экономичней прямого способа на 18 %, тогда как встречный прямой способ раскроя (рисунок 7, в) экономичнее наклонного на 17 % и экономичнее прямого раскроя (рисунок 7 а) на 35 %.

В последнее время находит распространение штамповка из листа без предварительной отрезки полос. Она более эффективна, чем штамповка из ленты. Для штамповки крупных заготовок, расположенных в шахматном порядке, непосредственно из листа применяют автоматическую подачу к прессу открытого типа. Поступательное движение ползуна пресса преобразуется в зигзагообразное поступательное движение каретки, в зажимах которой закреплен лист. Установка работает в автоматическом режиме и обеспечивает производительность до 35 тысяч штук заготовок в смену, причем, точность подачи от 0,25 до 0,15 шага подачи.

Для повышения эффективности раскрой за счет уменьшения угловых отходов применяют наклонный (косой) раскрой, приведенный на рисунке 8.

Иногда при вырубке крупных деталей экономичнее применять косой раскрой листа на полосы или групповой раскрой. В последнем случае лист раскраивают на полосы разной ширины, из которых затем изготавливают различные детали.

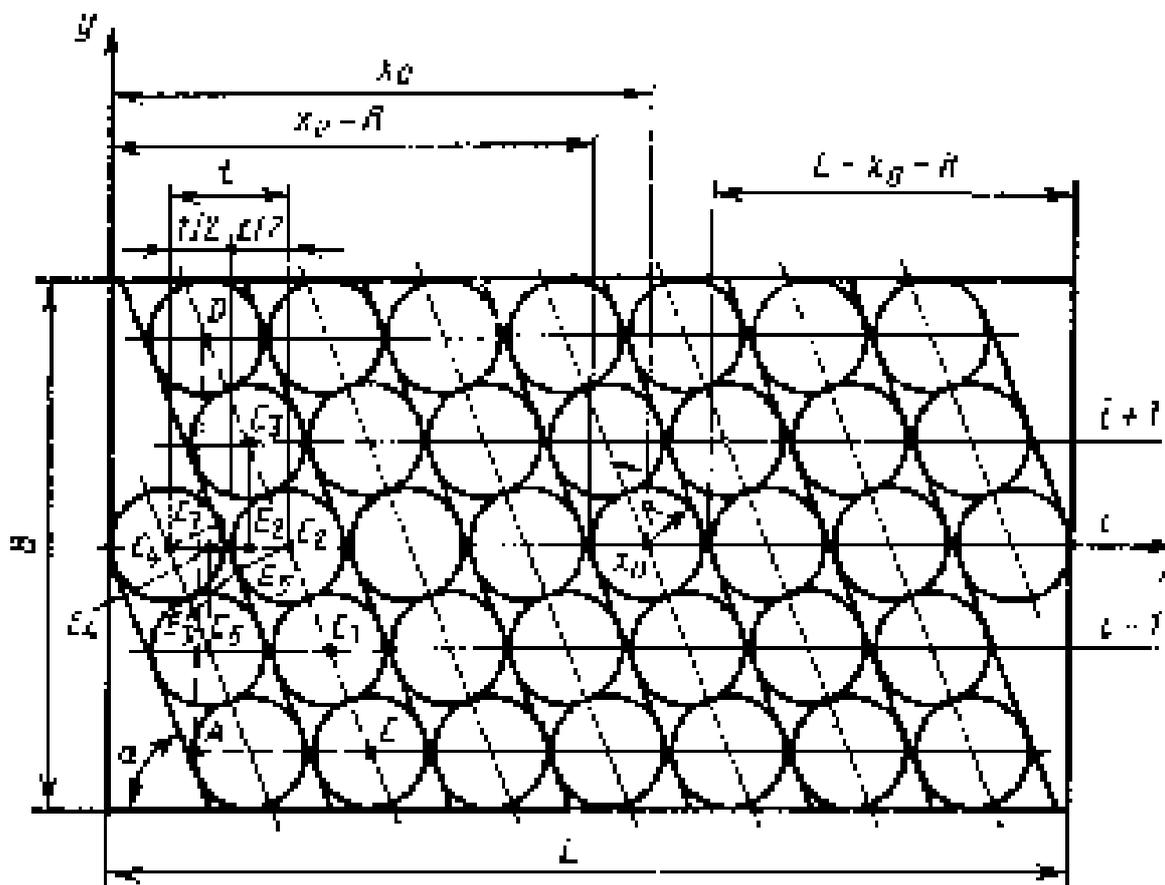


Рисунок 8 - Наклонный раскрой круглых заготовок большого диаметра

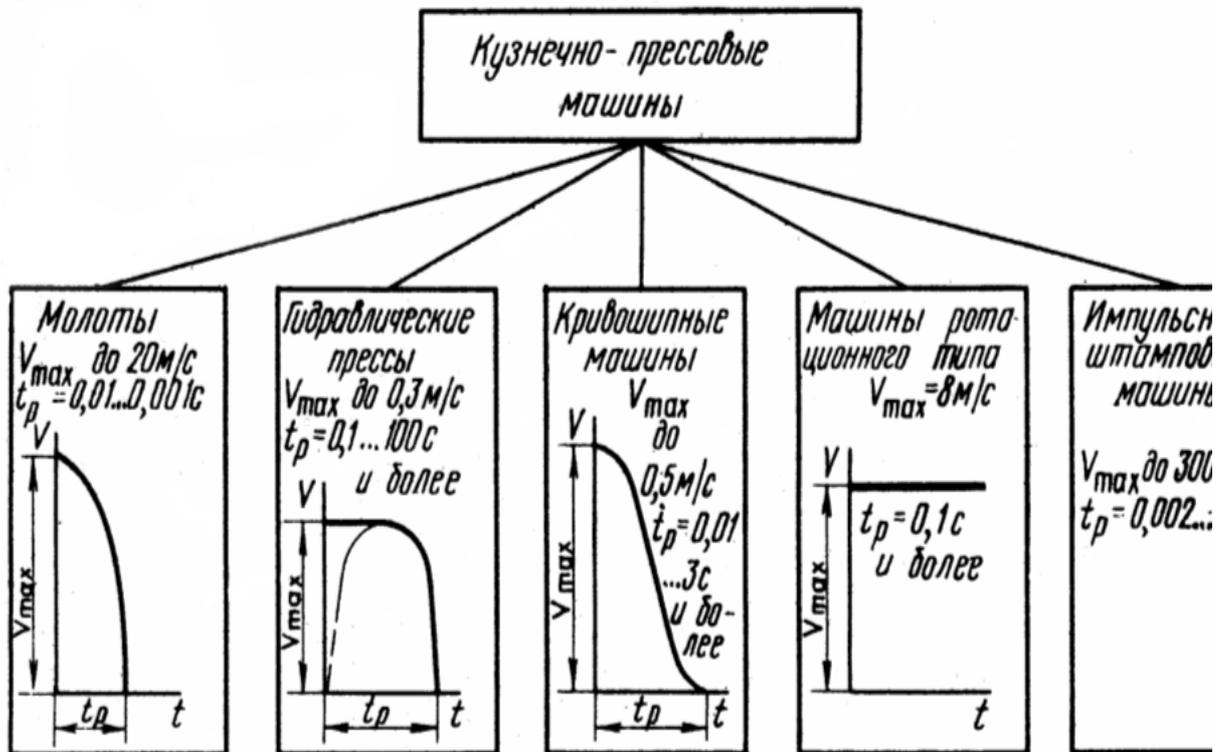
При построении такого раскрой, наклон полосы определяется из условия размещения наибольшего целого числа кругов в полосе. Эффективность наклонного раскрой зависит в основном от размеров листа, диаметра круга, и угла расположения полосы в листе.

## 2 Прессовое оборудование

Возможности имеющегося оборудования следует учитывать при изготовлении любых заготовок, в том числе, и при обработке металлов давлением. В некоторых случаях возможности оборудования являются основным определяющим моментом, так как при разработке технологического процесса выбор того или иного способа получения заготовки возможен лишь при наличии определенного оборудования. Мощность имеющегося штамповочного оборудования подчас определяет и номенклатуру деталей, получение которых возможно на этом оборудовании.

Современное штамповочное производство (ШП) оснащается новым оборудованием, представляющим собой автоматизированные и роботизированные комплексы, автоматы, уникальные кузнечно-прессовые машины, специальное оборудование, но основным оборудованием ШП остаются прессы.

Все кузнечно-штамповочные машины по характеру изменения скорости движения деформирующего инструмента в интервале рабочего хода могут быть разделены на пять групп (рисунок 9) /12/.



$V_{max}$  - максимальная скорость движения подвижных частей;  
 $t_p$  - время рабочего хода подвижных (рабочих) частей

Рисунок 9 – Классификация кузнечно-прессовых машин по кинематике рабочего хода

К первой группе относят молоты. Они являются машинами ударного действия и имеют нежесткую характеристику изменения скорости движения деформирующего инструмента. Время рабочего хода изменяется в зависимости от сопротивления материала заготовки деформированию, а скорость инструмента изменяется от  $\max$  до 0.

Ко второй группе относят гидравлические прессы и машины, также имеющие нежесткую характеристику изменения скорости движения деформирующего инструмента. Рабочий ход этих машин может начинаться со скорости, равной нулю, или со скорости, близкой к максимальной. Это машины статического действия.

К третьей группе относят кривошипные машины с жесткой характеристикой изменения скорости движения деформирующего инструмента (от  $\max$  до 0). Характеристика изменения скорости зависит от кинематики кривошипно-шатунного механизма машины.

К четвертой группе относят машины ротационного типа (ковочные вальцы и ротационно-ковочные машины), частота вращения деформирующего инструмента у этих машин постоянна.

К пятой группе относят импульсные штамповочные машины и машины для гидравлической, пневматической и вакуумной штамповки. Они также имеют нежесткую характеристику изменения скорости движения деформирующего инструмента за очень короткое время.

Время одного рабочего цикла машин складывается из трех величин времени хода деформирующего инструмента из крайнего положения до момента соприкосновения с обрабатываемой заготовкой ( $t_1$ ), времени рабочего хода ( $t_p$ ) и времени возвратного хода инструмента в исходное положение ( $t_2$ ):

$$t_{ц} = t_1 + t_p + t_2,$$

где  $t_{ц}$  - время рабочего цикла машины;

$t_1$  - время хода деформирующего инструмента из крайнего положения до момента соприкосновения с обрабатываемой заготовкой;

$t_p$  - время рабочего хода деформирующего инструмента;

$t_2$  - время возвратного хода инструмента в исходное положение.

В свою очередь, машины в каждой группе классифицируются по технологическому, конструктивному и другим признакам и характеризуются следующими основными параметрами и размерами:

- молоты – массой падающих частей, величиной хода ударных частей, энергией удара и размерами штампового пространства;

- гидравлические прессы – номинальным усилием, давлением рабочей жидкости, наибольшим ходом ползуна прессы;

- кривошипные машины – номинальным усилием, ходом ползуна, соответствующим этому усилию, полным ходом ползуна, числом ходов ползуна в минуту, размерами штампового пространства и др;

- машины ротационного типа - частотой вращения деформирующего инструмента, а ковочные вальцы характеризуются также расстоянием между

валками и их диаметром, ротационно-ковочные машины – максимальным диаметром обрабатываемой заготовки, числом ударов бойков в минуту.

Основные параметры и характеристики универсальных кузнечно-штамповочных машин приведены в соответствующих стандартах, а также в /8/.

Используемое в листовой штамповке оборудование подразделяют на штамповочные гидравлические и механические (кривошипные) прессы и различные автоматы /13, 2/, а для разделительных операций также используют ножницы (кривошипные гильотинные и высечные, или ротационные машины - многодисковые ножницы). В заготовительных отделениях цехов холодной штамповки устанавливают ножницы с параллельными и с наклонными ножами.

## 2.1 Прессы

По виду привода и способу действия прессы бывают гидравлические и механические/14/. На прессах заготовку обрабатывают безударным давлением. Прессы применяют для прессования, гибки, правки, резки, выдавливания и вытягивания листового металла, а также соединения деталей под большим давлением.

Современные прессы оснащают системой принудительного централизованного смазывания, состоящей из насоса, подающего смазочный материал, питателей и распределителей смазочного материала и подводящих трубопроводов. Вязкий смазочный материал централизованно подается к подшипникам коленчатого вала, к направляющим ползуна и к головке шатуна. Жидкий смазочный материал подают к винту шатуна, шаровой опоре винта, а также к механизмам муфты, тормоза и включения.

Смазывать пресс нужно так, чтобы с боков трущихся поверхностей выступал смазочный материал, что свидетельствует о достаточном его количестве в данном узле. Периодичность смазывания и виды применяемых смазочных материалов указывают в специальной карте. Приступая к работе, следует проверить, имеется ли в насосе смазочный материал и смазаны ли трущиеся части прессы. Во время работы следует периодически подкачивать смазочный материал насосом.

Средние и мощные механические прессы новых моделей оснащают системами смазывания жидким смазочным материалом.

Условия деформации на различных прессах отличаются, во-первых, большой разницей в скорости деформирующего инструмента; во-вторых, вследствие наличия у кривошипных прессов строго фиксированной величины хода ползуна.

Малая скорость деформирования на гидравлических прессах обеспечивает более глубокое проникновение пластической деформации в металл, благодаря чему его течение в горизонтальном направлении легче, чем в вертикальном.

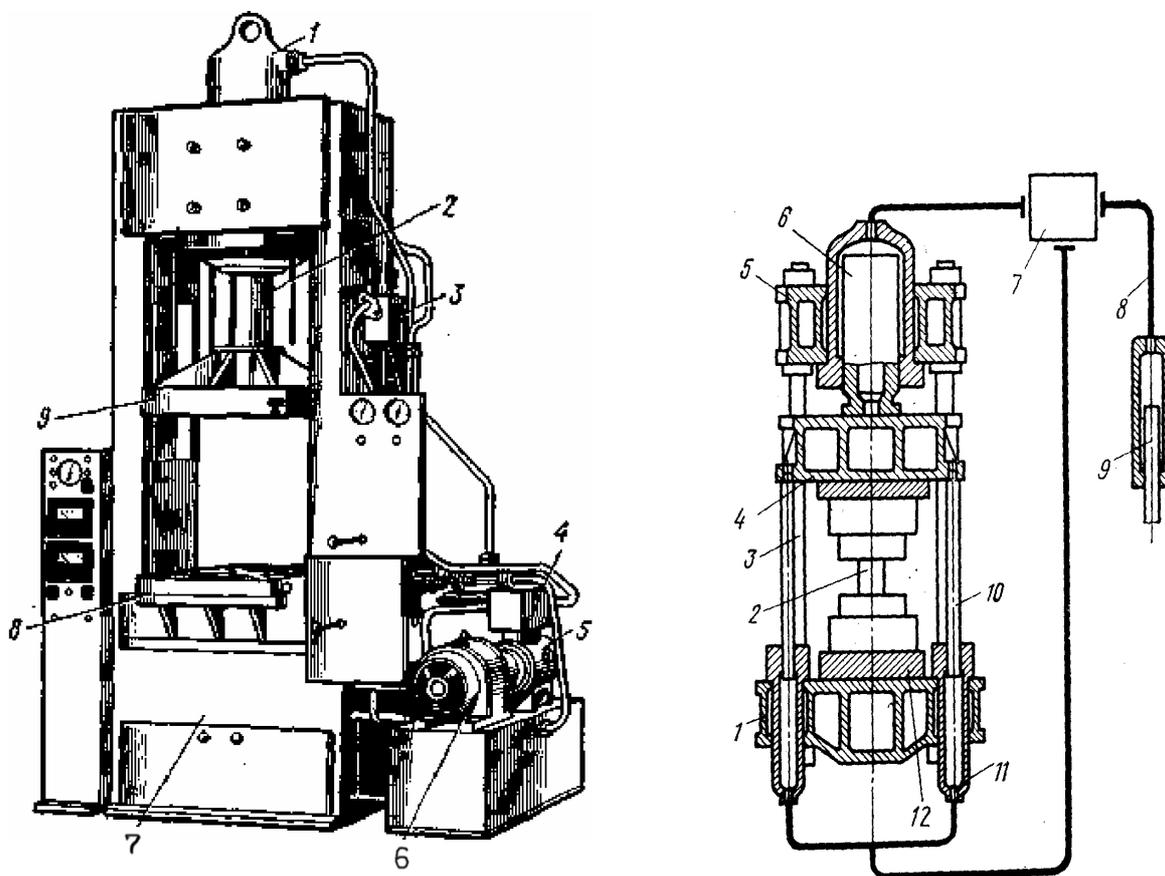
Жесткий ход ползуна кривошипного прессы допускает лишь определенную степень деформации, в то время как при штамповке на гидравлическом прессе степень деформации может быть различной.

## 2.1.1 Гидравлические прессы

Действие гидравлического пресса основано на ряде физических законов, в частности, на законе Паскаля, устанавливающем, что давление на поверхность жидкости, производимое внешними силами, передается жидкостью одинаково во всех направлениях.

Преимуществом гидравлических прессов является то, что скорость движения плунжера в них может быть различной (максимальная скорость деформирующего инструмента до 0,3 м/с); при этом можно обеспечить плавное или ступенчатое изменение усилия, как и выдержку под действием постоянной или переменной силы.

Крупные заготовки обрабатывают на четырехколонных, а более мелкие - на одноколонных прессах /14/. Вид и схема гидравлического пресса приведены на рисунке 10.



1 - рабочий цилиндр; 2 - плунжер; 3 - колонны; 4, 5 - насосы; 6 - электродвигатель; 7 - станина; 8 - стол; 9 - траверса (для схемы I - нижняя неподвижная поперечина, 2 - заготовка, 3 - колонна, 4 - подвижная поперечина, 5 - верхняя неподвижная поперечина, 6 - плунжер рабочего цилиндра, 7 - органы управления, 8 - трубопровод, 9 - плунжер насоса, 10 - возвратный плунжер, 11 - возвратный цилиндр, 12 - подвижный стол)

**Рисунок 10 - Вид и схема гидравлического пресса**

Если поместить в каждый из сообщающихся сосудов разного диаметра по плунжеру, то на основании этого закона, а также из условий равновесия можно определить давление жидкости в системе сообщающихся сосудов, Н/м<sup>2</sup>:

$$P_1/F_1=P_2/F_2, \text{ откуда } P_2=P_1(F_2/F_1),$$

где  $P_1$  и  $P_2$  - усилия, приложенные соответственно к малому и большому плунжерам, Н;

$F_1$  и  $F_2$  - площади соответственно малого и большого плунжеров, м<sup>2</sup>.

Наиболее слабым звеном в гидравлических прессах является гидропривод.

Элементы такой принципиальной схемы заложены в устройство любого гидравлического пресса: роль малого плунжера выполняет поршень насоса, подающего жидкость, а роль большого - рабочий плунжер пресса. Усилие, развиваемое прессом, определяют произведением давления жидкости на сумму площадей рабочих плунжеров. Согласно другим законам в замкнутой гидравлической системе перемещение одного плунжера вызывает такое перемещение другого плунжера, что объем жидкости в системе остается постоянным, поскольку жидкости практически несжимаемы.

Если малый плунжер пройдет большое расстояние  $H_1$ , то большой плунжер переместится на меньшее расстояние  $H_2$ , то есть

$$H_1/H_2=F_2/F_1, \text{ откуда } H_1=H_2 (F_2/F_1).$$

Таким образом, в гидравлическом прессе получают выигрыш в силе во столько раз, во сколько раз площадь большого плунжера превышает площадь меньшего, и во сколько раз проигрывают в пути.

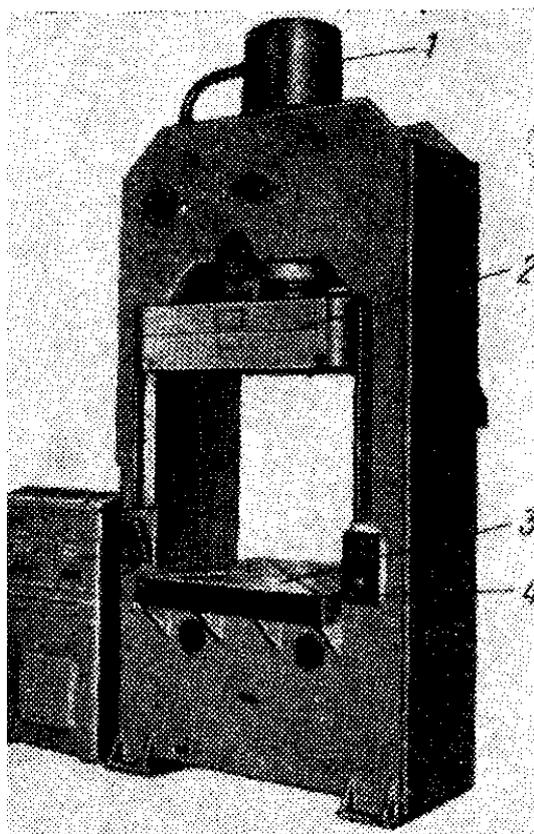
Листоштамповочный гидравлический пресс (рисунок 10) предназначен для выполнения различных операций холодной штамповки: гибки, вытяжки, отбортовки и т. п. Станина двухстоечного типа состоит из стола 1, двух стоек 2 и верхней поперечины 3, стянутых четырьмя стяжными болтами. Привод пресса – индивидуальный, от ротационно-плунжерного насоса производительностью 200 л/мин, приводимого электродвигателем мощностью 75 кВт. Ползун 4 пресса приводится тремя гидроцилиндрами, установленными на верхней поперечине. Ход ползуна 750 мм. В столе пресса установлен гидравлический выталкиватель.

В гидравлическом прессе усилием 2000 кН, схема которого показана на рисунке 10, силовая гидроустановка смонтирована в нижней части пресса. Главный цилиндр 9 жестко закреплен в станине 8 пресса. Ход ползуна 7 с помощью регулировочного устройства 10 может быть установлен в пределах от 30 до 200 мм. Пресс, предназначенный для холодной объемной штамповки, оснащен выталкивателем 6, ход которого от 5 до 60 мм.

Основной особенностью конструкции пресса является устройство для обеспечения качательных движений верхней половины 5 штампа. Электропривод 4 обеспечивает различные виды движений (качаний) верхней

половины 5 штампа, закрепленной в чашечной опоре 3. Деформируемую заготовку 2, установленную в нижней половине 1 штампа, как правило, предварительно фосфатируют и обмывают или покрывают дисульфидом молибдена.

В гидравлическом прессе рабочая жидкость (масло) подается в рабочий цилиндр 1. Под давлением масла перемещается плунжер 2, соединенный с подвижной траверсой 9, которая передвигается в направляющих колоннах 3, опирающихся на станину 7. Возвратно-поступательное движение плунжер получает от двух насосов: поршневого 4 высокого давления и шестеренного 5 низкого давления. Оба насоса работают от одного электродвигателя 6. Во время работы пресса плунжер с траверсой нажимает на заготовку, установленную на столе 8. В столе и в траверсе имеются пазы для крепления штампов, а в столе, кроме того, есть отверстие для выталкивания заготовок. Цилиндр устройства, выталкивающего обработанные заготовки, расположен в нижней части станины. В прессах усилием 2000 кН силовая гидроустановка смонтирована в нижней части пресса. Главный цилиндр жестко закреплен в станине пресса. Ход ползуна с помощью регулировочного устройства может быть установлен в пределах от 30 до 200 мм. Пресс, предназначенный для листовой и холодной объемной штамповки, оснащен выталкивателем, ход которого от 5 до 60 мм.



1—цилиндр; 2—верхняя плита; 3— стол; 4 — кнопки управления

Рисунок 11 - Гидравлический пресс усилием 2500 МН с индивидуальным насосом для штамповки небольших листовых деталей

Листоштамповочный гидравлический пресс предназначен для выполнения различных операций холодной штамповки: гибки, вытяжки, отбортовки и т. п. Станина двухстоечного типа состоит из стола 3, двух стоек и верхней поперечины, стянутых четырьмя стяжными болтами. Привод пресса – индивидуальный, от ротационно-плунжерного насоса производительностью 200 л/мин, приводимого электродвигателем мощностью 75 кВт. Ползун (верхняя плита) 4 пресса приводится гидроцилиндром 1, установленным на верхней поперечине. Ход ползуна до 750 мм. В столе пресса установлен гидравлический выталкиватель.

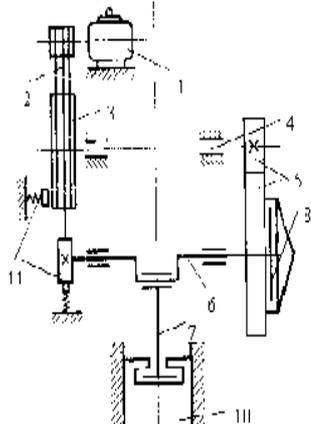
В машиностроении для листовой штамповки более широкое применение находят механические прессы.

### 2.1.2 Кривошипные штамповочные прессы

В крупносерийном и массовом производстве все большее предпочтение отдается штамповке на кривошипных штамповочных прессах, как наиболее прогрессивному способу получения заготовок или деталей. Поэтому современные штамповочные цехи машиностроительных заводов оснащены главным образом кривошипными прессами /13/. Применение этих прессов дает следующие преимущества: меньшие фундаменты; более высокий эксплуатационный коэффициент полезного действия; большую (от 30 до 50 %) производительность и точность штамповки (до 0,2 мм); допустима более низкая квалификация штамповщика; большие возможности механизации и автоматизации штамповочных работ и улучшение условий труда рабочих.

Кривошипные прессы выпускают усилием от 6,3 до 100 МН.

Кинематическая схема и общий вид кривошипного пресса показаны на рисунках 12, 13.



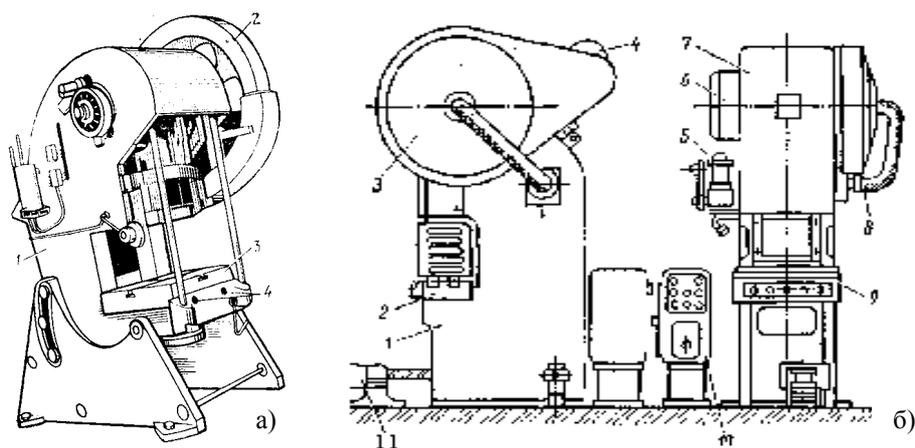
- 1 – электродвигатель; 2 - клиноременная передача; 3 – маховик; 4 – промежуточный вал; 5 – малая и большая шестерни; 6 – кривошипный вал; 7 – шатун; 8 – муфта; 9 – клин стола; 10 – ползун; 11 – тормоз кривошипа и маховика

Рисунок 12 - Кинематическая схема кривошипного пресса усилием 16 МН

От электродвигателя 1 посредством клиноременной передачи 2 вращается маховик 3 и промежуточный вал 4. Посредством малой и большой шестерен 5 и муфты 8 с вала 4 вращение передается на кривошипный вал 6, а посредством шатуна 7 ползун 10 совершает возвратно-поступательное движение. Верхняя (подвижная) часть штампа прикрепляется к ползуну 10, а нижняя (неподвижная) часть штампа – к столу 9 (на схеме не показаны).

Ползун пресса 10 имеет специальное устройство для регулировки расстояния между частями штампа в крайнем нижнем его положении (закрытой высоты). В ползуне и в столе пресса помещаются выталкиватели, приводящиеся в действие от кривошипного вала и служащие для удаления детали из штампа. Включение и выключение кривошипно-шатунного механизма осуществляется пневматической многодисковой фрикционной муфтой 8, а остановка – при помощи тормозов 11.

Кривошипные прессы, как и любая машина, состоят из ряда узлов, каждый из которых состоит из отдельных деталей. Они имеют массивную сварную или литую станину, так как усилие штамповки передается на нее и для предотвращения деформаций станины она должна быть и массивной и прочной.



а) - с наклоняемой станиной 1, маховиком 2, столом 3, кнопками управления 4 и жесткой муфтой; б) - с не наклоняемой станиной и пневматической муфтой 1 - станина; 2 - стол; 3 - маховик; 4 - электродвигатель; 5 - насос смазки; 6 - аппарат управления; 7 - ползун; 8 - воздухопровод; 9 - пульт с кнопками включения; 10 - шкаф; 11 - педаль управления

Рисунок 13 - Вид кривошипного пресса номинальным усилием 160 кН марки КД2122Е

Возвратно-поступательное движение ползуну сообщает кривошипно-коленный механизм, состоящий из кривошипно-шатунного и коленно-рычажного механизма и позволяющий при относительно малом крутящем моменте на валу привода получать значительное усилие в конце рабочего хода ползуна. Коленно-рычажный механизм размещается внутри ползуна.

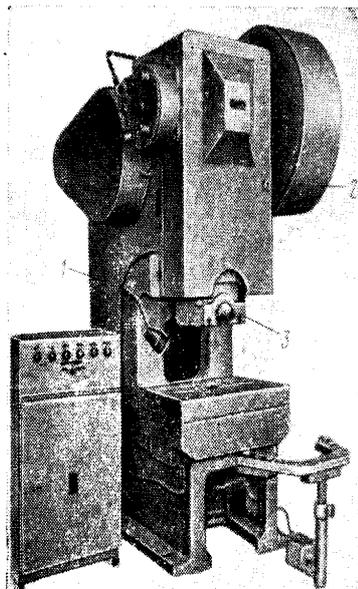
Характерным для кривошипных прессов является то, что движение ползуна подчинено определенному закону – каждому углу поворота кривошипного вала

соответствует вполне определенной скорости и положению ползуна по высоте. Следовательно, ползун пресса имеет постоянную величину хода и определенное нижнее и верхнее положение. Это обеспечивает более точные размеры изделия по высоте, чем при штамповке на гидравлическом прессе, но в тоже время штамповку в каждом ручье производят только за один ход ползуна пресса. Прессы характеризуются следующими показателями:

- величиной их номинального усилия в МН; величиной рабочего хода в миллиметрах (мм);
- числом двойных ходов в минуту;
- величиной рабочего усилия второго и третьего ползуна (для прессов двойного и тройного действия);
- размерами стола;
- формой и размерами отверстий в столе и ползуне;
- закрытой и открытой высотой;
- расстоянием между стойками;
- наличием или отсутствием выталкивателей и средств автоматизации;
- габаритными размерами;
- электрической мощностью;
- массой и др.

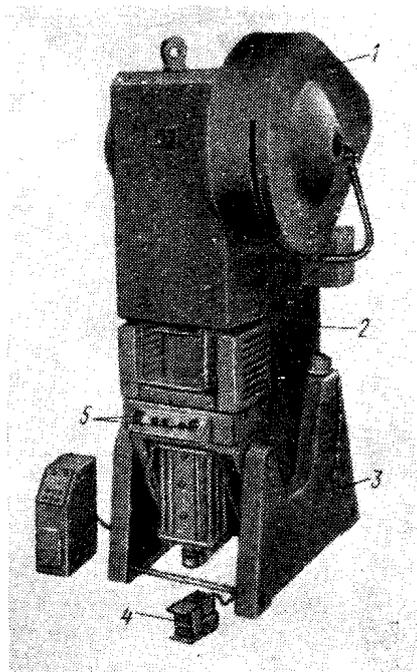
Данными техническими характеристиками руководствуются при выборе пресса, при решении вопросов о рациональности его использования, при проектировании технологии штамповки и штампов, их вносят в паспорт пресса.

Управление прессом кнопочное и педальное. По форме станины пресса подразделяются на открытые одностоечные (рисунок 14), открытые двухстоечные с ненаклоняемой станиной (рисунок 15), с С образной наклоняемой станиной на специальных подставках (рисунок 16) и закрытые двухстоечные (рисунок 14).



1—станина; 2 —маховик (закрит кожухом); 3 — ползун

Рисунок 14 - Двухстоечный одно- кривошипный пресс простого действия  
К2130 усилием-1000 МН

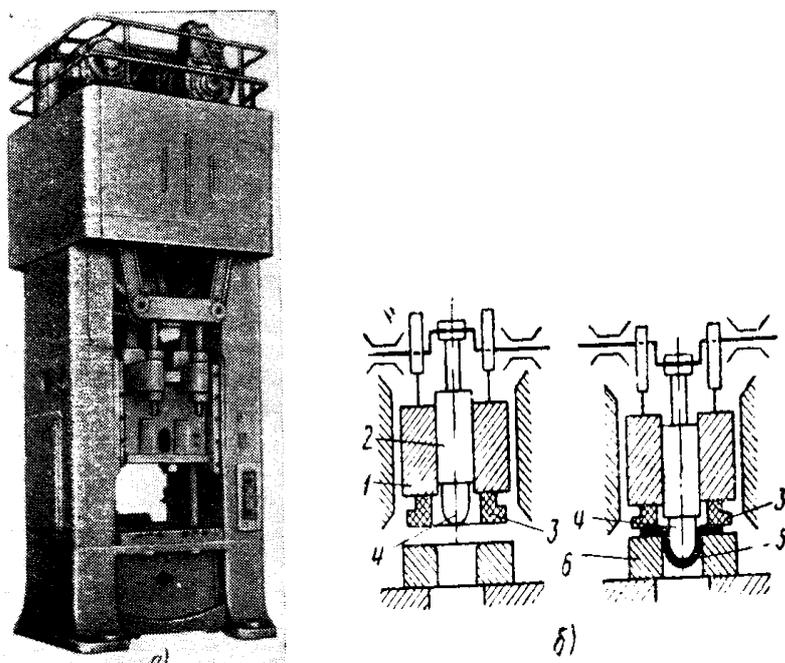


1—маховик (закрит кожухом), 2—станина; 3—подставка,  
4—педаля управления, 5- кнопки двуручного управления

Рисунок 15 - Двухстоечный наклоняемый пресс простого действия КД2324  
усилием 250 МН

Механический пресс может осуществлять одиночные ходы, толчковые, применяющиеся при наладке штампов, и непрерывные, необходимые при автоматизации процесса штамповки. Число непрерывных ходов, совершаемое ползуном в минуту, зависит от усилия пресса и колеблется от 90 до 140, уменьшаясь с возрастанием усилия пресса. В шатун снизу ввернут регулировочный винт, шаровая головка которого находится между опорой (подпятником) и вкладышем. Опорой подпятника служит предохранительная шайба, рассчитанная на разрушение при перегрузке пресса.

Кривошипные прессы двойного и тройного действия предназначаются для глубокой вытяжки сложных деталей. Пресс двойного действия (рисунок 16) имеет два ползуна, из которых внутренний перемещается внутри внешнего. Наружный ползун прижимает заготовку и приводится в действие от кривошипного вала с помощью кулачкового или рычажно-кулачкового механизма. Внутренним ползуном осуществляет вытяжку. Он приводится в действие непосредственно кривошипным валом. Конструкция пресса такова, что наружный ползун в нижней мертвой точке останавливается и задерживается до тех пор, пока не будет осуществлена вытяжка.



*a* — общий вид, *б* — схема положения ползунов до начала  
и в конце штамповки;  
1,2 — наружный и внутренний ползуны, 3 — прижим.  
4 — пуансон, 5 — деталь, 6 — матрица

Рисунок 16 - Одно-кривошипный закрытый пресс двойного действия  
К-471Б усилием 1000 МН

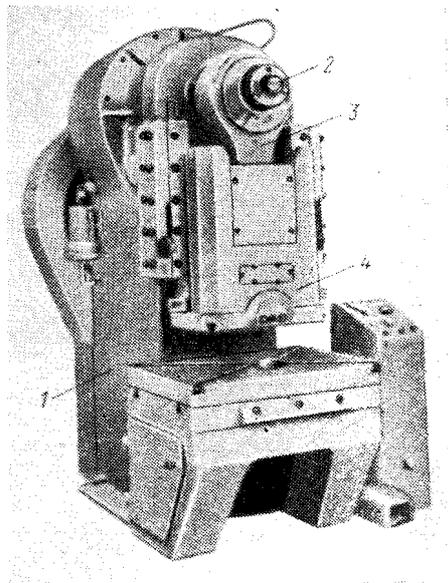
Прессы тройного действия обычно имеют три ползуна: два верхних (наружный и внутренний) и один нижний, располагающийся внутри стола. Кроме того, такие прессы могут иметь два верхних ползуна и подвижный стол. Верхние ползуны работают так же, как и у прессов двойного действия. Нижний ползун перемещается в направлении, противоположном направлению движения верхних ползунов, и осуществляет дополнительную вытяжку или формовку. У прессов с открытой станиной доступ в штамповое пространство открыт с трех сторон.

### 2.1.3 Эксцентриковые прессы

Для листовой штамповки находят широкое применение механические прессы меньшего усилия и другой, нежели у КГШП, конструкции.

Эксцентриковый пресс показан на рисунке 17.

В эксцентриковом прессе станина выполнена из чугуна и имеет жесткую коробчатую форму. В верхней части станины выполнены отверстия, в которых помещены буксы с запрессованными в них бронзовыми втулками, служащими опорами (подшипниками) эксцентрикового вала /13/.



1 - станина; 2 – кривошипный вал и эксцентриковая втулка;  
3 - шатун; 4 – ползун

Рисунок 17 - Вид механического эксцентрикового пресса  
с номинальным усилием 160 кН марки КД2122Е

К основным узлам пресса относится станина 1, кривошипный вал 2, шатун 3, ползун 4, маховик, закрытый кожухом, муфта сцепления, тормоз и др.

На станине 1 укрепляются узлы и детали пресса. Спереди на специально обработанных поверхностях станины крепятся призматические направляющие, по ним перемещается ползун, являющийся рабочим органом, к которому крепится верхняя часть штампа. Ползун 7 соединен с эксцентриковым валом с помощью разъемного шатуна. В пазу ползуна имеется планка выталкивателя. Крышка шатуна крепится шпильками.

Привод эксцентрикового вала пресса осуществляется от электродвигателя через клиноременную передачу и маховик, смонтированный на правом конце вала. В маховик вмонтированы муфта-тормоз, являющиеся важным элементом пресса, обеспечивающим синхронность перемещения и остановку ползуна пресса строго в верхней мертвой точке. Нижний предел регулирования штампового пространства ограничивается фиксатором.

Меняя радиальное положение эксцентриковой втулки на валу, можно менять длину хода соединенного с шатуном ползуна в пределах от 5 до 55 мм. При регулировании эксцентриковая втулка выводится из зубчатого зацепления вращением гайки (при этом во избежание смещения шатуна между ним и буксой станины вкладывается деревянная опора). Вращая эксцентриковую втулку, устанавливают необходимую длину хода ползуна.

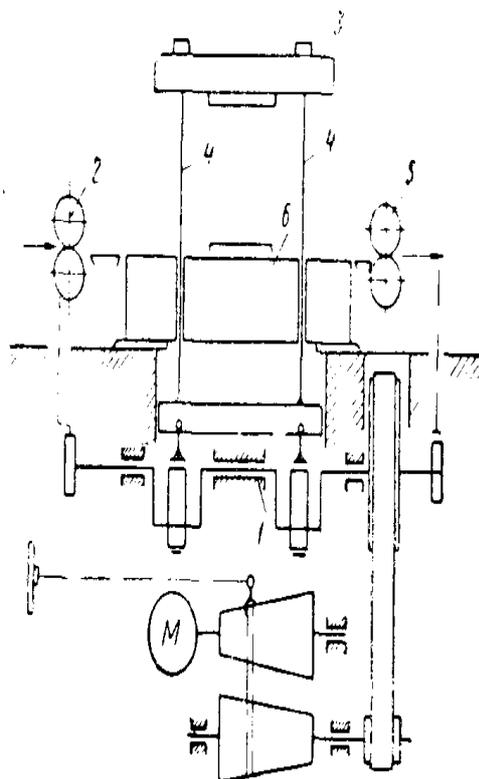
При штамповке сложных деталей увеличивают количество ручьев для обеспечения постепенного приближения формы заготовки к форме детали, что осуществляют на многопереходных пресс-автоматах.

## 2.1.4 Пресс-автоматы

В массовом производстве экономически целесообразно применять пресс-автоматы. В листоштамповочном производстве – это главным образом многопозиционные прессы и прессы с нижним приводом. Для холодной объемной штамповки – это автоматы для изготовления различных крепежных деталей: болтов, гаек, заклепок, винтов, гвоздей, а также для производства шариков, роликов, колец, поршневых пальцев и других деталей /2/.

Листоштамповочные многопозиционные пресс-автоматы предназначены для последовательной штамповки изделий из ленты, полосы или штучных заготовок с автоматическим переносом заготовок по позициям. На этих прессах за один ход ползуна одновременно производится вырубка, вытяжка, пробивка отверстий, обрезка и др.

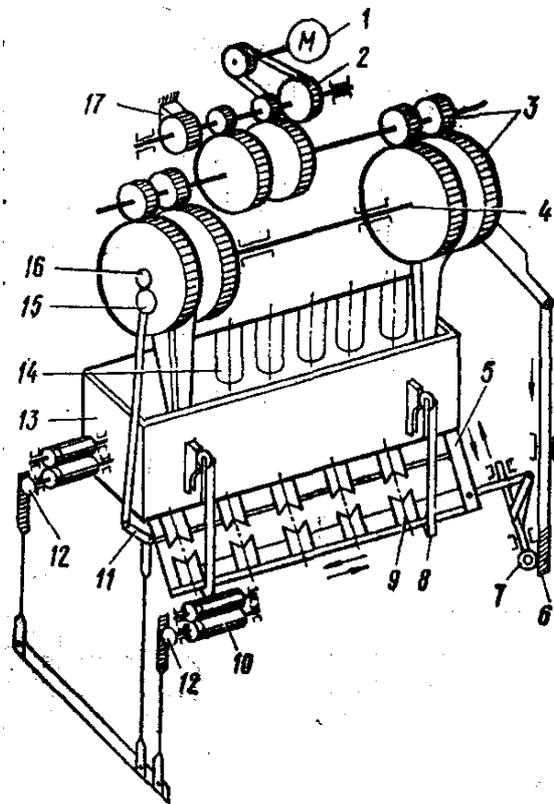
Формообразование заготовки осуществляется в последовательно установленных простых штампах. Для выталкивания полуфабрикатов из штампов в ползуне и столе прессы устанавливают необходимое число выталкивателей. На рисунках 18 и 19 показана кинематическая схема многопозиционного прессы – автомата.



- 1 – кривошипный механизм; 2 – толкающая и 5 - тянущая валковая подача;  
3 – верхняя траверса; 4 – цилиндрические колонны; 6 – стол прессы

Рисунок 18 - Схема многопозиционного кривошипного пресс-автомата для листовой штамповки с нижним приводом

Для изготовления различных небольших деталей электроаппаратуры, железа статоров и роторов, сердечников и т. п. находят широкое применение листоштамповочные пресс-автоматы с нижним приводом. Кривошипно-шатунный механизм такого пресса, расположенный ниже уровня стола, приводится от электродвигателя постоянного тока с регулируемой без ступеней частотой вращения. От эксцентрикового вала пресса движение передается на поперечины: нижнюю, расположенную под столом пресса, и верхнюю, расположенную над столом пресса. Поперечины связаны между собой четырьмя цилиндрическими колонками. Пресс оснащен двусторонней валковой подачей. В верхней поперечине-ползуне размещены устройства для регулирования штампового пространства и подъема верхних валков механизма подачи, а также пружинные выталкиватели. Прессы с нижним приводом выпускают усилием от 250 до 1600 кН, числом ходов до 1000 в минуту (у прессов с малыми усилиями) и ходом от 8 до 75 мм.



- 1 — электродвигатель; 2 — муфта, 3, 16 — зубчатые передачи;  
 4 — двухколенчатый вал; 6, 11 — тяги; 7 — реечно-рычажный механизм;  
 8 — рычажно-клиновое соединение; 9 — захваты (грейферные линейки);  
 10 — валковая подача; 12 — реечно-храповой механизм; 13 — ползун;  
 14 — патрон, 15 — кривошип; 17 — тормоз

Рисунок 19 - Кинематическая схема многопозиционного пресс-автомата с верхним приводом и грейферной подачей

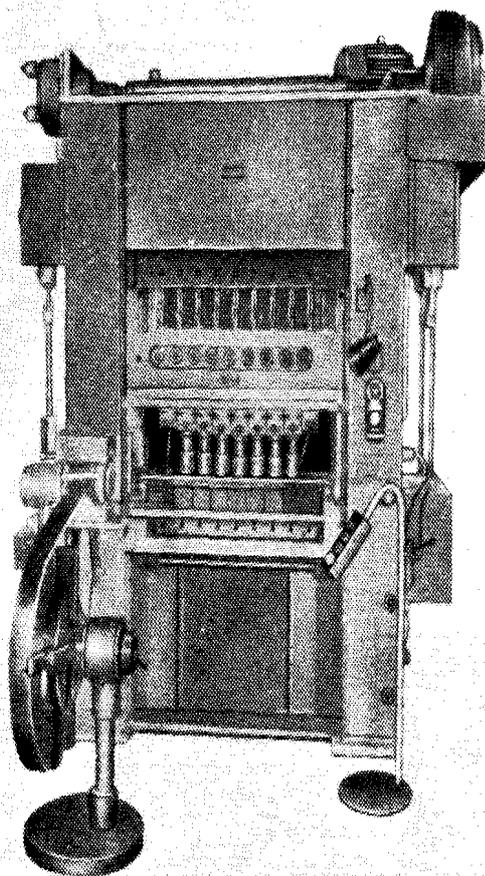
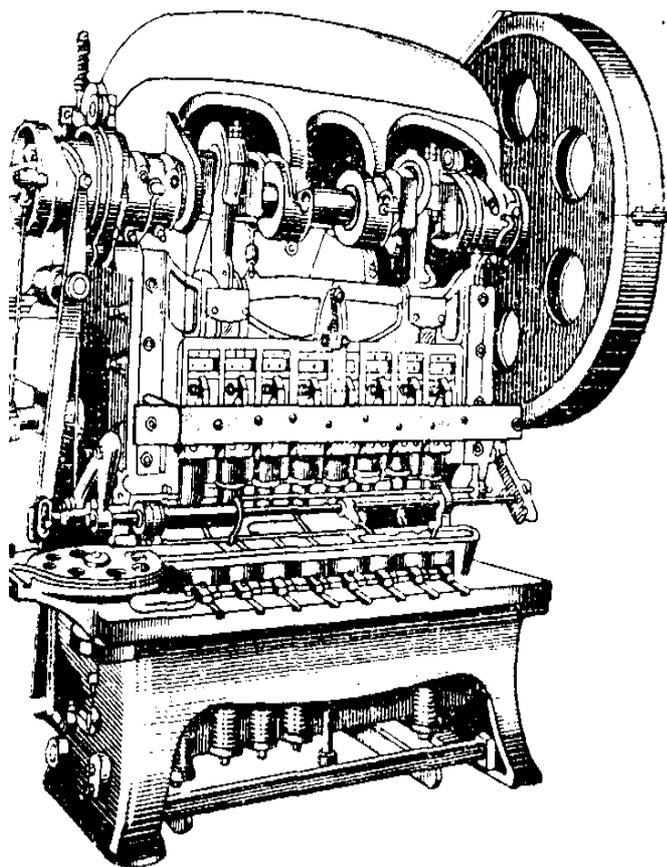
Пресс-автомат работает следующим образом. Движение от электродвигателя 1 посредством клиноременной передачи передается на промежуточный вал, на котором установлены муфта 2 и тормоз 17. С промежуточного вала вращение с помощью зубчатых передач 3 передается на двухколенчатый вал 4, а с него посредством двух шатунов преобразуется в возвратно – поступательное движение ползуна 13.

Ленточный материал к первой позиции штамповки подается валковой подачей 10, приводимой от коленчатого вала зубчатой передачей 16, кривошипом 15, тягой 11 и реечно-храповым механизмом 12.

Полуфабрикаты от позиции к позиции штамповки перемещаются грейферной подачей с линейками 5 и захватами 9. Перемещение грейферных линеек осуществляется посредством тяги 6 и реечно-рычажного механизма 7. При рабочем ходе пресса рычажно-клиновое соединение 8 заставляет грейферные захваты 9 раскрываться.

Верхние части штампа закрепляются в патронах 14, которые могут регулироваться по высоте.

Пресс-автоматы бывают с открытым и закрытым приводом (рисунок 20).



а - с открытым приводом; б - с закрытым приводом

Рисунок 20 - Многопозиционные кривошипные пресс-автоматы для листовой штамповки

На многопозиционных прессах штампуют цоколи электрических ламп, сепараторы шариковых подшипников, небольшие детали автомобилей и т. д.

Кроме грейферных передающих устройств в многопозиционных пресс-автоматах применяют и иные подачи (валковые, клещевые и др.). Высокая производительность многопозиционных пресс-автоматов (до нескольких тысяч деталей в час) позволяет заменить несколько простых прессов.

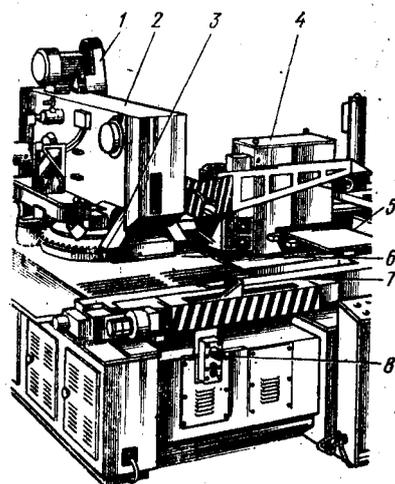
При штамповке из рулона предусмотрены разматывающие и наматывающие устройства. Отходы ленты могут разрезаться. Для этой цели предусмотрены ножницы, приводимые от валковой подачи.

Пресс-автоматы имеют разматывающее устройство. Отходы ленты либо разрезаются специальными ножницами, либо сматываются (наматывающим устройством) в бунт.

В последние годы увеличился выпуск холодноштамповочного оборудования (гидравлических листогибочных прессов, трубогибочных машин и особенно дыропробивных механических прессов) с числовым программным управлением (ЧПУ).

#### 2.1.4.1 Дыропробивные прессы

Дыропробивные прессы с ЧПУ применяют для пробивки отверстий в панелях, используемых для монтажа электро- и радиоаппаратуры. На столе пресса смонтирована каретка, с помощью которой перемещается заготовка. Пуансоны и матрицы закреплены соответственно в верхнем и нижнем дисках револьверной головки (число позиций головки до 30), приводимой во вращение от индивидуального электродвигателя. Вращение револьверной головки и перемещение заготовки производятся по заданной программе.



1 — привод, 2 — тумба станицы, 3 — револьверная головка, 4—система программного управления, 5 — основание станицы, 6—координатный стол, 7—винтовой механизм, 8 — пульт управления

Рисунок 21 - Дыропробивной пресс с программным управлением

## 2.1.5 Система смазывания прессов

Смазывать пресс нужно так, чтобы с боков трущихся поверхностей выступал смазочный материал, что свидетельствует о достаточном его количестве в данном узле. Периодичность смазывания и виды применяемых смазочных материалов указывают в специальной карте. Приступая к работе, следует проверить, имеется ли в насосе смазочный материал и смазаны ли трущиеся части пресса. Во время работы следует периодически подкачивать смазочный материал насосом.

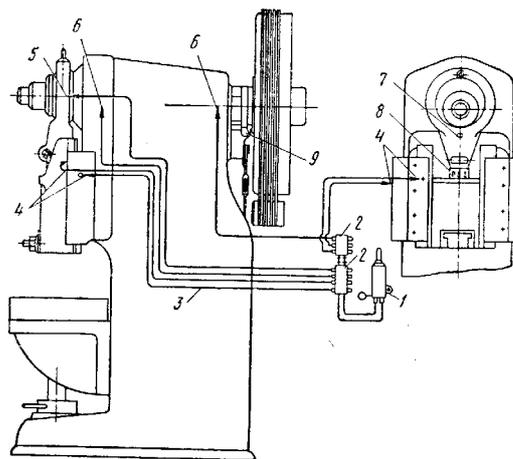
Поскольку подобрать определенный один состав смазки, отвечающий всем требованиям, очень трудно, существует большой ассортимент смазочных материалов для оборудования. Условно их подразделяют на три группы (твердые, пластичные (мазеобразные) и жидкие) /15/.

1. К твердым смазочным покрытиям относят животные жиры и воск, в чистом виде их применяют редко, но они входят компонентами, в состав мазеобразных и жидких смазочных материалов.

2. Пластичные смазочные материалы представляют собой густую смесь из парафина, мазута, нигрола, озокерита, церезина, минеральных масел и других веществ. Для повышения разделительной способности в них добавляют алюминиевую пудру и графит.

3. В состав жидких смазочных материалов входит разбавитель, способствующий получению жидкой консистенции и отводу теплоты от трущихся узлов. Жидкие смазочные материалы готовят на нефтяной или водной основе с добавкой мелкодисперсных наполнителей или присадок. В состав смазочных материалов на водной основе входят минеральные масла, жиры и эмульгаторы /16/.

Средние и мощные механические прессы новых моделей оснащают системами смазывания жидким смазочным материалом.



- 1 – насос для густой смазки с ручным приводом; 2 – питатель (распределитель);  
3 – магистрали подачи смазочного материала; 4 – направляющие ползуна;  
5 – головка шатуна; 6 – коренные подшипники; 7 – винт шатуна; 8 – шаровая опора винта; 9 – механизм включения

Рисунок 22 - Схема смазки эксцентрикового пресса

## **2.1.6 Система управление механическими прессами**

Управление механическим прессом осуществляется с помощью кнопок включения, расположенных на станине или на отдельной переносной стойке, или посредством электропедали. Современные прессы имеют электрические органы управления, действующие на золотник, открывающий или закрывающий доступ воздуха в систему пневмофрикционной муфты или тормоза.

Прессы, управляемые педалью или кнопками, оснащают блокирующим переключателем, обеспечивающим управление прессом с помощью одной из названных систем. Педаль включения обязательно должна иметь щиток, предохраняющий от случайных включений. Для безопасной работы на прессе применяют двухкнопочное (двурукое) включение. Причем кнопки располагают на таком расстоянии, чтобы их нельзя было включить одной рукой.

## **2.2 Оборудование для разрезания листового материала**

В штамповочных цехах разрезание листового материала осуществляется на ножницах (с параллельными и наклонными ножами), дисковыми ножницами с одной или несколькими парами цилиндрических или дисковых ножей. Для фасонного разрезания в мелкосерийном производстве применяют дисковые ножницы с С-образной станиной. Также используют вибрационные ножницы с числом ходов ползуна от 2000 до 25000 в минуту. Разрезание полос (листов) на штучные заготовки осуществляют в отрезных штампах на прессах.

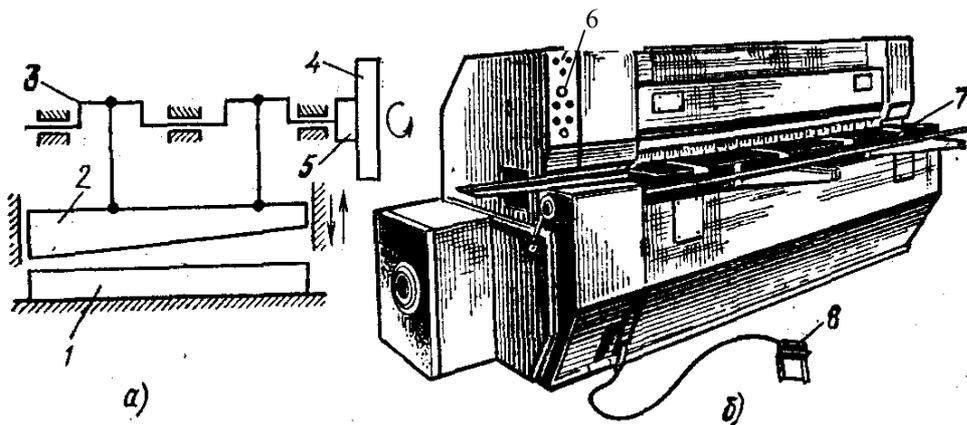
### **2.2.1 Ножницы с параллельными или наклонными ножами**

Ножницы с параллельными ножами используют для разрезания тонких металлических листов с повышенными требованиями к точности и качеству поверхности среза, а также неметаллических материалов. При работе на таких ножницах лист разрезают сразу по всей его ширине.

Более широкое применение находят кривошипные ножницы с наклонным ножом, которые служат для холодного разрезания листа толщиной от 0,5 до 30 мм и более при длине реза до нескольких метров (рисунок 23). На таких ножницах лист разрезают не по всей его ширине одновременно, а только на отдельном участке. Это в несколько раз уменьшает усилие по сравнению с усилием, необходимым для разрезания того же материала на ножницах с параллельными ножами.

Для получения необходимой формы и размеров полос и заготовок применяют передние, задние, боковые упоры и упоры-угольники.

Для устранения прогиба длинных заготовок при разрезании применяют поддерживающие устройства. Ножи для ножниц изготавливают цельными или составными. Цельные ножи изготавливают из стали У8А, У10А, Х12, Х12Ф и др. а у составных режущую вставку делают из сталей 6ХС или Х12Ф1, а остальную часть — из стали 45 или 50.



а) – кинематическая схема; б) – общий вид

1 - нижний неподвижный и 2 - верхний подвижный нож;  
 3 - двухкривошипный вал; 4 – маховик; 5 – муфта; 6 – пульт  
 управления; 7 – стол; 8 – педаль

Рисунок 23 - Листовые (гильотинные) кривошипные ножницы  
 с наклонным ножом

Режущие вставки крепят к корпусу ножа винтами или заклепками.

В зависимости от вида разрезаемого материала и особенно его твердости применяют определенную заточку ножей и устанавливают угол наклона ножа в ножницах (в пределах от 2 до 6°).

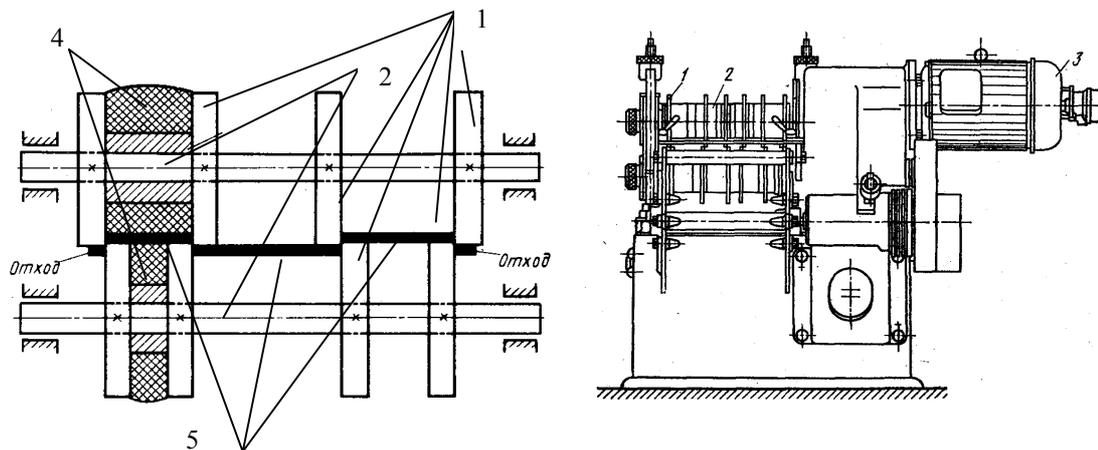
Двухкривошипный вал 3 листовых ножниц с маховиком 4 вращается электродвигателем при помощи клиноременной и зубчатой передач. Разрезаемый лист кладут на стол 7, к которому он прижимается прижимом, и разрезают ножами — верхним подвижным 2 и нижним неподвижным 1. Прижим приводится в действие рычажно-кулачковым устройством. Кривошипный механизм ножниц включается муфтой 5. Управляют ножницами с пульта 6 или педалью 8.

### 2.2.2 Дисковые ножницы

Для разрезания широкой рулонной ленты на узкие части применяют дисковые ножницы (рисунок 24) с одной или несколькими парами цилиндрических дисковых ножей.

Ножи сами втягивают разрезаемую ленту. Последняя разматывается с одной катушки, и после разрезания наматывается на несколько других, число которых соответствует числу получаемых лент.

На двухдисковых ножницах при помощи специальных приспособлений и инструмента можно выполнять гибку и отбортовку листов, а на высечных ножницах — отбортовку и рифление



1 - цилиндрические дисковые ножи; 2 – параллельные валы; 3 – электродвигатель; 4 – эластичные тянущие валки; 5 – разрезанные полосы

Рисунок 24 - Схема отрезки и общий вид многодисковых ножниц с цилиндрическими ножами

Цилиндрические дисковые ножи 1 устанавливают на параллельных валах 2. Эти валы вращаются электродвигателем 3 с помощью клиноременной и зубчатой передач.

### 2.2.3 Высечные ножницы

Для прямого и фасонного разрезания листа в единичном производстве применяют дисковые и высечные ножницы.

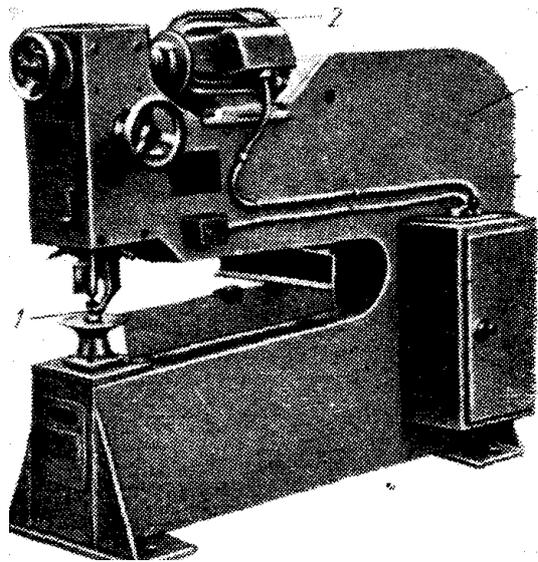
Такие ножницы имеют С-образную станину, в которой установлены режущие устройства /17/.

У дисковых ножниц используют конические ножи, вращаемые электродвигателем с помощью клиноременной и зубчатой передач, у высечных — наклонные линейные ножи, один из которых неподвижен, а другой совершает возвратно-поступательное движение и приводится в действие эксцентриковым механизмом. В однодисковых ножницах второй нож делают в виде неподвижной полосы.

Парнодисковые ножницы оснащают ножами трех типов:

- с параллельным расположением осей;
- с одним наклонным ножом;
- с двумя наклонными ножами.

Такие ножницы применяют для разрезания листов толщиной до 30 мм со скоростью до 20 м/мин. Ножницы с наклонным расположением верхнего и нижнего ножей применяют для резки криволинейных заготовок с малым радиусом.



1- режущее устройство (линейные ножи); 2 – электродвигатель; 3 – станина

Рисунок 25 - Общий вид высечных ножниц Н-535

Работа на парнодисковых ножницах ведется по разметке вручную или с применением различных приспособлений.

Многодисковые ножницы применяют в массовом производстве главным образом для разрезания тонколистового материала. Эти ножницы при продольном разрезании обеспечивают более высокую производительность по сравнению с кривошипными ножницами.

Расстояние между ножами устанавливают при помощи мерных колец. Ножи дисковых ножниц изготавливают из тех же материалов, что и ножи кривошипных листовых ножниц.

Вибрационные ножницы с числом ходов от 2000 до 25000 в минуту и амплитудой колебания ножа до 3 мм применяют для разрезания криволинейных заготовок по разметке или шаблонам с малым радиусом (до 15 мм) при толщине материала до 10 мм.

Разрезание полос на штучные заготовки осуществляют в отрезных штампах на прессах.

Способ получения заготовок из труб или проволоки зависит от профиля исходного материала и требований к качеству среза заготовок. Трубу или проволоку можно разрезать как на специальных ножницах, так и в штампах (на прессах и пресс-автоматах) путем сдвига с дифференцированным зажимом и кручением. Заготовки из труб и прутков разрезают также на дисковых пилах и на токарных станках.

При разрезании во втулочных штампах роль матрицы и пуансона выполняют две втулки, выполненные по профилю трубы или прутка. Регулируя зазор между ножами-втулками, обеспечивают перпендикулярность торца заготовки или прутка, его оси.

Разрезание трубного или пруткового материала сдвигом с дифференцированным зажимом по обе стороны от плоскости реза обеспечивает

более высокое качество получаемых заготовок. Усилие зажима прутка и отрезаемой заготовки меняется пропорционально усилию разрезания, что предотвращает искажение профиля заготовки.

Разрезание кручением заключается в проворачивании одной части трубы или прутка относительно другой, зажатой с постоянным усилием и предварительной наметкой места реза.

Разрезание заготовок на дисковой пиле или на токарном одношпиндельном или многошпиндельном станке не экономично (себестоимость по сравнению с разрезанием в штампе повышается в 6 раз). Более экономичным и эффективным является применение токарных станков-автоматов, обеспечивающих более высокое качество реза по сравнению со скоростными пилами. При массовом производстве деталей экономически целесообразно получать заготовки на холодновысадочных однопозиционных автоматах /18/. Кроме разрезания на этих машинах можно осуществлять калибровку заготовок с образованием фасок. Производительность этих пресс-автоматов достигает нескольких тысяч заготовок в час.

### 2.3 Лазерная резка

Благодаря высокой концентрации мощности в световом луче, а также целому ряду его специфических свойств, в последние годы он широко и эффективно используется в различных областях науки и техники.

Мощные лазеры применяются в технологических процессах обработки различных материалов. С их помощью производится сварка, закалка, резка и сверление различных материалов без возникновения в них механических напряжений и с очень большой точностью. Лазерами обрабатываются материалы практически любой твердости: металлы, рубины, алмазы и т. д.

В большинстве технологических процессов обработки материалов используется термическое действие света, вызываемое его поглощением в обрабатываемом материале. Для увеличения плотности потока излучения и локализации зоны обработки применяются различные оптические системы.

Особенностями лазерной технологии является высокая плотность потока излучения в зоне обработки; короткое время импульса; локальность воздействия излучения; малая зона термического влияния; бесконтактный ввод энергии в зону обработки и возможность ведения технологического процесса в любой прозрачной среде (вакуум, газ, жидкость, твердое тело), через прозрачные окна технологических камер, оболочки электровакуумных приборов и т. д. /19/.

Кроме лазерных сварки, сверления и резки металлов ОКГ могут применяться для резки хрупких материалов (стекло, керамика) методом управляемого термического раскалывания. При локальном нагреве материала по траектории движения луча создаются термические напряжения, превышающие предел прочности материала. Возникающая трещина развивается вслед за лучом; скорость резки таким способом достигает нескольких метров в минуту.

Термическое действие лазерного излучения может быть применено для закалки и поверхностного упрочнения («залечивание» микродефектов **оплавлением**) быстроизнашивающихся металлических деталей, для создания электронно-дырочных переходов в производстве полупроводниковых приборов, для интенсификации процессов локального окисления и восстановления, для получения пленок путем испарения материалов в вакууме и т. д. С помощью лазерного излучения можно направлять строго дозированное количество энергии в точно установленное место, где находятся вступающие в реакцию вещества. Таким способом в настоящее время осуществляется технология изготовления микроминиатюрной радиоаппаратуры, интегральных схем полупроводниковых приборов и др.

### 2.3.1 Типы и области применения оптических квантовых генераторов (ОКГ)

Существующие лазеры по роду материалов, используемых для получения индуцированного излучения можно разделить на 4 основных типа: **твердотельные** с оптическим возбуждением, полупроводниковые (**инжекционные**), жидкостные и газовые.

1) *Лазеры твердотельные с оптическим возбуждением (накачкой).*

В этом типе лазеров излучателем—активным элементом является твердое тело. В **твердотельных** ОКГ основная масса диэлектрика (матрица) непосредственного участия в процессе генерации индуцированного излучения не принимает. Стимулированное излучение и генерация связаны с происходящими в матрице переходами атомов активатора, содержащегося в ней в количестве от 0,01 до 10%.

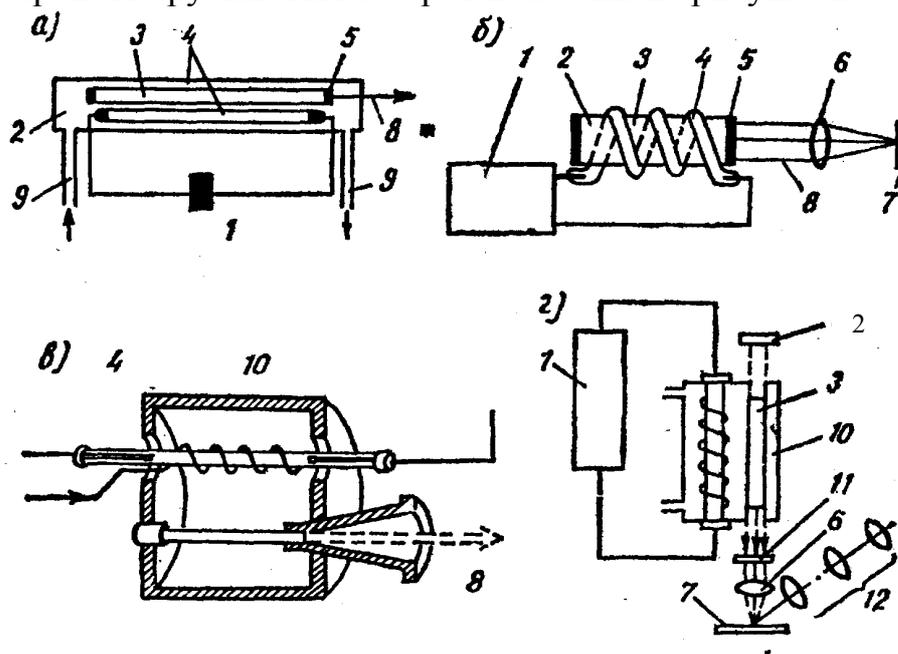
Материалом матрицы служат кристаллы щелочноземельных фторидов, **вольфраматов** или **молибдатов**, синтетического рубина, **иттриево-алюминиевые** гранаты, стекла различных составов. Активирующими примесями являются различные редкоземельные элементы, хром и уран.

Основными элементами большинства **твердотельных лазеров**, используемых для технологических целей, являются импульсная лампа с отражательной камерой, активный элемент с оптической системой, источник питания с индуктивностью для увеличения длительности импульсов и устройство для запуска лампы. Отражательная камера представляет собой охлаждаемую полость с зеркальными стенками, внутри которой размещаются активный элемент и импульсная лампа.

К стержню оптического квантового генератора предъявляются определенные требования в отношении точности его изготовления. В частности отклонение направления оптической оси не должно превышать  $10''$ , отклонение формы торцов стержня не более  $0,1\lambda$  ( $\lambda$ —длина волны излучения), не параллельность торцов в пределах  $2''$ , отклонение длины стержня  $\pm 0,13$  мм, диаметра—  $\pm 0,025$  мм и т. д.

Активный элемент (стержень) помещается между двумя зеркалами, строго параллельными торцам **стержня**, либо непосредственно на торцы

стержня наносится многослойное диэлектрическое или серебряное покрытие. Схемы устройства рубиновых лазеров показаны на рисунке 26.



а) - с прямой и б) – спиральной импульсной лампой;  
в) – с отражательной камерой; г) – с выносными зеркалами

1—батарея конденсаторов; 2—непрозрачное зеркало; 3 - рубиновый стержень; 4—импульсная лампа; 5, 11—полупрозрачное зеркало; 6—линза; 7-нагреваемый объект; 8- луч; 9 -охлаждение; 10 - отражатель; 12 - устройство для наблюдения

**Рисунок 26** - Схемы устройства твердотельных лазеров

Рубиновый стержень 3 помещается внутри спиральной импульсной лампы 4, которая питается от батареи конденсаторов 7. Стержень фиксируется внутри стеклянной трубки 10, через которую непрерывно прокачивается охлаждающая среда 9. Возникающий в результате возбуждения рубина световой луч 8 выходит наружу через торец стержня с меньшим коэффициентом отражения.

На рисунке 26 в показана конструкция лазера с отражательной камерой 10. Рубиновый стержень 3 располагается внутри электрического отражателя 10, имеющего зеркальную внутреннюю поверхность. Во второй фокальной плоскости отражателя параллельно стержню расположена **ксеноновая** импульсная лампа карандашного типа 4, питаемая от батареи конденсаторов через дроссель. Вывод энергии из излучающего стержня лазера производится через отражающие поверхности 11 с частичным пропусканием (выносное зеркало или полупрозрачный торец), а также с помощью разделительной пластинки (рисунок 26 г).

Концентрация излучения на поверхности обрабатываемой детали фокусируется с помощью сферической или цилиндрической оптики. В первом случае луч фокусируется в точку, во втором — в линию, длина которой определяется поперечным сечением луча генератора.

Длительность импульса твердотельных ОКГ определяется индуктивностью, включаемой в цепь конденсаторной батареи и обычно колеблется в пределах от 0,1 до 10 *мс*. Энергия создаваемых конденсаторной батареей разрядных импульсов составляет до 10000 *Дж*. Частота повторения импульсов зависит от условий охлаждения и характеристик импульсной лампы. В современных ОКГ она доходит до 10 импульсов в секунду (10 Гц). Энергия излучения, генерируемого твердотельными ОКГ, изменяется в пределах от сотых долей до сотен джоулей. Коэффициент полезного действия твердотельных лазеров относительно невысок, поскольку значительная часть подводимой к лампе накачки энергии превращается в тепло. В современных установках для технологических целей *к. п. д.* составляет до 2 %.

2) Среди твердотельных лазеров в отдельную группу выделяют *полупроводниковые лазеры, (инжекционные)*, которые отличаются от рубинового лазера тем, что в качестве излучающего свет вещества в них используется полупроводник. Конструктивно такой лазер очень прост — к противоположным поверхностям полупроводника припаиваются два электрода. При подключении полупроводника к источнику питания по нему проходит прямой ток. Инверсия *населенностей* возникает при *инъекции* носителей тока (электронов и дырок) в тонкую переходную область между полупроводниками с электронной и дырочной проводимостью (*p — n* переход). При этом возбуждаются атомы полупроводника. Переход атомов из возбужденного состояния в основное сопровождается испусканием кванта света или других видов электромагнитного излучения.

В качестве полупроводников для лазеров используются такие материалы как *GaAs, CdS, InAs, InS* и др. Лазеры на таких полупроводниках позволяют почти полностью перекрыть видимый и инфракрасный диапазон. В полупроводниках удастся получить очень большие коэффициенты усиления порядка  $10^3$ , поэтому размеры полупроводникового лазера могут быть очень малыми ( $\sim 10^{-4}$  м).

Полупроводниковые (инжекционные) лазеры характеризуются очень высоким преобразованием электрической энергии в когерентное излучение (почти до 100 %) и могут работать в непрерывном режиме. В полупроводниковых ОКГ, работающих при температуре жидкого азота, достигается мощность порядка 5 *Вт*, а жидкого гелия до 10 *Вт*.

Недостатком полупроводниковых лазеров является связанная с их малыми размерами невысокая направленность излучения, а также трудность получения высокой монохроматичности.

Наиболее эффективно применение полупроводниковых лазеров в случаях, когда требования к когерентности и направленности не очень жестки, но необходимы малые габариты и высокий *к. п. д.*

3) Значительный интерес представляют *лазеры с жидкими активными средами*. Их основное преимущество — циркуляция жидкости с целью охлаждения, что позволяет получать большие энергии и мощности излучения в импульсном и непрерывном режимах. Созданы лазеры на основе растворов редкоземельных ионов в ряде неорганических жидкостей, а также лазеры

непрерывного и импульсного действия, у которых в качестве активной среды используются растворы органических красителей.

4) Наиболее многочисленно семейство *газовых лазеров*.

Их принципиальное устройство гораздо проще рассмотренных выше лазеров (рисунок 27).

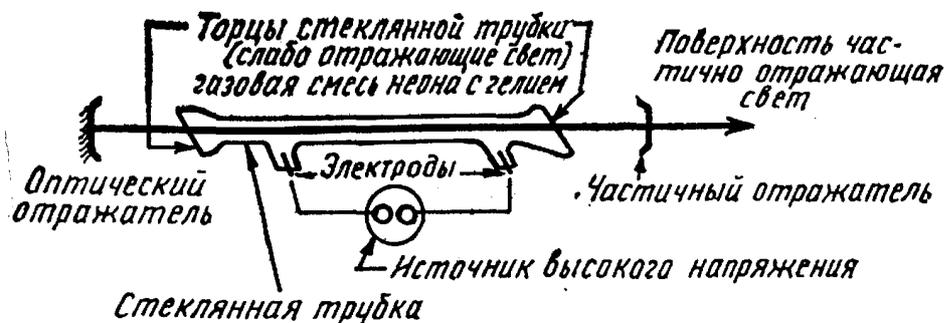


Рисунок 27 - Схема устройства газового лазера.

Стеклянная трубка наполняется специальной газовой смесью. В ее торцы впаивают два электрода и к ним подводят напряжение от источника питания. В трубке возбуждается газовый разряд. Для газовых лазеров подбираются специальные активные смеси, атомы или молекулы которые могут некоторое время находиться в **метастабильном** состоянии. По сравнению с твердыми телами и жидкостями газы обладают меньшей плотностью и более высокой однородностью, что практически не вызывает искажения светового луча, его рассеяния и потерь энергии. В результате направленность лазерного излучения в газах резко увеличивается, достигая предела, обусловленного дифракцией.

Одной из особенностей газа (смеси газов) является многообразие процессов, приводящих к его возбуждению и созданию в нем инверсии населенностей. В значительном большинстве инверсия **неселенностей** в газовых лазерах создается за счет электрического разряда. Образующиеся в разряде электроны при столкновении с частицами газа возбуждают их и переводят на более высокие уровни энергии. Если время жизни частиц на верхнем уровне энергии больше, чем на нижнем, то в газе создается устойчивая инверсия **населенностей**. **Метод** возбуждения частиц электронным ударом может быть успешно применен для импульсных газовых лазеров, а также для лазеров, работающих в непрерывном режиме.

Создание активной среды в газовых лазерах может проходить и в два этапа: сначала электроны возбуждают частицы вспомогательного газа, которые в процессе неупругих соударений с частицами рабочего газа передают им свою энергию, в результате чего создается инверсия **неселенности** верхнего лазерного уровня.

По такой схеме осуществляется инверсия населенности в **гелиево-неоновом** лазере, в котором рабочим веществом служат нейтральные атомы неона ( $Ne$ ), а вспомогательным — атомы гелия ( $He$ ). В электрическом разряде часть атомов неона переходит с основного уровня  $E_1$  на возбужденный верхний

уровень  $E_3$ . Но в чистом неоне время жизни на уровне  $E_3$  очень мало, атомы быстро переходят с уровня  $E_3$  на уровни  $E_1$  и  $E_2$  что препятствует созданию достаточно высокой инверсии населенностей для уровней  $E_2$  и  $E_3$ . Добавка гелия существенно меняет картину. Первый возбужденный уровень гелия совпадает с верхним уровнем  $E_3$  неона. Поэтому при столкновениях возбужденных атомов гелия с невозбужденными атомами неона происходит передача энергии. В результате этой передачи атомы неона возбуждаются, а атомы гелия возвращаются в основное состояние. Среди газовых лазеров в видимом диапазоне частот наиболее мощным являются аргоновый. Он позволяет получать в непрерывном режиме на ряде линий синей и зеленой областей спектра мощность до сотен ватт. Работает аргоновый ОКГ на высоковозбужденных уровнях однократно ионизированного аргона.

В газоразрядных **углекислотных** лазерах инверсия населенностей достигается за счет возбуждения молекул электронным ударом и резонансной передачей возбуждения. Для передачи энергии возбуждения в них служат молекулы азота, которые в свою очередь возбуждаются электронным ударом. В условиях тлеющего разряда обычно 90% молекул азота переходят в возбужденное состояние, время жизни которого велико. Молекулярный азот хорошо накапливает энергию возбуждения и в процессе неупругих столкновений легко передает ее молекулам  $\text{CO}_2$ . Высокая инверсия населенностей достигается добавлением в рабочую смесь гелия, который облегчает условия возникновения разряда и, в силу своей высокой теплопроводности, охлаждает разряд, а также способствует опустошению нижних лазерных уровней молекулы  $\text{CO}_2$ .

$\text{CO}_2$ -лазеры обладают высокой мощностью и высоким  $k. n. d.$  (40% от теоретического).

Характерной особенностью газодинамических лазеров является возможность создания быстрых потоков газовых масс. Принцип его работы основан на мгновенном расширении высокотемпературного сверхзвукового потока газа. При внезапном снижении температуры, которое происходит при расширении, молекулы возбуждаются (газодинамическое возбуждение). При газодинамическом возбуждении тепловая энергия непосредственно преобразуется в энергию электромагнитного излучения. Мощность излучения газодинамических лазеров в непрерывном режиме достигает 100 кВт.

Источником энергии для питания лазерных установок обычно являются системы накопления высокой энергии.

Источником возбуждения в **твердотельных** ОКГ служит импульсная **ксеноновая** лампа. Энергия для вспышки запасается в конденсаторной батарее. Наилучшая форма импульса на лампе — прямоугольная.

Выходная энергия источника на **импульсообразующую** секцию, запасаемой во всех секциях линии будет определяться уравнением

$$E_a = n E_a = \frac{U_c^2 \cdot C_a}{2} \cdot n,$$

где  $E$  — выходная энергия источника на импульсообразующую секцию, Дж;

$C_{\Sigma}$  — емкость на секцию, мкФ;

$U_c$  — зарядное напряжение (входное), кВ;

$n$  — число секций.

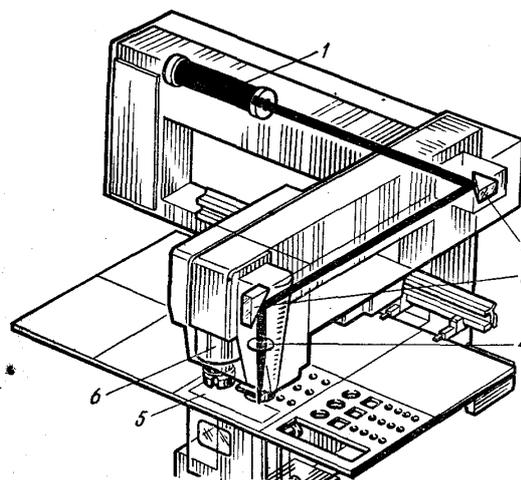
Отсюда суммарная емкость линии

$$C_{\Sigma} = C_{\Sigma} \cdot n = \frac{E}{U_c^2}$$

Светолучевая обработка является разновидностью электрофизической обработки материалов.

В последние годы в условиях единичного и мелкосерийного производства для разрезания листового материала и пробивки небольших отверстий начали применять лазерные установки.

Схема пресса, оснащенного лазерной установкой, показана на рисунке 28



1 — резонатор; 2, 3 — зеркала; 4 — фокусирующая линза;  
5 — поверхности листа; 6 — штамповочная головка

Рисунок 28 - Схема пресса с установкой для лазерной резки

Лазерный луч образуется в резонаторе 1 при возбуждении электрическим разрядом лазерного газа  $CO_2$ . За пределами резонатора лазерный луч поворачивается с помощью зеркал 2 и 3 и фокусируется линзой 4 на поверхности листа 5. Сфокусированный лазерный луч расплавляет металл, который выдувается из линии реза и отсасывается вниз. Лазерная головка жестко закреплена в станине пресса, стол которого вместе с закрепленной на нем заготовкой может перемещаться автоматически по заранее записанной программе. Кроме лазерной установки пресс оснащен штамповочной головкой 6, в которую из магазина пресса автоматически устанавливаются сменные пакеты. Благодаря этому можно штамповать различные листовые детали достаточно сложной формы.

## 3 Технологические процессы

### 3.1 Разработка технологического процесса листовой штамповки

Разработка технологического процесса холодной штамповки включает в себя: анализ технологичности детали (исследование формы, соотношения размеров, объема выпуска, штампуемости материала); разработку формы и размеров заготовки; выбор методов подготовки материала под штамповку, режимов термической обработки, определение операций и переходов штамповки; конструирование штампов и выбор типа оборудования, средств механизации и автоматизации /1/.

Технолог, разрабатывая технологический процесс холодной штамповки детали, анализирует возможные варианты изготовления. Выбирают обычно тот вариант, который обеспечивает получение изделий с наименьшими затратами. Следует, конечно, учитывать возможности данного производства и имеющееся оборудование.

Данные для проектирования штампуемой детали определяют из чертежа изделия. При составлении технологии конструкцию детали иногда изменяют с целью снизить трудоемкость изготовления, уменьшить расход материала, увеличить стойкость штампов. При разработке конструкции детали определяют возможность ее изготовления штамповкой. Поэтому наилучшие результаты достигаются при совместной работе конструктора изделия, технолога и конструктора по штампам.

Изменения в конструкции детали часто позволяют применить безотходную штамповку и упростить конструкцию штампа. При применении холодной объемной штамповки вместо обработки резанием необходимо проанализировать форму деталей, так как их конструкция была приспособлена к технологии резания, конструкциям режущего инструмента и возможностям металлорежущих станков. Часто по условиям работы детали не требуются малые радиусы закруглений, канавки и другие особенности конструкции, которые были связаны с технологичностью детали при обработке резанием.

При штамповке плоских деталей применяют отдельный, последовательный, совмещенный или последовательно совмещенный способы штамповки. В первом случае каждая операция (отрезка, вырезка, пробивка) выполняется в отдельном штампе. При последовательной штамповке в одном штампе при перемещении материала осуществляется несколько операций, а при совмещенной штамповке – вырезка по контуру и пробивка производится за один ход пресса в одном штампе без перемещения материала.

Например, при штамповке шайбы возможны следующие варианты:

1) пробивка отверстий и вырезка по контуру на однорядном или многорядном совмещенном штампе;

2) пробивка отверстий и вырезка по контуру (первая операция) на однорядном или последовательном многорядном штампе с последующей правкой (вторая операция) на штампе-автомате или специальном станке.

При штамповке гнутых или полых деталей с отверстиями предусматривают отрезные и формоизменяющие операции (обрезку, пробивку отверстий, зачистку, гибку, вытяжку и др.). Если детали должны быть более точными назначают калибровку.

### 3.1.1 Раскрой листового материала

Основным материалом для листовой штамповки является сталь (холодно- и горячекатаная), которая может быть низкоуглеродистой и легированной.

Раскрой - это отыскание наиболее эффективного размещения заготовок (или плоских деталей) в листе (полосе, ленте) относительно друг друга и кромок листового проката (то есть кромок исходной заготовки). Наряду с этим определением в технической литературе встречается другая не соответствующая стандарту, но традиционная трактовка термина «раскрой», а именно, размещение заготовок с последующей разрезкой (раскроем) листового и сортового проката на полосы, ленты и отдельные заготовки /10/.

### 3.1.2 Оптимизация раскроя с помощью ЭВМ

Раскрой с помощью ЭВМ позволяет за короткий промежуток времени рассмотреть множество вариантов раскроя и выбрать наиболее эффективный из них /20/.

На рисунке 29 приведена структурная схема алгоритма раскроя для круглых заготовок (по схеме рисунка 8).

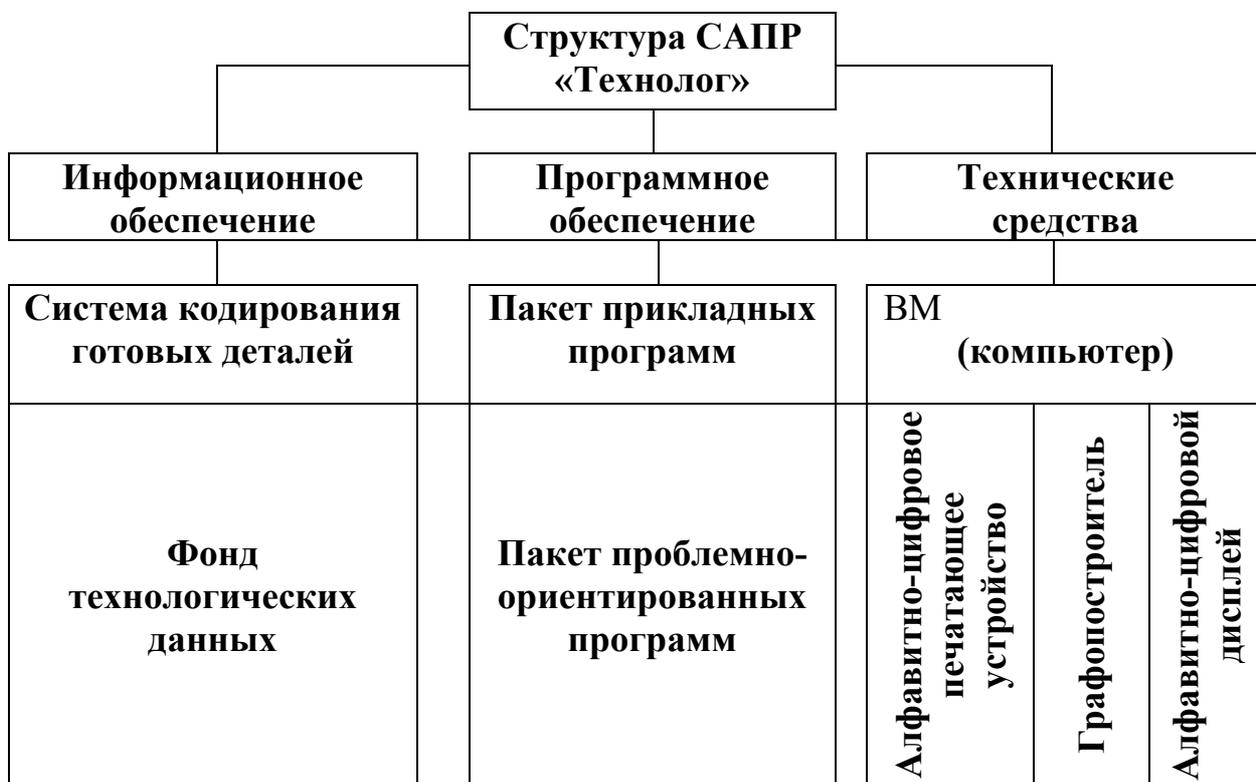


Рисунок 29 - Структура САПР листовой штамповки

На предприятиях используют пакеты различных прикладных программ для проектирования оптимального раскроя листового металла, которые выполняют оптимальный раскрой фигурных заготовок в полосе и раскрой листа на полосы. На рисунке 30 показан алгоритм для расчета наибольшего количества кругов размещающихся в листе размером  $B \times L$  (рисунка 8) /20/ и он включает следующие элементы:

а) определение угла наклона полосы  $\alpha$  по размерам листа  $B$  и  $L$  и диаметру круга  $2R$  из начального треугольника;

б) определяют расстояние  $t$  между центрами кругов одного уровня и число кругов, размещающихся на одном уровне;

в) общее число кругов, размещающихся на листе, при условии касания одного из них кромки листа на каждом уровне.

Расчет параметров раскроя проводится для каждого из введенного в ЭВМ типоразмера листа, и он включает определение наибольшего коэффициента использования металла в зависимости от вида раскроя (параллельный, шахматный), числа рядов изделий в полосе, способа раскроя полосы в листе (вдоль или поперек листа) и размеров листа.

Расчеты показывают, что КИМ существенно зависит от перечисленных факторов и для круглых деталей диаметром 70 мм в полосе с числом рядов от 2 до 4, при продольном и поперечном раскрое полос в листах пяти стандартных размеров (от 500x1000 мм до листа размерами 1000x2000 мм) КИМ изменяется практически в два раза.

Наименьший коэффициент использования металла (КИМ=0,40) получен при четырехрядном параллельном раскрое полосы с продольным расположением ее в листе размером 500x1000 мм, а наибольший КИМ=0,779 получен при трехрядном шахматном раскрое полосы с продольным ее расположении в листе размером 1000x2000 мм. Раскрой круглых заготовок большого диаметра (более 200 мм) связан с неизбежными угловыми отходами, которые увеличиваются с увеличением диаметра круга. В таких случаях обычно применяют однорядный раскрой в предварительно нарезанных полосах поперек листа /10, 21/.

По алгоритму рассчитывают наилучший вариант раскроя и выдают на печать следующие параметры:

- коэффициент использования металла;
- угол наклона полосы;
- наибольшее число кругов, размещающихся на листе при косом раскрое.

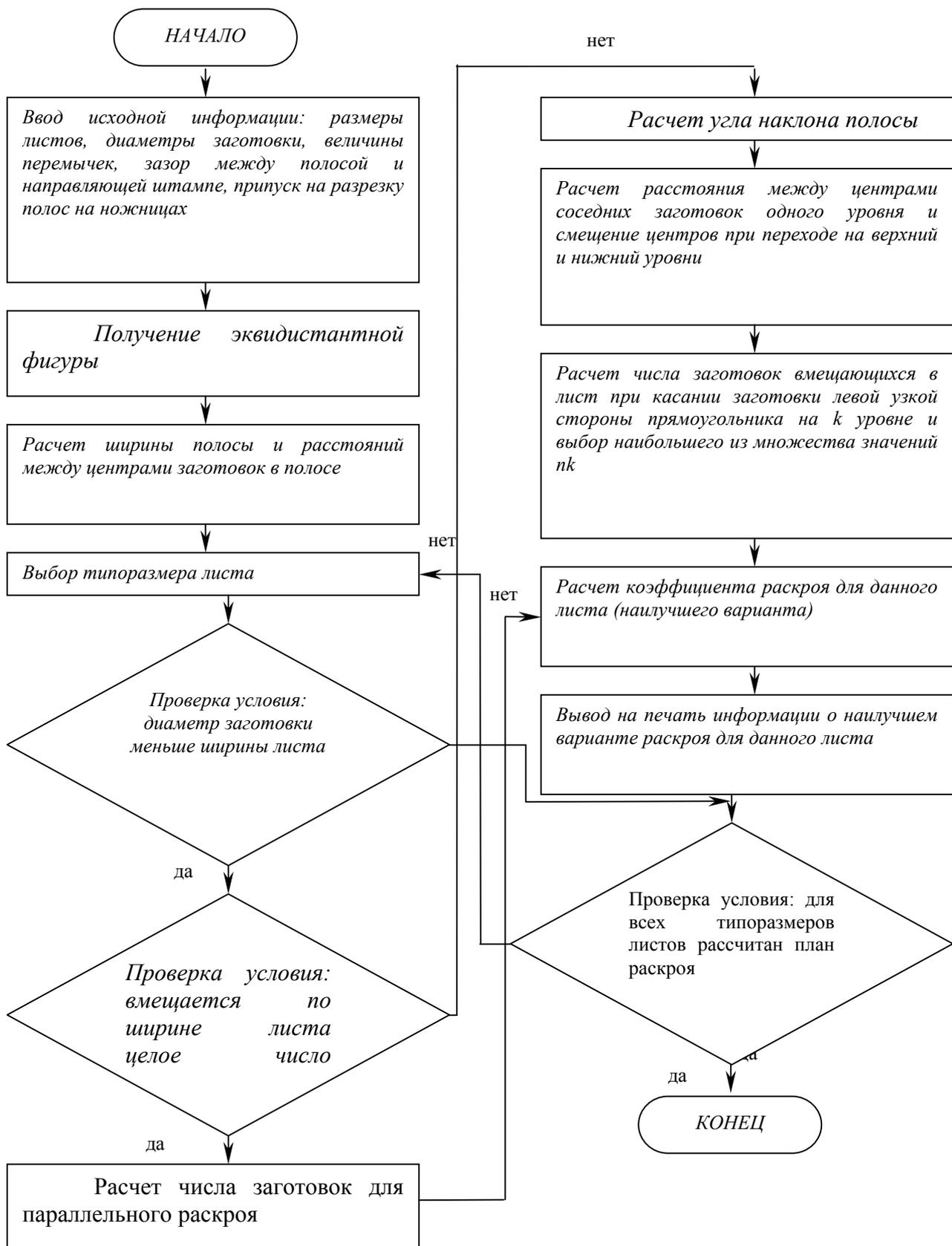


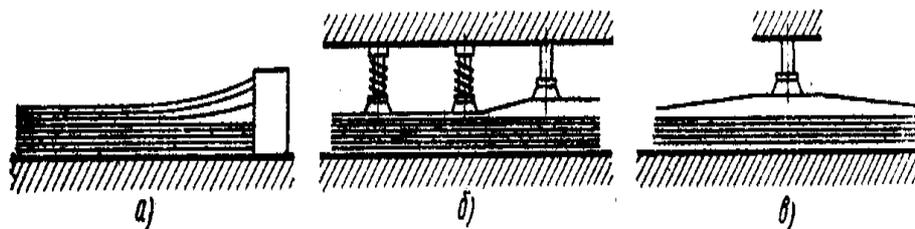
Рисунок 30 – Структурная схема алгоритма нахождения оптимального варианта раскроя

Пакеты программ составлены на базе классификации деталей (заготовок) с учетом следующих данных. Вида исходного материала (лист, полоса, лента) и типа штампа по схеме действия (простого, совмещенного, последовательного действия). По способу подачи материала в штамп (неавтоматизированного, автоматизированного); рядности раскроя (однорядный, двухрядный, n - рядный). По виду раскроя (безотходный, малоотходный, с отходами) и особенностях конструкции штампа (двух пуансонный, одно пуансонный) для штамповки через шаг с последующем поворотом полосы на  $180^{\circ}$ .

Использование программ машинного расчета для оптимизации раскроя листового материала позволяет повысить коэффициент использования материала в среднем до 10 %.

### 3.1.3 Разрезание листов на полосы и карты

Разделительные операции листовой штамповки являются одними из основных и, наряду, с выполнением их в отрезных штампах на прессах в штамповочных цехах разрезание листового материала на полосы или на отдельные заготовки осуществляют на различных ножницах (кривошипных гильотинных и высечных ножницах или многодисковых). В заготовительных отделениях цехов холодной штамповки устанавливают ножницы с параллельными ножами, с наклонными ножами. Для разрезания листы отделяют от стопы одним из указанных ниже способов.



а) - электромагнитным распушителем; б) – подвижными с укороченной присосками; в)- однорядно расположенными присосками

Рисунок 31 - Отделение заготовок от стопы листов

Для отделения одной заготовки из стопы листов (полос), слипающихся из-за наличия слоя смазочного материала, листо- и полосоукладчики оснащают электромагнитными распушителями (рисунок 31 а), которые одноименно намагничивают торцы листов (полос), заставляя их отталкиваться друг от друга, что обеспечивает надежное отделение верхней полосы (листа) от пачки.

Кроме того, верхнюю заготовку отделяют от стопы с помощью подвижных и жестко закрепленной укороченной присосок (рисунок 31 б) (при этом конец полосы или листа приподнимается, исключая возможность

слипания заготовок), а также с помощью однорядно расположенных присосок (рисунок 31 в).

Чтобы предупредить одновременную подачу двух полос (листов) полосои листоукладчики оснащают контролируемыми устройствами, автоматически останавливающими пресс, если одновременно подаются две заготовки.

В практике листовой штамповки наибольшее применение нашла штамповка из полос, на которые предварительно нарезают исходный лист полосы (рисунок 32).

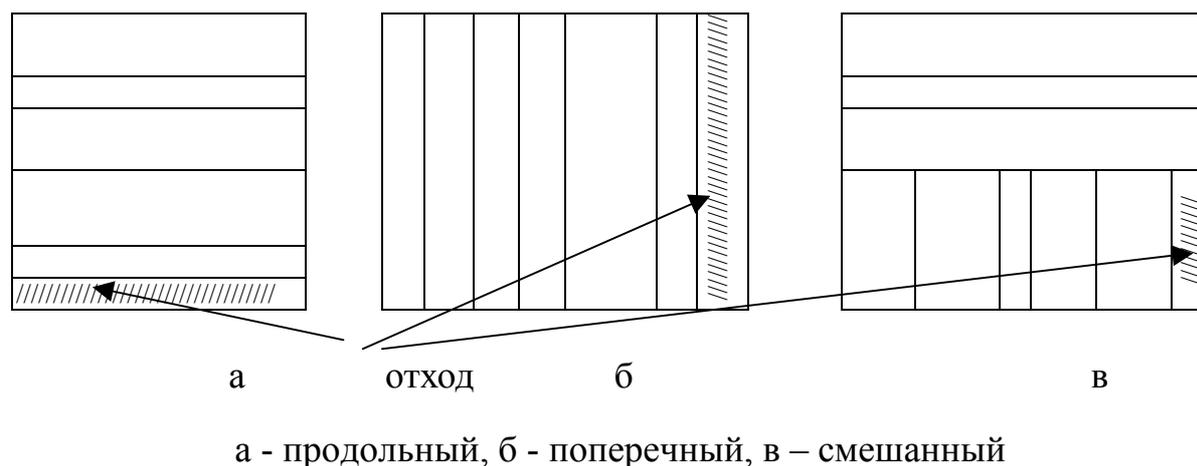


Рисунок 32 – Виды раскроя листа на полосы

Штамповка из полосы наиболее предпочтительная штамповка в плане автоматической подачи заготовки в зону штампа и уменьшения потерь на перемычки, за счет малоотходного раскроя. Коэффициент использования металла при нем выше, чем при штамповке с отходами и составляет до 90%.

При раскрое листа нужно стремиться к получению целого числа полос. Возможны три вида раскроя листа на полосы: продольный, поперечный, смешанный. Предпочтительным является продольный раскрой увеличивающий производительность труда за счет меньшего количества заправок полос в штамп, однако, в каждом конкретном случае, необходимо выбирать наиболее рациональный раскрой листа путем сравнения нескольких вариантов. Для уменьшения отхода по некратности длины полосы применяют поперечный и комбинированный раскрой листа. При раскрое ленты следует предусматривать с краёв припуск 2-3 мм для удаления смятых при транспортировке торцов.

При смешанном раскрое часть полос располагают вдоль листа, а часть поперек (рисунок 32 в). Смешанный раскрой на полосы выполняют методом наилучшего заполнения короткой стороны листа, при котором ширина отхода между участками листа наименьшая. Иногда, при вырубке крупных деталей экономичнее применять косой раскрой листа на полосы или групповой раскрой. В последнем случае лист раскраивают на полосы разной ширины, из которых затем изготавливают различные детали.

### 3.2 Операции листовой штамповки

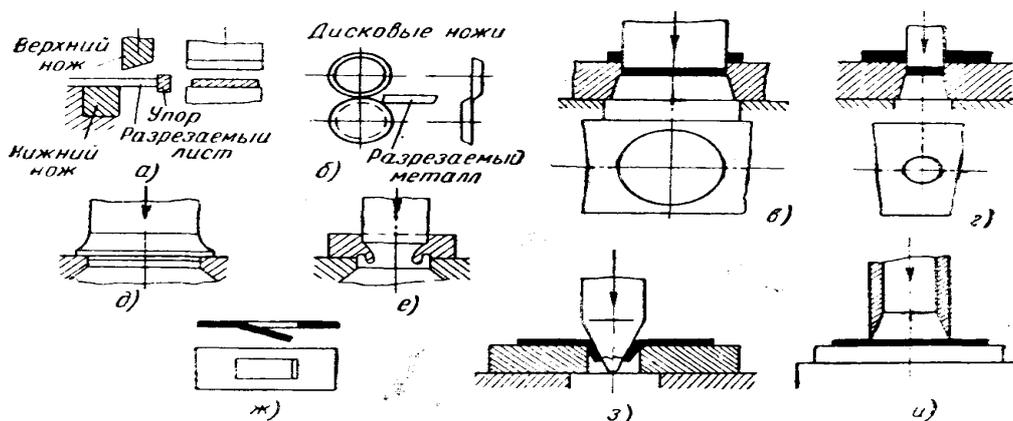
Листовая штамповка – способ изготовления плоских и объемных тонкостенных изделий из листов, полос или лент с помощью штампов, на прессах или без их применения (штамповка без прессов). Листовая штамповка характеризуется высокой производительностью, стабильностью качества и точности изделий, а также большой экономией металла, низкой себестоимостью изготавливаемых изделий и возможностью полной автоматизации. Листовая штамповка бывает тонколистовой холодной (преимущественно) и толстолистовой горячей, причем последняя чаще бывает с локализацией зоны нагрева /11/. Схемы и определения разделительных операций показаны на рисунках 33 и 34 /22/.

Листовая штамповка - это такие операции ОМД, при которых толщина металла практически не изменяется и она позволяет получать из листового материала объемные детали, как правило, не требующие доработки.

Все операции листовой штамповки делятся на две группы: разделительные и формоизменяющие /10/.

#### 3.2.1 Разделительные операции

К разделительным операциям листовой штамповки относят: отрезку, разрезку, обрезку, вырезку, надрезку, вырубку, пробивку, зачистку и калибровку и др. Они показаны на рисунках 33 и 34, но основными разделительными операциями являются операции вырубki и пробивки. При разделительных операциях происходит полное (отрезка, разрезка) или частичное (надрезка, просечка) отделение металла от исходной заготовки. Результатом выполнения этих операций являются получение готовых деталей или заготовок, используемых для последующей обработки.



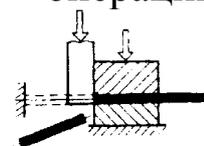
- а) — резка прямолинейными ножами; б) — резка дисковыми ножами; в) — вырубка; г) — пробивка; д) — зачистка внешнего контура; е) — зачистка внутреннего контура; ж) — надрезка; з) — проколка; и) — просечка

Рисунок 33 - Разделительные операции

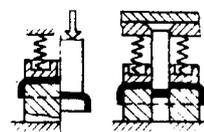
## Термин и его определение

### Схема операции

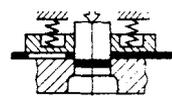
Отрезка — полное отделение части заготовки по незамкнутому контуру путем сдвига



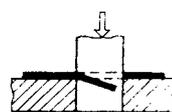
Разрезка — разделение заготовки на части по незамкнутому контуру путем сдвига (с отходом и без отхода)



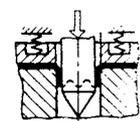
Вырубка — полное отделение заготовки или изделия от исходной заготовки по замкнутому контуру путем сдвига (отделенная часть — изделие)



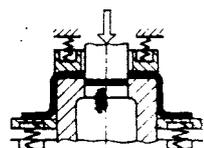
Надрез — неполное отделение части заготовки путем сдвига



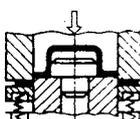
Проколка — образование в заготовке отверстия без удаления металла в отход



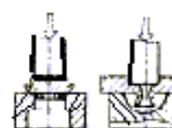
Пробивка — образование отверстия или паза путем сдвига с удалением отделенной части металла в отход



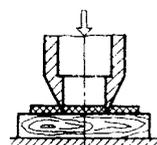
Обрезка — удаление излишков металла (припусков, фланцев) путем сдвига



Зачистка — удаление технологических припусков с помощью штампа с образованием стружки. Обеспечивает повышение точности размеров и уменьшение шероховатости штамповочной заготовки



Высечка — полное отделение заготовки или изделия по замкнутому контуру путем внедрения инструмента в материал исходной заготовки



Просечка в штампе — образование отверстия в заготовке путем внедрения в нее инструмента с удалением части материала в отход

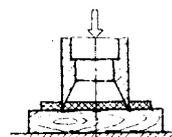


Рисунок 34 - Схемы разделительных операций и их определения

По технологии протекания процесса разделительные операции бывают:

- 1) со значительной шириной отделяемого металла (более двойной толщины) - резка, вырубка, пробивка, вырезка, надрезка и др.;
- 2) с небольшой шириной отделяемого металла (менее 0,5 толщины) - зачистка, калибровка.

Механизмы разделения в этих случаях различны.

Первая группа операций применяется для разделения листов и лент с целью получения деталей или заготовок для последующей штамповки.

При вырубке и пробивке происходит отделение металла по замкнутому контуру и при вырубке отделенная часть - является деталью, при пробивке - отходом.

Вторую группу операций осуществляют с целью отделки - повышения качества деталей и она включает зачистку и калибровку, которые применяются для тех же целей, что и чистовая вырубка и пробивка, т.е. достижения перпендикулярности поверхности среза плоскости листа, низкой шероховатости ( $R_a$  = от 2,5 до 0,32 мкм), точности 8 - 9 качества. Зачистка (калибровка) производится на ранее полученных вырубкой (пробивкой) заготовках, в которых после правки с обрабатываемой поверхности снимают небольшой слой материала - припуск.

Зачистка выполняется по наружному или внутреннему контуру заготовки. Минимальная величина припуска на зачистку равна зазору между пуансоном и матрицей при вырубке или пробивке. Зачистку применяют для деталей с периметром до 300 мм и толщиной до 10 мм. Зачистка выполняется за один проход для деталей толщиной менее 5 мм с плавным очертанием наружного контура. Многократную зачистку применяют для деталей толщиной более 5 мм и для деталей со сложной конфигурацией наружного контура независимо от толщины. Качество зачистки зависит от величины припуска и распределения его по периметру, а при многократной зачистке от распределения по переходам.

Механизм протекания разделительных операций первой группы одинаков. Процесс деформирования как резания протекает в три этапа:

- 1) упругая и начало пластической деформации;
- 2) пластическая деформация, сопровождающаяся врезанием ножей в материал заготовки, которая распространяются на величину до 0,7 толщины металла;
- 3) разделение металла путем скола, происходящее после исчерпания пластической деформации.

Основной инструмент для вырубки и пробивки - штамп, который устанавливается на пресс. Размеры штампа должны вписываться в рабочее пространство прессы - размеры плиты штампа не должны превышать размеры стола прессы, а его высота в раскрытом состоянии должна быть не более закрытой высоты прессы (наименьшего расстояния от ползуна прессы до стола).

Типовая конструкция штампа без прижима для разделительных операций серийного и массового производства деталей изображена на рисунке 76.

### 3.2.1.1 Вырубка - пробивка

При вырубке или пробивке, пуансон вдавливают отделяемую часть материала от всей заготовки в отверстие матрицы

В начальной стадии операций вырубки и пробивки отмечается, обычно нежелательный, но неизбежный для пластичных материалов, процесс пластической деформации заготовки, который является сопутствующим процессом разделительных операций листовой штамповки. Для снижения пластической деформации в разделительных операциях кромки пуансона и матрицы делают острыми с малым зазором между ними. Оптимальная величина зазора между режущими кромками инструмента зависит от толщины заготовки, пластических свойств материала и составляет примерно от 6 до 10 % толщины материала.

### 3.2.1.2 Особенности вырубки и пробивки неметаллических материалов

Основное отличие слоистых и волокнистых пластиков от металлов заключается в том, что они состоят из слоев наполнителя (в виде бумаги, ткани и пр.) и слоев скрепляющей их фенолформальдегидной смолы. Несмотря на то, что прессование гетинакса происходит при удельном усилии от 110 до 160 МПа и температуре до 160 °С, структура его неоднородна, она пронизана микротрещинами, которые при воздействии усилий на заготовку становятся очагами концентрации напряжений в зоне деформации. Для деталей, изготавливаемых из слоистых материалов, эта концентрация напряжений опасна в связи с возможным появлением трещин в процессе штамповки.. Поэтому слоистые и волокнистые пластики, особенно гетинаксы, штампуют при соблюдении ряда условий /9/, к числу которых относятся: малая скорость деформирования (при числе ходов пресса не более 50 в минуту); предварительное сжатие заготовки в штампе между матрицей и съемником силой

$$Q = qLs,$$

где L – периметр контура вырубки, мм;

s – толщина материала, мм ;

q – давление прижима, МПа, (при  $s \leq 1$  мм  $q = 6 \div 10$  МПа, при  $s = 2 \div 3$  мм  $q = 15 \div 20$  МПа);

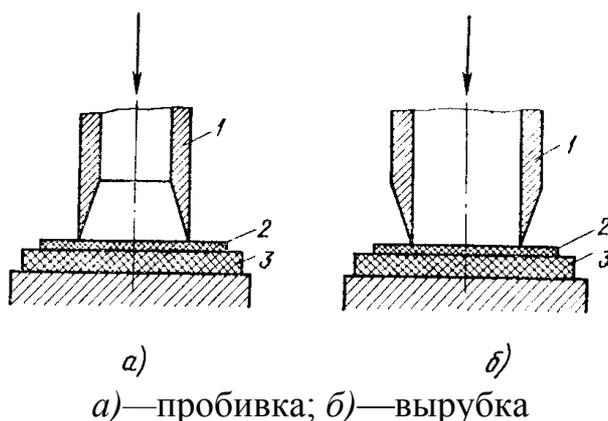
применение предварительной пробивки отверстия, имеющего диаметр меньше номинального с последующей пробивкой в размер; нагрев слоистых пластиков при толщине листа свыше 1,5 – 2 мм до температуры 90 – 120 °С для повышения качества поверхности разделения и уменьшения сопротивления сдвигу.

Нагрев может осуществляться в электропечах и термостатах, инфракрасными лампами, между горячими плитами, в кипящей воде и пр.

Предварительную пробивку отверстий диаметром меньше номинального выполняют ступенчатым пуансоном. Диаметр первой ступени пуансона  $D_в$  составляет 0,7 – 0,8 номинального диаметра отверстия  $D_п$ , высота ступени  $h_в = 0,8 \div 0,9$  – толщины штампуемого листа.

Первая ступень пуансона предварительно пробивает отверстие диаметром  $D_в$ , при этом в результате скола поверхность разделения получается неровной. Вторая ступень пуансона, по существу, зачищает полученную поверхность разделения и одновременно снимает концентрацию напряжений, возникшую при появлении скалывающихся трещин в начальный период пробивки. Применение ступенчатых пуансонов (первая ступень которых носит название "предразрушающих выступов") позволяет улучшать качество кромок отверстий, получаемых пробивкой в хрупких неметаллических материалах.

При штамповке гетинакса и текстолита зазор между пуансоном и матрицей принимается значительно меньшим, чем при штамповке металлов (1,5 – 4 % от толщины материалов), а перемычка между контурами вырубаемых деталей – примерно на 50 % больше, чем при вырубке малоуглеродистой листовой стали. Указанное является следствием уже отмеченных особенностей слоистых пластиков, в частности их хрупкости.



1 — просечной пуансон, 2 — материал, 3 — подкладка

Рисунок 35 - Просечка неметаллических материалов

### 3.2.2 Формоизменяющие операции

К формоизменяющим операциям листовой штамповки относятся: гибка, скручивание, вытяжка, вытяжка с утонением, отбортовка, закатка, раздача, обжим, формовка, правка и др. (рисунок 36,37) /22/.

При формоизменяющих операциях, пластической деформации подвергается обычно только часть заготовки, локальный очаг деформации.

## Термин и его определение

Гибка — образование или изменение углов между частями заготовки или придание ей криволинейной формы

Закатка — образование закругленных бортов на краях полой заготовки

Завивка — образование закруглений на концах плоской заготовки или заготовки из проволоки

Вытяжка — образование полой заготовки или изделия из плоской или полой исходной заготовки

Обтяжка — образование заготовки заданной формы приложением растягивающих усилий к ее краям

Отбортовка — образование борта по внутреннему контуру заготовки

Обжим в штампе — уменьшение размеров поперечного сечения части полой заготовки

Раздача — увеличение размеров поперечного сечения части полой заготовки

Рельефная формовка — образование рельефа в листовой заготовке за счет местных растяжений без обусловленного изменения толщины стенки

Правка давлением — устранение искажений формы заготовки, уменьшение радиусов сопряжений отдельных участков заготовки

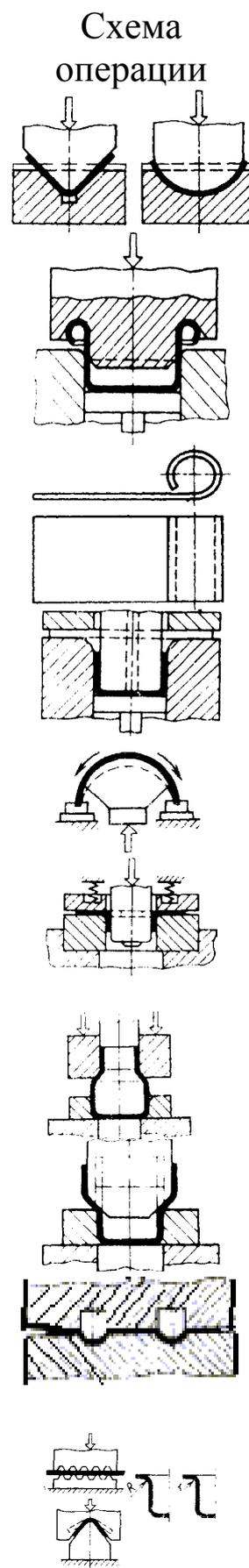
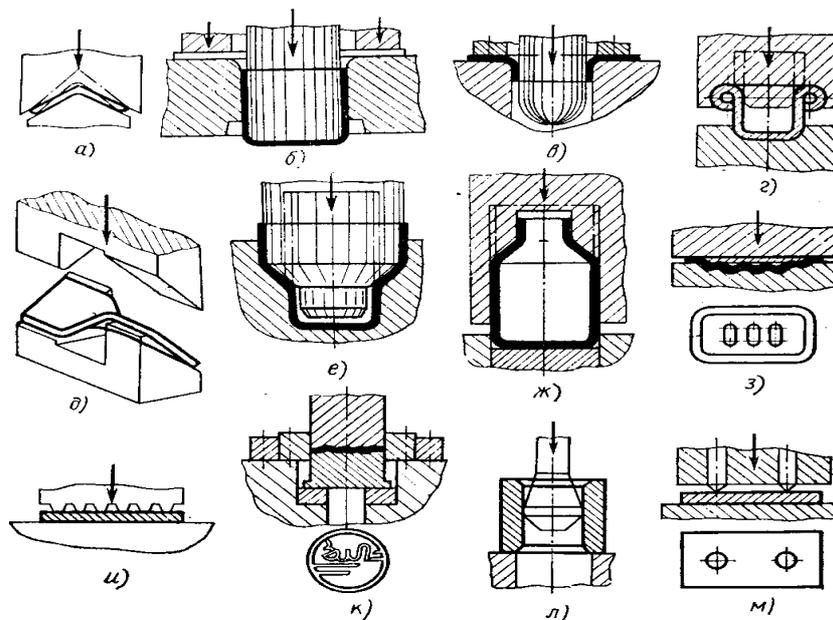


Рисунок 36 - Схемы формоизменяющих операций и их определения



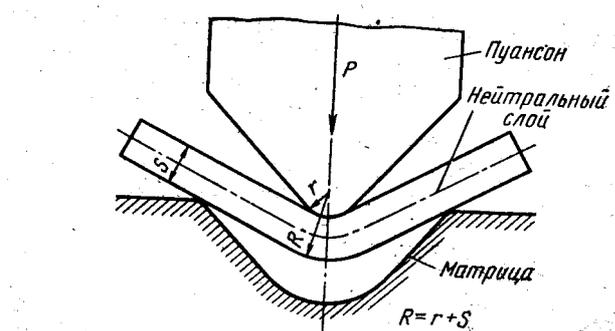
а) — гибка; б) — вытяжка; в) — **отбортовка**; з) — закатка; д) — скручивание; е) — раздача; ж) — обжим; з) — формовка; и) — правка; к) — чеканка; л) — калибровка; м) — **кернение**

Рисунок 37 - **Формоизменяющие** операции листовой штамповки

Наиболее распространенными формоизменяющими операциями листовой штамповки являются операции гибки и вытяжки.

### 3.2.2.1 Гибка

Гибка – образование или изменение углов между частями заготовки или придание ей криволинейной формы (рисунок 38).



$P$  - усилие гибки;  $R$  и  $r$  — наружный и внутренний радиусы гибки;  $s$  — толщина материала

Рисунок 38 - Схема процесса гибки

В месте изгиба слои металла, расположенные с внутренней стороны, сжимаются, а слои металла, расположенные с наружной стороны,

растягиваются в продольном направлении. В поперечном направлении наблюдается обратная картина. Поэтому в месте изгиба форма поперечного сечения нешироких и достаточно толстых полос искажается. Слой заготовки, который при гибке не испытывает ни растяжения, ни сжатия, называется нейтральным.

Гибка осуществляется в результате упругопластической деформации, при которой пластической деформации металла предшествует значительная упругая деформация. В результате упругой деформации растянутые и сжатые слои стремятся возвратиться в исходное положение. Вследствие этого, форма детали после гибки не будет соответствовать форме штампа на величину угла упругой деформации, который необходимо учитывать при изготовлении инструмента (штамповой оснастки). Проявляется так называемое явление пружинения.

Гибка позволяет получить детали различной формы (рисунок 39).

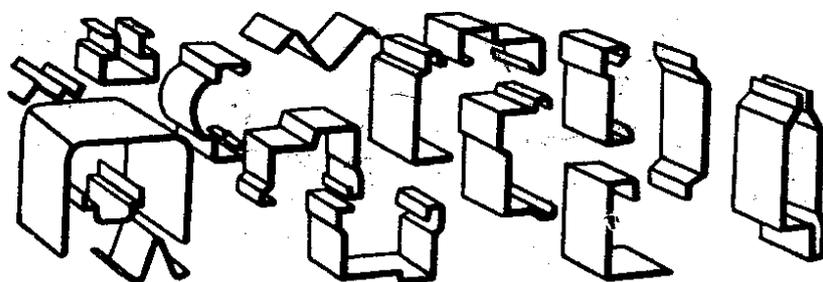


Рисунок 39 - Форма деталей, полученных гибкой

Для получения точных размеров гибку заканчивают калибрующим ударом, обеспечивающим полное прилегание заготовки к пуансону.

Для повышения точности получаемых при гибке деталей применяют устройства, прижимающие заготовку к пуансону и предотвращающие ее возможное смещение. Калибровка и фиксация заготовок позволяют получать изогнутые детали от 8 до 11-го квалитетов точности.

Существенное значение имеет расположение линии гибки по отношению к направлению волокон металла. Линию гибки следует располагать примерно перпендикулярно направлению волокон. Допустимо иногда угол между линией гибки и направлением волокон уменьшать до  $45^\circ$ . При меньших углах и малых радиусах гибки возможен излом материала.

Длина заготовки для гибки равна длине нейтрального слоя, который находится на расстоянии, примерно равном от 0,3 до 0,5 толщины металла, от внутренней поверхности изгиба.

После гибки из-за упругой разгрузки детали пружинят. При этом их размеры несколько меняются. Для получения требуемых размеров детали применяют следующие методы: гибку с утонением боковых стенок; использование матрицы или пуансона со скосом под углом  $\beta$  пружинения или гибку с калибровкой. Величина угла пружинения зависит от свойств и состояния материала, его толщины  $S$ , формы детали и радиуса  $r$  гибки. Например, при гибке без калибровки мягкой стали толщиной  $S = 8$  мм  $\beta = 4^\circ$

при  $r/S < 1$  и  $\beta = 6^\circ$  при  $r/S > 5$ , а твердой стали ( $\sigma_b = 600$  МПа)  $\beta = 7^\circ$  при  $r/S < 1$  и  $\beta = 12^\circ$  при  $r/S > 5$ .

В случае, когда местное ослабление детали допустимо по условиям ее эксплуатации, толщину заготовки в месте гибки уменьшают примерно на  $0,5S$ , используя при этом пуансон без радиуса закругления.

При малых радиусах гибки при штамповке возможно образование трещин или разрыв заготовки. Поэтому установлены ориентировочные значения минимально допустимых радиусов гибки таблица 3.

Таблица 3 - Ориентировочные минимально допустимые радиусы гибки в долях от толщины  $S$  материала

Направление линии гибки		Материалы				
		Al, Cu латунь Л62	сталь 10, сталь 20	сталь 55, дюралюмин мягкий	сталь 65, сталь 70	бронза, дюралюмин закаленный
Волокна проката	Поперек	0	0,1	0,5	1,0	2,0
	Вдоль	0,4	0,5	1,5	2,0	3,5

Для предотвращения сдвига в процессе гибки заготовку иногда фиксируют в штампе, делая для этого технологические отверстия.

Гибку с растяжением (рисунок 36) используют при изгибе с большим радиусом длинных тонких заготовок, которые при обычной гибке почти полностью восстанавливают свою начальную форму вследствие пружинения. При таком способе гибки заготовку зажимают по концам зажимами, а затем изгибают по контуру пуансона с одновременным растяжением от 2 до 5 %.

### 3.2.2.1.1 Профилирование ленточного, полосового и листового материала (изготовление гнутых профилей)

Разновидностью процессов гибки является получение профильных заготовок, имеющих постоянную по длине пространственную форму поперечного сечения, получаемую из плоской листовой заготовки (гнутые профили и трубы). Профилированием изготавливают легкие, но жесткие профили простой и сложной конфигурации различной длины. Исходным материалом при профилировании являются холоднокатаные ленты, полоса или листы толщиной от 0,5 до 20 мм и шириной до 2000 мм из мягкой коррозионно-стойкой (нержавеющей) стали, цветных металлов и их сплавов.

Существует много способов и специализированных гибочных машин для получения профильных заготовок из листового металла. Широкие, но короткие профили из тонкого полосового и листового металла изготавливают на универсально-гибочных машинах. Применяя съемные линейки различной формы, можно получать разнообразные открытые и закрытые.

На рисунке 40 показана схема действия универсально-гибочной машины для получения профилей /17/.

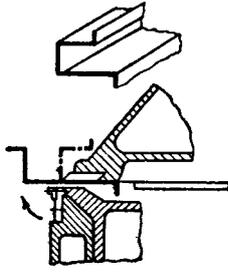


Рисунок 40 - Гнутый профиль и схема действия универсально-гибочной машины

Из рисунка 40 понятен принцип работы универсально-гибочной машины.

Наиболее распространенными способами профилирования листового металла являются: гибка на гибочных прессах с поступательным движением ползуна или гибка на роликовых профилировочных станках.

Принцип расчета исходной заготовки для штамповки на различных прессах един и приведен выше.

Крупные профили как из тонкого, так и из толстого листа изготавливают на специальных листогибочных прессах. Схема изготовления профилей на гибочных прессах с поступательным движением ползуна приведена на рисунке 41

Длина профиля, который можно получать на гибочных прессах, несколько меньше длины пуансонов и матриц.

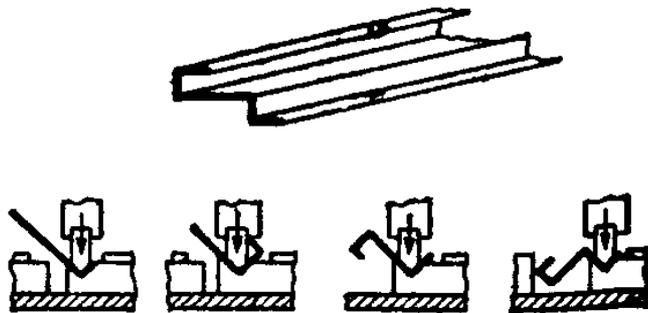
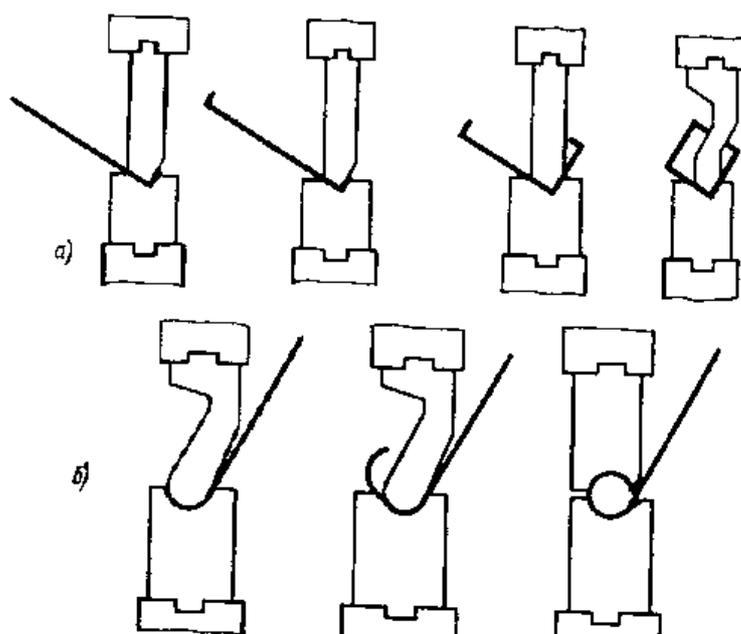


Рисунок 41 - Гнутый профиль и схема гибки открытых профилей на прессах

Как видно из рисунка, на гибочных прессах, используя одни и те же пуансон и матрицу, можно получать различные профили, последовательно применяя одноугловую гибку на различных участках исходной листовой заготовки. Таким способом проще получают профили с открытым поперечным сечением. Заменой пуансонов и матриц на гибочных прессах можно получать и более сложные профили, в том числе и закрытые профили, например, трубчатые и имеющие круглое сечение (рисунок 42).



а) – квадратного; б) – круглого

Рисунок 42 - Схема гибки закрытых профилей на прессах

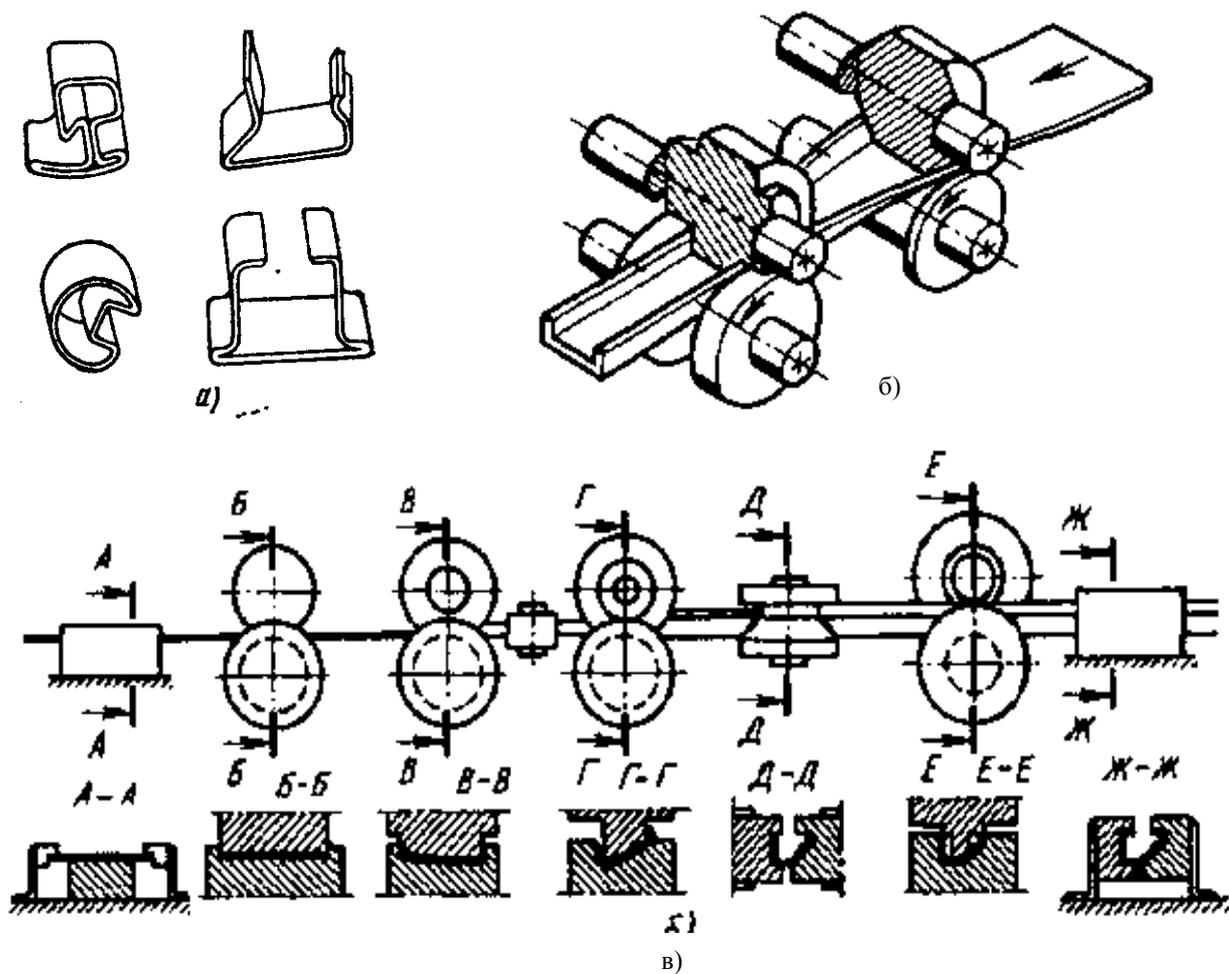
Для получения достаточно длинных профилей гибочные прессы обычно делают двухстоечными с длинным, но узким столом и ползуном. Существующие прессы обеспечивают получение профилей длиной более 6 м из листа толщиной более 10 мм.

Роликовые профилировочные станки [1] представляют собой станок с удлиненной станиной, вдоль которой размещается несколько пар роликов, приводимых во вращение от общего или от индивидуальных приводов. Каждая пара роликов имеет желоб (на одном из роликов) и ребристый выступ (на другом ролике). Зазор между ребром и желобом примерно равен толщине исходной заготовки, а профиль этих элементов (отличный от профилей предыдущих пар роликов) определяет характер и величину формоизменения заготовки в промежутке между смежными парами роликов (рисунок 43).

В профилировочных станках пары роликов по ходу деформирования могут иметь горизонтальное и вертикальное расположение осей вращения. Поэтому ролики действуют на заготовку вертикальными или горизонтальными внешними силами, что позволяет получить как открытые, так и закрытые профили, причем последние могут быть сделаны с внутренним наполнителем.

Профили, полученные гибкой на прессах, на валковых гибочных машинах и на профилегибочных станках, при необходимости в дальнейшем подвергаются разделительным или формоизменяющим операциям.

Профили большой длины (рисунок 43) из ленты или полосы изготавливают на специальных многороликовых профилировочных станках.



а) - примеры гнутых профилей; б) — схема гибки; в) — схема работы станка

Рисунок 43 - Гибка на профилировочных станках

Плоская заготовка постепенно изгибается в требуемую форму посредством пропускания ленты через несколько пар вращающихся роликов.

На рисунке 43 в показана последовательность профилирования одного конкретного профиля из полосы толщиной 0,8 мм. Производительность станов достигает 15 м/мин и более.

Разновидностью профилегибочных станов являются станы для производства труб.

### 3.2.2.1.2 Производство труб

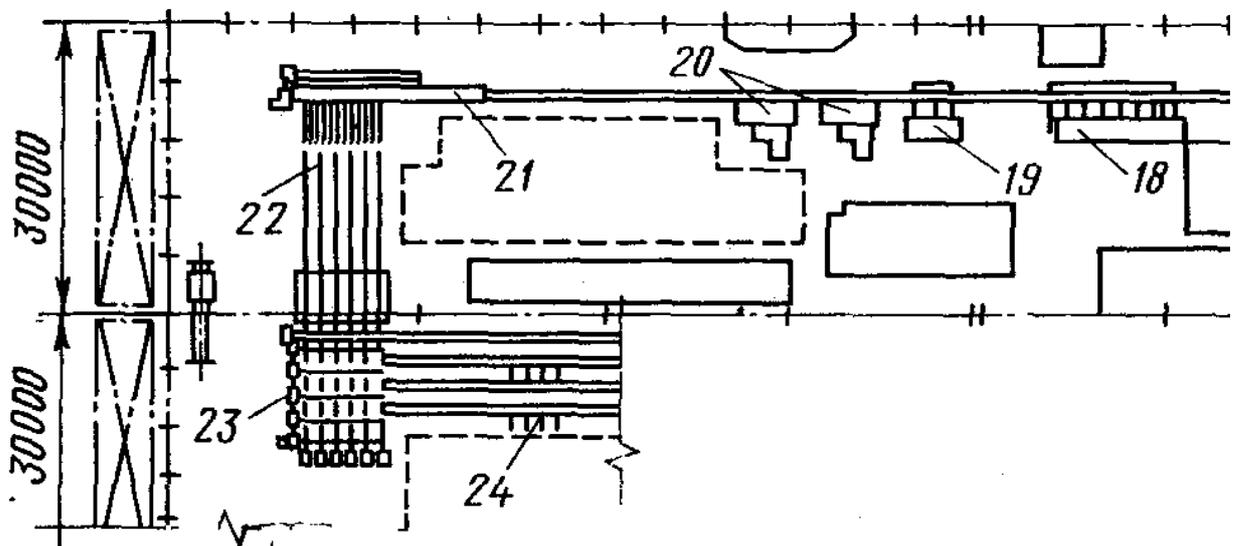
Широкое распространение получило производство труб электросваркой, так как при этом представляется возможным изготавливать трубы с тонкой стенкой (0,5 мм и меньше), диаметром более 2400 мм с хорошо выполненным швом и высоким качеством поверхности.

Промышленное значение имеют несколько способов изготовления труб. Наиболее распространенными являются: контактная сварка сопротивлением; сварка под слоем флюса с прямым и со спиральным швом; индукционная сварка токами высокой частоты и др. /7/.

В качестве исходного продукта при производстве электросварных труб используют штрипсы и листы в виде карточек или рулонов. К подготовительным операциям относятся разматывание рулонов, их резка, правка, при необходимости травление, холодная прокатка, строжка кромок, сварка концов одного рулона с другим и др.

Трубы сваркой сопротивлением изготавливают диаметром от 6 до 630 мм при толщине стенки от 0,5 до 20 мм. На рисунке 44 приведена схема размещения оборудования трубосварочного стана

Технологический процесс осуществляется в трех основных поточных участках— подготовительном, формовки и сварки и отделки. При этом формовка и электросварка выполняются как непрерывный процесс.

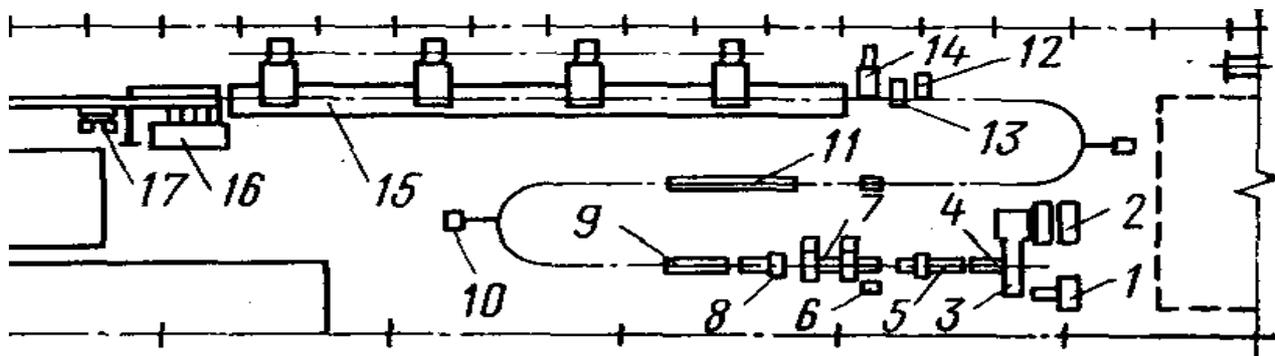


- 1—весы для взвешивания рулонов; 2—приемное устройство для рулонов;  
6— девятироlikовая правильная машина; 7—ножницы для отрезки концов  
10—регулятор петли; 11—петлеобразователь; 12—передвигающиеся ножницы;  
штрипса в печь; 15—печь для нагрева штрипса; 16— шестиклетевой  
отделения иглы; 18—четырнадцатиклетевый редукционный стан; 19—  
21—винтовая секция холодильника с винтовым сбрасывателем труб;  
24— рольганги четырех линий отделки труб

Рисунок 44 - Схема расположения

Сварка кромок сформованной трубы осуществляется в сварочной клетке, где кромки сближаются вертикальными не приводными роликами и вращающимися сварочными электродными кольцами, создается необходимое сварочное давление. Кромки штрипса нагреваются током, который подводится этими вращающимися медными электродами. Для электросварки используется переменный ток низкого напряжения с частотой до 140 Гц, что позволяет довести скорость сварки до 1 м/с. Постоянный ток **из-за** сложности электрооборудования не применяют. После выхода из **сварочной** клетки труба имеет **некоторую** овальность, что **устраняется** прокаткой в **калибровочном** стане, состоящем из **трех** горизонтальных **приводных** клетей, в каждой из **которых** установлены еще **вертикальные** не приводные **валки**. Резку труб на мерные **длины** производят на ходу специальным автоматически **работающим** разрезным **станком**.

Подобные трубосварочные станы имеют устройства для удаления **наружного** и внутреннего грата, т. е. избытка металла, вытесняемого при сварочном давлении по шву. Наружный грат удаляется резцом, а внутренние закатываются роликами.



3—консольно-поворотный кран; 4—загрузочное устройство; 5—разматыватель; штрипса; 8—машина для сварки концов рулонов; 9—тянущие ролики; 13—автомат для приварки иглы к концу штрипса; 14— машина для подачи формовочно-сварочный стан; 17—летучие кривошипные ножницы для трехклетевой калибровочный стан; 20— летучая пила для разрезки труб на ходу; 22—цепная секция холодильника; 23— делительное устройство;

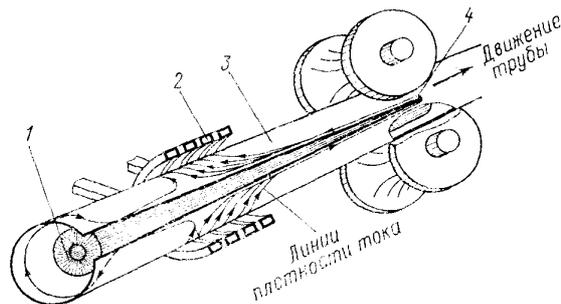
оборудования трубосварочного стана  $\frac{1}{2}$  - 2

### 3.2.2.1.2.1 Индукционная высокочастотная сварка

Процесс сварки осуществляется на специальных сварочных станах, на которых металл из рулона разматывается, правится в валках. Непрерывная лента формируется в трубную заготовку, которая сваривается в трубу в специальных валках после нагрева индуктором. После снятия наружного грата и охлаждения шва труба калибруется валками и режется ножницами на участки определенной длины или поступает на редуционный стан, позволяющий после индукционного нагрева из одной сварной трубы получать трубы меньшего диаметра и толщины. Процесс непрерывен.

Сварочное устройство стана (рисунок 44) состоит из индуктора или системы контактного токоподвода, магнитопровода, высокочастотного трансформатора и конденсаторов нагрузочного контура. Эти элементы объединены в один блок – сварочную головку.

Ток высокой частоты, подводимый к трубной заготовке индукционным или контактным методом, вследствие эффекта близости стягивается на стороны кромок, обращенных друг к другу, и быстро разогревает тонкий слой металла до плавления. Расплавленный металл выдавливается при осадке в сварочных валках вместе с окислами, образуя наружный и внутренний грат. Минимально количество расплава определяется надежностью удаления загрязнений. Увеличение глубины прогретого слоя приводит к росту потребляемой мощности, возрастанию объема грата и снижению устойчивости тонких кромок при осадке в сварочной клетке. Основными параметрами сварки являются длина кромок, увеличивающаяся с ростом их толщины и диаметра трубы и находящаяся в пределах от 20 до 200 мм, угол схождения кромок, равный от 1 до  $6^{\circ}$ , и величина осадки. Формовку ленты (горячекатаной  $h > 1,75$  мм, холоднокатаной -  $h < 1,75$  мм) производят в девяти приводных клетях и одной не приводной. Электрический режим характеризуется частотой тока и расходом энергии на единицу длины (м) и толщины трубы (мм). при малой толщине стенки (от 0,3 до 0,4 мм) используется частота 1760 кГц, а при толщине 6 мм и большом диаметре стальных труб — частота 10 кГц. Снижение частоты улучшает равномерность нагрева по толщине кромок, уменьшает напряжение на элементах схемы и скорость охлаждения металла в зоне шва, но приводит к росту расхода энергии. С повышением толщины трубы приведенная энергия возрастает при любой частоте и способе подвода тока. Согласование индуктора с генераторами осуществляется последовательно-параллельным включением конденсаторов. В связи с этим напряжение на индукторе достигает 1000 В при напряжении генераторов 800 В. Внешний индуктор имеет один или несколько витков (рисунок 45) и может быть разъемным. Энергия, выделяющаяся в кромках, составляет 40—70% энергии, передаваемой в заготовку трубы. В индукторе теряется примерно 10% подводимой энергии. При индукционном подводе энергии используются внешние и внутренние индукторы. Установки укомплектованы машинными генераторами, работающими параллельно. Индукторы выполняются многовитковыми, что исключает необходимость в понижающем трансформаторе.



1 – сердечник; 2 – индуктор; 3 - тело заготовки; 4 - точка схождения кромок

Рисунок 45 - Схема сварки трубы внешним индуктором

Магнитное поле индуктора 2 наводит в теле заготовки 3 ток, часть которого (рабочий ток) проходит по кромкам и замыкается через точку их схождения 4. Остальной ток замыкается по внутренней стенке трубы (шунтирующий ток). Для его уменьшения в полость трубы вводится сердечник 1 из феррита или трансформаторной стали (при 10 кГц), закрепленный на кронштейне, проходящем через щель заготовки. Сердечник интенсивно охлаждается водой. С ростом диаметра трубы увеличиваются потери в ее теле. Этот недостаток индукционного подвода сглаживается при использовании внутреннего индуктора на частоте 10 кГц, что осуществимо, однако, лишь при диаметре труб свыше 200 мм. Возможен нагрев одновременно внешним и внутренним индукторами, что повышает скорость сварки и равномерность нагрева кромок /23/.

При сварке ТВЧ ток протекает по малому сечению на поверхности заготовок, и подводимая энергия оказывается сосредоточенной в малом объеме металла, который за доли секунды разогревается до плавления. При этом заготовка, или труба, остается холодной — отсюда экономичность процесса. В трубном производстве сварка ТВЧ произвела переворот, так как скорость сварки доходит до 180 метров в минуту.

Наряду со сваркой труб применяют сварку тонких профилей.

### 3.2.2.1.3 Сварка тонких профилей

Потребность в прокате в России больше, чем в любой другой стране, и она непрерывно растет. В то же время, по самым скромным подсчетам, сотни тысяч тонн металла составляют балласт, утяжеляющий конструкции различных изделий, ухудшающих их технические характеристики. Установлено, что многие строительные конструкции имеют металлоемкость до 40% большую, чем требуется. Эти потери металла «скрытые», хотя известны всем. Как известно, широко используемые тавры и двутавры обычно получают прокаткой. Но технология изготовления тонких профилей резко усложняется, а себестоимость профиля растет, если пытаться уменьшить толщины элементов.

Пока удалось добиться минимальной толщины стенок при прокатке 2,5 мм, а для целого ряда изделий достаточна толщина профиля - меньше одного миллиметра.

Была поставлена задача, сваривать их из тонкого листового материала.

Но электрическая дуга при сварке или газовое пламя могут прожечь тонкие профили. Есть оборудование, например, для электродуговой сварки, позволяющее изготавливать профили толщиной не менее трех миллиметров, при этом мощность источников питания дает не высокую производительность, порядка десятков метров в час.

Сварка токами высокой частоты (ТВЧ) по технологии производства сварных профилей дает чрезвычайно широкий диапазон свариваемых материалов и толщины. Сварка ТВЧ отлично работает при производстве труб, где нагреваемые кромки одинаковы /23/.

Однако оказалось, что тавр такой сварке не очень поддается. Дело в том, что если одна из кромок в десятки раз толще другой, как у тавра, когда ребро (тонкая кромка) приваривается к полке (толстой кромке), условия нагрева резко различны. В результате ребро перегревается, а полка остается холодной, что не позволяет получить качественное сварное соединение

Для обеспечения возможности получения тавра сваркой ТВЧ изобретатели из ВНИИТВЧ применили электромагнитную индукцию /24/. Для этого между токопроводами разместили металлическое кольцо, в котором ТВЧ индуцируют ток. Если это кольцо приблизить к полке, от индукционного тока полка предварительно нагреется до необходимой температуры, причем более равномерно — всей поверхностью свариваемых деталей. Разработанный комплекс технических решений, в том числе и установка для высокочастотной сварки тонкостенных малоразмерных профилей в тавр\* позволила изготавливать тавровые и двутавровые профили с толщиной элемента до 1 мм.

Применение сварных профилей только в промышленном строительстве уменьшает расход стали на 70 тысяч тонн.

В числе формоизменяющих операций профиля используется и гибка.

Гибка профильных заготовок значительно сложнее гибки плоских листовых заготовок. При гибке листовых заготовок основной причиной, ограничивающей допустимое формоизменение, является разрушение заготовки в зоне наибольшего растяжения. При гибке профильных заготовок, кроме разрушения, допустимое формоизменение может ограничиваться также потерей устойчивости, искажающей форму поперечного сечения заготовки или приводящей к образованию складок. Потеря устойчивости (особенно тонкостенных профилей) наступает обычно раньше (при меньшем изменении кривизны), чем может начаться разрушение. Отсюда допустимые радиусы кривизны первоначально прямолинейных профилей существенно больше, чем при гибке листовых заготовок. Вероятность потери устойчивости тем больше, чем меньше стенки профиля и чем большую долю площади поперечного сечения профиля составляет зона действия сжимающих тангенциальных напряжений.

\*А. с. СССР № 848176, № 946854, № 946855 и др.

Для уменьшения вероятности потери устойчивости разработаны и применяются ряд способов гибки. Для гибки длинномерных профильных заготовок с успехом используется гибка с растяжением, при которой зона тангенциального сжатия может быть ликвидирована, и в этом случае исключается возможность потери устойчивости вследствие действия тангенциальных сжимающих напряжений. Уменьшения допустимых радиусов изгиба достигают также созданием внешнего подпора в зоне изгиба, зажимающего заготовку по всей поверхности, причем между наружным и внутренним инструментом, дающим подпор, устанавливают зазор, примерно равный толщине стенки профиля, который исключает возможность искажения профиля вследствие потери устойчивости. Схема одного из вариантов гибки с растягиванием приведена на рисунке 36.

### 3.2.2.1.4 Размеры исходной заготовки

В местах изгиба наружные слои заготовки растягиваются, а внутренние слои сжимаются.

При сгибе происходит изменение кривизны срединной поверхности заготовки, а линейные деформации на ней близки к нулю. По развернутой длине этой срединной поверхности определяют длину исходной заготовки до гибки /1, 10/.

Длину заготовки, необходимую для получения изогнутой детали с требуемыми размерами, определяют из условия равенства ее длины длине нейтральной поверхности деформаций  $L_{нпд}$  (поверхности, на которой отсутствуют деформации).

Для определения длины заготовки контур детали разбивают на прямолинейные и криволинейные участки с постоянными радиусами кривизны.

Длину заготовки определяют как сумму длин прямолинейных и криволинейных участков, причем длину криволинейных участков подсчитывают по нейтральной поверхности деформаций:

$$L_{заг} = L_{нпд} = \sum l_i + \sum \frac{\pi \alpha_i}{180} \rho_{\partial i},$$

где  $l_i$  - длина прямолинейных участков;

$\rho_{\partial i}$  - радиус нейтральной поверхности деформаций криволинейных участков.

$$\rho_0 = R_e + s/2,$$

$$\rho_0 = \sqrt{R_H R_B} = \sqrt{(R_B + s)R_B},$$

где  $\rho_0$  - радиус нейтральной поверхности напряжений;

$R_H$  и  $R_B$  – наружный и внутренний радиусы изгибаемой заготовки, соответственно.

Определение длины заготовки, по существу, сводится к отысканию радиуса нейтральной поверхности, а затем к определению ее длины.

На стадиях упругопластического и плоского чисто пластического изгиба, когда радиус изгиба относительно велик, нейтральная поверхность деформации проходит через центр тяжести поперечного сечения заготовки.

Если поперечное сечение толщиной  $s$  прямоугольное, то длину заготовки определяют путем развертки криволинейных участков детали по поверхности, проходящей через центр тяжести ее поперечного сечения.

На стадии объемного чисто пластического изгиба, как это установлено в теории обработки металлов давлением, нейтральная поверхность деформаций смещается относительно срединной в сторону сжатых волокон заготовки, причем это смещение тем больше, чем меньше радиус изгиба. Это явление необходимо учитывать при расчете длины заготовки.

Расчеты показывают, что

$$\text{при } R_B = s \quad \rho_0 = 1.4s, \text{ а при } R_B = 5s, \quad \rho_0 = 5.5s.$$

В первом случае нейтральная поверхность смещена относительно срединной на расстоянии  $0,1s$  в сторону сжатых волокон, во втором случае она совпадает со срединной поверхностью.

Радиусы кривизны нейтральной поверхности деформаций можно определить, используя коэффициенты смещения нейтральной поверхности  $x$ , значение которых зависит от относительного радиуса изгиба  $\bar{r} = R_B / s$ .. Коэффициент смещения нейтральной поверхности тем больше, чем больше относительный радиус гибки. При  $R_B = 0,1$   $x = 0.3$ , а при  $R_B = 5.0$ ,  $x = 0.5$ . Зная  $x$  можно определить радиус кривизны нейтральной поверхности деформаций:

$$\rho_d = R + xs,$$

где  $\rho_k$  - радиус нейтральной поверхности напряжений, мм;

$R$  – наружный и внутренний радиусы изгибаемой заготовки, мм.

Упрочнение, возникающее при изгибе заготовки в холодную, на величину изменения радиуса влияет несущественно.

Из приведенных данных следует, что с уменьшением радиуса заготовки  $R_B$  положение нейтральной поверхности деформаций смещается в сторону сжатых волокон, оно совпадает со срединной поверхностью при  $R_B \geq 5s$ , так как при этом  $x = 0,5$ .

Зная положение нейтральной поверхности деформаций, можно определить длину этой поверхности, а, следовательно, и длину заготовки, необходимую для получения изогнутой детали с требуемыми размерами.

### 3.2.2.1.4.1 Изменение размеров и формы заготовки в зоне изгиба

Особенно существенное изменение формы и размеров претерпевает поперечное сечение узкой полосы, изгибаемой на ребро; первоначально прямоугольное поперечное ее сечение превращается после гибки в трапециевидальное. При гибке широкой полосы заметно изменяется лишь ее толщина. Формулы для определения ширины поперечного сечения узкой полосы после гибки в любом ее сечении на расстоянии  $\rho$  от центра кривизны имеют вид: в зоне растяжения

$$b_{\rho}^p = b(\rho_0 / \rho)^{\frac{1}{2(2-\rho/R_H)}},$$

в зоне сжатия

$$b_{\rho}^c = b(\rho_0 \rho)^{\frac{3}{2\sqrt{R_B/\rho}}-1},$$

при

$$\rho = R_H \quad b_{\min} = b\sqrt{\rho_0 / R_H},$$

при

$$\rho = R_B \quad b_{\min} = b\sqrt{\rho_0 / R_B}.$$

При  $\rho = \rho_0$ , как и следовало ожидать  $b_{\rho} = b$ . Приведенные формулы были получены в результате совместного решения уравнений связи между напряжениями и деформациями, уравнений равновесия, пластичности и неизменности объема.

Утонение листовой заготовки в зоне пластической деформации при гибке приближенно можно определить так:

$$s - s_d = \Delta s = \frac{s^3}{4(2R_B + s)^2}.$$

Расчеты по этой формуле показывают, что утонение становится заметным при малых радиусах изгиба, например, при  $R_B = 2s$  значение  $\Delta s$  составляет около 1% толщины заготовки.

Толщина листовой заготовки в зоне пластической деформации после гибки может быть определена и на основании экспериментальных данных как произведение коэффициента уменьшения толщины  $\eta$  на первоначальную (до гибки) толщину заготовки  $s$ :

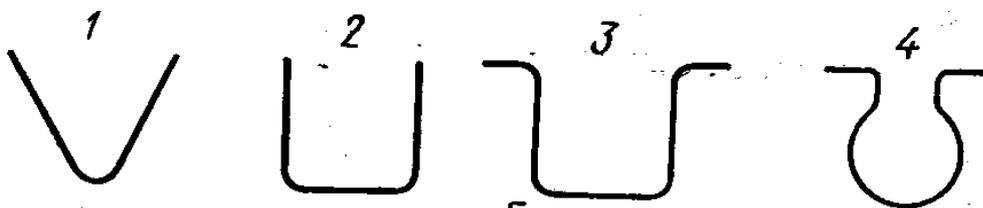
$$s_d = \eta s.$$

В зависимости от значения относительного радиуса изгиба коэффициент  $\eta$  изменяется при гибке полос на угол  $90^\circ$  из сталей 10 от 0,82 при  $r_B = 0,1$  до 0,99 при  $r_B = 4,0$ .

Из приведенных данных следует, что при относительном радиусе  $r_b > 4,0$  уменьшение толщины заготовки практически отсутствует, что хорошо согласуется с теоретическими данными.

### 3.2.2.1.5 Деформирующее усилие при гибке

Определение деформирующего усилия, необходимого для гибки деталей в штампах, представляет определенные трудности, вследствие чего данный вопрос может быть решен лишь приближенно. Это объясняется тем, что усилие гибки зависит от большого числа факторов, к которым относятся: вид гибки; форма и размеры поперечного сечения заготовки, характеристики ее механических свойств, расстояние между опорами, радиусы скругления пуансона и рабочих кромок матрицы, условий контактного трения и др.



1 - одноуголовая, У-образная; 2 — двухуголовая, П-образная;  
3 — четырехуголовая, 4 — с круглым элементом

Рисунок 46 - Виды гибки

#### 3.2.2.1.5.1 Деформирующее усилие при одноуголовой гибке

Усилие, необходимое для гибки заготовок в одноуголовом штампе, зависит от полноты контакта изгибаемой заготовки, пуансона и матрицы, в связи с чем различают отдельные стадии гибки. Вначале наступает стадия свободного изгиба – от начала гибки, когда заготовка соприкасается с инструментом только в трех точках, до момента прилегания прямолинейных участков заготовки к угловому пазу матрицы. На стадии свободного изгиба радиус изгиба заготовки больше радиуса округления пуансона.

После этого, в связи с уменьшением радиуса изгиба центральной части заготовки, ее полки отходят от паза матрицы и поворачиваются до упора в боковые грани пуансона. Указанное явление происходит только при радиусе округления пуансона меньше радиуса свободного изгиба заготовки, который зависит от материала и расстояния между опорами угла гибки. Например, при  $\alpha = 90^\circ$  и  $L = 10s$  радиус свободного изгиба заготовки из низкоуглеродистой стали  $R_b = 1,6s$ .

При дальнейшем опускании пуансона происходит разгибание (правка) полок заготовки с одновременным уменьшением радиуса изгиба центрального участка. Эта стадия заканчивается при полном соприкосновении заготовки с пуансоном и матрицей на всех участках контактной поверхности.

В связи с тем, что практически трудно уловить момент полного соприкосновения заготовки с инструментом, гибка в штампах заканчивается, как правило, приложением дополнительного усилия, в результате чего происходит правка и калибровка изогнутого участка заготовки.

Для практических целей представляет интерес определение усилия гибки на первой и заключительной ее стадиях.

Деформирующее усилие на первой стадии гибки приближенно определяют с помощью уравнений статики. Поскольку на этой стадии расстояние между опорами изгибаемой заготовки велико ( $L > 5s$ ), влияние касательных напряжений не учитывают. Если обозначить реакцию опор  $Q$  и считать, что силы трения  $T$ , возникающие в результате поворота изгибаемой заготовки относительно опор, пропорциональны реакциям опор  $T = \mu Q$ , то в результате проецирования всех сил на направление действия силы  $P_r$  получаем следующее уравнение:

$$P_r = 2Q \left( \sin \frac{\alpha}{2} + \mu \cos \frac{\alpha}{2} \right),$$

где  $\alpha/2$  – угол между касательной в точке опоры и направлением действия силы  $P_r$ .

Реакции опор определяют из условия равенства моментов, создаваемых реакций  $Q$  и плечом  $l$ , и предельного момента пластического изгиба без учета упрочнения:

$$Q = \frac{bs^2}{4l} \sigma_s$$

Длина плеча  $l$  равна расстоянию между направлением действия реакции опоры  $Q$  и нормалью, проведенной из центра скругления пуансона к прямолинейному участку изгибаемой заготовки. Длину плеча  $l$  определяют из геометрических соотношений:

$$l = \left[ \frac{L}{2} - (r_m + r_n + s) \cos \frac{\alpha}{2} \right] \frac{1}{\sin \alpha/2},$$

где  $l$  – расстояние между центрами скруглений рабочих кромок матрицы.

Если обозначить  $r_1 = r_n + s/2$  и  $r_2 = r_m + s/2$ , то после преобразований формула примет вид:

$$l = [L/2 - (r_1 + r_2) \cos \alpha/2] / (\sin \alpha/2) . -$$

В результате совместного решения вышеуказанных уравнений получена формула для определения усилий на первой стадии гибки (свободная гибка):

$$P_r = \frac{\sigma_s b s^2 \left( \sin \frac{\alpha}{2} + \mu \cos \frac{\alpha}{2} \right) \sin \alpha / 2}{L - 2(r_1 + r_2) \cos \alpha / 2}.$$

Исследование этой формулы показывает, что усилие гибки изменяется по ходу пуансона в связи с изменением угла  $\alpha/2$  и, следовательно, плеча  $l$ . Пренебрегая влиянием силы трения ( $\mu=0$ ), можно показать, что при  $r_n = r_m = r$  максимум усилия гибки будет при

$$\cos \alpha / 2 = (1/4r) \left( L - \sqrt{L^2 - 16r^2} \right), \quad P_{np} = kP_r.$$

Расчеты по приведенной формуле показывают, что чем больше относительное расстояние между опорами  $L/r$ , тем при большем значении угла изгиба  $\alpha$  усилие гибки достигает своего максимума, после чего остается приблизительно неизменным. Так, например, при  $L/r = 10$   $\alpha/2 = 78^\circ$ , а при  $L/r = 100$   $\alpha/2 = 89^\circ$ .

На заключительной стадии гибки происходит правка, для которой требуется значительно большее усилие, чем на предыдущих ее стадиях. В литературе имеются формулы для определения усилия гибки с последующей правкой, однако результаты расчетов по этим формулам дают большие расхождения, так как при их выводе не был установлен единый критерий, по которому можно было бы определить верхний предел этого усилия, и о точности расчетов по той или иной формуле судить трудно.

Экспериментаторами установлено, что усилие правки следует определять в зависимости от точности угловых размеров деталей, полученных гибкой с последующей правкой. Исходя из этой предпосылки, усилие правки будет достаточным в том случае, когда дальнейшее его увеличение не приводит к повышению точности угловых размеров детали, т.е. к уменьшению упругих деформаций (пружинения).

Эксперименты, выполненные со стальными заготовками при различных относительных радиусах изгиба, показали, что усилие правки на порядок больше, чем усилие гибки на свободной стадии изгиба; при относительном радиусе изгиба  $R_n/s < 1$  усилие правки до 60 раз больше усилия гибки, при  $R_n/s =$  от 5 до 10 - в 40 раз. Усилие правки в зависимости от усилия гибки на свободной стадии изгиба

$$P_{np} = kP_r,$$

где  $k$  – коэффициент, показывающий, во сколько раз усилие правки больше усилия гибки.

При укрупненных расчетах усилие правки определяют как произведение удельного усилия  $q$  (полученного экспериментально) на площадь проекции контактной поверхности изогнутого участка детали  $F_k$ .

На плоскость, нормальную направлению перемещения пуансона:

$$P_{np} \cong qF_k,$$

где  $q$  - удельное усилие правки зависит от толщины заготовки, для сталей 25 и 35 оно составляет до 100 МПа, чем толще заготовка, тем  $q$  больше;

$F_k$  – проекция контактной поверхности изогнутого участка детали на плоскость, нормальную направлению движения пуансона.

Конструктивные особенности пуансонов и матриц для одноугловой гибки заключается в том, что рабочую поверхность пуансона делают ступенчатой, а в матрице фрезеруют шлиц. Длина контактной поверхности пуансона принимается равной 1/3 плеча гибки, ширина шлица матрицы

$$\alpha = 2(r_n + s)\cos(\alpha/2).$$

При этом правке подвергается только участок заготовки в зоне пластической деформации.

При малом расстоянии между опорами в процессе первой стадии гибки на заготовке могут появиться отпечатки на контактной поверхности с матрицей. Это объясняется тем, что с уменьшением паза матрицы  $L$  увеличиваются реакции опор  $Q$ . Указанный вывод вытекает из анализа формулы, полученной из условия равенства моментов внешних и внутренних сил

$$Q = \frac{\sigma_s b s^2 \sin \alpha / 2}{2[L - 2(r_1 + r_2)\cos \alpha / 2]}.$$

В связи с этим паз матрицы  $L$  должен быть не менее расчетного, приближенно определенного по формуле, полученной В.С. Смирновым для полосы прямоугольного сечения единичной ширины:

$$L \geq \frac{E s^2 \sin \alpha / 2}{10 \sigma_s r_m} + 2(r_1 + r_2)\cos \alpha / 2,$$

где  $E$  – модуль упругости.

### 3.2.2.1.5.2 Деформирующее усилие при двухугловой гибке

Для получения П-образных (или им подобных) деталей за один ход пресса заготовку необходимо изгибать одновременно в двух разных поперечных сечениях. Особенности двухугловой гибки заключаются в том, что между боковыми вертикальными гранями пуансона и матрицы имеется зазор  $z = (от 1.1 до 1.3)s$ , который не изменяется в процессе гибки, а также в том, что участок заготовки, находящийся под горизонтальной гранью пуансона, отходит от нее и выпучивается. Кроме того, при двухугловой гибки внешние силы

приложены к заготовке в двух точках контакта ее с пуансоном, при этом плечо гибки существенно меньше, чем при одноугловой гибке.

Учитывая эти особенности, деформирующее усилие, необходимое для двухугловой гибки определяют по формулам. Когда центры скругления рабочих кромок пуансона и матрицы находятся на одном уровне, плечо гибки равно

$$l = (r_m + z + r_n) \sin \alpha / 2.$$

После совместного решения уравнений получаем формулу определения усилия для выполнения двухугловой гибки полосы с прямоугольным поперечным сечением:

$$P_r = \sigma_s \frac{bs^2}{2} \frac{(\sin \alpha / 2 + \mu \cdot \cos \alpha / 2)}{(r_m + z + r_n) \sin \alpha / 2}.$$

Усилие гибки изменяется по мере опускания пуансона, оно зависит от угла  $\alpha/2$ . При  $\alpha/2 = \pi/2$ , т.е. в самом начале процесса, усилие гибки равно

$$P_r = \frac{\sigma_s bs^2}{2(r_m + z + r_n)}.$$

По мере уменьшения угла  $\alpha/2$  усилие гибки возрастает и при  $\alpha/2 = 3^\circ$  и  $\mu = 0,2$  усилие гибки составит

$$P_r = 4.8 \sigma_s bs^2 / (r_m + z + r_n).$$

Однако при  $\alpha/2 = 0$ , когда уже получена П-образная деталь, усилие пресса затрачивается только на преодоление сил трения, возникающих при скольжении изогнутой детали в отверстии матрицы. Если двухугловая гибка ведется в штампе с прижимом средней части заготовки, прессу необходимо преодолеть сопротивление буфера прижимного устройства, которое принимается равным от 25 до 60 % деформирующего усилия гибки, следовательно, суммарное усилие будет равно

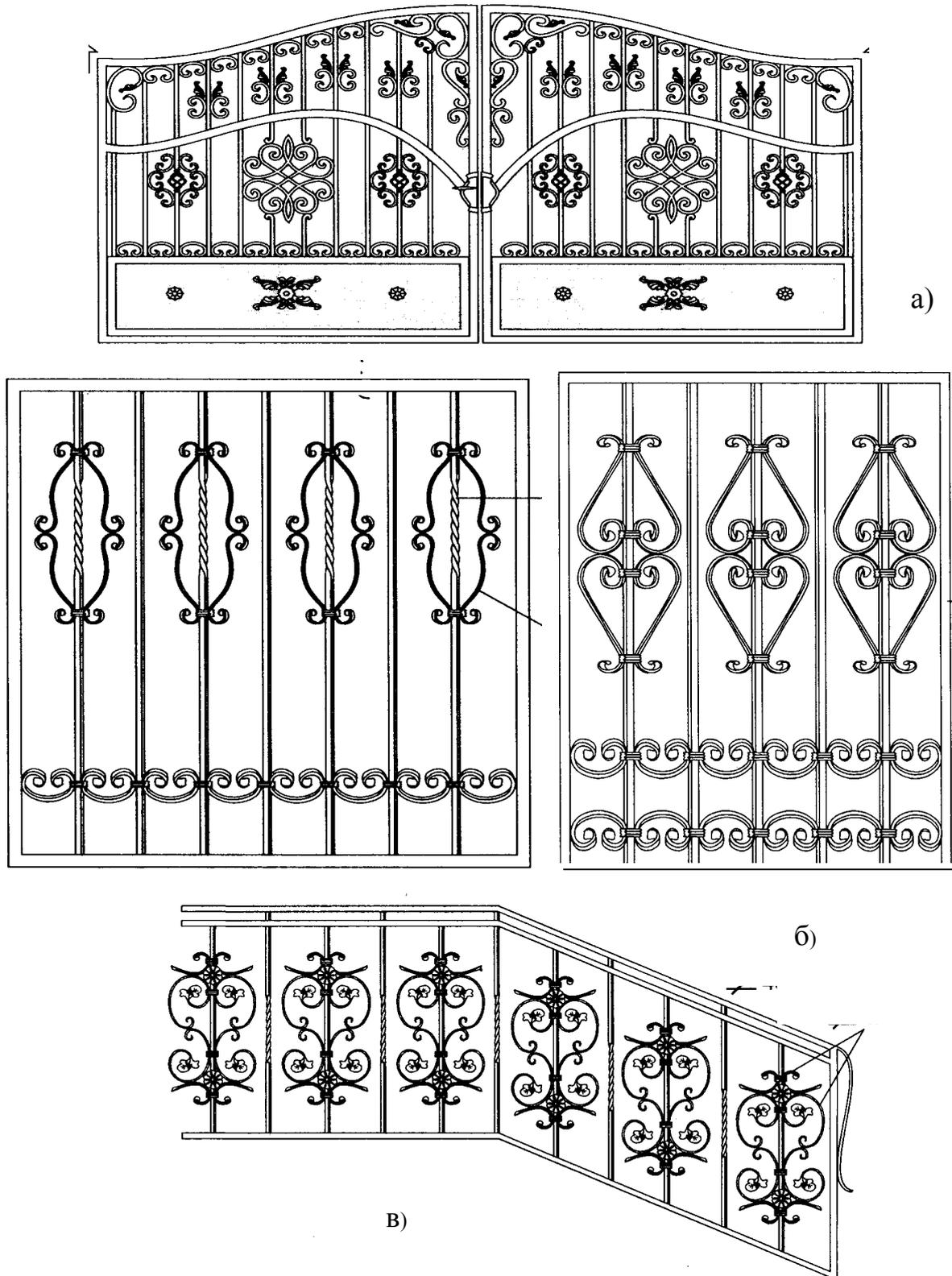
$$P = (\text{от } 1.25 \text{ до } 1.60) P_r.$$

При необходимости получения деталей повышенной точности по толщине горизонтального участка после гибки предусматривается правка. Усилие правки  $P_{пр}$  определяют как произведение соответствующего удельного усилия правки  $q$  на площадь контакта заготовки с опорной планкой штампа  $F_K$ :

$$P = qF_K.$$

Операцию гибки широко используют при переработке как листового, так и пруткового материала, в частности, при изготовлении различных

заграждений. На рисунке 47 показаны примеры выполнения различных заграждения (ворота, элементы изгороди и перила).



а) – ворота; б) - элементы изгороди; в) - перила

Рисунок 47 - Примеры выполнения различных заграждений

### 3.2.2.2 Вытяжка

Вытяжкой получают полые детали разнообразной формы из плоских листовых или полых тонкостенных заготовок, не требующие, как правило, дальнейшей обработки, кроме обрезки неровного края. К ним относятся:

- детали, имеющие форму тел вращения (осесимметричные): днища котлов и различных цилиндрических резервуаров, металлическая посуда, детали осветительной аппаратуры (например, детали автомобильных фар) и многие др.;

- детали коробчатой формы: топливные баки двигателей внутреннего сгорания, бидоны для горюче-смазочных материалов, тара для продуктов консервного производства и пр.;

- детали, имеющие одну ось симметрии или ассиметричные: автокузовные детали – крыша автомобиля, его двери, капот и пр.;

- цилиндрические детали, у которых толщина дна больше толщины стенок: артиллерийские гильзы, гильзы стрелкового оружия, металлическая посуда с толстым дном и пр.

Перечисленные детали могут иметь диаметр (или длину) – от нескольких миллиметров до нескольких метров и толщину стенки – от десятых долей до десятков миллиметров.

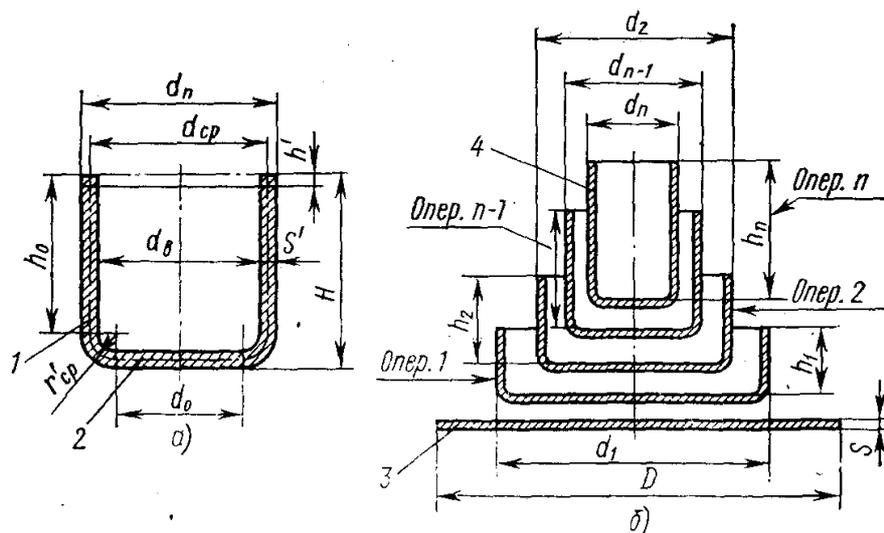
Изготовление деталей вытяжкой осуществляется без нагрева заготовки, в холодном состоянии. Исключение – вытяжка толстолистового металла (толщиной свыше 20 мм), когда заготовку нагревают, для того чтобы снизить деформирующее усилие. При вытяжке заготовок из алюминиевых сплавов для повышения степени деформации за одну операцию применяют местный (локальный) электрический нагрев зоны пластической деформации.

Вытяжкой за одну операцию можно получить относительно неглубокие детали, высота которых не превышает 0,8 диаметра. При вытяжке более высоких деталей растягивающие напряжения, возникающие в стенке, возрастают настолько, что может наступить отрыв дна. В связи с этим процесс вытяжки необходимо разделять на несколько переходов, что позволяет уменьшить радиальные растягивающие напряжения в стенках вытягиваемой детали.

При получении деталей вытяжкой, в зависимости от относительной высоты, их штампуют в одну или несколько операций или переходов.

На первом переходе плоскую заготовку вытягивают в полу, открытую с одного конца деталь или полуфабрикат; на последующих переходах происходит увеличение высоты при одновременном уменьшении поперечных размеров полуфабрикатов, полученных на предыдущих переходах вытяжки (рисунок 48).

Для изготовления деталей вытяжкой применяют листовый металл, обладающий высокими пластическими свойствами: низкоуглеродистую качественную и конструкционную низколегированную сталь, алюминий и различные его сплавы, медь латунь и другие металлы.



а) — изделие; б) — последовательность процесса  
 1 — цилиндр, 2 — дно, 3 — заготовка, 4 — изделие

Рисунок 48 - Схема последовательности изменения заготовки при вытяжке

Вытяжку осуществляют в специальных штампах, рабочие органы которых: матрица 1 со скругленной рабочей кромкой, пуансон 2 и, если это необходимо, прижимное кольцо 3. Между пуансоном и матрицей имеется зазор  $z$ , в который пуансон втягивает заготовку.

При вытяжке внешняя сила, передаваемая пуансоном, приложена к донной части вытягиваемой детали, краевая же ее часть остается свободной, не нагруженной внешними силами.

### 3.2.2.2.1 Способы вытяжки

Способы вытяжки разделены на два основных:

- 1) без искусственного уменьшения толщины стенки (вытяжка);
- 2) с искусственным, преднамеренным уменьшением толщины стенки (вытяжка с утонением), в том числе комбинированная вытяжка [21].

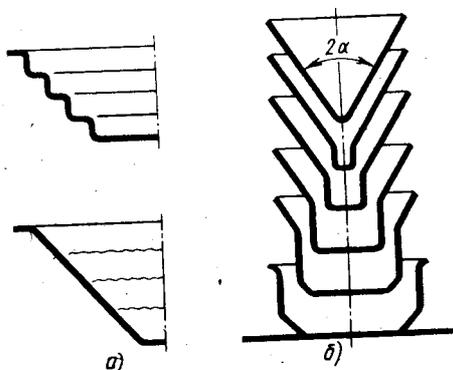
Вытяжка без утонения стенки характеризуется существенным уменьшением диаметра заготовки при приблизительно неизменной толщине стенки вытягиваемой детали. Вытяжку осуществляют в штампе, у которого зазор между пуансоном и матрицей равен толщине заготовки или больше ее ( $z \geq s$ ).

В процессе вытяжки без утонения в краевой части заготовки, еще не втянутой в матрицу, одновременно возникают растягивающие  $\sigma_\theta$  напряжения. Сжимающие напряжения  $\sigma_\theta$ , действующие в окружном направлении, при определенном соотношении диаметров заготовки и вытягиваемой детали могут вызвать появление складок во фланце (явление потери устойчивости), приводящих при втягивании складок в зазор между пуансоном и матрицей к массовому браку вследствие отрыва дна. Для устранения складкообразования в

штампах для вытяжки предусматривают прижимное кольцо (складкодержатель), которое прижимает фланец к матрице и этим препятствует складкообразованию. В связи с этим различают два способа вытяжки без утонения с прижимом и без прижима заготовки.

Вытяжкой за одну операцию можно получить относительно неглубокие детали, высота которых не превышает 0,8 диаметра. При вытяжке более высоких деталей растягивающие напряжения, возникающие в стенке, возрастают настолько, что может наступить отрыв дна. В связи с этим процесс вытяжки необходимо разделять на несколько переходов, что позволяет уменьшить радиальные растягивающие напряжения в стенках вытягиваемой детали.

Высокие конические детали с большим углом наклона образующей от 30 до 60°, у которых  $H > 0,7d$ , вытягивают за несколько операций одним из следующих способов (рисунок 49).



а) - ступенчатого полуфабриката; б) - увеличением конической поверхности

Рисунок 49 - Переходы вытяжки высоких конических деталей

Первый способ заключается в многооперационной вытяжке ступенчатого полуфабриката с последующим растяжением и правкой в специальном штампе. Данный способ не обеспечивает получение гладкой поверхности. Поэтому необходимо проводить дополнительную обработку (выглаживание) детали на ротационном станке.

По второму способу на первой операции вытягивается цилиндрический полуфабрикат, диаметр которого равен диаметру основания конуса, после чего за каждую последующую операцию вытяжки образуется все увеличивающаяся коническая поверхность.

В процессе вытяжки материал заготовки упрочняется, его пластические свойства ухудшаются. Чрезмерное упрочнение металла приводит к потере пластичности и, в конечном итоге, к разрушению. Поэтому процесс изготовления высоких деталей (высотой более диаметра вытягиваемой детали) заключается в чередовании следующих друг за другом операций вытяжки, в промежутке между которыми, по мере необходимости, проводится рекристаллизационный отжиг полуфабрикатов для снятия упрочнения.

Последующие операции вытяжки осуществляются в штампах с прижимом или без него в зависимости от относительной толщины заготовки и степени деформации. Последующие операции вытяжки могут быть выполнены прямым или реверсивным способом. В том случае, когда пуансон передает давление на полную заготовку с внутренней стороны дна, способ вытяжки называют прямым. Если пуансон передает давление на полу заготовку с внешней стороны дна, способ вытяжки называют реверсивным (обратным), поскольку при этом заготовка втягивается в матрицу в обратном направлении по сравнению с направлением вытяжки на первой операции.

Реверсивную вытяжку применяют для получения деталей или полуфабрикатов сложной формы, например, с двойным дном или с двойными стенками. Кроме того, реверсивную вытяжку применяют, когда требуется совместить первый и последующий переход вытяжки в одном штампе, а также при вытяжке деталей сферической формы (рисунок 50).

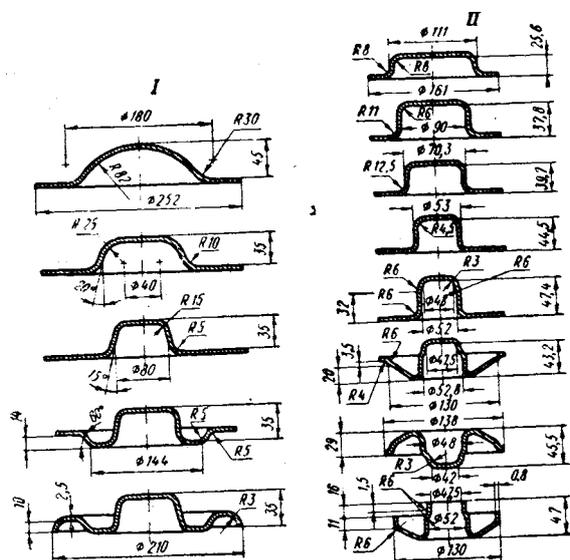


Рисунок 50- Примеры (IиII) построения технологических переходов штамповки при изготовлении деталей сложной формы прямой и реверсивной вытяжкой

В массовом и крупносерийном производстве вытяжку осуществляют на кривошипных прессах простого и двойного действия. Как правило, детали крупных и средних размеров (авто кузовные детали, металлическая посуда и др.) вытягивают на прессах двойного действия, мелкие детали – на кривошипных прессах простого действия.

Исследованию процесса вытяжки посвящено большое число работ отечественных и зарубежных ученых. Однако исследование вытяжки продолжается, поскольку некоторые задачи решены приближенно и поэтому требуют уточнения, а также возникают новые задачи в связи с появлением новых способов вытяжки, совмещением вытяжки с другими операциями листовой штамповки и пр. Схема, обобщающая различные способы вытяжки, приведена на рисунке 51.

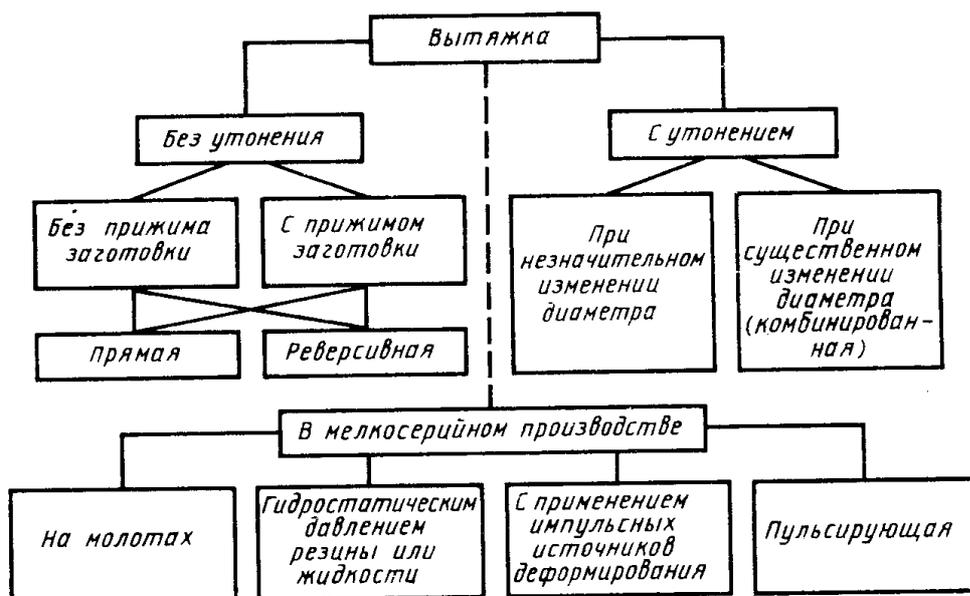
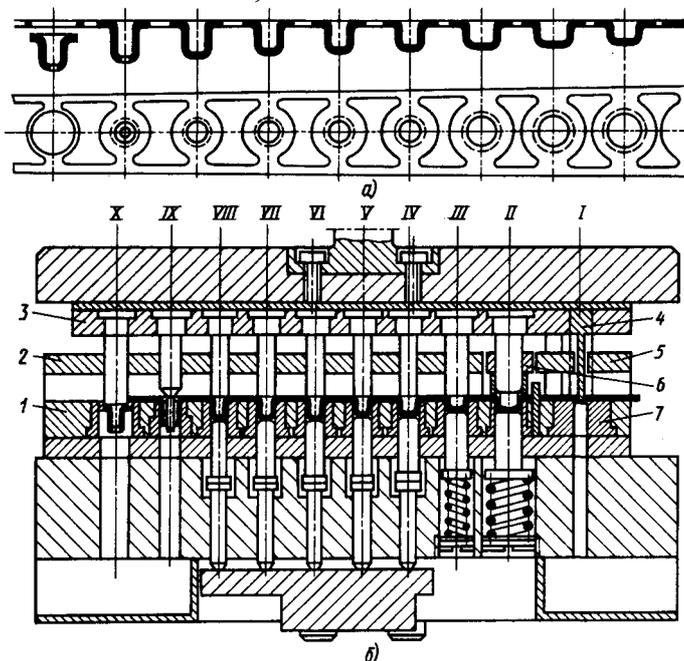


Рисунок 51 - Различные способы вытяжки

### 3.2.2.2 Многопереходная вытяжка деталей в ленте

Штампы последовательного действия предназначены для **выполнения** нескольких переходов вытяжки в сочетании с другими операциями листовой штамповки за несколько шагов подачи **заготовки** и соответствующего числа ходов подвижной части штампа /1,2/.



а) – схема штамповки в ленте; б) – разрез штампа  
 I – X – последовательность стадий штамповки  
 1 – матрицедержатель; 2, 5 – сьемник; 3 - пуансонодержатель;  
 4 - фигурный пуансон с матрицей 7; 6 – пуансоны

Рисунок 52 - Штамп последовательного действия для штамповки в ленте

Сущность процесса заключается в многопереходной последовательной штамповке полуфабрикатов непосредственно в ленте. Полуфабрикаты удерживаются в ней специально предусмотренными перемычками – мостиками или запрессовкой отдельного полуфабриката в соответствующее гнездо. На последнем переходе происходит вырубка по контуру, в результате чего деталь отделяется от ленты. При перемещении ленты относительно инструмента (штампа) вместе с ней перемещаются и все полуфабрикаты.

В штампах последовательного действия штамповка происходит в нескольких парах инструмента, расположенных **последовательно**. Заготовку в виде полосы или ленты перемещают от одной пары инструмента к другой. Переходы штамповки в ленте **показаны** на рисунке 52 а, а десятипереходный штамп **последовательного** действия — на рисунке 52 б. Он предназначен для **изготовления стаканчика** диаметром 10 мм и высотой 17 мм с фланцем и **отверстием** в дне из стали 08 толщиной 1 мм.

Блок этого штампа **состоит** из двух плит, направляющих колонок и втулок. **Пуансоны** штампа прикреплены к верхней плите **пуансонодержателем 3**, матрицы – к нижней плите **матрицедержателем 1**. На всех переходах штамповки матрицы отдельные, сменные. Пуансоны для вытяжки имеют заплечики, служащие для правки фланца **полуфабрикатов** в завершающий момент вытяжки. Для съема ленты с пуансонов имеется жесткий съемник 2.

На первом переходе **штамповки** пробивают окно фигурным **пуансоном 4** и **матрицей 7**. Эта пара инструментов имеет отдельный жесткий съемник 5. На следующем переходе (**II**) выполняется вытяжка. Для устранения возможности появления складок на этом переходе предусмотрено прижимное устройство 6. Вытяжка ведется в шесть переходов (**II—VII**), после чего калибруют радиусы сопряжений фланца и дна с цилиндрической частью детали (**VIII** переход), пробивают отверстия в дне (**IX** переход) и обрезают фланец по контуру (**X** переход). Фиксация детали на **X** переходе обеспечивается ловителем, установленным на пуансоне последнего перехода штамповки. Готовая деталь удаляется через провальное отверстие в нижней плите штампа.

**Этот способ** вытяжки **значительно** повышает производительность **штамповки**, так как лента еще и средство меж переходного транспортирования полуфабрикатов.

В ленте можно штамповать детали различной формы: плоские – вырубкой и пробивкой, изогнутые – гибкой в штампе и пустотелые – вытяжкой, отбортовкой и т.д. Размеры деталей, получаемых вытяжкой, обычно невелики, до 40 – 50 мм в диаметре.

Размеры деталей, получаемых вырубкой, достигают до 250 мм при толщине листа в 2 – 3 мм. В ленте шириной 330 мм штампуют корпуса автомобильных фар в девятипозиционном штампе последовательного действия длиной около 4000 мм.

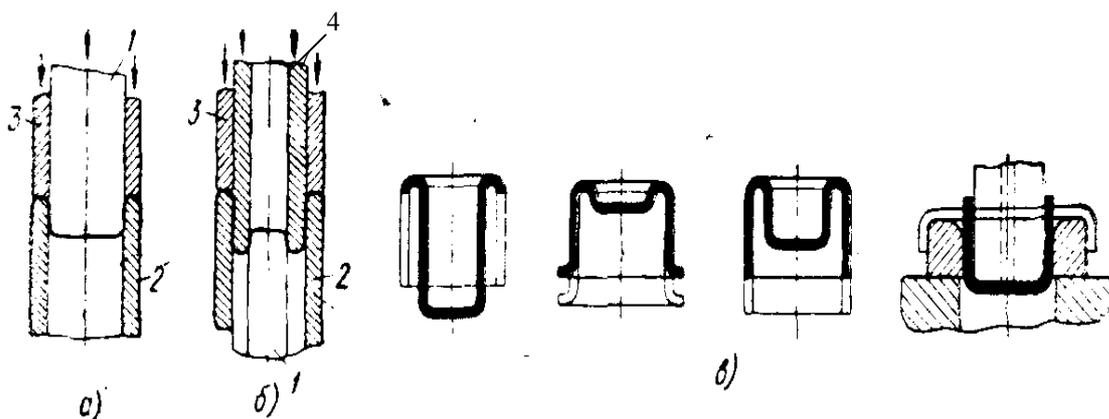
Преимущества штамповки в ленте очевидны: высокая производительность процесса, безопасность в работе, возможность автоматизации процесса подачи ленты в штамп и объединения большого числа переходов в одном штампе последовательного действия (до десяти), в то время

как в штампах совмещенного действия удастся объединить лишь два – три перехода.

Недостатки данного способа штамповки заключаются в некотором ограничении размеров штампуемых деталей, повышенном расходе металла вследствие увеличения переемычек, в сложности и высокой стоимости штамповой оснастки.

Для предотвращения разрывов ленты коэффициент вытяжки принимают несколько большим, чем при обычной вытяжке. Например, в случае вытяжки деталей из низкоуглеродистых сталей и латуни для первой операции коэффициент вытяжки берут равным 0,72, а для второй операции - 0,85.

Вытяжку в ленте можно выполнять по схеме вытяжки деталей с широким фланцем. Для определения диаметров полуфабрикатов по переходам вытяжки необходимо знать допустимые коэффициенты вытяжки. Для низкоуглеродистой стали значение коэффициента вытяжки изменяется от 2,63 до 1,96 на первом переходе и от 1,37 до 1,19 – на последующих переходах. Приведенные коэффициенты вытяжки – предельные, при проектировании технологических процессов их необходимо уменьшить на 10 – 15 %.



а — однократная; б — многократная; в — примеры изделий, получаемых обратной вытяжкой  
 1—пуансон; 2—матрица; 3—прижим; 4—пуансон-матрица

Рисунок 53 - Обратная вытяжка

Если вытяжку в ленте ведут по схеме вытяжки деталей с широким фланцем с одновременным проталкиванием заготовки в матрицу, итоговая (суммарная) степень деформации без межоперационных отжигов может быть очень высокой, предельно допустимые итоговые коэффициенты вытяжки составляют: для низкоуглеродистой стали 7,14; для алюминия – 6,25; для латуни Л62 – 5,0 и Л63– 3,7.

При вытяжке в ленте деформирующее усилие, необходимое для выбора прессы по усилию, определяют приближенно с некоторым запасом как сумму

деформирующих усилий по переходам штамповки (в том числе пробивки окон, обрубка фланца и пр.) и правки фланца.

Область применения штамповки в ленте – изготовление небольших деталей в массовом и крупносерийном производстве.

Вытяжка с утонением характеризуется существенным уменьшением толщины стенки при относительно малом уменьшении диаметра заготовки. При вытяжке с утонением зазор  $z < s$  и ее применяют для изготовления тонкостенных полуфабрикатов. При протяжке длина вытягиваемой детали увеличивается за счет утонения ее стенок. Обычно утонение стенок за один проход не превышает 15 % **толщины материала**.

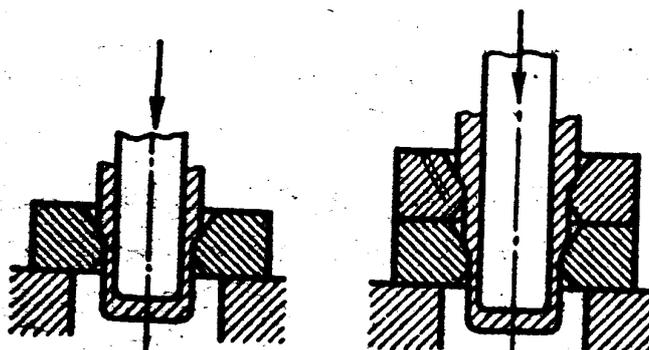
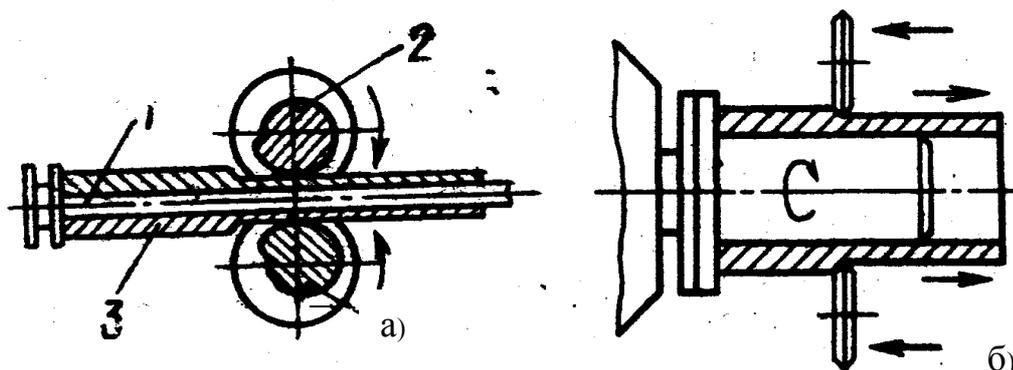


Рисунок 54 - **Вытяжка** с утонением **через** одну или несколько **матриц**

Для уменьшения толщины стенки полых деталей также применяют раскатку /25, 26/, при которой гильза-заготовка, полученная вытяжкой или винтовой прокаткой, раскатывается в бесшовную трубу (рисунок 55 а).

Таковую же раскатку применяют для получения цилиндрических деталей, у которых толщина дна больше толщины стенок. К ним относятся: артиллерийские гильзы, гильзы стрелкового оружия, металлическая посуда с толстым дном, тьюбики для пасты и пр.



а) – при получении бесшовных труб; б) – при получении разнотолщинных заготовок; 1 – оправка; 2 – валки; 3 – гильза

Рисунок 55 – Схема раскатки с утонением стенки

Для этого на оправку 1 нанизывают гильзу 3 и раскатывается между валками 2, имеющими ручей переменного сечения.

### 3.2.2.3 Радиальная вытяжка (раскатка)

Для получения полых деталей из листовых заготовок также применяют радиальную вытяжку (раскатку), показанную на рисунке 56 /27/.

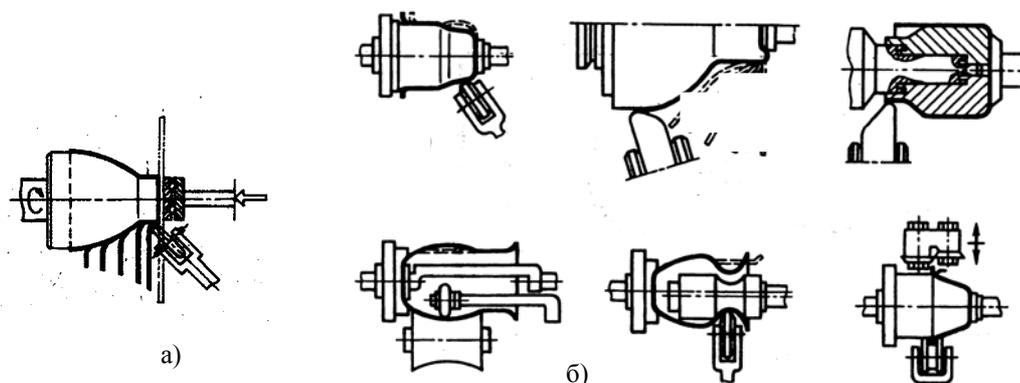


Рисунок 56 – Схема радиальной вытяжки (а) и детали, получаемые ей (б)

Инструментом для проведения операций локальной деформации являются ролики, шарики, алмазные выглаживатели и стержни из инструментальной стали со сглаженным торцом. Инструмент постепенно перемещается относительно заготовки (преимущественно, вращающейся), перемещая тем самым и пятно контакта (локальный очаг деформации). По завершению обработки вся поверхность оказывается пластически деформированной, что позволяет не только перераспределить металл (зачастую в значительных объемах), но и сгладить микронеровности (убирать микровыступы и заполнять микровпадины).

Невысокая стоимость необходимой оснастки, при ее большой стойкости обеспечивает эффективное использование процесса радиальной вытяжки как в мелкосерийном, так и в крупносерийном производстве.

Формоизменение заготовок при раскатке проводят на высокопроизводительных автоматах, или на токарном станке по схеме, аналогичной для обкатки роликом. При трении, в месте контакта заготовки с инструментом она локально разогревается в зоне обработки и, тем самым, теряет прочность лишь там, где это необходимо.

### 3.2.2.3 Способы интенсификации формоизменения заготовок

Наряду с традиционными формоизменяющими операциями листовой штамповки в последнее время получили распространение способы обработки, позволяющие интенсифицировать формоизменение заготовок, что приводит к повышению производительности, снижению трудоемкости и себестоимости продукции.

К таким способам относятся (в некоторых из этих направлений автором достигнуты определенные результаты):

1) совмещение нескольких операций в одном штампе, например, вырубка - гибка, нагрев - пробивка - формовка, вытяжка - обжим, вытяжка - обжим - раздача (А.с. № 1632570, А.с. № 1382540, А.с. № 1611512, А.с. № 1488068 , А.с. № 1400726 , Патент РФ №2207929). Причем преимущества комбинирования не только в сокращении числа переходов, но и в расширении технологических возможностей. Так для операций вытяжка - обжим общий коэффициент вытяжки значительно выше, чем просто при вытяжке;

2) дополнительное силовое воздействие на заготовку, в частности, гидростатическое давление и продольное сжатие, позволяет получать тройники из трубной заготовки;

3) создание неоднородного температурного поля (А.с. № 1578212, А.с. № 1786123 , А.с. № 1715863);

4) пульсирующая вытяжка;

5) локализация очага деформации (А.с. № 1488068 , А.с. № 1344464 , А.с. № 1400726 , А.с. № 1552058, Патент РФ № (Решение о выдаче патента по заявке № 2000122985 от 10.12 2003г.)

6) автоматизация вспомогательных операций (А.с. № 1794557 , А.с. № 1382541, Патент РФ № 2094156);

7) импульсные виды листовой штамповки;

8) использование эластичных материалов при изготовлении штампов (А.с. № 1344464 , Патент РФ № 2207929).

В скобках указаны изобретения автора, защищенные патентами России и авторскими свидетельствами СССР ).

### **3.2.2.2.3.1 Способы уменьшения деформирующего усилия**

Для уменьшения деформирующего усилия вырубки - пробивки применяют различные способы, а именно: вырубку контура по частям, вырубку-пробивку пуансонами разной длины со ступенчатым расположением рабочих кромок и вырубку-пробивку при помощи пуансонов и матриц с наклонами (скошенными) кромками. Последний способ позволяет процесс вырубki-пробивки осуществлять постепенно (как при отрезке на ножницах с наклонным ножом), а не одновременно по всему определяемому контуру. В результате этого усилие вырубki-пробивки может быть уменьшено до 40 %.

Для создания условий, при которых горизонтальные проекции усилий вырубki и пробивки, приложенные к наклонно расположенным (скошенным) рабочим кромкам инструмента взаимно уравнивались, скосы целесообразно делать симметричными относительно оси инструмента. Это позволяет углы наклона рабочих кромок инструмента делать больше, чем при отрезке с односторонним наклоном режущей кромки ножа.

В зависимости от характера операции (вырубki или пробивки) скосы выполняются на матрице или пуансоне. Применение скосов вызывает изгиб той части металла, которая соприкасается с инструментом, имеющим наклонные

рабочие кромки. Поэтому при вырубке скосы делаются на матрице, а при пробивки – на пуансоне.

В области исследований процесса вырубki-пробивки инструментом со скосами наибольший вклад внес Б.П. Звороно. Им предложены расчетные формулы для определения усилия вырубki-пробивки при различной форме рабочих кромок пуансонов и матриц. Например, при вырубке круглой заготовки диаметром  $D$  в матрице с двусторонним скосом формулы для определения усилия вырубki-пробивки имеют вид:

при высоте скоса  $H$ , равной толщине металла:

$$P_T = (2/3)\pi ds \sigma_{cp},$$

при высоте скоса  $H$ , находящейся в пределах  $0,5 - 1,0$  толщины металла:

$$P_T = 2sd_{cp} \arccos [(H - 0.5s)/H].$$

При пробивке прямоугольного отверстия с размерами  $b \times c$  пуансоном с двусторонними скосами формулы для определения усилия имеют вид:

при высоте скоса  $H$ , равной толщине металла:

$$P_T = 2s \sigma_{cp} (b + 0.5c);$$

при высоте скоса  $H$  больше толщины металла

$$P_T = 2s \sigma_{cp} \left( b + c \frac{0.5s}{H} \right).$$

При вырубке и пробивке деталей (или заготовок) диаметром свыше 250 – 300 мм. из толстолистового металла (при  $s/D > 0.1$ ) скосы предусматривают, как правило, на рабочих кромках матрицы. Число скосов (в виде периодически повторяющихся волн) зависит от размеров матрицы, их может быть 4 и более. Относительная высота скосов  $H/s$  изменяется от 1 до 3, чем толще металл, тем относительная высота скоса меньше.

### **3.2.2.2.3.2 Смазочно-охлаждающие технологические средства, применяемые при вытяжке**

При вытяжке с высокой степенью деформации правильный выбор смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) [15], их состава и вязкости имеет первостепенное значение. Использование эффективных СОТС позволяет устойчиво вести процесс при высоком качестве поверхности получаемых деталей и удовлетворительной стойкости инструмента.

В производстве применяют большое число смазочных материалов различного состава: материалы без наполнителей и с наполнителями.

Смазочные материалы без наполнителей не создают достаточно прочной разделяющей (экранирующей) пленки и сравнительно легко выдавливаются. Наилучшие материалы при высоких удельных усилиях – вещества с наполнителями в виде мела, талька и, особенно, порошкообразного графита или древесной муки. Применение таких материалов, кроме повышения допустимой степени деформации, повышает стойкость инструмента (особенно матриц), так как наполнитель является разделяющим слоем между заготовкой и инструментом.

Смазочные материалы, применяемые при вытяжке, должны удовлетворять следующим требованиям:

а) создавать прочную, на засыхающую пленку, способную выдерживать высокие удельные усилия, не выдавливаясь с контактной поверхности;

б) обеспечивать хорошее прилипание (сцепление) и равномерное распределение смазывающего слоя;

в) легко удаляться с поверхности готового изделия;

г) быть химически стойкими и безвредными;

д) частицы наполнителя не должны портить механически (царапины) поверхность изделия и инструмента;

е) не изменять свою вязкость с изменением температуры, т.е. быть термостабильными.

Последнее требование до настоящего времени остается практически трудно выполнимым.

При вытяжке стальных деталей и цветных сплавов хорошие результаты дают СОТС на основе веретенного масла с различного рода наполнителями в виде талька, серы, графита, мела и пр. Кроме того, при вытяжке несложных деталей используют смазочные материалы с присадками хлора и серы типа ХС-147, ХС-163, ХС-164, Укринол-23 и др. /15, 16/.

При вытяжке алюминиевых сплавов используют смеси воска и скипидара или технический вазелин; при вытяжке меди – Укринол-3 или животный жир, а так же сурепное масло или мыльно-масляную эмульсию. При вытяжке деталей, подвергающихся отжигу, в том числе деталей, получаемых вытяжкой с утонением, используют вводно-мыльную эмульсию, так как другие виды смазочных материалов, сгорая, покрывают деталь слоем трудно удаляемого нагара. Температура эмульсии должна быть не выше 20 – 30 °С, при более высокой температуре вязкость эмульсии настолько уменьшается, что она теряет свои антифрикционные свойства, появляется брак по разрывам.

Смазочные материалы, пригодные при вытяжке с малой скоростью деформирования, совершенно непригодны при вытяжке с высокой скоростью деформирования вследствие нагрева и уменьшения вязкости. Возможность получения годных деталей вытяжкой со скоростью деформирования порядка 300 м/с. При штамповке взрывом листовых алюминиевых сплавов используют вазелиновое масло или 10 %-ную вводно-мыльную эмульсию /15/.

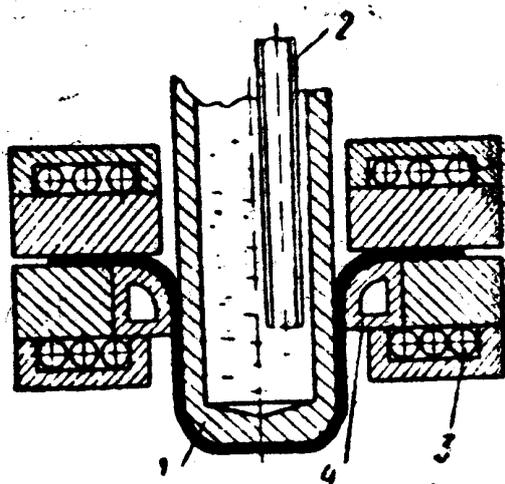
Рассмотренные смазочные материалы используют не только при вытяжке, но и при выполнении других формоизменяющих операций: гибке, обжиме, раздаче, отбортовке и пр.

### 3.2.2.2.3.3 Создание неоднородного температурного поля в очаге деформации и в зоне передачи усилия

Сущность способа интенсификации формоизменения заготовок, основанного на создании в них неоднородного температурного поля, можно установить, анализируя условие сохранения прочности (или устойчивости) при вытяжке. Это условие заключается в том, что наибольшее радиальное растягивающее напряжение не должно превышать критического напряжения текучести  $\sigma_s$ , при котором происходит локальная потеря устойчивости. С учетом этого разработаны два способа вытяжки: с локальным нагревом зоны пластической деформации (с целью уменьшения  $\sigma_s$  в этой зоне) и с локальным охлаждением зоны передачи усилия (с целью увеличения  $\sigma_b$  на этом участке).

Штамповку с нагревом зоны пластической деформации применяют, в основном, в производстве деталей летательных аппаратов, изготавливаемых из магниевых и алюминиевых сплавов. С локальным нагревом проводят вытяжку высоких цилиндрических и коробчатых деталей из плоских заготовок, а также обжим и раздачу трубчатых заготовок, что позволяет получать детали сложной формы.

Температура нагрева зоны деформации зависит от материала заготовки. Для алюминия и его сплавов она составляет от 400 до 450 °С, для магниевых сплавов от 360 до 380 °С. Время выдержки для нагрева заготовки зависит, в основном, от ее толщины. Для заготовок из алюминиевых сплавов время выдержки определяют из расчета от 6 до 8 с на 1 мм толщины. При вытяжке нагрев зоны пластической деформации заготовки осуществляют электронагревателями, встроенными непосредственно в штамп. Для создания возможно большей разности температур в опасном сечении и фланце заготовки пуансон штампа для вытяжки охлаждают проточной водой (рисунок 57).



1 – пуансон; 2 - трубка для подачи охлаждающей жидкости;  
3 —нагревательные элементы; 4 — матрица с каналом для охлаждения

Рисунок 57- Вытяжка с подогревом фланца и охлаждением пуансона и матрицы

В связи со сравнительно большой продолжительностью нагрева заготовки штамповку осуществляют на гидравлических прессах или на прессах для штамповки пластмасс.

Особенно эффективна вытяжка с локальным нагревом при изготовлении некруглых в поперечном сечении деталей: квадратных, прямоугольных, овальных, типа «восьмерки» и др., с малым радиусом скругления угловых участков. При вытяжке с нагревом за одну операцию можно получить некруглые детали более высокие, чем при вытяжке при комнатной температуре.

Неравномерное температурное поле по очагу деформации может быть получено в результате изменения числа и места расположения нагревательных элементов, а также охлаждения отдельных участков штампа. Кроме того, оно может быть получено электроконтактным нагревом.

Недостатки штамповки с локальным нагревом заключаются в конструктивной сложности штампа и низкой производительности труда, достоинства – в возможности существенного сокращения числа операций при вытяжке высоких деталей с поперечным сечением сложной формы.

Вытяжка с применением глубокого холода основана на способности определенной группы металлов повышать свою прочность под воздействием весьма низких (криогенных) температур. При охлаждении сталей аустенитного класса до температуры минус 180 °С существенно возрастает предел текучести, временное сопротивление и другие характеристики прочности. При этом характеристики пластичности (например, относительное удлинение) снижаются незначительно или остаются без изменения.

Например, при охлаждении сталей 10 и 20 до температуры минус 180 °С временное сопротивление увеличивается примерно в 2 раза, а стали 12Х13 в 2,3 раза. Относительное удлинение сталей 10 и 20 при этой температуре несколько снижается, а стали 12Х13 остается неизменным. Кратковременное глубокое охлаждение с последующим нагревом до комнатной температуры на структурное состояние указанных сталей не влияет.

Рассмотренное явление используется при вытяжке для повышения прочности опасного сечения вытягиваемой детали путем локального охлаждения зоны передачи усилия. Это позволяет существенно повысить степень деформации за один переход и, следовательно, увеличить производительность труда.

Вытяжку с глубоким охлаждением опасного сечения детали осуществляют в специальных штампах, особенность которых заключается в том, что в пустотелый пуансон периодически, при каждом ходе прессы, подается определенная доза хладагента в виде жидкого азота или жидкого воздуха, имеющего температуру кипения порядка минус 180 °С.

При этом происходит интенсивное охлаждение пуансона, который, соприкасаясь с тонколистовой заготовкой, отбирает теплоту, охлаждает ее и повышает прочность металла в зоне контакта пуансона и заготовки. В результате этого опасное сечение детали способно выдерживать более высокую нагрузку, чем при вытяжке при комнатной температуре. Время охлаждения составляет до 20 с, поэтому вытяжку с применением глубокого холода ведут на

гидравлических прессах. Предельные коэффициенты вытяжки для стали 10 и 20 при таком процессе достигают до 3,0.

Недостатки данного способа вытяжки – сложность конструкции штампа и необходимость применения установки для хранения и подачи хладагента в штамп. Преимущество заключается в сокращении числа операций при вытяжке цилиндрических деталей по сравнению с вытяжкой при комнатной температуре и возможность штамповки стальных тонколистовых деталей сложной формы за одну операцию.

#### **3.2.2.2.3.4 Снижение реактивных и повышение разгружающих сил трения при вытяжке - вырубке**

Снижение реактивных и повышение разгружающих сил трения при вырубке – вытяжке, то есть уменьшение сопротивления сдвигу и повышение качества поверхности разделения достигается применением предварительной пробивки отверстия, имеющего диаметр меньше номинального с последующей пробивкой в размер.

Предварительную пробивку отверстий диаметром меньше номинального выполняют ступенчатым пуансоном. Диаметр первой ступени пуансона  $D_v$  составляет до 0,8 номинального диаметра отверстия  $D_n$ , высота ступени  $h_v =$  (от 0,8 до 0,9) $S$  – толщины штампуемого листа.

Первая ступень пуансона предварительно пробивает отверстие диаметром  $D_v$ , при этом в результате скола поверхность разделения получается неровной. Вторая ступень пуансона, по существу, зачищает полученную поверхность разделения и одновременно снимает концентрацию напряжений, возникшую при появлении скалывающихся трещин в начальный период пробивки.

Применение ступенчатых пуансонов (первая ступень которых носит название "предразрушающих выступов") позволяет улучшать качество кромок отверстий, получаемых пробивкой в хрупких неметаллических материалах.

При штамповке гетинакса и текстолита зазор между пуансоном и матрицей принимается значительно меньшим, чем при штамповке металлов (от 1,5 до 4 % от толщины материалов), а перемычка между контурами вырубаемых деталей – примерно на 50 % больше, чем при вырубке малоуглеродистой листовой стали. Указанные параметры являются следствием уже отмеченных особенностей слоистых пластиков, в частности их хрупкости.

#### **3.2.2.2.3.5 Гидромеханическая вытяжка**

Качественная оценка влияния сил трения, возникающих при вытяжке, послужила основанием для разработки новых способов штамповки листовых заготовок, в числе которых гидромеханическая вытяжка (ГМВ).

Сущность ГМВ заключается в том, что формоизменение заготовки осуществляют жестким пуансоном в полости штампа, заполненной жидкостью (водой или маслом). Схема штампа для ГМВ приведена на рисунке 58.

Одновременно высокое гидростатическое давление жидкости создает нормальное давление на внешнюю поверхность вытягиваемой детали, что приводит к увеличению силы трения  $F_4$ , и опасное сечение разгружается.

Уменьшение реактивных и увеличение активных (разгружающих) сил трения позволяет повысить предельно-допустимую степень деформации и с помощью ГМВ получать за одну операцию цилиндрические детали с относительной высотой  $H/d \geq 1$  при малых радиусах скругления дна и высоком качестве поверхности детали.

Основные параметры ГМВ – оптимальная толщина слоя смазочного материала и усилие прижима заготовки. Анализ движения смазочного слоя на основе теории ламинарного течения жидкости позволил определить основные закономерности процесса ГМВ и получить расчетные формулы для определения параметров технологического процесса. На этой основе В.И. Казаченковым установлено, что деформирующее усилие ГМВ увеличивается с увеличением скорости штамповки, вязкости жидкости, размеров вытягиваемой детали и существенно уменьшается с увеличением толщины слоя смазочного вещества. ГМВ за одну-две операции получают детали конической, параболической и сферической формы, в то время как при вытяжке в жестких штампах для изготовления такого рода деталей требуется три-четыре и более.

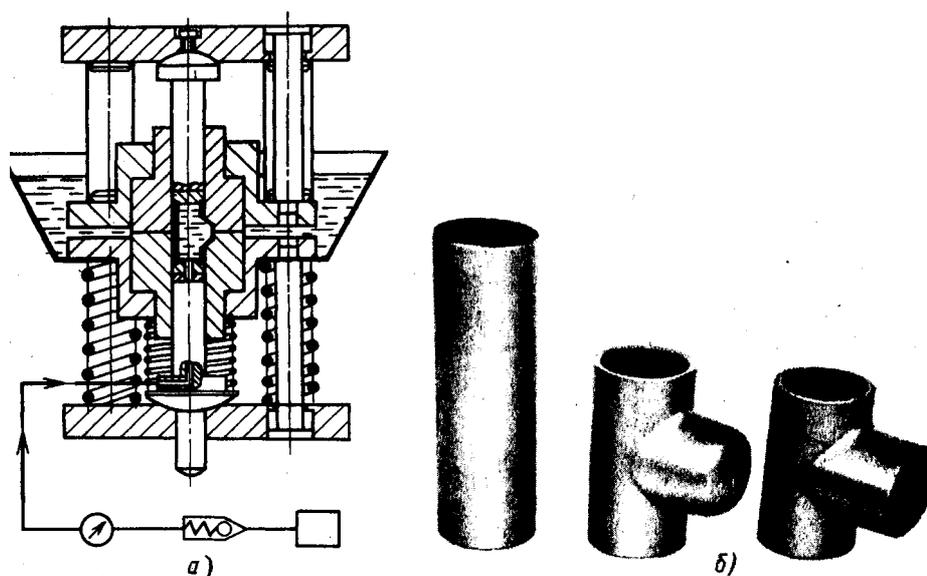


Рисунок 58 - Штамп для изготовления тройника из трубчатой заготовки (а) и технологические переходы изготовления тройника (б)

По мере опускания пуансона 1 давление жидкости в камере 4 возрастает настолько, что она начинает вытесняться в круговой зазор между фланцем вытягиваемой заготовки 2 и матрицей штампа 3. При этом реактивные силы трения  $F_1$ ,  $F_2$  и  $F_3$  существенно уменьшаются, поскольку фланец заготовки перемещается между зеркалом прижимного кольца и тонким слоем жидкости.

Недостаток ГМВ – большая энергоемкость процесса, так как необходимое деформирующее усилие до трех раз больше, чем при обычной

вытяжке. Это объясняется тем, что большие энергозатраты расходуются на преодоление противодействия жидкости (до 80 %).

Кроме того, требуется более высокое давление прижимного кольца штампа, чем при обычной вытяжке, так как с уменьшением растягивающих напряжений в очаге деформации вследствие уменьшения реактивных сил трения  $F_1$ ,  $F_2$  и  $F_3$ , по условию пластичности, сжимающее напряжения увеличиваются и это повышает вероятность появления складок.

Давление прижимного кольца определяют экспериментально для различных условий процесса вытяжки. Для сталей 08 кп и 10 оно составляет от 4 до 6 МПа, при коэффициентах вытяжки  $K_{в1} = 2,6$ ;  $K_{в2} = 1,7$ ;  $K_{в3} = 1,6$ .

### 3.2.2.2.3.6 Пульсирующая вытяжка

Пульсирующую вытяжку осуществляют в штампе с прижимным кольцом, совершающим колебательное (пульсирующее) движение вдоль оси штампуемой детали. В этих условиях вначале происходит вытяжка без прижима заготовки, сопровождаемая появлением складок (гофрированием), а затем правка (разглаживание) фланца прижимным кольцом. В период вытяжки без прижима заготовки отсутствуют силы трения, возникающие при скольжении фланца относительно рабочей поверхности прижимного кольца штампа, в связи с чем радиальные растягивающие напряжения в опасном сечении меньше, чем при вытяжке с прижимом заготовки. Процесс вытяжки с преднамеренным гофрированием и разглаживанием фланца предложен Е.С. Сизовым и его сотрудниками. При пульсирующем режиме работы допустимый коэффициент вытяжки составляет от 2,5 до 2,9, а высота деталей, получаемых за одну многопереходную операцию, в 2,5 раза больше, чем при обычной вытяжке. Наиболее эффективно пульсирующую вытяжку применять при штамповке деталей коробчатой формы, при изготовлении которых допустимый угловой коэффициент вытяжки достигает 12,5, в то время как при обычной вытяжке он составляет 3,3. Это позволяет существенно сократить число операций – вместо трех-четырех операций можно получать требуемую деталь за одну, осуществляемую в условиях пульсирующего режима.

Применение пульсирующей вытяжки особенно целесообразно при штамповке цилиндрических деталей, имеющих относительную толщину стенки  $\bar{s} = s/d_n \leq 0,03$ . При этом радиус скругления рабочей кромки матрицы должен быть в 3 раза меньше, чем при обычной вытяжке. Значение этого радиуса определяют по эмпирической формуле

$$r_M = s \left( 0,25 + 0,5 / \sqrt{s_0} \right),$$

где  $s_0$  – относительная толщина заготовки;

$r_M$  – радиус рабочей кромки матрицы, мм.

Расчеты показывают, что при  $s_0 > s/d_n =$  от 0,01 до 0,03  $r_M =$  (от 3 до 6)s.

Для полного разглаживания фланца и улучшения условий его скольжения относительно контактной поверхности инструмента рабочая часть (зеркало) прижимного кольца должна иметь плоский кольцевой участок шириной 3 – 5 мм, граничащий с его внутренним контуром, а остальная часть зеркала – быть слегка конусной (угол конусности  $0^{\circ} 30' - 1^{\circ}$ ).

Амплитуду пульсации  $f$  прижимного кольца и единичный ход пуансона  $h_n$  за один цикл пульсации рассчитывают по формулам:

$$f = 0.05(K_B - 1)d_n,$$
$$h_n = (0,1 \div 0,2)f,$$

где  $d_n$  – диаметр пуансона, мм.

При пульсирующей вытяжке усилие, создаваемое прижимным кольцом, должно быть до четырех раз больше усилия, создаваемого пуансоном, так как только при этом условии обеспечивается разглаживание складок, периодически появляющихся во фланце.

Для пульсирующей вытяжки применяются специальные прессы двойного действия моделей: ПГ-13, ПМШ-500, ПГВ-1 с номинальным усилием 500/1000, 1000/4000 и 2000/3000 кН (в числителе указано усилие, развиваемое внутренним, а в знаменателе внешним ползунами пресса).

### **3.2.2.2.3.7 Выполнение технологических операций штамповки эластичными материалами**

Наряду с традиционным использованием высокомолекулярных соединений, путем замены металлического материала деталей на полимеры, все большее расширяется их применение при изготовлении оснастки для осуществления высокопроизводительных операций листовой штамповки (вырубки и пробивки, гибки, вытяжки, рельефной формовки), при этом, наблюдается не только сокращение расхода инструментальной стали, но и расширяются технологические возможности вышеуказанных операций обработки металлов давлением (ОМД) /28/. Так, например, за счет возможности выполнения формоизменяющей операции рельефная формовка обеспечено получение детали сложной пространственной формы на одной позиции за один ход ползуна пресса.

Пластмассы широко применяют на автомобильных, авиационных и других заводах для изготовления элементов штампов для холодной листовой штамповки тонколистового материала при опытном и мелкосерийном производстве.

В настоящее время, в опытном и мелкосерийном производстве широко применяется вырезка листовых деталей эластичной средой ввиду малой трудоемкости оснастки и возможности быстрой переналадки производства [12].

Операции, выполняемые эластичной средой, разделены на четыре группы:  
- пробивка отверстий;

- вырезка по контуру;
- вырезка по контуру с одновременной пробивкой отверстий и пазов;
- совмещенные операции вырезки и формовки.

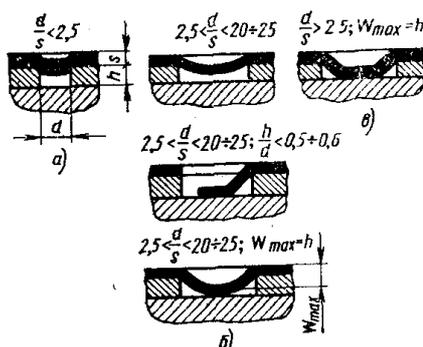
Рассмотрим более подробно некоторые операции листовой штамповки эластичной средой.

### 3.2.2.3.7.1 Вырубка и пробивка эластичной средой

Вырубку и пробивку резиной применяют главным образом в мелкосерийном производстве для получения весьма крупных деталей из тонколистового материала, толщиной: стали до 1 мм, дюралюминия - до 1,3 мм, алюминия до 2 мм.

При вырезке деталей эластичной средой получение готовых деталей определяется возможностью пробивки имеющихся отверстий. Это объясняется тем, что вырезка детали по контуру осуществляется при меньшей величине давления эластичной среды, чем пробивка в ней отверстий, которая имеет специфические особенности.

Резиной можно одновременно вырубать наружный контур и пробивать отверстие или вырубать контур и формировать углубление.



- а) при отношении  $d/s < 2,5$ ; б) при отношении  $2,5 < d/s < 25$ ;  
 в) при отношении  $d/s > 25$  и  $W_{max} > h$

Рисунок 59 - Схемы пробивки отверстий резиной

При вырубке резиной на подштамповую плиту 4 (рисунок 58 а) устанавливают стальной шаблон 3, выполняющий роль пуансона. Матрицей служит резиновая подушка 1, заключенная в металлическую обойму или резина без обоймы. Высота шаблона около 10 мм, толщина резиновой подушки в 5 раз больше высоты пуансона.

Вырубка осуществляется следующим образом: заготовку 2 укладывают на шаблон, ползун прессы опускается, резиновая матрица прижимает заготовку к пуансону-шаблону, отгибает свисающие края заготовки и придавливает их к подштамповой плите. При дальнейшем движении ползуна эти края обрываются по контуру пуансона. Пробивка резиной происходит аналогично, только при этом применяют стальную матрицу 5 и резиновый

пуансон 6 (рисунок 59).

При пробивке отверстия эластичной средой в зависимости от соотношения между диаметром  $d$  пробиваемого отверстия, толщиной  $S$  материала детали от напряженно-деформированного состояния заготовки возможны три случая.

1. При отношении  $d/s < 2,5$  материал заготовки почти не вытягивается в отверстие вырезного шаблона (рисунок 59 а). В этом случае преобладающей деформацией является сдвиг по режущей кромке шаблона, и механизм пробивки таких отверстий эластичной средой близок к пробивке в штампе из инструментальной стали.

2. При отношении  $2,5 < d/s < 25$  материал заготовки вытягивается в отверстие вырезанного шаблона и одновременно режущая кромка шаблона врезается в заготовку (рисунок 59 б). Затем, за счет локализации напряжений вблизи режущей кромки происходит разрушение материала, быстро охватывающее от 80 до 90 % периметра отверстия. Образовавшийся отход под действием эластичной среды отгибается.

3. При отношении  $d/s > 25$  и  $W_{max} > h$  (рисунок 59 в) материал заготовки касается наиболее вытянутой частью подштамповой плиты до начала разрушения. В результате центральная часть заготовки перестает удлиняться, а близлежащие слои продолжают удлиняться, пока не коснутся подштамповой плиты. Разрушение заготовки в этом случае близко по своему механизму к вырезке детали по контуру и поэтому для расчета необходимых технологических параметров пробивки можно использовать формулы, полученные для контура.

Преимущества вырубки и пробивки резиной - простота и дешевизна штампов.

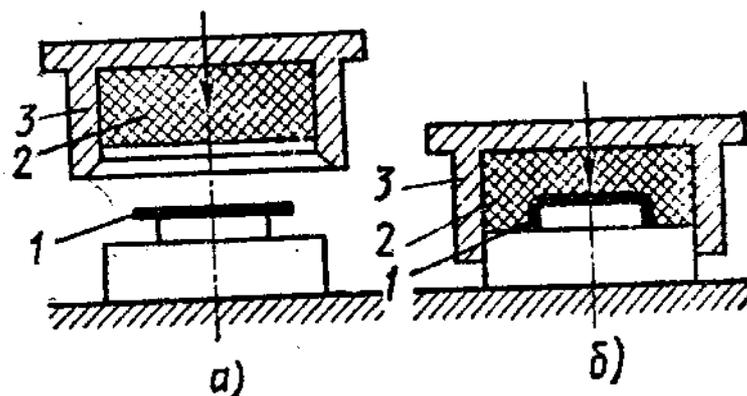
Недостатки - ограниченность толщины обрабатываемого металла и большой его отход.

Вырубку резиной осуществляют главным образом на специальных гидравлических прессах, реже на кривошипных или иных машинах. Для уменьшения отходов при вырубке резиной применяют заземляющие устройства (рисунок 59 в).

В качестве эластичной среды при вырубке и пробивке вместо резины применяют синтетический материал - полиуретан, который обладает высокой прочностью, износостойкостью и эластичностью. Эти свойства полиуретана позволяют получать изделия высокого качества, не требующие дальнейшей доработки контура.

### **3.2.2.2.3.7.2 Гибка эластичной средой**

Штампы для гибки резиной дешевле обычных, так как одну из деформирующих деталей (пуансон или матрицу) заменяют универсальной резиновой подушкой.



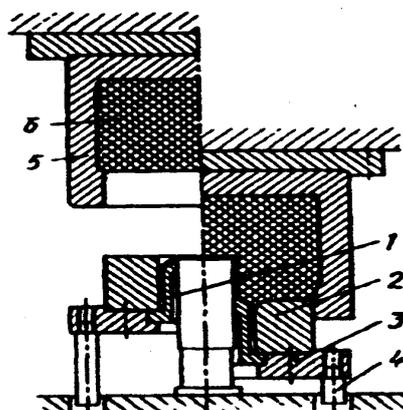
а) — до гибки; б) — после гибки;  
1 — заготовка; 2 — резиновая подушка; 3 — стальная обойма

Рисунок 60 - Схема процесса гибки резиной

Заготовки 1 из тонкого листового металла можно изгибать резиновой подушкой (рисунок 60), заключенной в стальную обойму 3. Гибку резиной применяют, главным образом, в мелкосерийном производстве.

#### 4.2.3 Вытяжка эластичной средой

Вытяжку резиной (рисунок 61) выполняют резиновой подушкой (пуансоном) в жесткой матрице или жестким пуансоном в резиновой матрице.

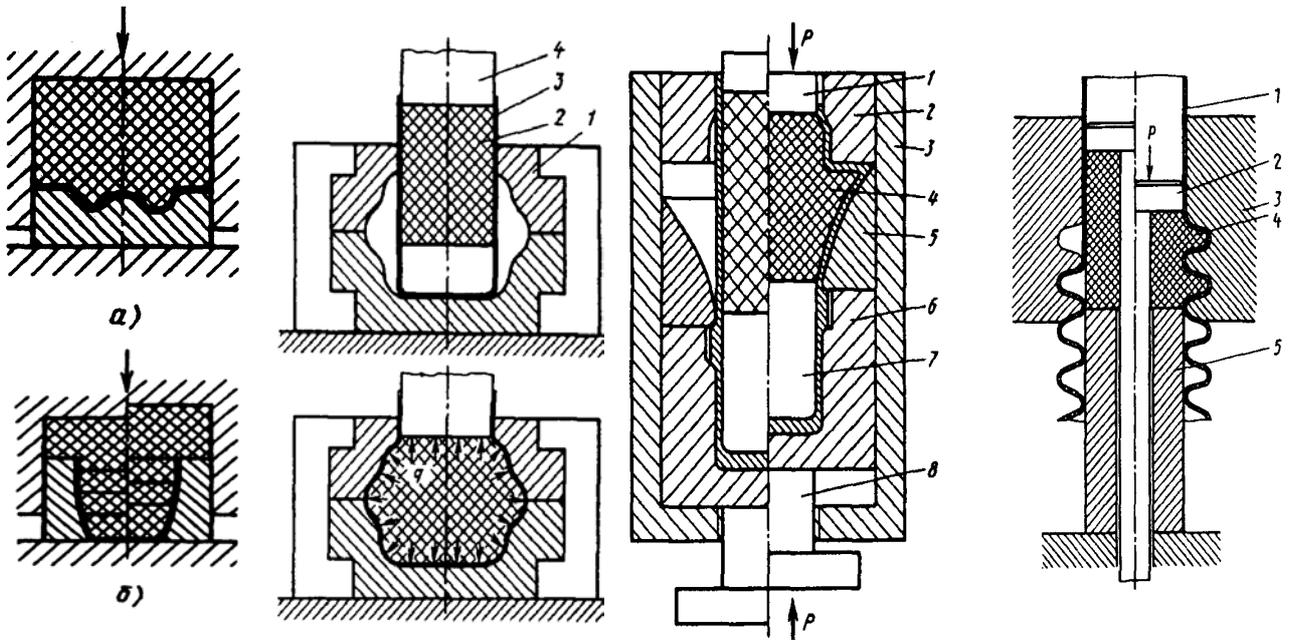


1 — предварительно вытянутая заготовка; 2 — ограничитель; 3 — упор;  
4 — направляющие; 5 — стальная обойма; 6 - резиновая подушка

Рисунок 61 - Схема последующего перехода вытяжки эластичной матрицей

Оба способа применяются для получения полных деталей из тонколистового материала. Резиновую подушку заключают в стальную обойму.

Для выполнения операции вытяжки также применяют эластичный (резиновый) пуансон, который позволяет осуществлять не только осевую, но и радиальную вытяжку, например при получении различных деталей, в том числе, гофрированных труб (сильфонов) (рисунок 62).



*a* — первый переход вытяжки; *б* — последующий переход вытяжки

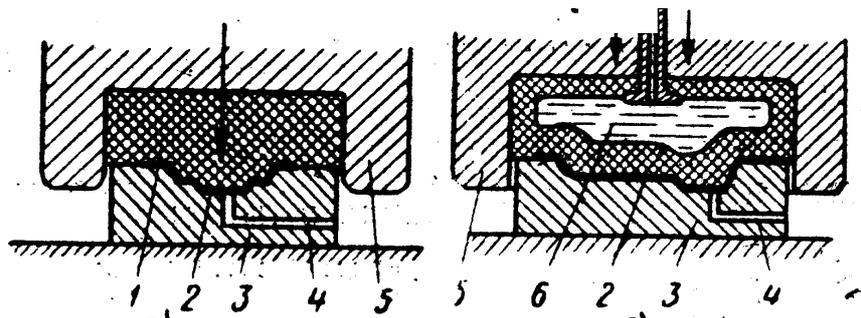
1 — разъемные матрицы; 2 — эластичный пуансон; 3 — предварительно полученная полая заготовка; 4 — пуансон-толкатель

1 — верхний пуансон; 2 — верхняя матрица; 3 — обойма; 4 — эластичный материал; 5 — нижние разъемные матрицы; 6 — контейнер; 7 — вкладыш; 8 — нижний пуансон

1 — заготовка; 2 — пуансон; 3 — разъемные матрицы; 4 — эластичный материал; 5 — контрпуансон

Рисунок 62 -Схемы штампов для формовки резиной пространственных деталей

Наряду с применением в качестве пуансона непосредственно резины, находит применение штамповка жидкостью в резиновом мешке (рисунок 63).



*a* — резиной; *б* - жидкостью

1 — резиновый пуансон; 2 — деталь; 3 — матрица; 4 — канал для выхода воздуха; 5 — массивная обойма; 6 — жидкость в резиновом мешке

Рисунок 63 - Вытяжка резиной (а) и гидравлическая (б)

### **3.2.2.3 Комбинированная (последовательная или совмещенная) штамповка**

Комбинированными называют сложные штамповочные операции, объединяющие две или несколько простых

Сущность комбинированной штамповки заключается в объединении нескольких операций в одном штампе, при этом объединяемые операции называют *переходами*. Например, если шайбу получают вырубкой на одном прессе, а затем пробивкой на другом, то это две однопереходные *операции*; если шайбу получают в комбинированном штампе, в котором происходит пробивка и вырубка на одном прессе, то это двухпереходная операция.

Объединяться могут: разделительные операции с разделительными (вырубка, пробивка), формоизменяющие с формоизменяющими (первой и последующие переходы вытяжки), разделительные с формоизменяющими (вырубка, вытяжка). Возможности объединения операций в одном штампе зависят от соотношения внешних и внутренних размеров штампуемых деталей.

При комбинированной штамповке отдельные ее переходы можно выполнять последовательно, при перемещении заготовки в виде полосы или ленты с одной позиции штамповки на другую, за несколько ходов пресса (последовательная штамповка) или одновременно, на одной позиции штамповки, за один ход пресса (совмещенная штамповка). Комбинированную штамповку выполняют в штампах последовательного и совмещенного действия.

#### **3.2.2.3.1 Последовательная штамповка**

При последовательной штамповке деталь получают постепенно при перемещении ленты, полосы или отдельной заготовки после каждого перехода обработки из предыдущей позиции штампа в последующую. За каждый ход пресса в таком штампе осуществляется одновременно несколько разных разделительных или формоизменяющих переходов штамповки.

В штампах последовательного действия рабочий инструмент (пуансон, матрица) расположен последовательно, один за другим.

#### **3.2.2.3.2 Совмещенная штамповка**

При совмещенной штамповке деталь получается за один ход пресса на одной позиции штамповки. В таких штампах совмещают в одной позиции вырубку, пробивку и вытяжку; гибку и пробивку и т. д. Комбинированная штамповка значительно повышает производительность штамповочных работ.

В штампах совмещенного действия рабочий инструмент (пуансон, матрица) расположен один в другом. Штампы совмещенного действия более компактны, чем штампы последовательного действия, их конструкция исключает возможность смещения внешнего контура штампуемой детали относительно внутреннего, равно как и изгиб детали в процессе штамповки.

Совмещенную штамповку применяют для получения деталей с малыми допусками на эксцентricность и повышенными требованиями к плоскостности изделия. Трудоемкость изготовления штампов совмещенного действия до двух раз выше, чем штампов последовательного действия.

Если не принимать во внимание ходы прессы, совершаемые в самом начале штамповки (число которых не единицу меньше общего числа переходов), то при последовательной штамповке независимо от числа переходов за каждый рабочий ход прессы получают готовую деталь.

### **3.2.2.4 Пластическая обработка с локализацией очага деформации**

Пластическое деформирование широко применяют для формообразования поверхностей деталей и для упрочняющей поверхностной обработки. Формообразование фасонных поверхностей в холодном состоянии методом накатки имеет свои преимущества, главными из которых являются очень высокая производительность, низкая стоимость обработки и высокое качество обработанных деталей. Отличительной особенностью операций раскатки от операций штамповки является локальный характер приложения деформирующего усилия, что позволяет существенно снизить удельное и общее суммарное усилие деформирования.

В мелкосерийном и серийном производстве применяют различные способы пластического формоизменения металла, сущность которых заключается в том, что деформирующий инструмент (пуансон, матрица, ролик, накатник) контактирует с заготовкой лишь на небольшом (локальном) участке, создания в нем очаг пластической деформации, который непрерывно перемещается по заданной траектории. При этом существенно уменьшается сила деформирования, реактивные силы трения, повышается стойкость инструмента, упрощается его конструкция, что создает возможность производства большой номенклатуры деталей при малых затратах средств на изготовление оснастки.

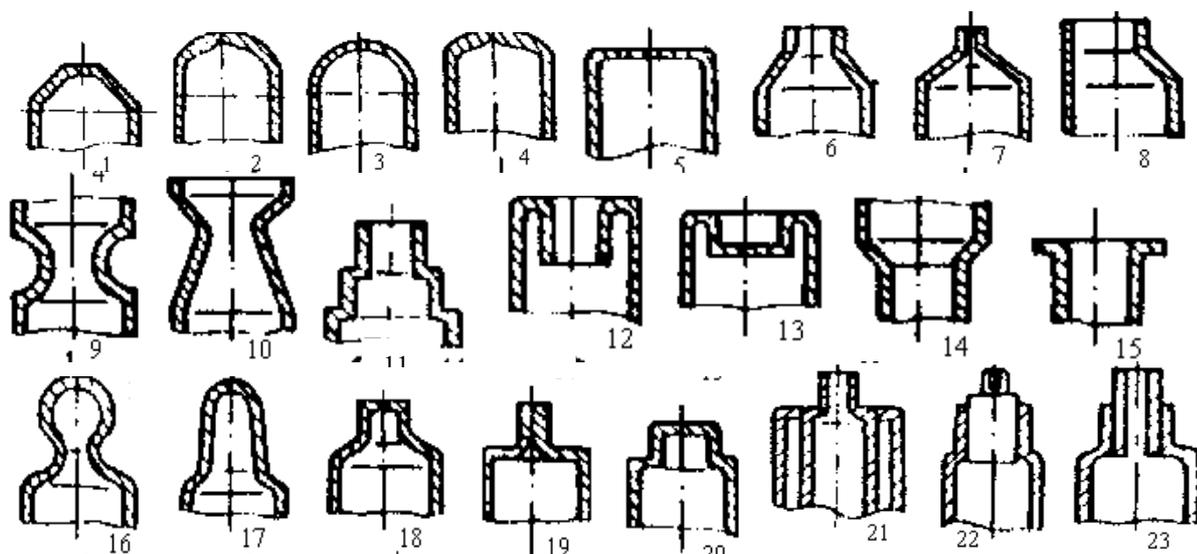
К числу способов ротационной обработки металла относят: ротационную вытяжку, сферодвижную штамповку, торцовую и кольцевую раскатку полых заготовок, накатку зубьев шестерен, накатку резьбы и шлицев и пр.

При ротационной вытяжке заготовка вращается вместе с шаблоном или оправкой, а давяльник в виде ролика перемещается в направлении касательной к шаблону. При сферодвижной штамповке заготовка не вращается, а инструмент (пуансон или матрица) совершает качательное и поступательное (вдоль оси детали) движение.

#### **3.2.2.4.1 Торцевая раскатка**

При торцовой раскатке вращается заготовка, а ролик, ось которого расположена перпендикулярно оси заготовки, передает давление на ее торец. Формоизменение заготовок при раскатке проводят на токарном станке или на

высокопроизводительных автоматах. Типовые детали, полученные ротационной обработкой, показаны на рисунке 64 /29/.



1 - 4, 17 - герметичные сферические, эллипсоидные и параболические днища;  
 5, 18, 20 - плоские и ступенчатые днища; 6 - 8, 11, 15 - горловины  
 цилиндрические, эксцентриковые и сливы трубопроводов; 9, 10, 14- диффузоры  
 и конфузоры; 12, 13 - детали с внутренним выворотом; 16 - детали с шаровой  
 пятой (шток гидроцилиндра); 19 - цапфы на роликах; 21 – «рубашка» на трубе;  
 22, 23 - деталь со вставной цапфой

Рисунок 64 – Детали, получаемые из труб способом торцовой раскатки

Точность размеров этих деталей соответствует 8 – 11 качеству, а шероховатость поверхности  $R_a =$  от 5 до 0,63 мкм. Производительность ротационной обработки ниже производительности штамповки на прессах (от 5 до 10 дет/мин), за исключением накатки резьбы и неглубоких шлицев на специализированных автоматах.

Процесс обеспечивает высокую точность и низкую шероховатость получаемого изделия, что в большинстве случаев позволяет исключить из процесса дальнейшую механическую обработку.

Результатом использования процессов раскатки является снижение расхода металла и трудоемкости изготовления деталей до 30 %. Невысокая стоимость необходимой оснастки при большой ее стойкости обеспечивает эффективное использование процессов, как в мелкосерийном, так и в крупносерийном производстве. Получаемые раскаткой изделия весьма разнообразны, например, баллоны и ресиверы для сжатых и сжиженных газов, резервуары и крышки амортизаторов, детали пневмо- и гидроцилиндров, в том числе полые штоки с шаровой пятой, экраны и переходники для теплообменных аппаратов, стержни со специфической или конусной оконцовкой, ступенчатые валы, трубчатые металлоконструкции, втулки и многое другое (рисунок 64).

Материалом заготовок для деформирования является углеродистая, среднеуглеродистая, инструментальная сталь, а также некоторые марки легированной стали, цветные металлы и их сплавы, а заготовками для выполнения процессов раскатки являются трубы или отходы трубного производства, причем диапазон заготовок по диаметру  $D$  от 20 до 630 мм, а по толщине стенки  $S$  от 0,8 до 34 мм. Отношение  $S/D$  допустимо от 0,02 до 0,1 длина  $L$  используемых заготовок без ограничения.

На рисунке 65 показана деталь - ролик ленточного транспортера, полученная из трубной заготовки путем ее торцевой раскатки, то есть выворотом торцевых участков вовнутрь.

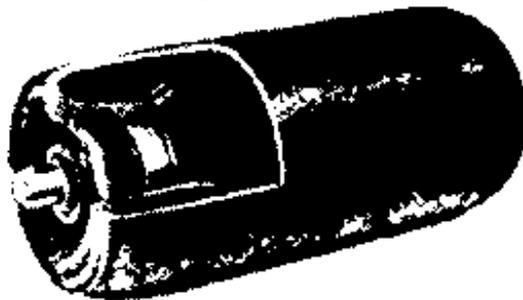
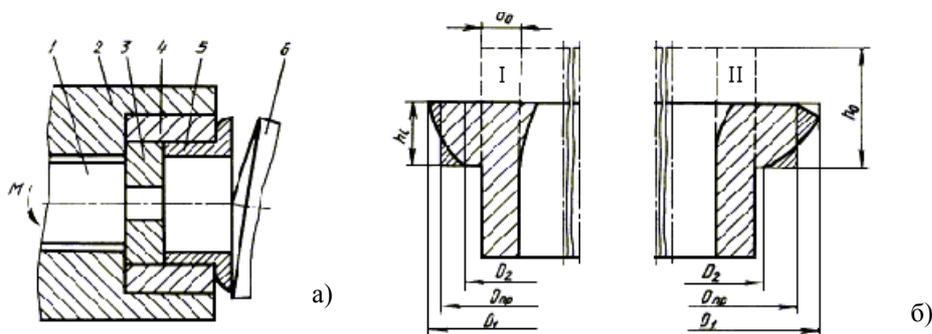


Рисунок 65 - Ролик ленточного транспортера

Экономия материала и снижение трудоемкости при изготовлении данной детали очевидны.

Одной из самых эффективных областей рассматриваемого процесса является получение утолщений на торцах трубы (рисунок 66) и получение деталей с наружными буртами /30/.

При трении в зоне обработки в месте контакта с инструментом заготовка локально разогревается, что приводит к потере прочности материала. Причем прочность теряется лишь там, где это необходимо, то есть в локальной зоне обработки. Торцевую раскатку можно проводить на установках как без внутренней оправки (рисунок 66), так и с ней (рисунок 67).



а - схема раскатки; б - форма буртов, полученных в результате высадки и отбортовки. I - высадка; II - отбортовка.

1 - выталкиватель; 2 - шпиндель; 3 - подпятник; 4 - матрица;  
5 - заготовка; 6 - деформирующий валок

Рисунок 66 - Раскатка наружного бурта

На качество получаемого изделия при формоизменении заготовки имеет большое значение характер перераспределения металла. При этом может иметь место: - высадка раскаткой – наблюдается двустороннее течение металла в зоне контакта раскатного вала с заготовкой. В данном случае наблюдается плавное увеличение кривизны выпуклой свободной поверхности, образующегося бурта на протяжении всей операции формообразования. Процесс сопровождается уменьшением внутреннего диаметра заготовки (рисунок 66 б-I);

- образование бурта раскаткой – когда в начальной стадии раскатки у заготовки происходит преимущественное течение слоев металла контактирующих с валком, что приводит к вывороту этой части заготовки и к образованию острой кромки на периферийной части торцевой поверхности бурта (рисунок 66 б-II).

Торцевая раскатка, как с утонением стенки получаемой детали, так и без нее, может проводиться с внутренней оправкой (рисунок 67).

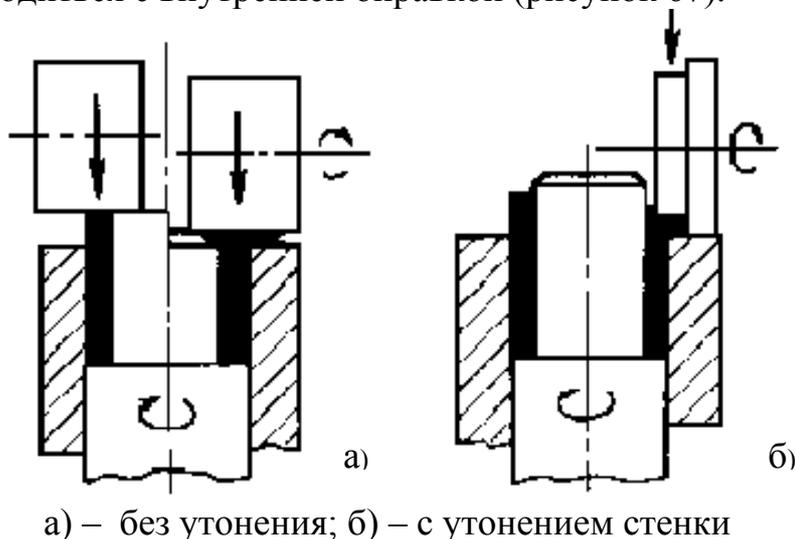


Рисунок 67 - Схемы торцевой раскатки с внутренней оправкой

### 3.2.2.5 Штампо-сборочные операции

Операции листовой штамповки используются не только для придания заготовке формы и размеров детали, заданной к изготовлению, но и для соединения отдельных отштампованных деталей с образованием собранного составного изделия.

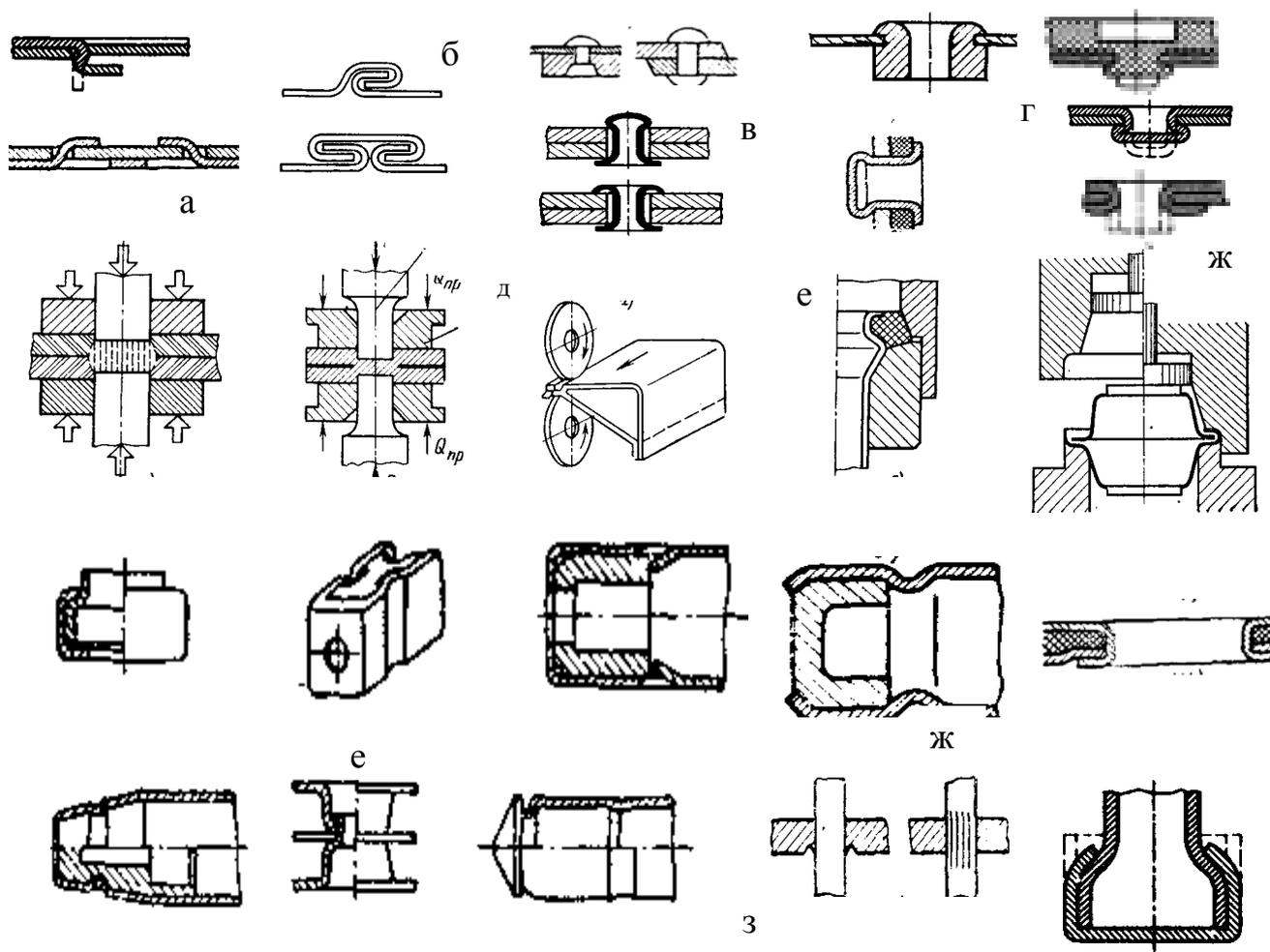
Для сборки используют, как правило, формоизменяющие операции, характерные для листовой и объемной штамповки. Для обеспечения сборки требуется предварительная подготовка соединяемых элементов конструкции.

Применение сборки штамповкой взамен резьбовых соединений, пайки и сварки существенно повышает производительность труда при достаточно высоком качестве выпускаемой продукции. Однако штамповкой, в отличие от резьбовых соединений, можно получить только неразъемные соединения, и это является недостатком данного способа сборки [18, 31].

Представителем сборочной единицы, состоящей из двух штампованных деталей (внешней и внутренней панелей), собранных штамповкой и сваркой, является дверь и капот автомобиля.

Листовые детали после тщательной очистки контактных поверхностей могут быть соединены холодной сваркой, основанной на молекулярно-кристаллическом соединении (схватывании) металла при совместной пластической деформации штамповкой соединяемых поверхностей.

На рисунке 68 приведены схемы вариантов осуществления сборочных операций в листовой штамповке.



а – лапками; б – гибкой (фальцовкой) в замок; в – заклепками и с помощью пустотелых заклепок; г – раздачей; д – холодной сваркой; е – обжимкой; ж – отгибкой бортов; з – запрессовкой

Рисунок 68 – Схема способов штампо-сборочных операций (соединение деталей)

На рисунке 68 *а* показан довольно часто встречающийся вариант сборки с помощью гибки предварительно полученной надрезкой язычка в одной детали, размещенной в отверстии другой соединяемой детали. Этот тип

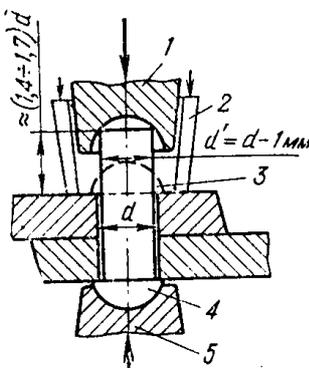
соединения не обеспечивает достаточно высокой жесткости и прочности соединения и часто встречается при изготовлении металлических игрушек. Более прочное соединение обеспечивается сборкой с помощью фальцев и заклепок (см. ниже) или по варианту, показанному на рисунке 68 г. По этому варианту в одной из соединяемых деталей формовкой получают выдавку, а в смежной детали изготавливают отверстие. При сборке полученная формовкой выдавка подсаживается и практически получается пустотелая заклепка либо сборка осуществляется высадкой концевой участка стержня, который выполняет роль сплошной заклепки.

Приведенные примеры соединения деталей листовой штамповкой не исчерпывают имеющихся в практике вариантов выполнения сборочных операций. При соединении деталей, изготовленных из алюминиевых сплавов, успешно применяется холодная сварка давлением (рисунок 68 д), при которой путем локального сжатия соединяемых заготовок обеспечивают получение неразъемного соединения, а также запрессовка одной детали в другую.

По вариантам 68 ж предварительными операциями являются формовка, пробивка и отбортовка в одной из соединяемых деталей и пробивка отверстия диаметром, равным наружному диаметру горловины в другой из соединяемых деталей. Сборка осуществляется раздачей краевой части полученной горловины (получение борта) или обжимом краевой части полученного вытяжкой стакана либо обжимом (кольцевой формовкой) одной из соединяемых деталей по кольцевой канавке, изготовленной во второй из соединяемых деталей. Операция кольцевой формовки может осуществляться обкаткой роликом, движением разрезных плашек или воздействием импульсного магнитного поля, создаваемого одноразовым индуктором.

### 3.2.2.5.1 Заклепочные соединения

Заклепочное соединение является неразъемным. В большинстве случаев его применяют для соединения листов и фасонных прокатных профилей. Соединение образуют расклепыванием стержня заклепки, вставленной в отверстие деталей (рисунок 69).



1—обжимка; 2—прижим при машинной клепке; 3 — замыкающая головка; 4 — закладная головка; 5 — поддержка.

Рисунок 69 - Схема расклепывания стержня заклепки

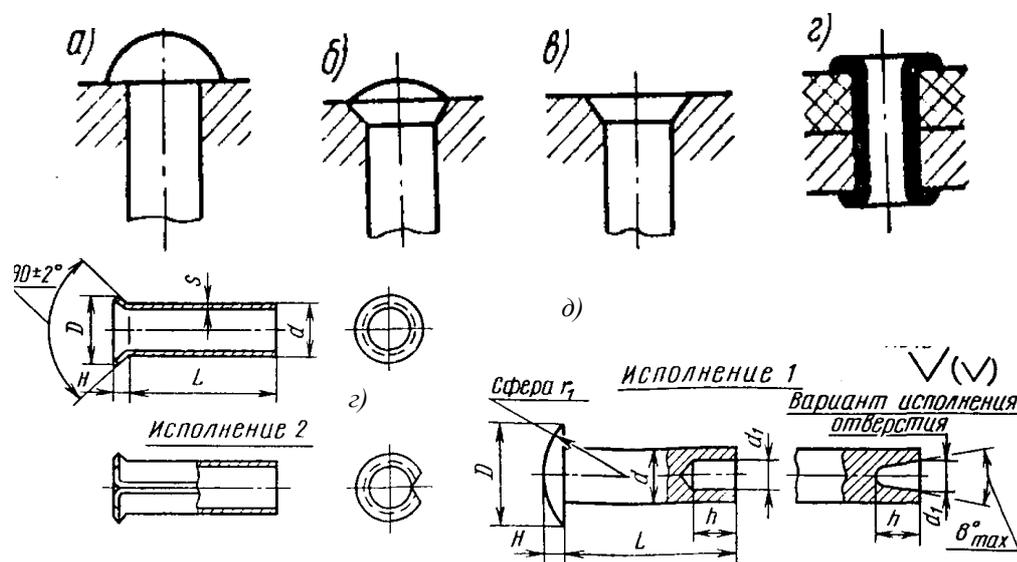
При расклепывании вследствие пластических деформаций образуется замыкающая головка, а стержень заклепки заполняет зазор в отверстии.

Силы, вызванные упругими деформациями деталей и стержня заклепки, стягивают детали. Относительному сдвигу деталей оказывают сопротивление стержню заклепки и частично силы трения в стыке.

Отверстия в деталях продавливают или сверлят. Сверление менее производительно, но обеспечивает повышенную прочность. При продавливании листы деформируются, а на выходной стороне отверстия образуется острая кромка, которая может вызвать подрез стержня заклепки.

Клепку (осаживание стержня) можно производить вручную или машинным способом (пневматическими молотками, прессами и т.п.). Машинная клепка дает соединения повышенного качества, так как она обеспечивает однородность посадки заклепок и увеличивает силы сжатия деталей. Стальные заклепки малого диаметра (до 12 мм) и заклепки из цветных металлов ставят холодным способом, т.е. без нагрева (холодная клепка). Стальные заклепки с диаметром больше 12 мм ставят горячим способом (горячая клепка). Нагрев заклепок перед постановкой облегчает процесс клепки и повышает качество соединения (достигается лучшее заполнение отверстия и повышенный натяг в стыке деталей).

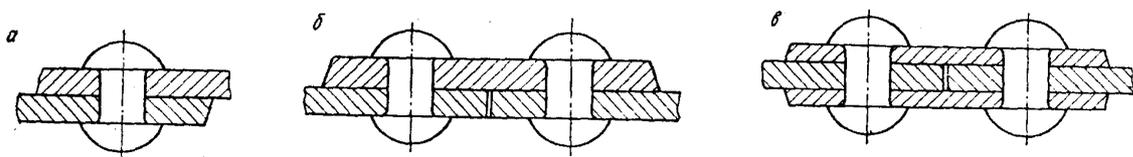
В зависимости от конструкции соединения применяют различные типы и виды заклепок, геометрические размеры которых стандартизованы. Основные типы заклепок изображены на рисунке 70.



*a* — с полукруглой головкой; б — полупотайная; в — потайная; г — полая (из трубки и согнутая); д - полу пустотелые

Рисунок 70 - Основные типы заклепок

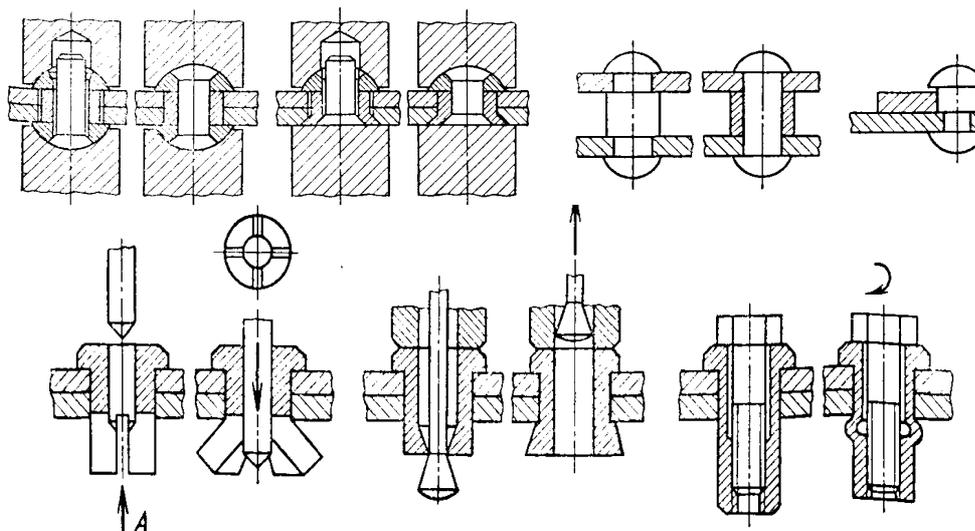
По конструкции заклепочные соединения подразделяются на соединения внахлестку, с одной и двумя накладками (рисунок 71).



а – внахлестку; б - с одной накладкой; в - с двумя накладками

Рисунок 71 - Основные типы заклепочных соединений

Наряду с традиционными заклепками применяют и специальные заклепки (рисунок 72)

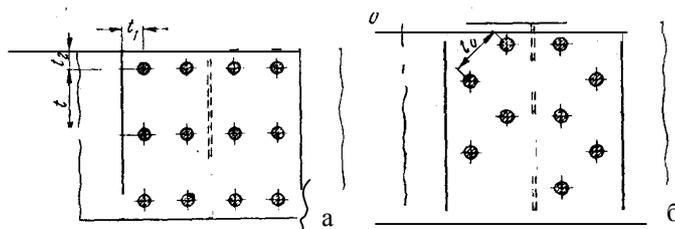


а – с высоким сопротивлением срезу (втулочные);  
б – дистанционные и осевые; в – для односторонней клепки

Рисунок 72 - Специальные заклепки

По назначению заклепочные соединения принято разделять на следующие три группы: а) прочные (применяют в металлоконструкциях); б) прочноплотные (применяют в котлах и резервуарах с высоким давлением; в) плотные (применяют в резервуарах с небольшим внутренним давлением).

По конструктивному признаку различают однорядные и многорядные, односрезные и многосрезные заклепочные соединения.



а – с рядным и б – с шахматным расположением заклепок

Рисунок 73 - Схемы заклепочных соединений

В современном машиностроении заклепочные соединения вытесняются более прочным и дешевым видом неразъемного соединения — сваркой. Заклепочные соединения применяют для деталей, материал которых плохо сваривается.

В тоже время достоинствами заклепочных соединений по сравнению со сварными являются:

- 1) большая стабильность и лучшая контролируемость качества;
- 2) меньшее повреждение соединяемых деталей при разьёме.

К недостаткам относятся:

- 1) большой расход металла (вследствие ослабления прочности деталей отверстиями под заклепку);
- 2) большая трудоемкость и стоимость;
- 3) менее удобные конструктивные формы из-за необходимости наложения листов друг на друга или применения специальных накладок.

Заклепки изготавливаются из стали, меди, латуни, алюминия и других металлов. Материал заклепок должен быть достаточно пластичным, так как это облегчает клепку и способствует равномерному распределению нагрузки по заклепкам. При выборе материала необходимо, чтобы коэффициент линейного расширения заклепок и соединяемых деталей был по возможности одинаковым.

### 3.2.2.6 Жестяницкие работы

Жестяницкие работы выполняют в различных отраслях народного хозяйства, в том числе в машиностроении, строительстве, сельском хозяйстве и др.

Примерами жестяницких изделий являются:

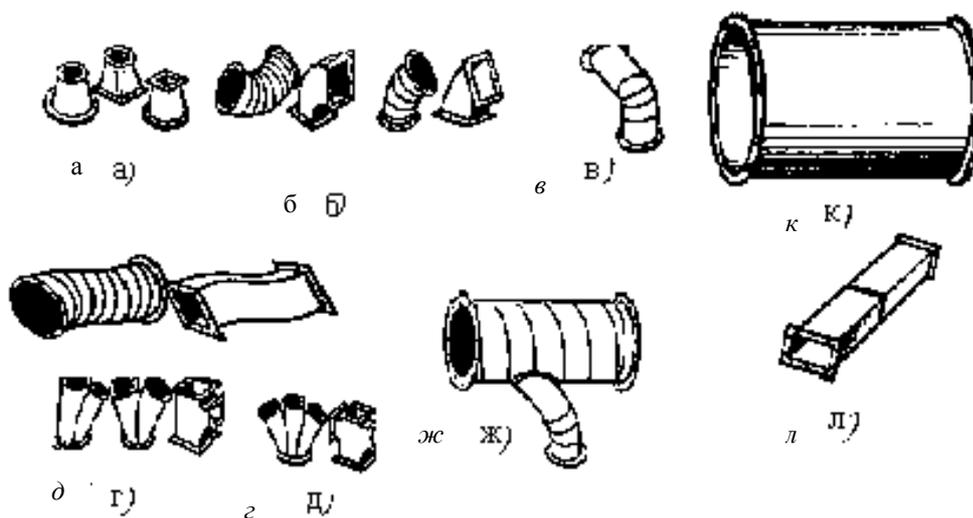
- изделия системы вентиляции (воздуховоды);
- защитные покрытия тепловой изоляции (кожухи или футляры);
- устройства для транспортировки сыпучих грузов (лотки, бункеры);
- элементы кузовов легковых автомобилей, кабины грузовых автомобилей и сельскохозяйственных машин и механизмов (при их ремонте);
- изделия хозяйственно-бытового назначения бидоны, ведра и др.);
- металлическая кровля (скаты, косяки, карнизы и водостоки).

Кроме того, жестяницкие операции выполняют при производстве кровельных и теплоизоляционных работ, а так же ремонтных работ на автомобильных предприятиях /17/.

#### 3.2.2.6.1 Получение жестяницких изделий

Основные требования, предъявляемые к жестяницким изделиям, следующие: высокая надежность, оговоренные габаритные размеры и минимальная масса, технологичность и экономичность, удобство и безопасность обслуживания, взрыво- и пожарная безопасность, транспортабельность, эргономичность и эстетичность.

Основным материалом для выполнения жестяницких работ являются: тонколистовые (толщиной от 0,2 до 4 мм) листовые, полосовые, рулонные, ленточные и угловые стали. Тонколистовая сталь бывает в виде горячекатанной черной жести и кислото- и коррозионно-стойкой оцинкованной жести. Из цветных металлов в жестяницких работах используют алюминий, медь, титан и их сплавы.



а- переходы; б - отводы; в - патрубок ответвления; г - тройники; д – крестовины, прямые участки к - круглого и л- прямоугольного сечения, а ж - с патрубком ответвления

Рисунок 74 - Фасонные части воздуховодов и их различные участки

К вспомогательным материалам, используемым при изготовлении и монтаже жестяницких изделий, относятся крепежные детали, сварочная проволока, электроды, припой, лакокрасочные материалы и др.

При изготовлении систем и устройств, в состав которых входят жестяницкие изделия, выполняют заготовительные и монтажно-сборочные работы.

При заготовительных жестяницких работах осуществляют различные технологические операции, причем операциями ОМД выполняют:

- правку листового металла,
- разделение (резание, рубка, пробивка отверстий);
- формоизменение заготовок (гибка, зиговка, образование бортов и т.д.);
- соединение заготовок (клепка, фальцовка).

Правку листового металла и изготавливаемых из него заготовок осуществляют, преимущественно, механизированным способом на листопрямильных станках.

Для формоизменения заготовок применяют образование бортов и изгибов, зиговку

Гибкой листов из стали и цветных металлов получают заготовки для изделий цилиндрической, конической или прямоугольной формы. Для изделий цилиндрической и конической формы операцию гибки называют выкаткой. Ее выполняют в холодном состоянии на вращающихся листогибочных станках. Для операции гибки профилей в одной или нескольких плоскостях применяют кромкогибочные, профилегабочные и другие станки. Ручная гибка осуществляется на опорном инструменте и в оправках.

Зиговка – операция, выполняемая с целью образования на листовом металле выступов и углублений (зигов – валиков жесткости). Операцию выполняют на фасонных роликах, между которыми пропускается листовой металл. К зиговке относятся: отгиб кромок на деталях криволинейной формы, гофрирование (создание волнообразных складок) звеньев воздухопроводов и т.п.

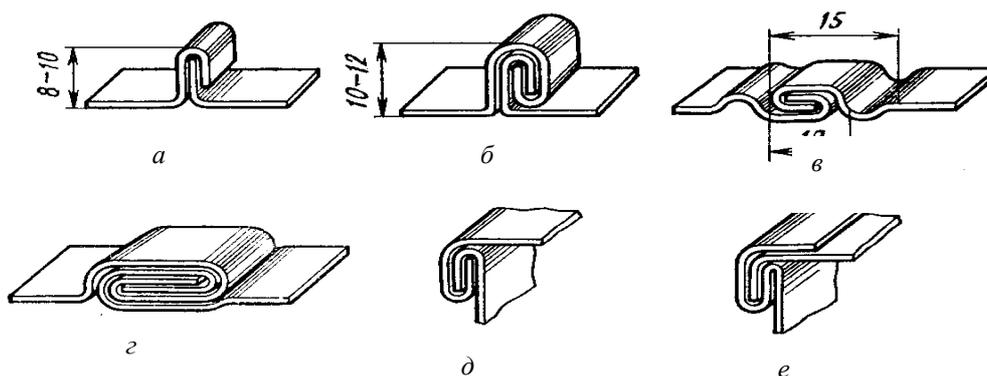
Образование бортов в заготовке – операция, выполняемая для отгибания наружу кромок заготовок. Образование борта проводят на зиговочных машинах.

Соединение заготовок в жестяницких работах осуществляют сваркой (преимущественно контактной) и операциями ОМД, причем, последние выполняют холодной клепкой и фальцовкой.

Холодная клепка – это операция по получению неразъемных соединений с помощью заклепок различной формы и размеров (рисунок 71 и 72). В соединяемых деталях просверливают или пробивают отверстия. В жестяницких работах выполняют холодную клепку заклепками диаметром до 10мм.

Фальцовка металла – операция по получению неразъемных соединений с помощью фальцевых швов (рисунок 75).

Фальцовку применяют при изготовлении из листовых заготовок и других фасонных частей воздухопроводов, кожухов тепловой изоляции сосудов для хранения жидкостей и сыпучих материалов /17/.



- а - стоячий одинарный фальц; б - стоячий двойной фальц; в - одинарный лежащий фальц с двойной отсечкой; г - двойной лежащий фальц; д - одинарный угловой фальц; е - комбинированный угловой фальц

Рисунок 75 - Основные типы фальцевых соединений

Фальцы могут быть изготовлены с применением специального оборудования – фальцепрокатных и фальцезакаточных станков.

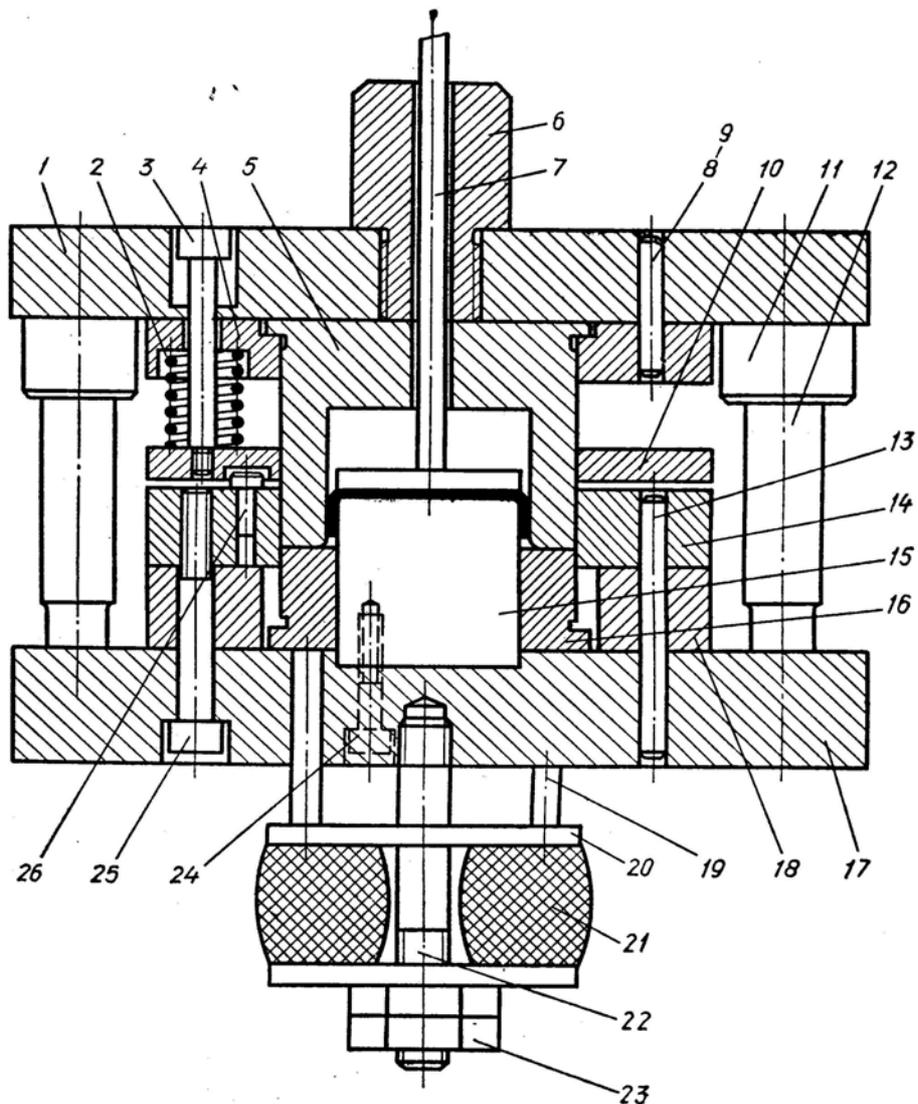
Один из объектов жестяницких работ – металлическая кровля. Технология устройства металлических кровель предполагает разделение всего комплекса кровельных работ на подготовительные операции, по обработке кровельной листовой стали вне крыши и монтажные операции, выполняемые непосредственно на крыше.

Подготовка картин (заготовок, из которых собирают кровлю) и элементов покрытий из кровельной стали может производиться механизированным способом или вручную. При этом используют в основном все операции для жестяницких работ.

После просушки листов приступают к заготовке кровельных картин. Сначала на двух малых фальцегибочных станках отгибают кромки для лежащих фальцев, а затем на роликовом приводном станке листы соединяют попарно в картины. После выполнения этих операций в кровельных картинах по длинным их сторонам на большом станке отгибают кромки и для гребневых (стоячих) фальцев. Обычно соединение кровельных картин осуществляют гребневым фальцем и кровельщик выполняет соединение с помощью кровельных молотков. К кровельным работам также относится покрытие подоконника (картину из кровельной стали подводят в нижнюю часть оконной коробки или одновременно в оба откоса оконного проема, в которых делают борозды. Картину закрепляют на двух или трех костылях, установленных в сливном откосе оконного проема. Верхнюю кромку картины крепят к раме коробки гвоздями.



Детали блока (верхняя и нижняя плиты, направляющие колонки и втулки пуансоно- и матрицедержатели) служат для опоры, направления и крепления рабочих частей штампа /32, 33/. Эти элементы штампа обеспечивают установку, крепление и точное взаимное расположение матрицы и пуансона в процессе работы штампа, а рабочие части штампов непосредственно деформируют заготовку.



1 – верхняя плита штампа; 2 – пружины съемника; 3, 24, 26 – винты;  
 4 – пуансонодержатель; 5 – пуансон-матрица; 6 – хвостовик; 7 – верхний выталкиватель; 8, 9, 13 – штифы и винты; 10 – съемник; 11 – направляющие втулки; 12 – направляющие колонки; 14 – вырубная матрица; 15 – вытяжной пуансон; 16 – выталкиватель; 17 – нижняя плита штампа; 18 – прокладка;  
 19 – толкатели; 20 - прокладка; 21 – упругий элемент; 22 – шпилька; 23 – гайка;  
 26 – упор

Рисунок 77 – Общий вид гибочного штампа

Технологические возможности штампа являются основой для проектирования технологических процессов листовой штамповки. Конструкция штампа зависит от рода выполняемых им операций.

После регулирования длины хода ползуна и штампового пространства фиксируют верхнюю мертвую точку ползуна.

При составлении технологических схем работы штампа (рисунок 76 и 77) устанавливают характер и местоположение выполняемых операций.

Штамп крепится к ползуну за хвостовик прижимом, с помощью двух шпилек с гайками. Размер штампового пространства регулируют винтом и фиксируют стопорными втулками.

Возможность наличия в обеих частях штампа выталкивателей позволяют снижать припуски на механическую обработку.

#### **4.1 Применение эластичных материалов при изготовлении штампов**

Общеизвестно, что 80-90 % деталей автомобиля или трактора изготавливают посредством применения операций обработки металлов давлением (ОМД) и, в частности, штамповкой. Также известно, что в стоимости штамповки до 25 % приходится на стоимость штампа. Снизить такие затраты позволяет применение высокомолекулярных соединений для изготовления элементов штампов.

#### **4.2 Особенности конструирования штампов с применением пластмасс**

Для ускорения и более широкого внедрения в промышленность процесса пробивки отверстий и вырезки деталей имеется классификатор (рисунок 78) типовых операций и схем вырезки деталей эластичной средой /34/.

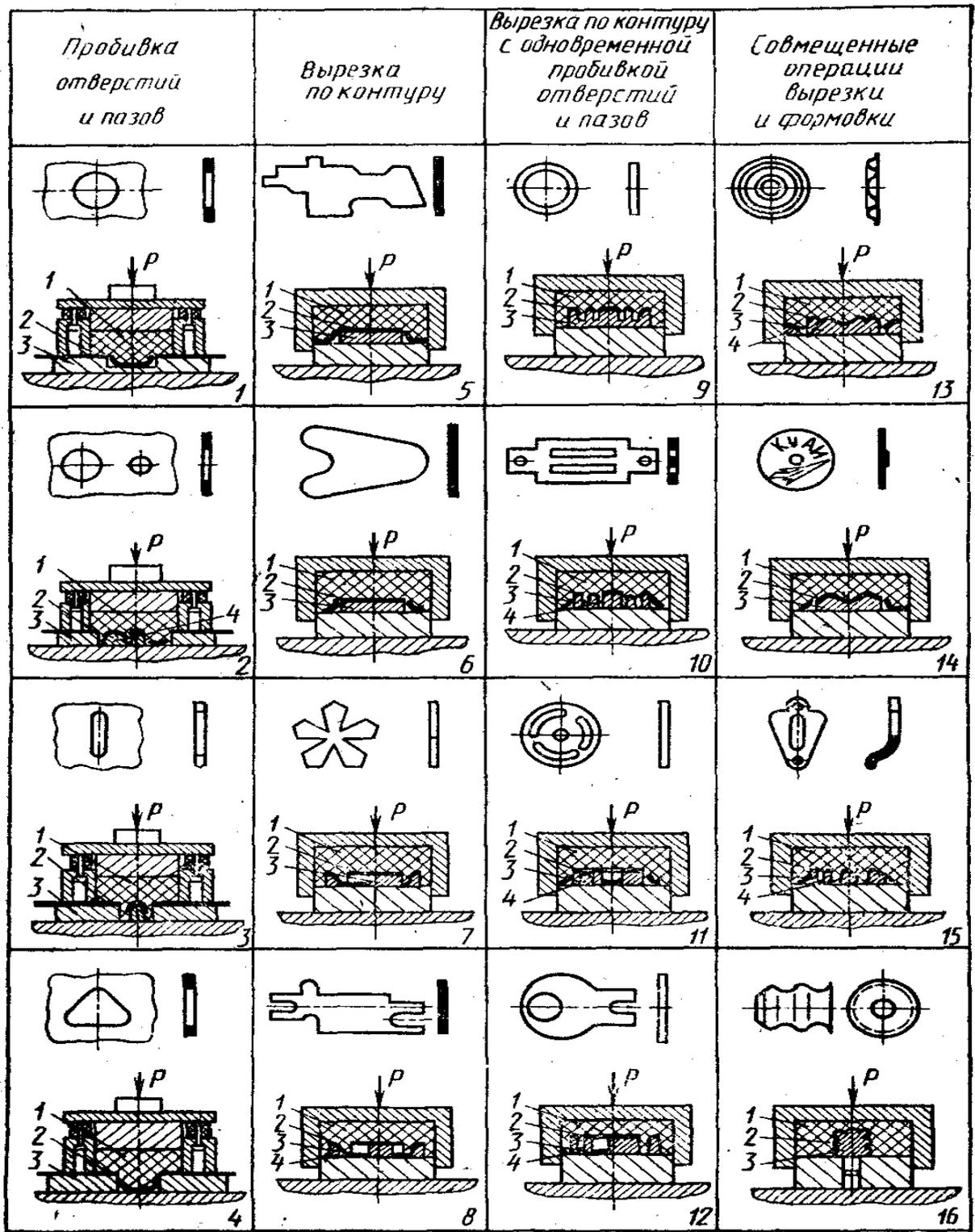
В классификаторе приведены схемы необходимой оснастки, показаны случаи, в которых необходима установка в отверстие шаблона специальных вкладышей для обеспечения качества получаемых отверстий.

Указанными операциями получают заготовок и деталей из следующих материалов:

- алюминиевых сплавов толщиной до 2,5 мм;
- латуни и бронзы толщиной до 1,2 мм;
- конструкционных сталей толщиной до 1 мм;
- нержавеющей сталей толщиной до 0,8 мм.

Штампы для вытяжки резиной просты, так как изготавливать нужно один деформирующий элемент - пуансон или матрицу, другой заменяется резиной.

Давление резины, необходимое для вытяжки, зависит от относительной толщины  $S$  заготовки и коэффициента вытяжки  $m$ ; например, при вытяжке дюралюминия с  $m=0,5$  и  $S = 0,4$  мм оно достигает 38 МПа.



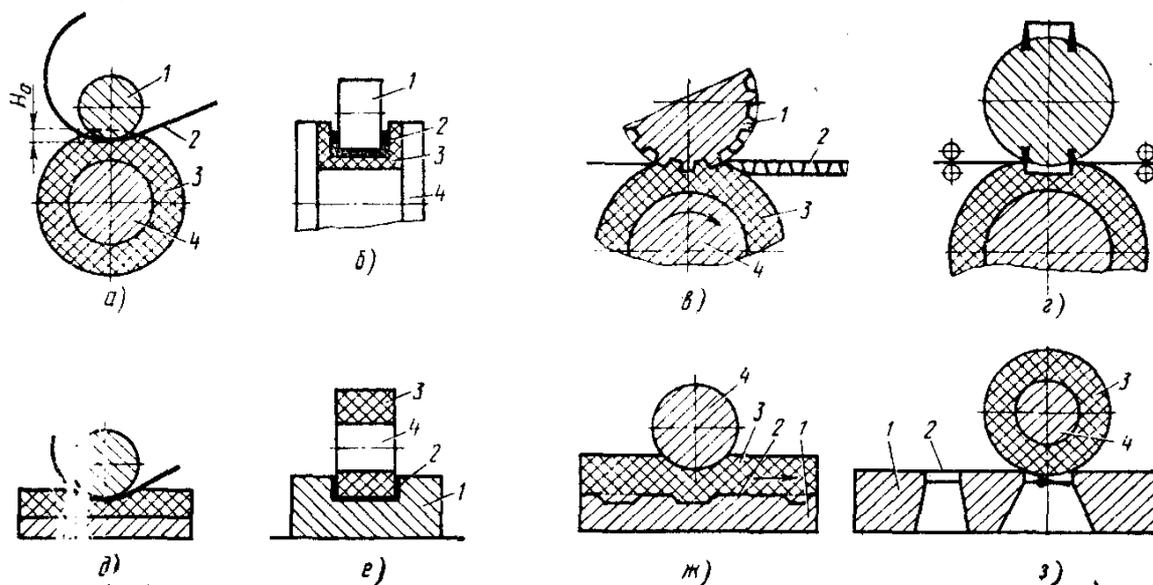
1 — эластичная среда; 2 — заготовка; 3 — вырезной шаблон;  
4 — подкладное кольцо или вкладыш

Рисунок 78 - Виды операций штамповки эластичной средой

Необходимость создания высоких удельных давлений и быстрый износ резины ограничивают применение этого вида вытяжки.

#### 4.2.4 Особенности формообразования эластичной средой на машинах

На ротационной машине могут быть реализованы различные операции формообразования листовых, профильных и трубчатых деталей. При этом можно использовать формообразующие инструменты в следующих сочетаниях: два валка, один из них покрыт эластичным материалом; валок и контейнер с эластичной средой или два валка с эластичным покрытием.



а—г) - двухвалковой; д — з) - одно-валковой  
а, д) — гибка; б, е) — профилирование; в, ж) — формовка; г, з) — разрезка  
1 — эластичная среда; 2 — заготовка; 3 — вырезной шаблон; 4 — подкладное кольцо или вкладыш

Рисунок 79 - Схемы формообразования эластичной средой на машинах

Для осуществления формовки на инструменте должен быть соответствующий рельеф в виде выступов или впадин. Возможности изготовления эластичной средой рельефной поверхности на ротационной машине значительно меньше, чем на прессовом оборудовании. В настоящее время в промышленности решаются практические задачи по формовке рельефа на поверхности, непрерывно движущейся ленты из тонколистового металла. Для обеспечения усилий, необходимых для формовки этих рифтов, валки с эластичным покрытием существующих конструкций не приемлемы. Нужны валки, в которых эластичный материал находился бы в стесненных условиях, что исключало бы его "растекание" при больших усилиях.

## **5 Автоматизация процессов листовой штамповки**

Вопросы автоматизации технологических процессов листовой штамповки приобретают первоочередное значение, так как нацелены на уменьшение доли ручного труда. В то же время, она обеспечивает повышение производительности труда, а также безопасность работы /1/.

Автоматизация технологических процессов штамповки в зависимости от конкретных условий производства может осуществляться по следующим направлениям:

- автоматизация процесса штамповки на универсальных штамповочных автоматах и многопозиционных листоштамповочных прессах- автоматах;
- комплексная автоматизация с использованием автоматических линий;
- использование гибких производственных систем;
- применение автоматизированных и робототехнических комплексов.

Использование отмеченных методов автоматизации является сложным как по необходимому оборудованию, так и по подготовке и обслуживанию производства.

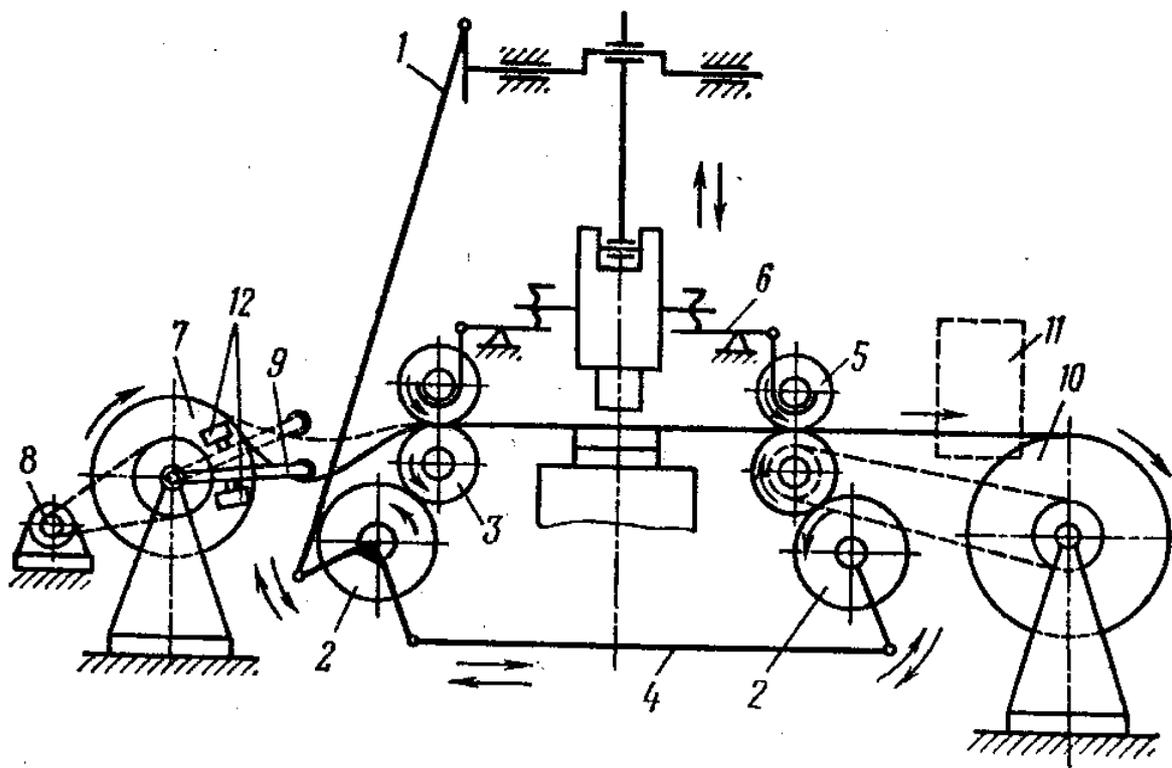
В отдельную группу технологического производства выделяется автоматизация процесса штамповки на универсальных прессах (прессах общего назначения), наиболее широко используемых в штамповочном производстве.

Кривошипные прессы, как основное листоштамповочное оборудование, являются высокопроизводительными машинами (частота колебания ползуна пресса составляет до 140 ходов ползуна в минуту). И важным показателем степени автоматизации штамповки является коэффициент использования рабочих ходов ползуна пресса. При ручной подаче заготовок и удалении деталей до 85 % рабочего времени тратится именно на эти операции. При механизации и автоматизации вспомогательных операций рационально используется до 50 % от общего числа ходов ползуна пресса. По функциональному назначению автоматизирующие устройства можно разделить на 3 основные группы: ориентирующие и питающие устройства, подающие устройства и устройства для удаления деталей и отходов /35, 36/. Использование указанных устройств направлено на устранение необходимости ручной передачи заготовки с позиции на позицию, что способствует еще большему повышению коэффициента рационального использования числа ходов ползуна пресса.

### **5.1 Загрузочные устройства для подачи исходных заготовок в зону штампа**

Для автоматизации подачи ленточного или полосового материала в рабочую зону штампа широко применяют валковые устройства. Валковые подачи могут быть односторонними и двусторонними. Первые бывают тянущими (валки, расположенные за штампом, тянут просеченную ленту) или толкающими (валки, установленные перед штампом, толкают ленту в штамп).

Двусторонние подачи, применяемые наиболее часто, являются одновременно и толкающими и тянущими (рисунках 80, 81).



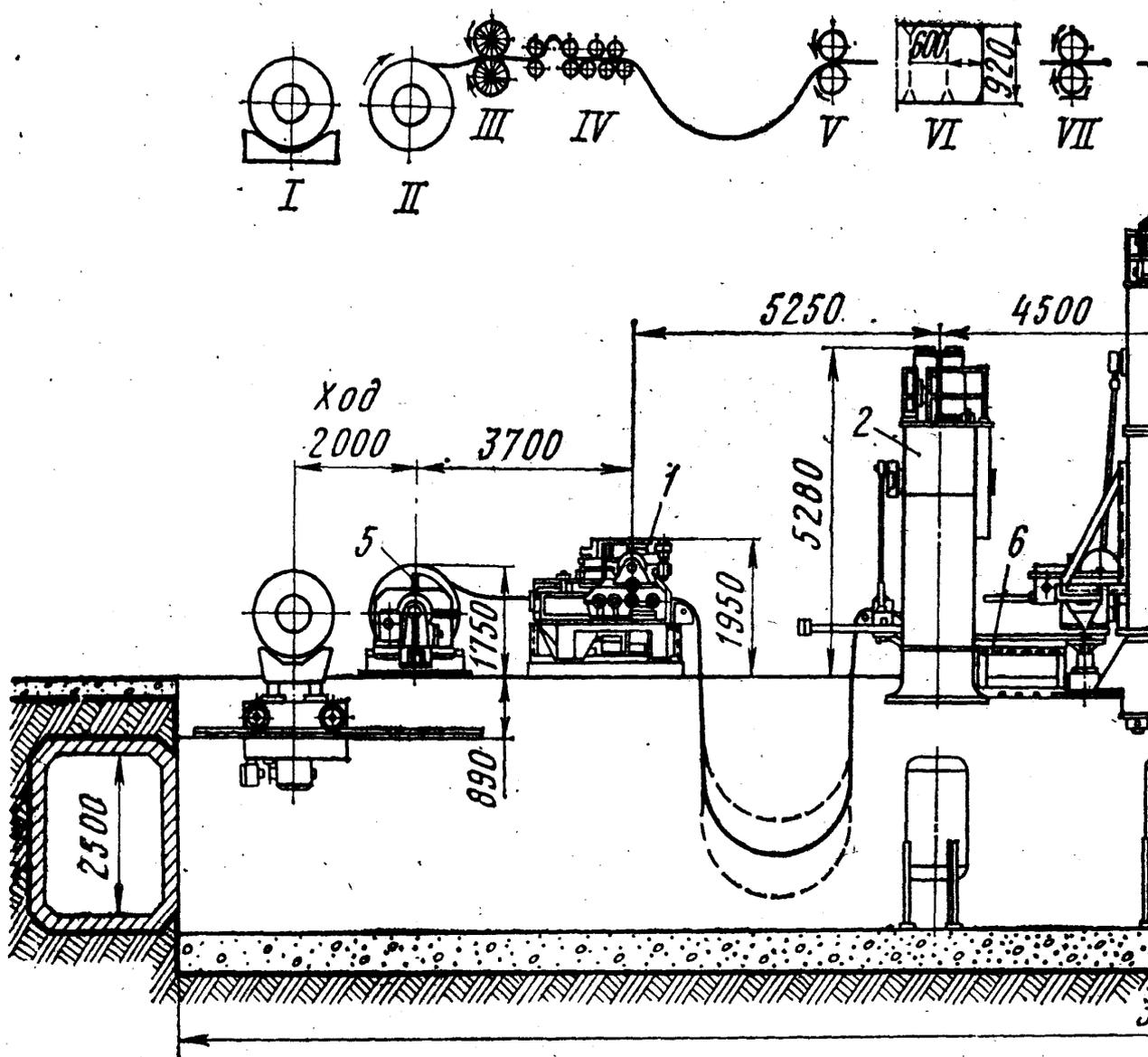
1, 4 — рычаги; 2 — фрикционное устройство; 3, 5 — валки; 6 — устройство для регулирования зазора между валками; 7 — устройство для принудительного разматывания рулона; 8 — электродвигатель; 9 — следящий рычаг; 10 — рулонница для сматывания отходов; 11 — измельчитель отходов; 12 — контакты

Рисунок 80 - Схема двусторонней валковой подачи:

Валки 3 и 5 такой подачи, расположенные по обе стороны штампа, синхронно поворачиваются и протягивают ленту через рабочую зону. Зазор между валками регулируется устройством 6. Привод валков осуществляется от коленчатого вала с помощью рычагов 1, 4 и храповых или фрикционных устройств 2. При движении ползуна вверх валки поворачиваются и перемещают ленту на шаг подачи. При рабочем ходе ползуна сцепление между валками отсутствует, вследствие чего они не вращаются. При валковой подаче обе пары валков должны вращаться с одинаковой скоростью. При использовании рассмотренной двухвалковой подачи для тонкого металла (от 0,2 до 0,4 мм) необходимо обеспечить опережение тянущих валков относительно второй пары по направлению подачи на 3% шага (расстояние между двумя соседними контурами изделия при штамповке его из ленты или полосы) подачи. Это опережение достигается благодаря большему диаметру тянущих валков.

Прессы, предназначенные для штамповки деталей из ленты, оснащают устройствами для принудительного разматывания рулона (рисунке 80, 81).

При этом образуется петля, наличие которой облегчает подачу ленты на штамп при использовании различных подающих устройств. Принудительное разматывание рулона ведется до образования петли определенного размера, после чего следящий рычаг дает команду на выключение электродвигателя рулонницы. При уменьшении петли натяжение ленты увеличивается и следящий рычаг включает указанный электродвигатель.

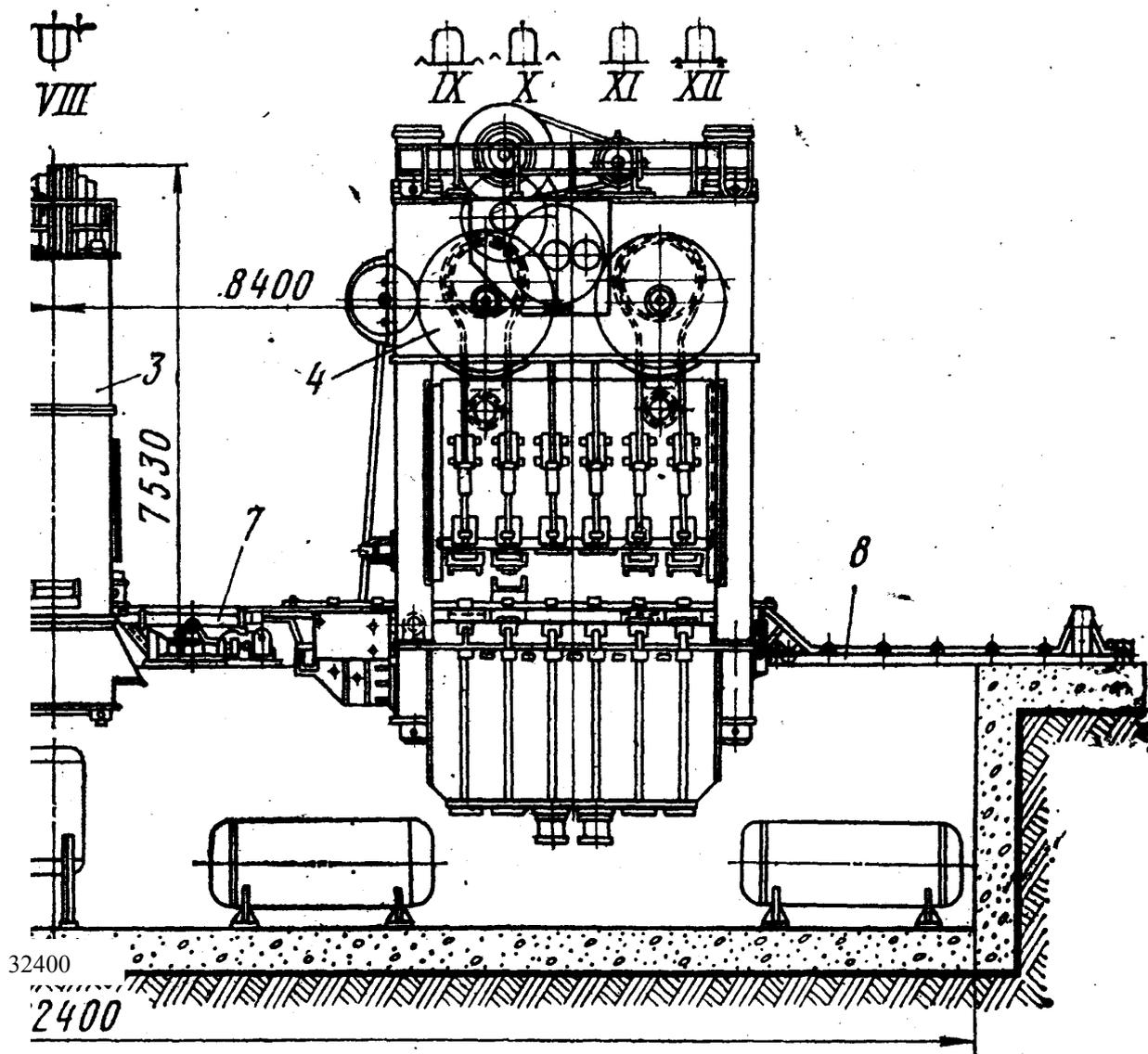


стадии процесса: I—исходное положение рулона стальной ленты, VII— смазка; VIII — вытяжка изделия; IX — переформовка радиусов и правка фланцовка по контуру; XII — пробивка 22 отверстий диаметром 25 мм

I — листопрямляющая машина; 2 — двух кривошипный закрытый простого действия; 4—пресс многопозиционный с грейферной подачей; 5—разматываю-передачи изделий от вытяжного пресса и съема штампа; 8 — механизм

Рисунок 81 - Автоматизированная линия

Для повышения качества штампованных деталей рулоноразматыватели часто объединяют с правильными устройствами, имеющими два ряда роликов, расположенных в шахматном порядке, между которыми перемещается лента. При использовании металлической ленты толщиной свыше 2 мм применение правильных устройств обязательно.



*II* — размотка, *III* — чистка, *IV* — правка. *V* — подача, *VI* — вырубка заготовки, фланцев, *X* — обрезка фланцев -по контуру, *XI* — формовка ребер жесткости и

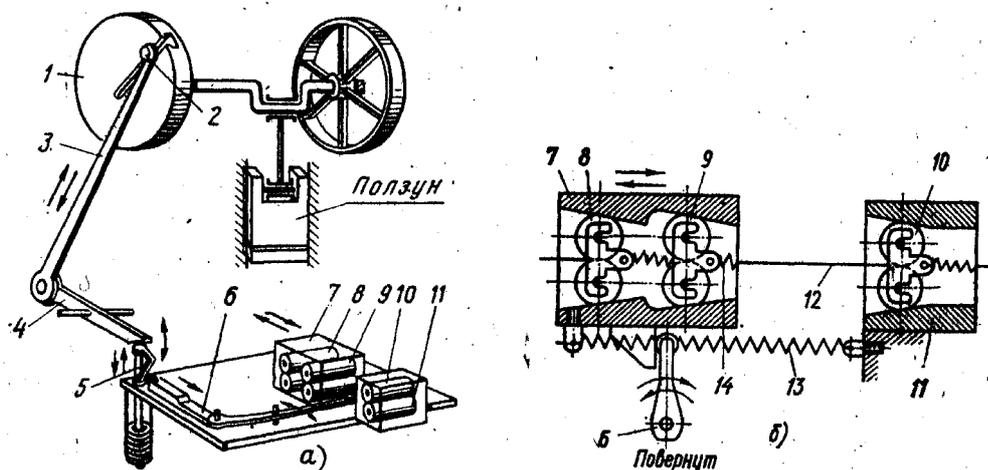
действия пресс с валковой подачей; 3 — пресс однокривошипный двойного щее устройство; 6 — механизм передачи и подъема стопы; 7 — механизм передачи изделий от многопозиционного пресса и съема штампа

для штамповки масляных картеров

В рассматриваемой подаче (рисунок 80) применено устройство 7 принудительного разматывания рулона, приводимое от электродвигателя 8. Включение и выключение электродвигателя производится следящим рычагом 9, замыкающим контакты 12. Для сматывания отходов служит рулонница 10, приводимая во вращение от валков 5. Возможно также измельчение отходов с помощью устройства 11. Валковые механизмы, подающие материал с точностью до 0,2 мм, применяют при штамповке ленты (полосы) толщиной от 0,1 мм. Однако, как показала практика, при толщине материала менее 0,3 мм наблюдается неустойчивый его захват валками, а при толщине материала более 2,5 мм – его проскальзывание между валками.

Механизмы для подачи материала могут входить в конструкцию штампа. При штамповке из ленты для автоматизации подачи материала в штамп применяют различные крючковые, клещевые, клещево-роликовые и другие подающие устройства (подаватели).

*Клещевые подающие устройства* штампов могут иметь захватывающие планки, эксцентрики, ролики, защелки и другие подающие механизмы. Эти устройства могут приводиться в действие клиньями, рычагами. Клещевое подающее устройство приводится в действие при движении верхней части штампа и применяется при подаче ленты шириной до 100 мм при шаге до 40 мм с точностью подачи до 0,1 мм. Большое распространение получили клещевые рейферные (рисунок 19) и клещевые роликовые подачи для ленты и полосы при холодной штамповке на небольших прессах. Узел ролико-клещевой подачи может быть установлен на столе пресса или вмонтирован в штамп. На рисунке 82 а показана схема работы пресса с ролико-клещевой подачей.



1 – диск; 2 – палец; 3, 4 - двух плечные рычаги; 5 – клин; 6 - двух плечные рычаги; 7 – каретка; 8, 9, 10 - пары роликов-клещей; 11 - неподвижная колодка; 12 - подаваемый материал; 13, 14 – пружина

Рисунок 82 - Схема работы пресса с ролико-клещевой подачей (а) и ролико-клещевая подача (б)

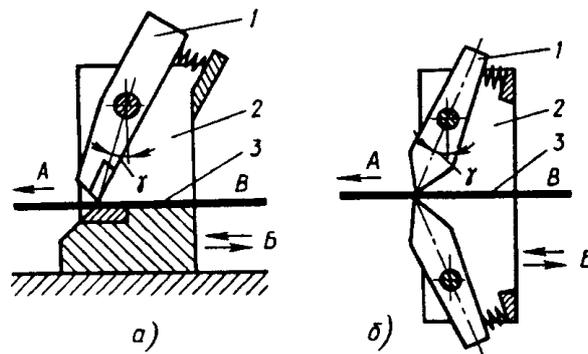
Когда ползун прессы уходит в верхнее положение, каретка 7 под действием пружин 13 отходит в обратную сторону и освобождает штампуемый материал. В этот момент лента или полоса тормозится роликами-клещами 10, которые установлены в неподвижной колодке 11. Во время захвата ленты или полосы кареткой 7 тормозные ролики 10 разжимаются.

Ролики, как в подвижной каретке, так и в неподвижной колодке, концами вращаются в направляющих хомутиках, за которые зацеплены пружины 14, работающие на растяжение. Благодаря пружинам ролики постоянно прижимаются к конусным гнёздам. Когда ролики пропускают штампуемый материал (ленту или полосу), то пружины растягиваются.

Клещевые подачи для ленточного материала применяют в комплекте с разматывающим устройством, имеющим индивидуальный привод.

Ролико-клещевые подачи могут быть использованы на прессах, открытого типа любой модели. Производительность по сравнению с ручной подачей до 5 раз выше /20/.

Для предотвращения проскальзывания наряду с ролико-клещевыми применяют клино-ножевые подачи (рисунок 83)



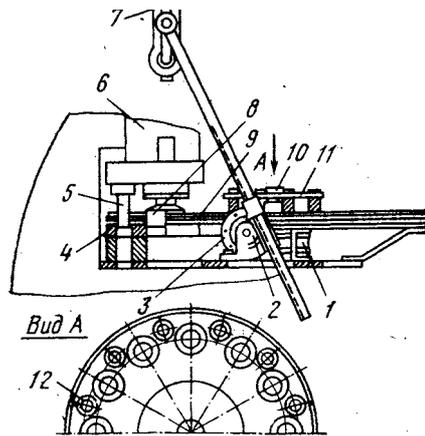
а) — одностороннего; б) — двустороннего  
1 – нож; 2 – каретка; 3 – подаваемый материал

Рисунок 83 - Схема клино-ножевого захвата

При движении каретки влево нож (ножи) клино-ножевого захвата частично внедряются в материал заготовки и проталкивают его в штамп на заданный шаг. При обратном ходе каретки нож проскальзывает по заготовке, оставляя ее в зоне обработки давлением.

Внедрение ножей может оставлять на поверхности металла вмятины, поэтому клино-ножевые захваты часто применяют для подачи толстого материала, причем подачу ножами осуществляют с боковых сторон.

Для подачи плоских штучных заготовок на штамп применяют револьверные, лотковые, шиберные, бункерные и другие механизмы. Примером механической подачи плоских штучных заготовок служит револьверный механизм, показанный на рисунке 84.



1 - червячная передача; 2 - реечная пара; 3 - храповая муфта; 4 – штамп;  
 5 – пуансон; 6 – ползун; 7 – кривошип; 8, 12 –фиксатор; 9 - револьверный диск;  
 10 –ось; 11 - заготовка

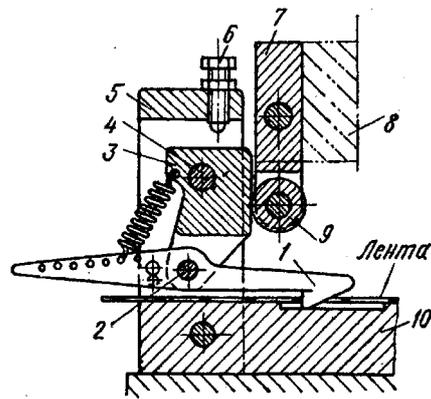
**Рисунок 84** - Револьверный механизм подачи заготовок на штамп

В штампах с *револьверной подачей* устанавливают горизонтальный диск 1 с несколькими гнездами 2. Заготовки, помещенные в эти гнезда, при повороте диска подаются в рабочую зону штампа. Диск поворачивается собачкой 3, связанной системой рычагов с ползуном или коленчатым валом прессы. За каждый ход прессы диск автоматически поворачивается так, чтобы гнездо с очередной заготовкой вошло в рабочую зону штампа. Заготовки обычно поступают в гнезда диска из магазина, конструкция которого аналогична конструкции магазина, применяемого в штампах с шиберной подачей.

Диск **револьверной** головки, имеющий двенадцать гнезд для укладки заготовок, вращается от червячной передачи 1, которая получает движение от реечной пары 2 и храповой муфты 3. При повороте диска заготовки последовательно перемещаются по окружности в зону штампа 4. При ходе ползуна 6 вниз пуансон 5 проталкивает заготовку изделия на матрицу и производит штамповку. Реечный механизм работает от кривошипа 7, установленного на коленчатом валу прессы. Точность угла поворота револьверного диска 9 вокруг оси 10 обеспечивается фиксатором 8.

Крючковые подающие механизмы могут приводиться в действие рычагом, шарнирной рычажной системой, клиньями и другими устройствами. Крючковыми устройствами подают ленту шириной от 30 до 300 мм при шаге подачи от 10 до 50 мм и точности подачи от 0,2 до 0,5 мм.

Крючок 1 одного из *крючковых подавателей* штампа укреплен на оси 2 рычага 3 (рисунок 85). Этот рычаг качается на оси 4, установленной на стойке 5, которая прикреплена к нижней плите 10 штампа. Поворот рычага 3 ограничивается болтом 6, регулирующим шаг подачи. Рычаг 3, перемещающий крючок 1, поворачивается при надавливании на него роликом 9, прикрепленным вместе с державкой 7 к верхней плите 8 штампа.



1 — крючок, 2 — ось крючка, 3 — рычаг, 4 — ось рычага, 5 — стойка,  
6 — болт-ограничитель, 7 — державка, 8 — верхняя плита, 9 — ролик,  
10 — нижняя плита

Рисунок 85 - Крючковое устройство для подачи ленты (полосы) в штамп

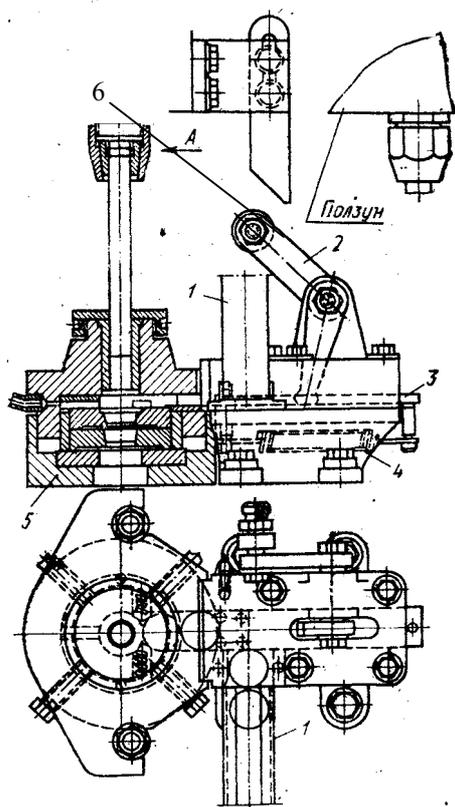
При подъеме верхней половины штампа качающийся рычаг 3 под действием пружины поворачивается против часовой стрелки и подает крючок направо. При движении ползуна вниз до начала деформирования заготовки ролик 9 возвращает качающийся рычаг в начальное положение. При этом рычаг 3 переместится по часовой стрелке, а крючок, захватив ленту за очередную перемычку, сдвинет ее влево на шаг подачи. Окончательная фиксация ленты по шагу осуществляется ловителями штампа, входящими в пробитые отверстия ленты.

Для механизации загрузки полос и листов и их установки в зону действия подающего механизма прессы применяют *полосо-* и *листоукладчики*, захватывающее устройство которых оснащено пневматическими присосками или электромагнитами (рисунок 31). Вертикальное и горизонтальное перемещение листов (полос) производится с помощью пневмо- или гидроустройств.

Автоматизацию подачи штучных заготовок осуществляют с помощью шиберных (рисунок 86) и грейферных (рисунок 19) подающих устройств.

В штампе с *шиберной подачей* заготовки 4, уложенные в магазин 1, вводят в рабочую зону шибером 3, перемещаемым клином 6 при подъеме и опускании верхней половины штампа.

При движении клина вверх шибер вместе с установленной на нем втулкой смещается влево под магазин 1 и очередная заготовка входит в расточку втулки. При движении клина вниз шибер смещается вправо и подает заготовку под пуансон. Отштампованная деталь удаляется из штампа. При движении шибера вправо магазин 1 закрывается (снизу) задвижкой, не позволяющей заготовкам вываливаться из штампа. Вместо клина шиберные подачи можно приводить в движение системой рычагов, связанных с верхней половиной штампа.



1 – магазин; 2 – рычаг; 3 - шибер; 4 – заготовка; 5 – стол прессы; 6 - клин

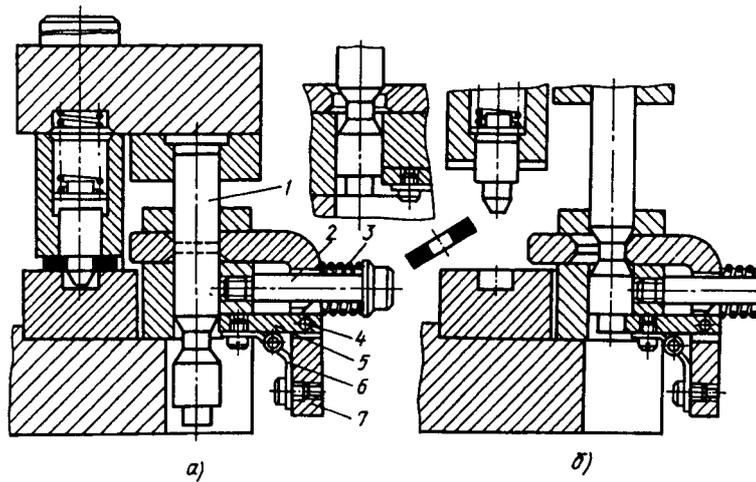
Рисунок 86 - Шиберный механизм для подачи заготовок в вытяжной штамп

*Грейферные подачи* применяют обычно в многопозиционных прессах. Пример такой подачи рассмотрен при описании работы многопозиционного пресс-автомата (см. рисунок 19). Выпускают грейферные подачи для перемещения заготовок из позиции в позицию как в пределах одной плоскости, так и с подъемом заготовок (пространственные подачи).

## 5.2 Устройства для удаления отштампованных деталей и отходов

Удаление отштампованных деталей и отходов производят различными способами. Их удаляют «на провал» через отверстие матрицы и соответствующие отверстия нижней плиты штампа и стола прессы; вставляют выталкивателями в ленту, вместе с которой выводят из штампа; применяют различные сбрасыватели, механические руки, пневматические сдуватели и другие устройства.

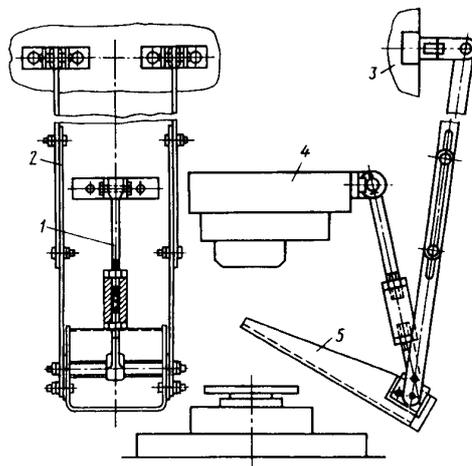
Механические сбрасыватели, встраиваемые в штампы, используют для удаления мелких и средних деталей. При использовании пружинного сбрасывателя (рисунок 87) отштампованная деталь 1 после пробивки в ней отверстия поднимается пуансоном вверх и, скользя по скосу толкателя 2, отодвигает его вправо, сжимая пружину 3. По выходе пуансона из детали она сбрасывается из штампа толкателем под действием пружины 3.



*a)* — нижнее и *б)* — верхнее положение ползуна прессы  
 1 — направляющая; 2 — толкатель; 3 — пружина; 4 — фиксатор;  
 5 — скоба; 6 — пружина; 7 — винт крепления

Рисунок 87 - Пружинный сбрасыватель

Шарнирно-рычажный сбрасыватель (рисунок 88) при подъеме верхней половины штампа входит в штамповое пространство. После этого срабатывает выталкиватель. Отштампованная деталь падает на ролики сбрасывателя и скатывается по ним в тару /37/. При движении ползуна вниз сбрасыватель выходит из рабочей зоны штампа.



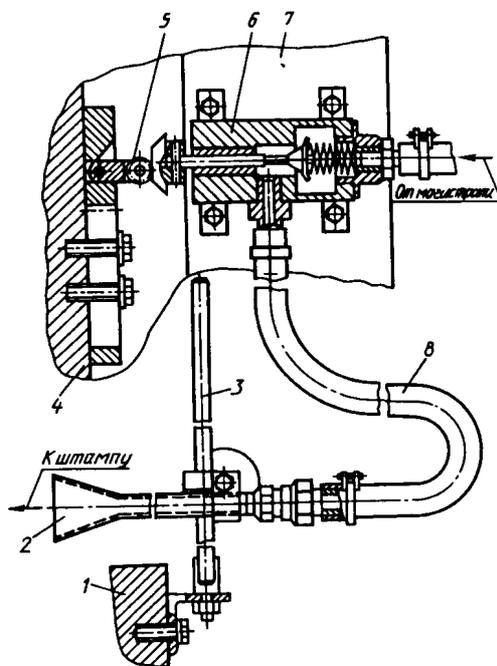
1 - тяга; 2 – рычаги; 3 – станина; 4 – ползун; 5 – лотковый сбрасыватель

Рисунок 88 - Лотковый сбрасыватель

Для привода сбрасывателей применяют клиновые, зубчато-реечные и другие передаточные механизмы. Для удаления деталей средних и крупных размеров применяют сбрасыватели с индивидуальным пневматическим

приводом. Число ходов пресса при работе со сбрасывателями обычно не превышает 40 в минуту.

Пневматические сдуватели широко применяют для удаления деталей массой до 1,5 кг в тех случаях, когда деталь или отходы остаются на поверхности нижней части штампа или выталкиваются из верхней половины штампа.



1 – станина; 2 – сопло; 3 – штатив; 4 – ползун; 5 – рычаг; 6 – клапан; 7 – щит крепления; 8 – гибкий шланг

Рисунок 89 - Конструкция пневмосдувателя

Пневматический сбрасыватель приводится в действие кулачком 1, закрепленном на коленчатом валу. Включение сдувателя производится в момент, когда отштампованная деталь 2 выталкивается из верхней половины штампа.

Для удаления достаточно крупных деталей применяют несколько сопел. Также несколько сопел используют и для удаления деталей, выталкиваемых из верхней половины штампа: одни сопла поддерживают деталь воздушной струей, другие – удаляют ее из рабочей зоны.

Механические руки, применяемые для удаления отштампованных деталей, в зависимости от траектории захватного устройства делятся на маятниковые и горизонтальные. Маятниковые механические руки применяют для удаления крупных деталей с фланцами или ребрами жесткости. Такие руки шарнирно прикрепляют к станине пресса и приводят в действие обычно пневматическими устройствами, срабатываемыми при движении ползуна пресса. Вертикальная механическая рука имеет захватывающие клещи, вводимые в рабочую зону штампа системой рычагов при движении ползуна

вверх. Рычаги перемещает большой пневматический цилиндр. Клеши, захватывающие деталь, раскрываются и закрываются малым пневматическим цилиндром. После выведения детали из рабочей зоны штампа клещи разжимаются, и деталь сбрасывается в установленное место /38/.

Кроме клещевых захватывающих устройств применяют вакуумные присоски или захваты с электромагнитами, тождественные тем, что показаны на рисунке 31.

Для измельчения отходов, которое производится для удобства их пакетирования, служат устанавливаемые на штампах ножи. В тех случаях, когда это допустимо, отходы сматывают в рулоны. Рулонницы для сматывания отходов оснащают индивидуальным приводом со следящим рычагом.

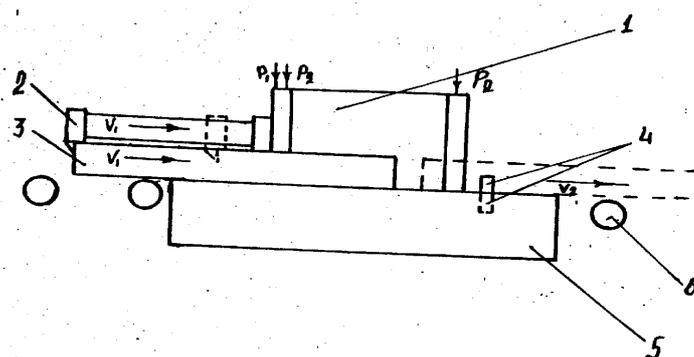
## 6 Авторские разработки

### 6.1 Изобретения по автоматизации производственных процессов

#### 6.1.1 Автоматизация транспортирования заготовок при пробивке отверстий

Способ подачи штучной заготовки в штамп и удаления детали из рабочей зоны штампа позволяет обеспечить автоматизацию процессов штамповки /39/. Устройство разработано для деталей типа нож бульдозера. Автоматизация вспомогательных (транспортных и установочных) операций осуществляется за счет изменения скорости подачи заготовок в штамп и удаления их из зоны штамповки. Перемещение заготовок с разной скоростью обеспечивается силовым цилиндром, в полости которого подают рабочую среду, например, воздух с разным давлением.

Устройство, обеспечивающее способ автоматической подачи и удаления штучных заготовок\* показано на рисунке 90 и работает следующим образом.



- 1 – силовый цилиндр; 2 – толкатель с захватом; 3 - заготовка;  
4 – утопляемый упор; 5 - штамп; 6 – приводные валки

Рисунок 90 - Схема установки автоматической подачи заготовки и удаления детали

К штампу штучные заготовки подают одним из известных приемов, например, приводным рольгангом. В одну полость силового цилиндра 1 подают воздух с пониженным давлением (0,2 МПа). Плавное перемещение толкателя с захватом 2, закрепленном на штоке силового цилиндра 1 обеспечит плавное перемещение заготовки 3 по штампу 5 до утопляемого упора 4 с малым ускорением. При достижении заготовкой упора 4 толкатель фиксирует ее в рабочей зоне штампа в требуемом положении

Следовательно, при пониженном давлении в рабочей полости цилиндра обеспечивается плавная установка и точная фиксация заготовки 3 в зоне технологической обработки (рисунок 90), причем это осуществляется без участия человека, т.е. в автоматическом режиме.

\*А.с. СССР № 1794557

После установки заготовки в работу включается штамп 5. При ходе ползуна прессы вниз происходит пробивка отверстий. При дальнейшем движении ползуна вниз фаскообразующей частью пуансона в пробитых отверстиях заготовки формируются фаски. При обратном ходе ползуна заготовка задерживается съемниками и происходит ее снятие с пуансона. Упор убирается автоматически. В прежнюю полость силового цилиндра 5 подают рабочую среду повышенным (0,4 МПа) давлением. Быстрое перемещение поршня и толкателя обеспечивают заготовке значительное ускорение от 5 до 10 м/с<sup>2</sup> и обработанная заготовка, а фактически деталь, со значительной скоростью выталкивается из штампа на опорную поверхность, например, приводной валок 6 рольганга до 60 % длины заготовки и полностью выходит из штампа. Рабочая среда с повышенным давлением переключается в другую полость силового цилиндра, обеспечивает быстрый возврат толкателя в исходное положение. Упор поднимается. Подается следующая заготовка и цикл повторяется.

### **6.1.2 Автоматическое удаление из штампа гнутых деталей**

Подача штучных заготовок на формоизменяющую операцию гибка и удаление гнутых деталей являются наиболее узким местом при автоматизации процесса. Вызвано это тем, что штучную заготовку необходимо отделить от массы заготовок, произвести ее ориентацию относительно штампа и точно установить в штампе, обеспечив фиксацию.

Подача заготовок на позицию вырубki в автоматическом режиме успешно решена в большинстве технологических процессов, так как вырубку осуществляют из листового (полосового) материала или ленты. Перемещение исходного материала в зону вырубki осуществляется с помощью подающих устройств, которые классифицируют по четырем основным признакам:

- по принципу действия подающие устройства бывают толкающими, тянущими, двустороннего действия;
- по расположению - принадлежностью штампа или прессы;
- по способу захвата - они бывают валковыми, клещевыми, клиновыми (ножевыми или роликовыми), крючковыми;
- по приводу - подающие устройства бывают от прессы (от главного вала или от ползуна) и от индивидуального привода (электрического, гидравлического, пневматического или пневмогидравлического).

Совмещение разделительной и формоизменяющей операций штамповки исключает необходимость подачи заготовок с позиции вырубki на позицию гибки. При этом обеспечивается достижение результата, тождественного тому, который обеспечивается автоматизацией.

В первую очередь, существенно сокращается ручной труд и повышается производительность процесса.

Во-вторых, обеспечивается повышение безопасности работы, а также повышается качество получаемых деталей, так как совмещение операций штамповки на одной позиции исключает смещение вырубленной заготовки при выполнении формоизменяющей операции.

При работе штамповочного оборудования в автоматическом режиме необходимым условием его качественной работы с высоким КПД является не только автоматизация подачи заготовки, но автоматизация удаления деталей и отходов. Так как она позволяет резко повысить производительность и облегчить условия труда, а также позволяет снизить вероятность травматизма.

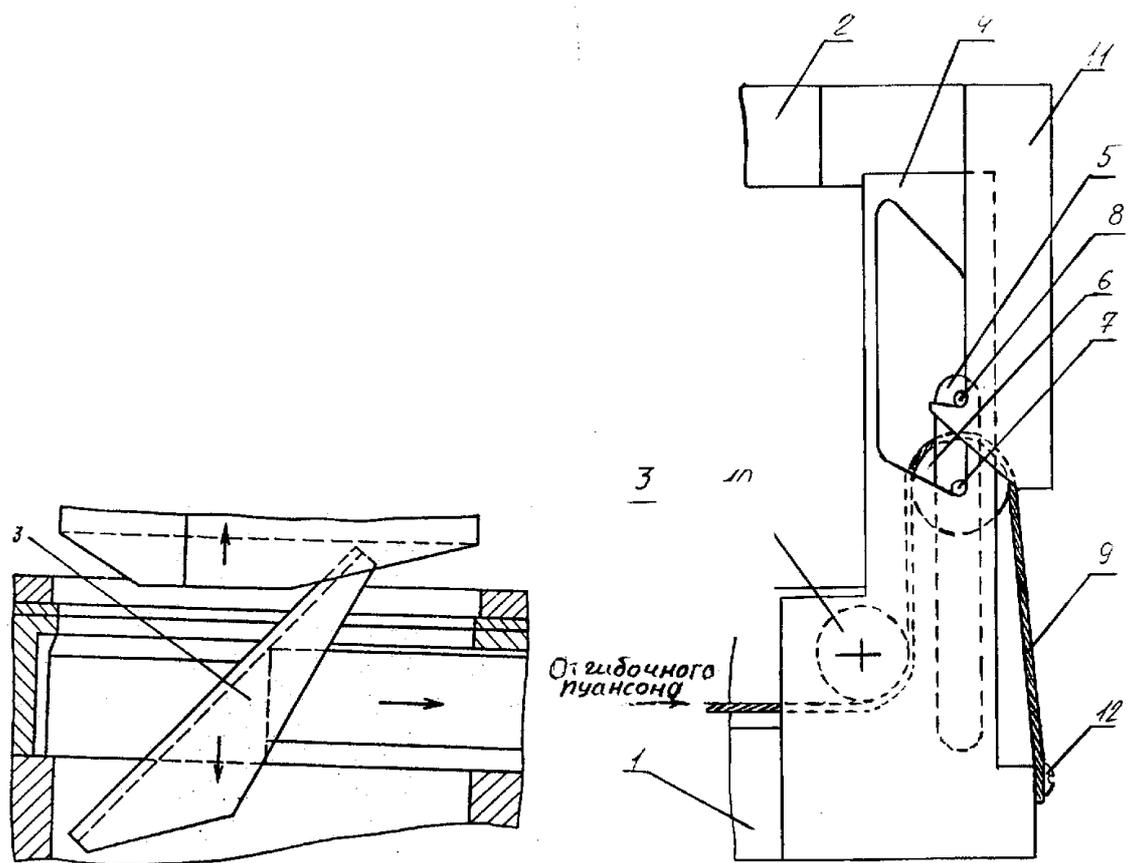
Наиболее просто вопрос удаления деталей решается путем использования приема удаления на провал. На прессах с наклоняемой станиной при штамповке мелких деталей их удаляют под действием силы тяжести или сдувают воздухом.

Так как гибка, как правило, осуществляется на оправке, то наиболее простое удаление – удаление на провал затруднено и это порождает новую задачу - автоматическое удаление гнутой детали из штампа.

В процессе получения гнутых деталей, и особенно деталей V-образной формы завершающей стадией гибки, является калибровка полученной детали на жесткой оправке. Все это затрудняет удаление полученной детали из штампа без участия ручного труда, так как наличие в штампе жесткой оправки как бы исключает возможность удаление гнутой детали на провал. Для обеспечения такой возможности разработано устройство\* для автоматического удаления деталей гнутых деталей на провал /40/. Схема автоматического удаления гнутой детали на провал показана на рисунке 91. Устройство содержит подвижный и неподвижный элементы П-образной формы, укрепленные соответственно на верхней и нижней плитах штампа. Торец подвижного элемента выполнен в виде клинового захвата. На боковых поверхностях неподвижного элемента выполнены направляющие пазы трапецеидальной формы для перемещения в них оси балансира. На оси установлен шкив, по которому перемещается трос, одним концом, прикрепленный к нижней плите штампа, другой конец соединен с грузом или возвратной пружиной, а средняя часть закреплена на жесткой оправке (гибочном пуансоне). При опускании ползуна пресса и укрепленной на нем верхней плиты штампа подвижный клиновой захват отклоняет смещенный стержень балансира и в нижней “мертвой” точке захватывает его. При обратном ходе ползуна пресса, подвижный элемент поднимает балансир с укрепленным на нем шкивом. Трос перемещается и смещает гибочный пуансон (жесткую оправку) из - под гнутой детали, открывая отверстие в нижней плите штампа, что обеспечивает автоматическое удаление гнутой детали на провал. В положении близком к верхней “мертвой” точке ползуна стержень балансира “сталкивается” с клинового захвата и под действием груза или возвратной пружины гибочный пуансон (жесткая оправка) возвращается в прежнее положение, закрывая отверстие в нижней плите штампа, обеспечивая возможность осуществлять операции гибки и калибровки. Штамп вновь готов к работе.

---

\* Патент РФ № 2094156.



- 1 – нижняя и 2 – верхняя плиты штампа; 3 – деталь; 4 – подвижный и 11 – неподвижный элементы П-образной формы; 5 – балансир; 6 и 10 – шкивы; 7 – ось балансира; 8 – смещенный стержень балансира; 9 – трос; 12 – крепление троса к нижней плите штампа.

Рисунок 91 - Схема автоматического удаления гнутой детали на провал

Таким образом, в предложенном устройстве автоматического удаления гнутых деталей V-образной формы за обратный ход ползуна пресса гибочный пуансон (жесткая оправка) совершает полный цикл возвратно-поступательного движения. Вначале оправка открывает отверстие в нижней плите штампа. Через отверстие удаляется полученная гнутая деталь на провал. После удаления детали оправка, возвращаясь в прежнее положение, закрывает отверстие в нижней плите штампа, тем самым, обеспечивая возможность гибки и калибровки получаемой детали на жесткой оправке.

## **6.2 Изобретения по совмещению операций штамповки как одного из направлений автоматизации производства**

Проблема сокращения времени на вспомогательные операции, такие как транспортировка и установка заготовки на позиции штамповки, в штамповочном производстве весьма актуальна, так как на сами операции штамповки времени затрачивается в десятки и сотни раз меньше, чем на вспомогательные операции.

Обеспечить сокращение времени на вспомогательные операции возможно не только автоматизацией производственных процессов и вспомогательных операций, но и устранением необходимости самих вспомогательных операций посредством совмещения разделительных и формоизменяющих операций на одной позиции.

При выборе рационального технологического процесса штамповки необходимо, уже на первом этапе проектирования, увязывать штамповку с возможностью автоматизации вспомогательных (транспортно-ориентирующих и установочных) операций, так как сами процессы штамповки, выполняемые на универсальном штамповочном оборудовании, осуществляются за доли секунды.

Кузнечно-прессовое оборудование является высокопроизводительным. Быстроходность (частота) машин при вырубке на ножницах составляет до 140, на прессах - до 400, на автоматах - до 1000 ходов ползуна мин<sup>-1</sup>. Обеспечить ориентированную установку штучных заготовок на такую производительность не позволит ни какое автоматическое устройство. Полномерно использовать указанное число ходов ползуна пресса возможно только при выполнении операции вырубке из ленты при незначительном шаге подачи (от 35 до 150 мм). При изготовлении деталей часто требуется сочетание разделительных и формоизменяющих операций штамповки.

Подача штучных заготовок на разделительные, как и формоизменяющие операции и удаление вырубленных или деформированных деталей являются наиболее узким местом при автоматизации процесса и вызвано это тем, что штучную заготовку необходимо отделить из массы других заготовок, сориентировать ее относительно штампа и точно установить в штампе, а. после проведения операции гибки, гнутую деталь нужно удалить из штампа. А так как гибка, как правило, осуществляется на оправке, то наиболее простое удаление на провал затруднено. На выполнение вышеуказанных операций требуется значительное время. Это приводит к существенному снижению коэффициента рационального использования числа ходов пресса и зачастую этот коэффициент, без автоматической загрузки и удаления, не превышает 15 %. Существенное сокращение вспомогательных операций, выполняемых преимущественно вручную - резерв повышения производительности в штамповочном производстве.

В основе решения указанной проблемы лежит автоматизации штамповочного производства.

Автоматизация технологических процессов штамповочного производства развивается по следующим направлениям.

- Создание сложных автоматизированных комплексов по управлению технологическими процессами. Направлены такие комплексы на транспортировку заготовок между позициями обработки и их установку на этих позициях (многопозиционные прессы автоматы).

- Сокращение, то есть минимизация, числа позиций, на которых осуществляется обработка заготовки, в которых к неподвижной заготовке подается разнообразный обрабатывающий инструмент, (обрабатывающие центры).

- Совмещение во времени транспортировки заготовки с ее обработкой, то есть обработка заготовки осуществляется увеличенным числом одинакового обрабатывающего инструмента в процессе ее транспортирования, (конвейерные комплексы).

Автоматизация технологических процессов штамповки решает следующие задачи: повышение производительности и уменьшение доли ручного труда; повышение качества получаемых деталей; повышение процента рационального использования, от общего числа, ходов ползуна прессы; повышение безопасности выполнения операций штамповки.

Использование в технологическом процессе штамповки совмещения разделительных и формоизменяющих операций на одной позиции штампа, путем выполнения параллельной и последовательной штамповки обеспечивает достижение таких же результатов. Следовательно, совмещение операций штамповки соответствует решению вопросов автоматизации. Это дает право рассматривать вопрос совмещения операций штамповки на одной позиции как способ автоматизации технологического процесса штамповки.

В качестве объектов разработки были выбраны следующие процессы:

- пробивка отверстия и формообразование фаски;
- вырубка заготовки и ее гибка;
- одновременная позиционная пробивка группы отверстий на координатно-револьверном пресс-автомате;
- вырубка – осевая и радиальная вытяжка детали переменного сечения.

Исследованиями установлено, что совмещением разделительных и формоизменяющих операций штамповки на одной позиции обеспечивается значительное повышение коэффициента рационального использования возможностей прессы и тем самым достигается результат, аналогичный тому, который можно достичь при автоматизации. Совмещение операций штамповки исключает необходимость операции транспортирования заготовки с одной позиции штамповки на другую, поэтому отпадает необходимость в автоматизации этих операций. Также устраняется необходимость ориентирования заготовки в штампе и ее точной установки на каждой позиции, то есть уменьшается число вспомогательных операций.

Известно, что сокращение технологической цепочки, путем исключения даже одного из звеньев, значительно увеличивает надежность работы всего комплекса. С учетом этого, становится очевидной актуальность совмещения операций штамповки на одной позиции.

### 6.2.1 Одновременная позиционная пробивка группы отверстий на координатно-револьверном пресс-автомате

Как отмечалось выше, автоматизация технологических процессов штамповки зависит от конкретных условий производства. Одним из направлений автоматизации технологических процессов является использование прессов-автоматов.

На пресс-автоматах изготавливают плоские детали с большим числом разнообразных по форме и размерам отверстий, например, монтажные панели (рисунок 92) изготавливают из листового материала поэлементной штамповкой, последовательно осуществляя операции пробивки и высечки по контуру, зачистки гребешков полученного контура. Но основной операцией при изготовлении указанных деталей является позиционная пробивка отверстий диаметром более 10 мм.

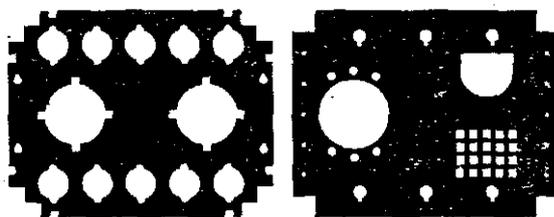
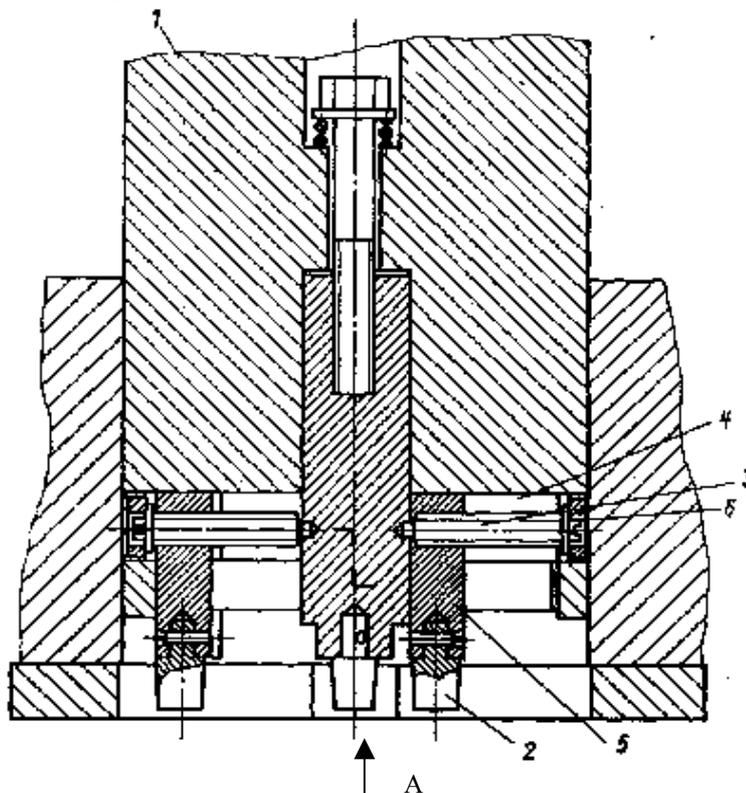


Рисунок 92 - Детали, получаемые поэлементной штамповкой

Изготавливают монтажные панели преимущественно в условиях серийного и мелкосерийного производства. Для их изготовления, в основном, используют универсальные координатно-револьверные листоштамповочные пресс-автоматы с числовым программным управлением /1, 14, 36/ в которых автоматически устанавливается обрабатывающий инструмент и осуществляется перемещение координатного стола с укрепленной на нем заготовкой, например, пресс-автоматы марки K0126 усилием 160, 400 и 630 кН. Конструктивной особенностью указанных пресс-автоматов является то, что обрабатывающий инструмент представляют собой жесткофиксированные инструментальные пары оснастки - пуансоны и матрицы, составляющие рабочий штамп.

На таких пресс-автоматах время, затрачиваемое на пробивку отверстий  $\varnothing 10$  и  $\varnothing 90$  мм одинаково и в основном, затрачивается на то, чтобы стол с заготовкой был выставлен на заданные координаты, то есть на вспомогательные операции. Если необходимо пробить несколько небольших отверстий с заданной повторяющейся геометрией расположения, причем комбинации отверстий пробиваемых на различных участках поверхности заготовки могут повторяться неоднократно, то время получения этих отверстий пропорционально числу этих отверстий, что приведет к снижению коэффициента рационального использования от общего числа двойных ходов ползуна пресса. Все это исключает возможность быстрого получения одинаковых групп отверстий.

Учитывая это, становится очевидной необходимостью иметь возможность одновременного получения группы отверстий на различных участках поверхности заготовки, то есть совмещения операций одновременной пробивки нескольких отверстий с заданной для данной детали формой и геометрией их расположения. Поставленную задачу позволил решить пуансонодержатель\* пробивного штампа /41/, представленный на рисунке 93.



1 – пуансонодержатель; 2 - взаимодействующий с заготовкой пуансон; 3 – регулировочный винт; 4 – направляющие; 5 – держатели, невзаимодействующая с заготовкой часть пуансона; 6 – стопорный винт

Рисунок 93 - Схема переналаживаемого пуансонодержателя

Основными элементами разработанного устройства являются составные пуансоны, которые состоят из взаимодействующих и невзаимодействующих с заготовкой частей. Неработающие части пуансонов выполнены в виде держателей (рисунок 94).

Они установлены в корпусе (рисунок 93), с возможностью индивидуального регулируемого перемещения по радиальным направляющим пазам в плоскости, перпендикулярной оси пуансонодержателя (рисунок 94). Перемещение пуансонов осуществляется посредством винтов (регулируемых), которые закрепляются стопорными винтами.

Рабочие части пуансонов выполнены съемными, что позволяет (в допустимых пределах) изменять их как по форме сечения, так и по размерам и, соответственно, пробивать отверстия различных сечений (круглые, граненные).

\* А.с. СССР № 1382541

Установка пробивных пуансонов на необходимый размер по требуемой геометрии поясняется рисунком 94 и осуществляется следующим образом.

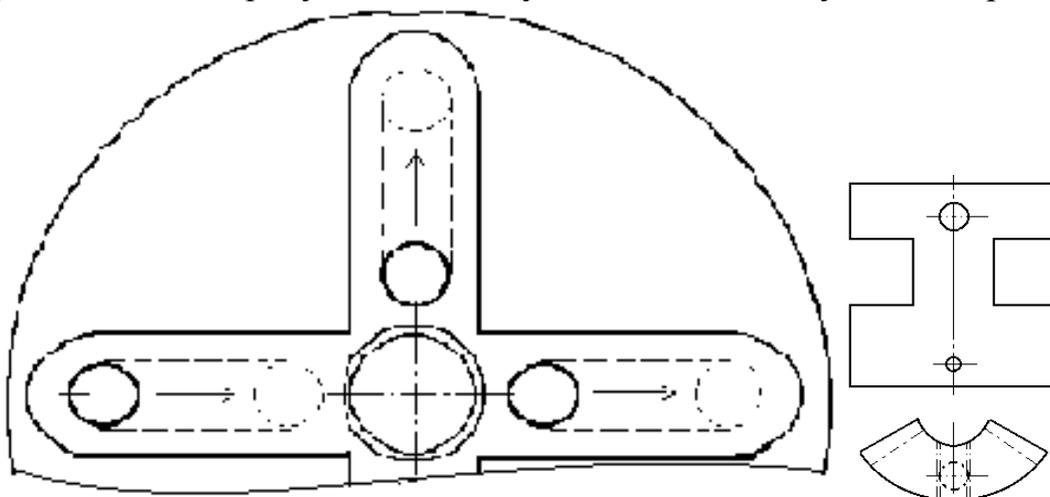


Рисунок 94 - Вид А пуансонодержателя пробивного штампа и его неработающий элемент

Вначале отпускают стопорные винты и вращением регулировочных винтов (рисунок 93) нерабочие части пуансонов устанавливают, перемещая по пазам (рисунок 94), в необходимое положение. После этого регулировочные винты укрепляют стопорными винтами. В нерабочие части пуансонов устанавливают рабочие части. Матрицедержатель содержит подвижные матрицы, которые с помощью прижимной плиты и зажимной гайки крепятся к основанию. После установки пуансонов, крепление зажимной гайки матрицедержателя отпускают, матрицы выставляют относительно пуансонов и зажимной гайкой, через прижимную плиту, их крепят к основанию матрицедержателей. Штамп готов к работе.

Предложенная разработка позволяет расширить технологические возможности листоштамповочного пресс-автомата за счет обеспечения совмещенной пробивки в обрабатываемых заготовках заданной группы отверстий на различных участках ее поверхности. Следовательно, позволит сократить время, затрачиваемое на выполнение вспомогательных операций (время вывода стола с заготовкой и инструментальной пары на заданные координаты) и повысить процент рационального использования числа ходов.

### 6.2.2 Получение отверстий для крепления деталей

Практически любой процесс сборки включает в себя создание преимущественно неподвижных соединений, обеспечивающих неизменное взаимное расположение сопрягаемых деталей, что обеспечивают неразъемными соединениями, полученными сваркой, клепкой, склеиванием, штамповкой или горячей посадкой или разъемными (преимущественно резьбовыми), причем доля разъемных соединений соизмерима с количеством неразъемных.

Преимуществом разъемных соединений является возможность обеспечения выполнения не только монтажных, но и демонтажных работ без разрушения целостности деталей и узлов при ремонте машин и аппаратов.

Практически все болты имеют галтели, сглаживающие переход от стержня к головке болта. Но галтели не позволяют получить плотное, без зазора соединение между деталью и болтом. Поэтому на практике во многих крепежных отверстиях часто снимают фаску для исключения влияния галтели (рисунок 95 а).

Для некоторых сборочных узлов существует дополнительное условие, а именно - на поверхности детали не должно быть головки болта, обеспечивающего винтовое соединение. Такое крепление выполняют для режущих элементов почвообрабатывающей техники. Крепление таких узлов осуществляют болтами с потайной головкой.

Для обеспечения выполнения указанной функции в соединяемых деталях крепежное отверстие выполняют с фаской и граненым (квадратным, реже шестигранным), причем фаска, как правило, имеют вид усеченного конуса. Такие крепежные отверстия представляют собой сложную конструкцию (рисунок 95 б). Получение таких отверстий сопряжено с определенными трудностями, а процесс их получения сложный и весьма трудоемкий.

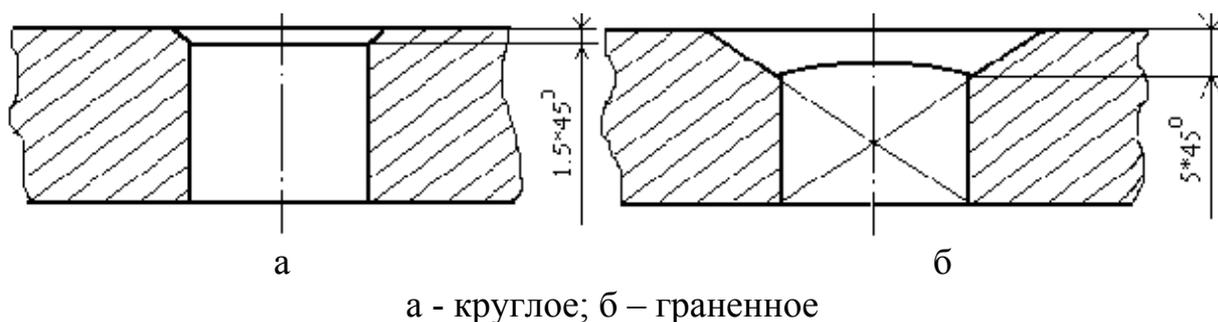


Рисунок 95 - Вид сечения отверстия с фаской

Слабым местом винтового соединения является его самопроизвольное раскручивание в процессе работы узла. Для устранения раскручивания применяют различные приемы. Наиболее надежным средством от раскручивания является выполнение крепежного отверстия и крепежного болта гранеными. Это усложняет подготовку к сборке, но в то же время исключает поворот болта и раскручивание соединения.

Отличительной особенностью всех крепежных отверстий являются относительно большие допуски на размеры отверстий и, в то же время, малые допуски на смещение осей отверстия и фаски. К тому же дополнительное требование – высокая точность межосевых размеров и размеров привязки.

Получение крепежных отверстий с фаской в технологическом плане выливается в процесс, требующий, по меньшей мере, два перехода (сверление отверстия и снятие фаски). Для выполнения каждого перехода требуется ручная транспортировка заготовок на позиции обработки и установка заготовки на этих позициях. Указанные операции, как и операции обработки резанием,

характеризуются низкой производительностью и значительной трудоемкостью, а также трудностью в обеспечении высокой сходимости осей отверстия и фаски.

### **6.2.2.1 Получение граненых отверстий с фаской**

Отверстия с фаской получают одним из следующих способов:

- операциями резания (сверление отверстия и фаски);
- операциями обработки металлов давлением (пробивка отверстия и формование фаски).

Получение граненых отверстий с фаской связано с еще большими сложностями и дополняется комбинацией вышеуказанных способов. Получают граненые отверстия с фаской следующими способами:

- пробивка граненого отверстия и сверление фаски;
- сверление отверстия и фаски и пробивка квадратного отверстия;
- операциями ОМД.

Операция пробивки отверстия характеризуется и определяется размерами получаемого отверстия, толщиной и маркой материала заготовки, требуемой точностью размеров отверстия.

Технологический процесс получения отверстий с фасками операциями ОМД, в основном, разделен на две операции. Операцию пробивки граненого отверстия пуансоном большего размера и операцию формование фаски с вытеснением металла в зазор между пробитым отверстием и формирующей частью пуансона, образующей грани.

Исследованиями установили возможность совмещения операций пробивки отверстия и формования фаски\* за счет перемещения металла к основанию пробитого отверстия /42/. Для этого необходимо добиться расширения основания пробитого отверстия. При рекомендуемой для получения чистовых отверстий величине зазора между пуансоном и матрицей от 2 до 5 % толщины материала, требуемое расширение основания в пробитом отверстии получить невозможно. Его можно достичь за счет увеличения зазора между пуансоном и матрицей /43, 44/.

Из приведенных расчетов видно, что двусторонний зазор между режущими кромками пуансона и матрицы в 4,3 мм, что составляет 13 % толщины материала, обеспечит распределение, вытесняемого из фаски материала в пробитом отверстии без выдавливания его на поверхность заготовки рисунок 96 б.

### **6.2.2.2 Моделирование процесса пробивка отверстия – формовка фаски и материала для его осуществления**

Моделирование различных по характеру выполнения операций желательно проводить на материале, максимально отвечающем требованию выполняемых операций.

\* А.с. № 1382540, А.с. № 1611512, А.с. № 1632570

Для операции пробивки - это хрупкость, а для операции формования фаски - пластичность. Как известно, для выявления общих закономерностей деформирования, в практике моделирования процессов ОМД целесообразно изготавливать модель из материала натуры, однако это не всегда возможно. Для моделирования операций ОМД используют свинец, алюминий или сплавы на основе этих металлов и пластилин /45/. Данные материалы обладают высокой пластичностью, что обеспечивает определенные преимущества в постановке экспериментов, при их использовании в качестве моделирующего материала.

Недостатком этих материалов является низкая точность моделирования, особенно в зоне разрушения, так как их пластические свойства отличаются от пластических свойств моделируемых материалов при сдвиговой деформации. Кроме того, недостатком использования пластилина является его сравнительно низкие механические свойства, высокая чувствительность к температурным колебаниям и его склонность прилипать (адгезия) к деформирующему инструменту. С целью повышения точности моделирования путем обеспечения заданной (требуемой) вязкости, в пластилин вводят дисперсный наполнитель, например, мел, тальк, зубной порошок, порошок глины, что позволяет снизить пластичность и повысить хрупкость материала. Массовое отношение наполнителя к пластилину может достигать до единицы. Для исследования сдвиговой и пластической деформации в качестве материала использовали пластилин, а в качестве наполнителя – мел\* при его количестве от 20 до 40 весовых процентов /46/. Предложенный материал представляет собой механическую смесь компонентов (пластилина и дисперсионного наполнителя - мела). Он нетоксичен, легко поддается обработке, имеется везде в достаточном количестве. Разработанный материал, имеет свойства сталей и сплавов не только до зоны разрушения, но и в зоне разрушения и позволяет наглядно моделировать разделительные и формоизменяющие операции (рисунок 9б).

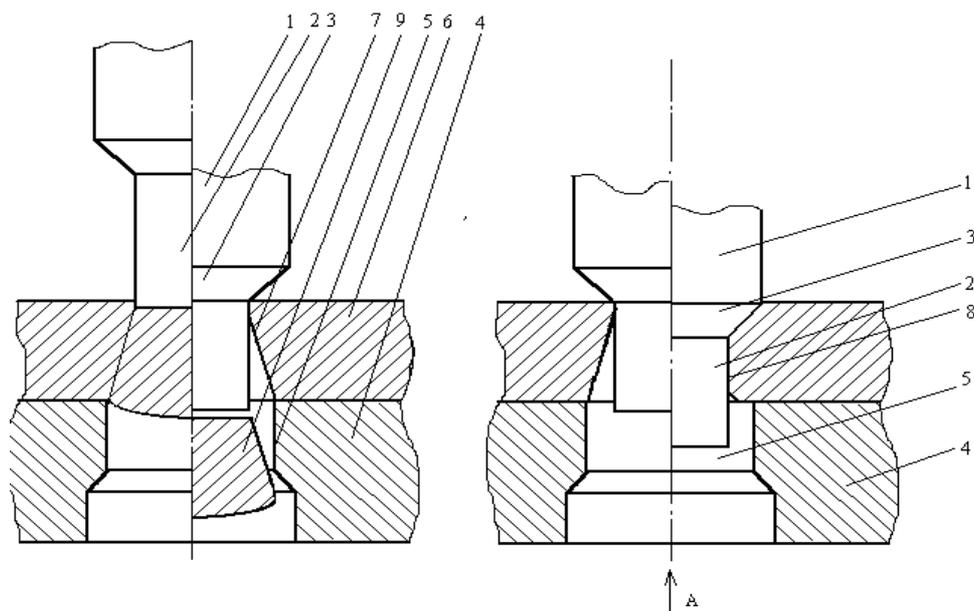
При пробивке отверстия материал в верхней части как бы втянут вовнутрь пробитого отверстия в месте внедрения пуансона. Такой характер деформирования материала на его поверхности положительно сказывается на процессе формования фаски, так как он уменьшает объем перемещаемого материала и соответственно уменьшает усилие формовки фаски.

Наполнитель мел уменьшает и практически исключает прилипание материала к поверхности инструмента, позволяет моделировать распределение напряжений и деформаций по объему деформируемого тела.

Характер течения металла при формовании фаски исследовали как на однородном материале, так и на слоистых моделях, причем такой характер исследования дает более наглядную картину перемещения слоев металла в объеме. Проведенные исследования показали возможность получения отверстия с фаской на одной позиции за один ход ползуна прессы, это обеспечивается за счет перемещения вытесняемого металла частью пуансона, образующего фаску к расширенному основанию пробитого отверстия.

---

\*А.с. СССР № 1552058



а - пробивка (образование скола); б - формовка фаски  
 1 – пуансон; 2 – пробивная и 3 - фаскообразующая части пуансона;  
 4 – матрица с круглым отверстием 5, 6 – заготовка; 7 – пробитое конусное отверстие; 8 – полученное отверстие с фаской; 9 – отход

Рисунок 96 - Этапы получения отверстия с фаской, выполненные на материале пластилин + мел

Исследованиями установили, что двусторонний зазор между режущими кромками пуансона и матрицей в 4,3 мм, обеспечит распределение вытесняемого фаской материала в пробитом отверстии.

Для проверки действительного характера распределения металла при деформации (при разделительной операции - пробивке отверстия и формоизменяющей - формования фаски) (рисунок 96) были проведены экспериментальные исследования разработанным инструментом\* рисунок 97 на различном материале /42 - 46/, а на рисунке 98 показан характер распределения материала в карманы пуансона. Приведенные разрезы получены на слоистой модели с зазором (двусторонним) между режущими кромками пуансона и матрицы в 4,3 мм при опускании ползуна пресса, а, следовательно, и пуансона, в нижнюю мертвую точку. В этой точке осуществили разрезание материала модели нитью, предварительно уложенной под пуансон, по серединам противоположных граней А – А и Б – Б или диагоналям Д – Д и Г – Г.

Как следует из рисунков разрезов, максимальное затекание материала в карманы составило 1,5 мм, что меньше глубины карманов (2 мм), то есть затекавший материал не касается тела пуансона. Это указывает на то, что при совмещении операций пробивки отверстия и формовки фаски, последняя операция осуществляется только за счет перемещения материала к расширенному основанию пробитого отверстия.

\*А.с. № 1632570, А.с. № 1382540, А.с. № 1611512

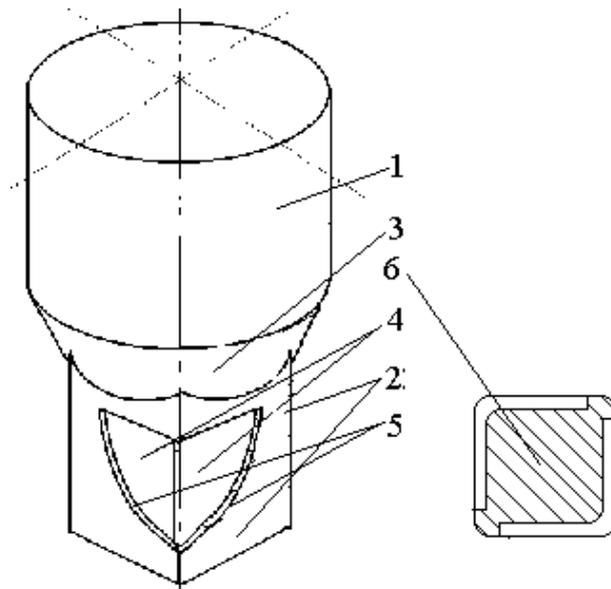
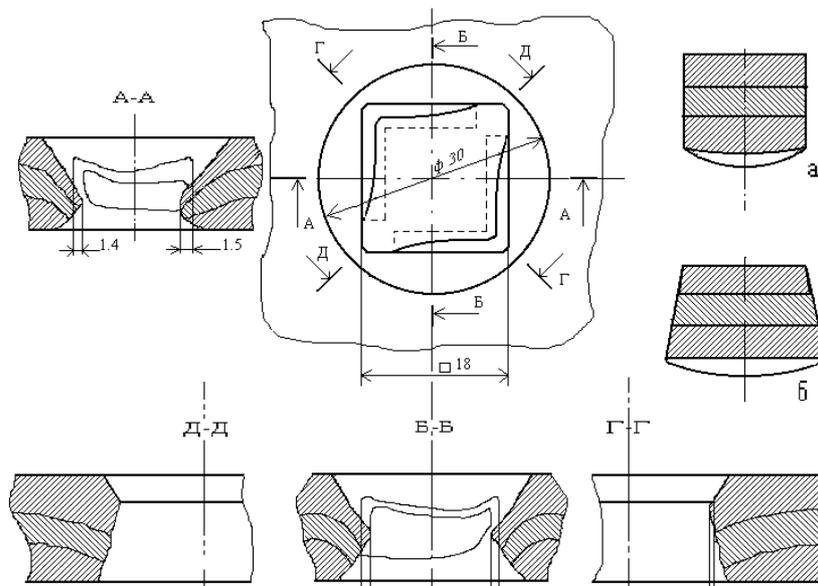


Рисунок 97 - Предложенная конструкция пуансона

1 – пуансон; 2 - пробивная и формующая часть пуансона; 3 – фаскообразующая часть пуансона; 4 - «магазины»; 5 - режущие кромки «магазинов»; 6 - сечение пробивной части пуансона



а – вид отхода после пробивки отверстия при двустороннем зазоре 0,5 мм;  
 б – тоже при зазоре 4,3 мм  
 А-А, Б-Б, Г-Г, Д-Д – соответствующие сечения

Рисунок 98 - Перемещение материала при формировании фаски

Перемещение материала в углах пробитого отверстия (сечение Г - Г) незначительно (примерно в 2 раза меньше перемещение материала на гранях), что показывает соответствие закону течения материала по наименьшему сопротивлению. И в то же время это показало, что ребра режущих кромок пуансона, на которых выполнены карманы, имеющие минимальную высоту и являющиеся наиболее слабым местом пуансона, будут нагружены в меньшей степени. Характер заполнения карманов пуансона перемещенным материалом указывает на то, что режущие кромки пуансона обеспечат его работоспособность. К тому же исследование на слоистых моделях показало, что основное заполнение карманов пуансона осуществляется за счет материала верхнего слоя. Материал нижнего слоя в карманы практически не затекает.

Характерным при осуществлении процесса является то, что перемещение происходит без вытеснения материала на поверхность заготовки и без образования на них буртика либо заусенца со стороны пуансона или матрицы. Таким образом, подтверждено предположение, что процесс формования фаски можно рассматривать как процесс объемной штамповки в закрытом штампе без значительного выдавливания.

Результаты выполненных исследований показали, что разработанный материал (пластилин + мел) позволяет хорошо моделировать как сдвиговую, так и пластическую деформацию. Также установлено, что операцию пробивки можно осуществлять не только с минимальным зазором (до 5 % толщины материала), но и с повышенным зазором (от 10 до 15 % толщины материала) между пуансоном и матрицей, а также возможность сочетания круглой матрицы и граненого пуансона (рисунок 99) /43, 44/.

Все это позволило получить отверстия с расширенным основанием, а это, в свою очередь, обеспечило возможность переместить вытесняемый частью пуансона образующей фаску материал к расширенному основанию пробитого отверстия без вытеснения его на поверхность заготовки, как со стороны пуансона, так и со стороны матрицы.

Проведенные исследования и выполненные разработки показали возможность получать качественные отверстия с фаской на одной позиции за один ход ползуна прессы.

С целью повышения стойкости пуансона за счет снижения необходимого усилия деформирования штамповку рационально осуществлять на нагретых заготовках. Учитывая соотношения размеров пробиваемых отверстий и всей заготовки, становится очевидной необходимость локального нагрева очагов деформации.

Тепловой расчет нагрева локальных зон в заготовке выполнен в соответствии с учетом конкретной детали нож бульдозера (рисунок 99) и граничных условий, определяемыми конкретными параметрами.

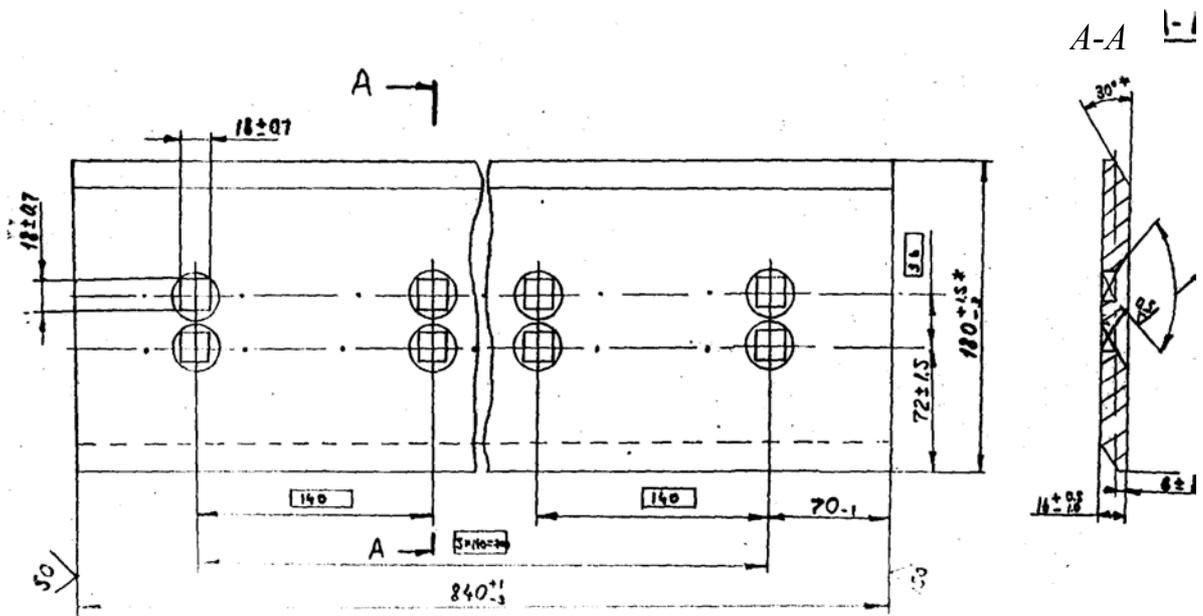
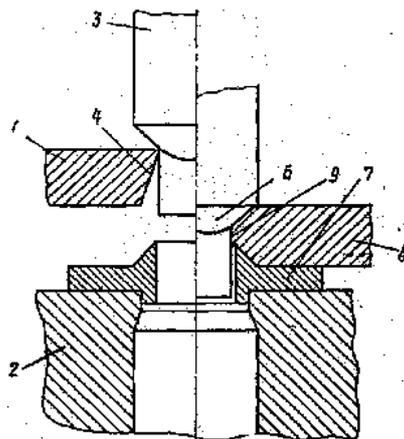


Рисунок 99 – Общий вид детали нож бульдозера

### 6.2.2.3 Получение отверстия с двусторонними фасками

Рассмотрен вопрос возможности получения отверстия с двусторонними фасками и разработан способ\*, позволяющий получать такие отверстия на одной позиции за одну установку заготовки. Разработанный способ позволяет получать отверстия с двусторонними фасками на одной позиции за одну установку, но за два хода ползуна прессы /47/. Преимущества, обеспечиваемые прежними разработками при получении отверстия с фаской, остаются и для указанной разработки. Отверстие получают на одной позиции и за одну установку заготовки.



- 1 – заготовка; 2 – матрица; 3 – пуансон; 4 – конусное отверстие;  
 5 – отход (не показан); 6 – фаскообразующая часть пуансона;  
 7 – вставка; 8 – деталь; 9 – отверстие с двусторонними фасками

Рисунок 100 - Схема и стадии получения отверстия с двумя фасками

\* А.с. СССР № 1488068

Первая стадия процесса получения отверстия с двусторонней фаской остается прежней, но при обратном ходе ползуна пресса заготовка с пуансона не снимается, а поднимается вместе с ним. На матрицу 2 устанавливается формирующая одну из фасок вставка 7 (подкладная плита рисунок 100). При повторном движении пуансона 3 с заготовкой, имеющей отверстие 4 переменного сечения, вниз за счет двусторонней осадки кольцевых зон отверстия фаску образующей частью 6 пуансона 3 и вставкой 7 на противоположных гранях отверстия 4 формируются фаски, а также калибруется внутренняя поверхность отверстия (рисунок 99).

При повторном ходе ползуна пресса вверх деталь 8, имеющая отверстие с двусторонними фасками 9, съемником (не показан) снимается с пуансона. Деталь 8 и вставка 7 убираются с матрицы 2 (рисунок 100), и цикл можно повторять. Предложенный способ получения отверстия с двусторонними фасками обеспечивает, по сравнению с известными, автоматизацию технологического процесса получения отверстия с фасками путем сокращения числа переходов и, главное, уменьшения потерь времени на межоперационную передачу заготовки по позициям и ее установку на них.

### **6.3 Штампы с эластичными элементами**

Высокомолекулярные эластичные соединения применяют в качестве инструмента не только при штамповке деталей из тонколистового материала. Известны конструкции штампов с эластичными элементами для обработки толстолистовых заготовок, в том числе и разработка автора, Разработан многопуансонный штамп\* для пробивки группы отверстий в толстолистовых заготовках, который можно переналаживать на выпуск похожих изделий различной номенклатуры, что приводит к снижению себестоимости выпускаемой продукции, так как за счет расширения номенклатуры выпускаемых изделий на одном штампе отпадает необходимость изготовления оснастки для каждой детали, а ее удельный вес в себестоимости деталей, выпускаемых штамповкой существенный.

#### **6.3.1 Описание конструкции штампа для получения отверстий с фасками**

Для практической реализации разработок по получению граненых отверстий с фаской (рисунок 95 б) в детали нож бульдозера (рисунок 99) разработана конструкция штампа \*, представленная на рисунках 101,102 /48/.

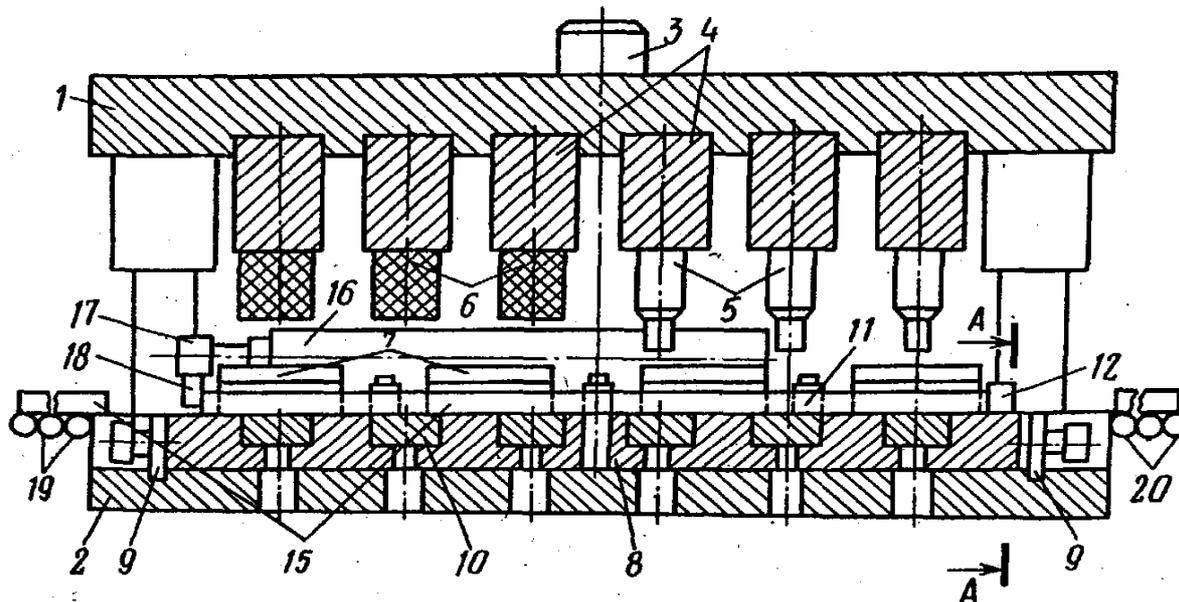
Как отмечалось выше, наряду с ножами, в которых пробивают по двенадцать отверстий, для отвала бульдозера необходимы ножи, в которых необходимо пробивать по 7 граненых отверстий с фаской.

Для получения различных ножей предлагается использовать тот же штамп, что и для получения двенадцати отверстий с фаской,

---

\* А.с. № 1344464

но для этого неработающие пуансоны предлагается заменить элементами из эластичной среды, например, из полиуретана. При этом исключается перекос штампа, возникающий вследствие неравномерности нагрузки на различных участках штампа.



1 – верхняя и 2 – нижняя плита штампа; 3 – хвостовик; 4 – пуансонодержатели; 5 – пуансоны; 6 – эластичные вставки; 7 – съемники; 8 – матрицедержатели; 9 – регулировочные винты; 10 – матрицы; 11 – направляющие ролики; 12 – упоры; 13 – пружины; 14 – полости; 15 – заготовка; 16 – силовой цилиндр; 17 – толкатель; 18 – захват; 19 – подающий и 20 – удаляющий рольганг

Рисунок 101 - Переналаживаемый многопуансонный штамп

Эластичные элементы предлагается подбирать таким образом, чтобы их сопротивление упругой деформации равнялось усилию операции пластической деформации работавшего пуансона, то есть обеспечивается выравнивание нагрузки универсального штампа.

Основными конструктивными особенностями штампа являются: блоки пуансонов, содержащие по 2 пуансона, которые крепятся в пуансонодержателях посредством клиньев и шарнирной траверсы. Такая конструкция обеспечивает быструю замену пуансонов без снятия штампа. Упоры выводятся в рабочее состояние посредством пневматической системы, а возвращаются в исходное (утопленное) состояние посредством пружин (рисунок 102).

В штампе имеется блок матриц, включающий матрицедержатели с тремя матрицами, Г-образные съемники, три пары направляющих роликов, которые совместно с силовым цилиндром и захватом обеспечивают направленное перемещение заготовки по поверхности штампа, ее точную установку и фиксацию на позиции обработки.

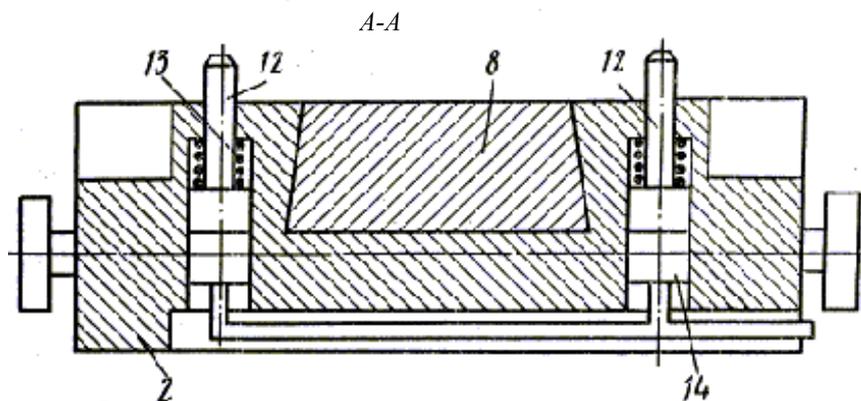


Рисунок 102 - Сечение А-А нижней части штампа (рисунок 101)

Следовательно, разработанная конструкция штампа обеспечит получение отверстий с фаской в разных ножах на одной позиции за один ход ползуна прессы, что позволит значительно повысить производительность, а также позволит получать различное количество отверстий с фасками в одном штампе, а это обеспечит существенное снижение затрат при изготовлении оснастки.

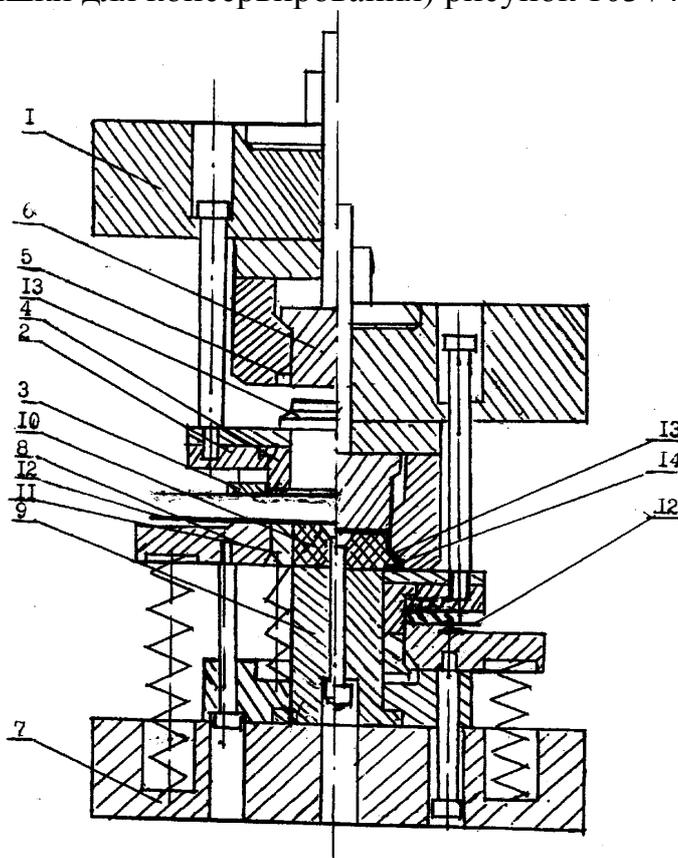
Показанные выше способы и устройства подчинены решению одной задачи, а именно: автоматизации процесса получения отверстий с фасками в листовых заготовках. Это достигается исключением межоперационной транспортировки заготовок, также необходимостью неоднократной точной установки и фиксации заготовок на позициях обработки. Все это позволяет решить поставленную задачу интенсификации операций листовой штамповки за счет совмещения разделительных и формоизменяющих операций. «Узким» местом переналаживаемых штампов является смещение при переналадке его силового центра, в результате чего наблюдается перекося верхней и нижней частей штампа, что приводит к сокращению их срока службы и снижению надежности работы штампа, а также отрицательно сказывается на работе штамповочного оборудования в целом. Влияние этого фактора (возникновение перекося частей штампа) пропорционально усилию, возникающему на инструменте. В связи с этим переналаживаемые штампы используются практически только при обработке тонколистового материала. Для устранения основного недостатка переналаживаемых штампов, а именно исключение перекося частей штампа, возникающих при переналадке в разработанном многопуансонном штампе, неработающие пуансоны при его наладке, заменяются эластичными элементами из полиуретана, причем усилие упругой деформации эластичных элементов подбирают равным усилию для осуществления пластической деформации работавшего пуансона.

Использование высокомолекулярных соединений и, в частности, полиуретана в качестве эластичных элементов штампа для обработки толстолистового материала позволит исключить перекося частей штампа при их переналадке, а это в свою очередь позволит снизить себестоимость изделий за счет расширения номенклатуры изготавливаемых изделий на той же оснастке.

В разработанном штампе неработающие пуансоны заменяются эластичными (полиуретановыми) вставками, что позволяет исключить перекосящий штамп и повысить его надежность и долговечность.

### 6.3.2 Получения полых деталей переменного сечения с загнутой к центру кромкой

Использование эластичных вставок в штампах для выполнения формоизменяющих операций широко применяется для получения полых деталей переменного сечения. Операция загибки к центру (вовнутрь) кромки вытянутой детали - сложная в технологическом плане операция. Разработан штамп,\* позволяющий путем комбинирования и совмещения операций штамповки получать полые детали переменного сечения с загнутой вовнутрь кромкой (типа крышки для консервирования) рисунок 103 /49/.



- 1 - верхняя плита; 2 - инструмент для вырубki - вытяжки; 3 - прижим-съемник; 4 - пуансон-матрица для вырубki - вытяжки; 5 - формообразующая часть матрицы; 6 - выталкиватель (4, 5, и 6 образуют матрицу для формовки); 7 - нижняя плита; 8 - матрица для вырубki; 9 - пуансон для формовки; 10 - верхняя часть пуансона для формовки из эластичного материала; 11 - подпружиненный прижим; 12 - исходный материал (листовая заготовка или полоса); 13 - получаемая деталь переменного сечения; 14 - загнутая вовнутрь кромка

Рисунок 103 - Штамп совмещенного действия

\*Патент РФ № 2207929

Получение рассматриваемых деталей осуществляется на одной позиции и за один ход ползуна прессы. При этом выполняются следующие операции.

Вырубка заготовки из ленты (полосы, либо штучной заготовки) и после нее осуществляется осевая вытяжка (получение цилиндра) в пуансон - матрице эластичным формообразующим пуансоном. При достижении полученной цилиндрической заготовкой, находящейся на вытяжном пуансоне, выталкивателя, происходит осадка эластичной части вытяжного пуансона. При этом предварительно вытянутая цилиндрическая заготовка приобретает переменное по высоте сечение, соответствующее сечениям формообразующей части матрицы, укрепленной на верхней плите.

В матрице формообразующая часть выполнена составной. Плоскость разъема матрицы проходит по основанию расширенной части полости матрицы, что позволяет легко извлекать из нее полученную деталь.

Штамп позволяет автоматизировать технологический процесс штамповки. И это достигается за счет устранения межоперационной транспортировки и ориентированной установки заготовки на позициях обработки.

При подходе к верхней мертвой точке толкатель удаляет деталь из матрицы в зазор между составными частями формообразующей матрицы. Так как сечение полученной детали непостоянное и больше внутреннего сечения нижней части матрицы, то деталь остается на ней и удаляется с последней одним из известных способов, например, пневматическим сдувом.

Рассмотренная конструкция штампа последовательно – параллельного действия позволяет автоматизировать процесс изготовления полой детали с загнутой вовнутрь кромкой, объединив такие операции как вырубку – осевую и радиальную вытяжки и удаление готовой детали на одной позиции и за один ход ползуна прессы.

Разработанный штамп так же позволил ликвидировать операцию механической закатки буртика, выполняемую по существующему технологическому процессу вручную и неподдающуюся автоматизации или механизации.

#### 6.4 Автоматизация процесса изготовления гнутых деталей V-образной формы на одной позиции

При изготовлении деталей из листовых заготовок операциями обработки давлением обычно используются разделительные и формоизменяющие операции. Связь между этими операциями выполняют вспомогательные операции, а именно: удаление заготовки после предыдущей операции (вырубки); транспортирование и пространственное ориентирование вырубленной заготовки; точная установка на позициях последующих формоизменяющих операциях (гибки, вытяжки, калибровки и т.д.).

Необходимость и целесообразность автоматизации вспомогательных операций для технологического процесса штамповки чрезвычайно актуальна. При ручном обслуживании кузнечно-штамповочного оборудования

коэффициент использования его возможных рабочих ходов весьма низок и составляет не более 0,15 из возможных 140 мин<sup>-1</sup> /1/. К тому же выполнение операций штамповки характеризуется тяжелыми условиями труда рабочего из-за монотонности работы, значительных физических нагрузок, вибраций и шума оборудования.

Агрегатирование технологического процесса, заключающееся в обработке заготовки на одной позиции различной оснасткой, обеспечивает результат, тождественный тому, который достигается автоматизацией производственных процессов /36/: а) из производственного процесса исключается ручной труд, штамповщику отводятся лишь задачи наладки и контроля над процессом. Тем самым, обеспечивается повышение безопасности работы на штамповочном оборудовании; б) повышается производительность процесса штамповки; в) повышается качество получаемых деталей, так как исключается вероятность смещения заготовки.

В качестве агрегатирования технологического процесса можно рассматривать совмещенную штамповку, при которой выполняют одновременное различное деформирование на одной позиции за один ход ползуна прессы, что позволяет исключить необходимость выполнения вспомогательных операций.

Объединяться могут как разделительные операции с разделительными. Формоизменяющие операции с формоизменяющими и разделительные операции с формоизменяющими операциями.

Возможности агрегатирования технологического процесса штамповки рассмотрим на примере изготовления детали V-образной формы - ребра жесткости (рисунок 104).

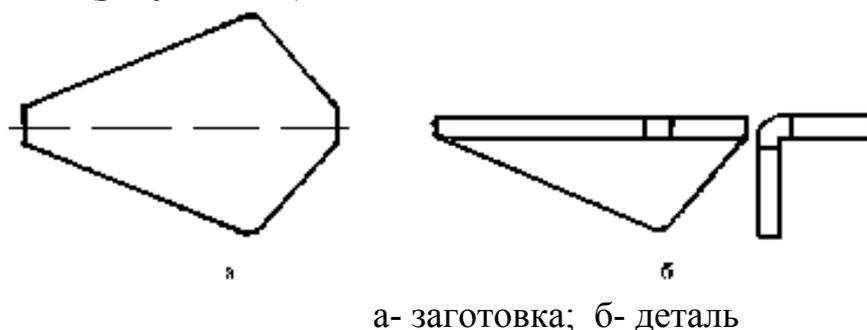
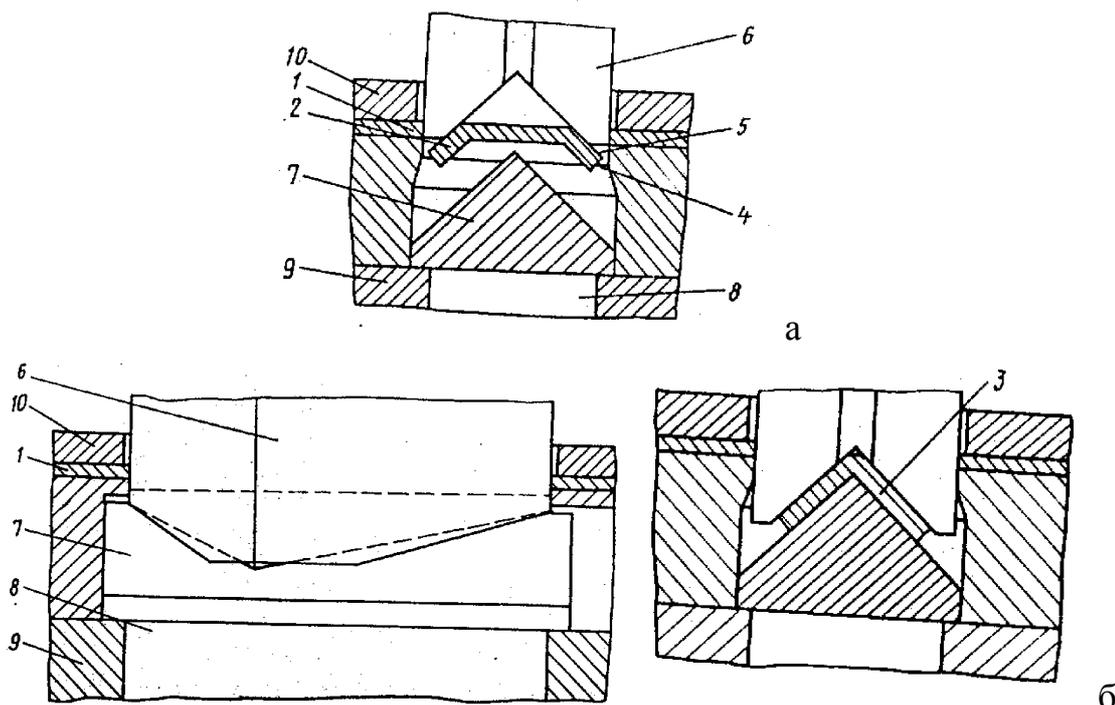


Рисунок 104 - Эскизы заготовки и детали ребро жесткости по операциям вырубка - гибка

Для получения указанной детали необходимы разделительная операция вырубки и формоизменяющие операции гибки и калибровки. Вырубка - технологическая операция, используемая для разделения материала и получения плоских деталей или заготовок из листа (полосы, ленты) или из штучной заготовки (карты). Гибка применяется для формоизменения заготовки и позволяет из плоской заготовки при помощи штампа получать изогнутую деталь. Калибровка (правка) – вывод детали на требуемую форму и размеры.

Возможность совмещения разделительных и формоизменяющих операций показывает разработанный способ\* изготовления гнутых деталей V-образной формы /50/, который иллюстрируется рисунком 105.

Совмещение операций штамповки достигается тем, что в качестве рабочего инструмента применили пуансон-матрицу со скошенными кромками. Причем угол скоса кромок выполнен таким, что в нижней "мертвой" точке, после выполнения операции калибровки, обеспечивается получение требуемого угла изгиба детали.



а - вырубка – гибка; б - калибровка

1 – исходная полоса; 2 – начало вырубki и гибки периферийных участков заготовки; 3 – деталь на стадии калибровки; 4 – торцевые и 5 – боковые поверхности отгибаемых кромок заготовки; 6 – пуансон – матрица; 7 – жесткая оправка (гибочный пуансон); 8 – отверстие для удаления детали; 9 – нижняя плита штампа; 10 – съемник

Рисунок 105 - Схема получения V-образной детали совмещением операций вырубki – гибки и калибровки на одной позиции

Применение рабочего инструмента (пуансона или матрицы) с наклонными (скошенными) кромками известно, например, из /10/, но наклонные кромки используют для уменьшения деформирующих усилий при выполнении операций вырубki-пробивки. При этом, чтобы уравновесить тангенциальные силы, скосы делают симметричными относительно оси инструмента.

\* А.с. № 1400726.

При использовании такого инструмента процесс вырубki-пробивки протекает постепенно, аналогично отрезке на ножницах с наклонным ножом. Усилие вырубki-пробивки при этом уменьшается от 30 до 40 %. Однако, применение скосов на инструменте вызывает изгиб той части металла, которая соприкасается с инструментом и, поэтому, чтобы получаемые изделия сохраняли горизонтальность, при вырубке скосы делают на матрице, а при пробивке – на пуансоне. Но, так как, для получения детали V-образной формы, после операции вырубki, требуется операция гибки заготовки, скошенные кромки применили на вырубном пуансоне.

Способ осуществляется следующим образом. В начальный период хода ползуна прессы вниз происходит прижим заготовки прижимом-съемником к вырубной матрице. В этот же период пуансон - матрица надрезает в заготовке наиболее удаленные от оси изгиба (периферийные) участки детали. При дальнейшем ходе ползуна вниз пуансон - матрица постепенно вырубает деталь по периметру развертки. Одновременно с вырубкой заготовки будет происходить гибка ранее вырубленных участков детали. Окончательная вырубка заготовки происходит, по участкам над осью гибки. По окончании вырубki, предварительно гнутая заготовка, калибруется по форме детали в нижней "мертвой" точке ползуна прессы на жесткой оправке (рисунок 104 б).

Возможности совмещения операций штамповки в одном штампе зависят от соотношения внешних и внутренних размеров, особенностей штампуемых деталей и материала, из которого их изготавливают. Как правило, совмещенную штамповку применяют для получения деталей с малыми допусками на эксцентricность и повышенными требованиями к плоскостности изделий, так как трудоемкость изготовления штампов совмещенного действия от 1,5 до 2 раз выше, чем штампов последовательного действия и до 4 раз выше, чем штампов простого действия. Однако, в штампе совмещенного действия, необходимом для реализации разработанного способа изготовления детали V-образной формы, рабочий инструмент пуансон - матрица единый, но на разных стадиях штамповки он выполняет различные функции. При вырубке он выполняет функции вырубного пуансона, а при гибке - гибочной матрицы. И это способствует снижению трудоемкости изготовления штампа совмещенного действия и выводит ее на уровень стоимости штампа простого действия.

Ограничением в применении разработанного способа является минимальный радиус изгиба, который зависит от материала заготовки и его анизотропии свойств. Экспериментально установлено /10/, что для наиболее широко применяемых в машиностроении материалов минимально допустимые радиусы изгиба изменяются от 0 до 8 толщины заготовки. На практике радиусы изгиба обычно увеличивают от 10 до 20 % по сравнению с минимально допустимым.

## 6.5 Изобретения по созданию неоднородного температурного поля в очаге деформации

### 6.5.1 Совмещение операций вырубка - гибка с нагревом

При изготовлении гнутых деталей V-образной формы из толстой ( $\delta > 5$  мм) конструкционной стали, например, при изготовлении детали «ребро жесткости» из марки стали 35 толщиной 6 мм (рисунок 104), в месте соприкосновения гибочных поверхностей матрицы - пуансона, в месте концентратора напряжений, не исключено возникновение трещин. Так как штамп работает в жестких условиях, при больших усилиях деформирования на заключительном этапе операции гибки и при калибровке возможна его недостаточная стойкость.

С увеличением ширины заготовки в зоне растяжения увеличиваются осевые (аксиальные) растягивающие напряжения  $\sigma_a$ , в связи с чем снижается пластичность металла, характеризуемая значением усилия деформации в момент разрушения. Аксиальные растягивающие напряжения  $\sigma_a$  распределяются по ширине заготовки неравномерно, у края они равны нулю, а в средней части заготовки они достигают максимума. Этим можно объяснить появление седловины в зоне изгиба детали по ее длине при осуществлении операции гибки (рисунок 106), а также появление трещин в середине детали, а не с краю.

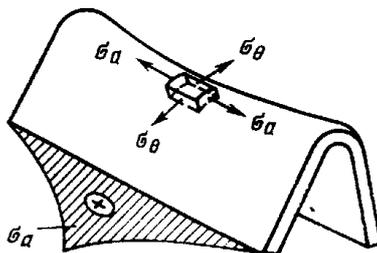


Рисунок 106 - Схема распределения тангенциальных напряжений при гибке

С целью предотвращения образования трещин в месте соприкосновения гибочных поверхностей пуансон – матрицы, одновременно с вырубкой и гибкой вдоль оси гибки по заготовке пропускают импульс тока\* для дифференцированного нагрева, а завершающую гибку и в конце ее калибровку детали на жесткой оправке проводят с нагретой деталью /51/. Для этого в штампе для изготовления гнутых деталей прижим-съемник выполнен из неэлектропроводного материала (диэлектрика) и в нем с противоположных сторон в плоскости симметрии пуансон - матрицы установлены токоподводящие контакты. Импульс электрического тока подводится к заготовке только в момент вырубки и вследствие того, что по мере вырубки детали сечение заготовки между токоподводами постоянно уменьшается, при постоянстве силы тока его плотность будет увеличиваться, что будет способствовать повышению температуры нагрева участков заготовки, испытывающих максимальную деформацию при гибке и калибровке, то есть будет осуществляться дифференцированный нагрев заготовки.

\* Решение о выдаче патента по заявке № 2000122985 от 10.12 2003г.)

Окончательная вырубка происходит в участках над осью гибки и линия оси гибки нагревается максимально. По окончании вырубки импульс тока прекращается. Разогретая, гнутая заготовка калибруется по форме детали на жесткой оправке 6 (рисунок 105). При движении ползуна вверх жесткая оправка 6 перемещается горизонтально, открывая отверстие 8, в нижней плите 7 штампа 1, через которое деталь 5 удаляется направо. После этого оправка 6 возвращается в рабочую зону и цикл повторяется.

### 6.5.2 Нагрев локальных зон при пробивке отверстий

Тепловой расчет нагрева локальных зон в заготовке выполнен в соответствии с учетом конкретной детали нож бульдозера (рисунок 98) и граничных условий, определяемыми конкретными параметрами.

Задачу теплового расчета пластины, в которой в последующем предусмотрено пробивать отверстия, то есть тепловой расчет нагрева локальных зон в заготовке, выполнен в соответствии с методикой, изложенной в /52/, по которой решение находят в объемной постановке. Это означает, что необходимо найти решение дифференциального уравнения изменения температуры по времени в частных производных по трем взаимно перпендикулярным осям. Также учтено, что отверстия расположены попарно и близко друг к другу (рисунок 99). Для решения поставленной задачи, необходимо нагревать 6 зон размерами 0,032 x 0,064 м рисунок 107.

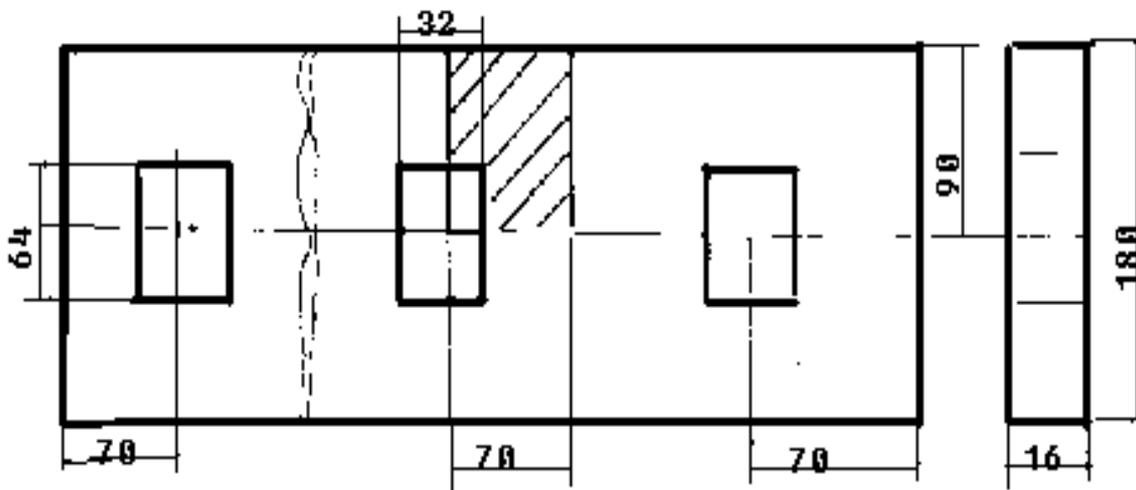


Рисунок 107 - Нагреваемые зоны для последующей пробивки отверстий

Уравнение теплопроводности, показывающее распространение тепла в пространстве имеет вид

$$\frac{\partial U}{\partial t} = a \cdot \left( \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \right)$$

где  $U(x, y, z, t)$ - функция температуры в любой момент времени в любой точке рассматриваемого объема,

$a$  - коэффициент температуропроводности определяется отношением коэффициента теплопроводности к произведению истинной массовой теплоемкости на плотность материала заготовки,

$$a = \lambda / c\rho, \text{ м}^2/\text{с}.$$

Решение такого уравнения теплопроводности в аналитическом виде возможно только для сравнительно простых теплотехнически тонких тел. Для пластины конечных размеров готового аналитического решения по решению уравнения теплопроводности нет. Поэтому задачу о распространении тепла в объеме можно решить численно, в частности методом неполных разностей.

Необходимый локальный нагрев заготовки или ее зон можно осуществить с помощью щелевидных индукторов /23/, но нагрев с прямым пропусканием тока по заготовке (прямой электрический контактный нагрев) характеризуется более высоким (до 90%) коэффициентом полезного действия /53/.

Для тонких и длинных заготовок контактный нагрев находит широкое применение. Для плоских же заготовок применение такого нагрева весьма ограничено по объективным и субъективным причинам /54/. Но наиболее высокий КПД контактного нагрева по сравнению с другими видами нагрева послужил основанием в пользу выбора его для нагрева локальных зон плоских заготовок.

### 6.5.2.1 Способы нагрева плоского проката

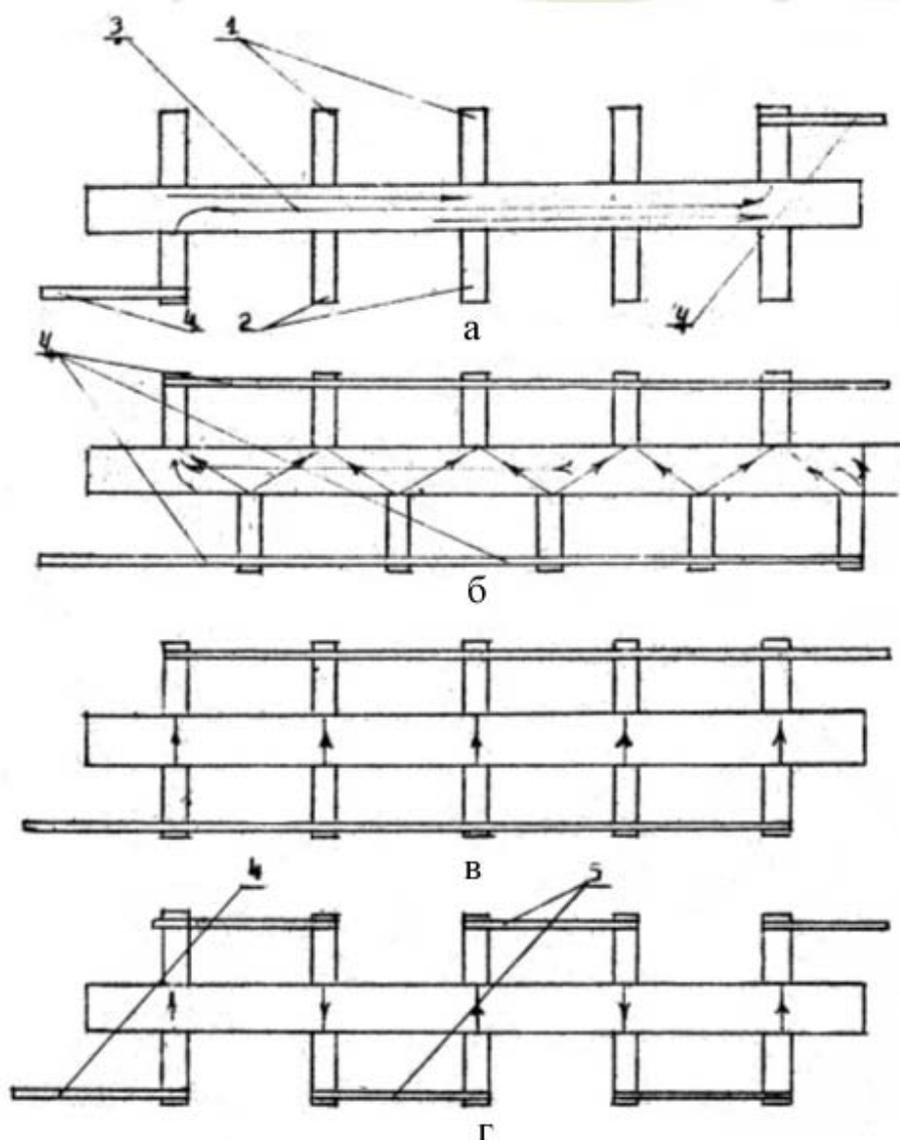
Способ электрического контактного нагрева\* плоского проката /55/ заключается в том, что его ведут позиционно и ступенчато. Одновременно нагревают не менее двух зон, температура каждой нагреваемой зоны различна. Методический нагрев проката обеспечивается путем периодического перемещения его между токопроводящими контактами. Величина шага перемещения проката зависит от числа нагреваемых зон.

Применение разработанного методического нагрева заготовки позволит сократить время выдачи нагретого участка заготовки на позицию обработки давлением, по меньшей мере, в два раза, так как каждая зона между контактами нагревается два раза и позволит повысить качество нагрева. Однако данный способ позволяет нагревать либо полосовой прокат по всей ширине сечения, либо локальную полосовую зону. Для рассматриваемого процесса в прокате необходим нагрев локальных зон.

Способ электрического контактного нагрева электропроводных заготовок\* /56/ предусматривает расширение технологических возможностей контактного нагрева. Это достигается за счет нагрева в заготовке сплошной полосы либо локальных зон, подлежащих обработке давлением путем различного включения прижимных контактов в электрическую цепь.

Сплошной нагрев части полосовой заготовки возможен при подводе тока к крайним диагонально противоположным контактам (рисунок 108 а)

\* А.с. СССР № 1578212, А.с. № 1786123 .



а, б – сплошной нагрев части полосовой заготовки;  
 в, г – нагрев локальных зон полосовой заготовки  
 1 – верхняя и 2 – нижняя группы контактов; 3 – направление тока;  
 4 – токоподводящие контакты; 5 - шунты (перемычки)

Рисунок 108 - Схемы включения заготовки в цепь для нагрева

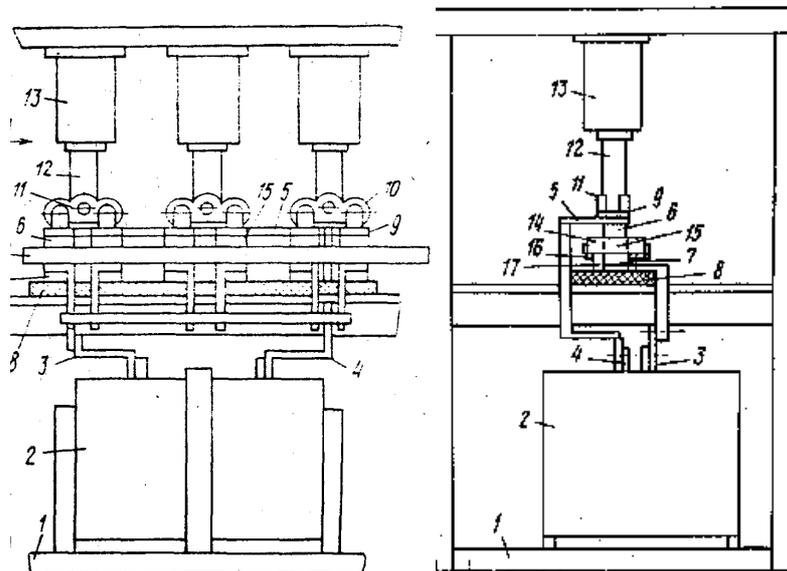
Такой же нагрев возможен и при подводе тока к каждому контакту, но при этом расположение каждого из контактов одной группы, например, верхней, соответствует промежуткам между контактами другой группы. Нагрев локальных зон возможен при подводе тока к каждому прижимному контакту, причем верхние и нижние контакты располагают один над другим.

Такой же нагрев возможен при подводе тока к крайним диагонально противоположным контактам. Но предварительно необходимо установить шунты (перемычки) на другие прижимные контакты по парам в верхней и нижней группе контактов (рисунок 108 г).

Использование способа и устройства для нагрева локальных зон в полосовом материале в сочетании и увязке со штамповкой, позволило получать

граненые отверстия с фаской в нагретых зонах полосы в автоматическом режиме на одной позиции за один ход ползуна пресса

Рассмотренный способ электрического контактного нагрева локальных зон реализуется с помощью устройства\* для электрического контактного нагрева электропроводящего материала (рисунок 109) /57/.



1 – каркас, 2 – силовой трансформатор, 3, 4, 5 – токоподводящие шины, 6 – верхние и 7 нижние токоподводящие контакты, 8 – упругие электро-изоляционные (полиуретановые) прокладки, 9 – парное крепление верхних контактов к коромыслу 10, 11 – ось коромысла, 12 – шток силового цилиндра 13, 14 – заготовка, 15 – нагреваемая зона, 16 – направляющие, 17 – упор

Рисунок 109 - Схема установки для контактного нагрева

Устройство содержит две группы контактов, одних расположенных над другими. Верхняя группа контактов попарно коромыслами через штоки соединена с силовыми цилиндрами, а нижняя группа контактов установлена на каркасе через электроизоляционные прокладки. Прокладки выполнены из эластичного материала (полиуретана). Это способствует копированию электрическими контактами существующих неровностей полосового материала, что обеспечивает одинаковый прижим контактов, равномерный нагрев обрабатываемых зон и повышает качество получаемых отверстий с фаской.

\* А.с. СССР № 1715863.

## 7 Виды брака при листовой штамповке

Причины брака при листовой штамповке могут быть самыми различными:

- дефекты исходного материала;
- недостаточная технологичность детали;
- несовершенство конструкций штампов или неправильная их эксплуатация;
- неправильно разработанная технология или отступления от нее;
- нарушение правил транспортировки и хранения полуфабрикатов и деталей.

Недостаточно высокое качество материала, как правило, ведет к появлению разрывов и разрушению штампуемых деталей при формоизменяющих операциях. Причинами этого может быть низкая пластичность материала, отклонения по структуре и зернистости, неодинаковые механические свойства металла в разных его местах, внутренние дефекты (трещины, расслоения), и др.

Наличие площадки текучести в кривой упрочнения деформируемого металла может привести к потере устойчивости при вытяжке. В результате этого на поверхности металла могут появиться полосы скольжения или шероховатости, внешне похожие на поверхность апельсиновой корки. Для предупреждения (этого дефекта металл перед вытяжкой дрессируют, т. е. прокатывают в холодном состоянии с малыми обжатиями (до 5%). Благодаря чему устраняется площадка текучести на кривой упрочнения металла. Эффект от дрессировки обычных сталей сохраняется недолго. Освоен выпуск сталей, у которых эффект от дрессировки не теряется в течение длительного времени.

Брак при листовой штамповке может возникать в случаях, когда выбранный для штамповки металл по механическим свойствам, толщине или другим показателям не соответствует разработанной технологии /1/.

Особенно опасно применение металла повышенной толщины, так как возможна поломка штампа или пресса. Поэтому толщину, механические свойства, структуру, а если необходимо и химический состав металлов, поступающих в цехи листовой штамповки, тщательно проверяют.

Неправильно спроектированное положение заготовок или полуфабрикатов в штампе, неправильные форма и размеры паунсонов, матриц, подающих, фиксирующих и прижимающих деталей, недостаточное или чрезмерное усилие прижима, малая жесткость конструкции штампа — все это может служить причиной таких видов брака при штамповке, как: разностенности, складок, задиров, надрывов, недоштамповки, разрывов материала и т. д. Для предупреждения брака по этим причинам конструкция штампа должна быть внимательно проверена в чертежах, а изготовленный штамп следует тщательно испытать, отрегулировать и наладить.

Причинами брака также могут быть неправильная или неточная установка штампа, износ и поломка его деталей, ослабление и неправильная регулировка пружин. Поэтому, при возвращении штампа на склад после штамповки партии деталей, его состояние проверяет мастер по штампам. Если

необходимо, режущие части пуансонов и матриц затачивают, заполировывают дефекты на гибочных, вытяжных и других пуансонах и матрицах, регулируют пружины и смазывают штамп.

Перед установкой на пресс штамп следует внимательно осмотреть, протереть, убедиться, что пуансоны, матрицы и направляющие устройства чисты и смазаны.

Часто брак возникает при отступлениях от установленной технологии, т.е. при неправильной последовательности операций нарушении режимов штамповки, пропуске отдельных операций (например, межоперационного отжига), при подаче в штамп заготовок неправильных размеров.

Одной из причин брака является неправильная фиксация заготовок, т. е. небрежность в работе.

Предупреждением брака по этим причинам является строгое соблюдение технологии рабочими-наладчиками и мастерами.

Нередко листовые штампованные детали (особенно крупные) бракуют из-за коробления, вмятин, забоин, царапин и т. д. Такие дефекты часто возникают при небрежности в работе, неправильных транспортировке и хранении деталей.

Качество штампованных деталей проверяют в процессе их изготовления (межоперационный контроль) и после завершения, изготовления (контроль готовой продукции). Контроль предусматривает внешний осмотр (установление дефектов: трещин, задиров и т.д.) и измерение элементов изделий измерительным инструментом.

Как контролировать детали и после каких операций, указывается в технологической карте. Обычно проводится выборочный контроль от 2 до 5 % продукции.

## 8 Техника безопасности при листовой штамповке

Техника безопасности и охрана труда работающих приобретают особое значение при холодной листовой штамповке. Избежать производственных травм в этой области можно различными путями.

При работе на открытых штампах, а также при штамповке из отдельных (штучных) заготовок их обязательно следует укладывать, а отштампованные детали удалять посредством какого-либо ручного инструмента (пинцетами, щипцами, линейками и т. д.). При штамповке из полосы рекомендуется применять штампы безопасной конструкции, например, закрытые штампы с направляющей плитой и с автоматически действующими упорами, ловителями, боковыми ножами и т. д.

При работе на штампах с направляющими колонками, в которых рабочая зона между пуансоном и матрицей открыта и представляет большую опасность для работающего, штамп нужно обязательно ограждать соответствующими предохранительными устройствами: неподвижными щитками и решетками, подвижными и падающими решетками, устройствами для отбрасывания рук, фотоэлементной защитой и т. д. /58/

Вращающиеся части прессы должны ограждаться стальными сетками. При ножном включении прессы во избежание случайного нажатия на педаль последняя должна иметь предохранительное устройство в виде стопорных рамок, лап, подставок для ног и т. д. При ручном включении хорошо оправдывает себя двухрычажное блокированное управление, когда обе руки рабочего заняты включением прессы и не находятся в опасной зоне штампа.

При работе на крупных прессах хорошо зарекомендовало себя двухкнопочное электроуправление прессом при одном работающем и четырехкнопочное при двух работающих.

При крупносерийном и массовом производстве все ручные приемы по подаче заготовок в штампы и удаление отштампованных деталей следует заменить механическими и автоматическими устройствами.

### 8.1 Требования безопасности труда при работе на механическом оборудовании

Перед началом работы штамповщик приводит в порядок рабочую одежду и рабочее место, инструмент и приспособления должны быть исправными. В штампах не должно быть посторонних предметов, заготовок или отходов, установленные штампы и заготовки должны соответствовать технологической карте. Перед работой необходимо осмотреть места крепления штампа и убедиться в исправности штампов. О выявленных неисправностях, не приступая к работе, сообщают мастеру /59/.

Штамповщику категорически запрещается устранять какие либо неполадки в работе прессы и штампов, нарушать технологию штамповки, а также приводить в действие механизмы прессы, которые не связаны с

технологическим процессом при выполнении данной операции. Необходимые переключения для перехода на другой режим работы пресса осуществляют только наладчики или мастер цеха.

При выполнении работ с подсобными рабочими или с двух пультов перед включением ползуна проверяют, все ли рабочие на своих местах и готовы ли они к включению пресса. Категорически запрещается самовольное отключение блокирующих приспособлений и защитных устройств, снятие ограждений, заклинивание с помощью каких-либо предметов одной из кнопок двуручного управления.

Работа на прессе должна быть немедленно прекращена и пресс выключен в следующих случаях:

- обнаружен брак изделий;
  - заготовки не соответствуют технологической карте;
  - замечен хотя бы один случай сдвигания ходов ползуна в режиме «Одиночный ход» (при одном включении ползун делает два или несколько ходов и после этого останавливается);
  - наблюдаются неисправности в системе управления (ползун включается от одной кнопки при двуручном включении, для совершения одного хода требуется несколько раз нажать пусковые кнопки или педаль, не горят сигнальные лампы на пульте управления и др.);
  - нарушена работа тормоза (ползун не останавливается в верхнем положении) или муфты;
  - замечены неисправности в системе смазки, в воздухопроводе и электрооборудовании;
  - произошел обрыв одного или нескольких ремней в клиноременной передаче;
  - появились дым и запах, повышенный шум и звук в приводе пресса;
  - произошло срабатывание предохранительных устройств или средств защиты;
  - ползун встал в распор;
  - работа пресса вызывает какую-либо опасность для обслуживающего персонала и окружающих;
  - обнаружены неисправности в штампах или их креплении, в средствах механизации и автоматизации и рабочем инструменте;
- и во всех других случаях обнаружения любых неполадок в прессе и в сомнительных случаях.

После выключения пресса вызывают наладчика и сообщают мастеру о случившемся.

Во время осмотра и чистки пресса электродвигатель должен быть выключен, а маховик остановлен. Перед осмотром и чисткой убеждаются в надежности работы уравнивателей ползуна и тормоза, отключают пресс от электросети и удаляют плавкие вставки.

Особо следует обратить внимание на следующие основные правила безопасности труда, соблюдение которых предохранит рабочего от несчастного случая:

рабочее место содержи всегда в чистоте; никогда не работай один в цехе; следи за состоянием всех механизмов пресса; при всяком **подозрительном** стуке или другой какой-либо ненормальности немедленно отключи пресс и **заяви** мастеру; не клади в штамп **одновременно** больше одной заготовки; при укладке штучной заготовки в штамп пользуйся **пинцетом** и как правило работай с двуруким включением; пользоваться **педалью** можно **только** с разрешения мастера при заготовке **изделия** из полосы; не держи ногу на педали; проверь, заземлена ли ножная педаль и пресс; проверь, ограждена ли педаль **козырьком** от случайного **включения** пресса; во **время** работы пресса не вводи руки в зону штампа; **после** включения **пресса** не пытайся поправлять заготовку во время хода ползуна; не очищай, не обтирай и не **смазывай** пресс на ходу; не снимай **ограждений**; не переключай без разрешения пресс на автоматические хода ремонт и наладку пресса производи только при **выключенном** электродвигателе; проверь крепление штампа на прессе.

## **8.2 Травматизм при холодной штамповке и его предупреждение**

Производственной травмой называют повреждение; тканей и органов тела рабочего в результате неблагоприятных внешних воздействий в условиях производства. Производственные травмы бывают: механические - ушибы, порезы, переломы, ранения и т.п.; электрические - электрический удар, электрический ожог, и др.; ожоги – тепловые и химические; акустические - шумовые контузии; световые - кратковременные и длительные **ослепления** и т.д. /59, 60/.

При сочетании **двух или** более видов поражений травмы **называют** комбинированными. Производственные травмы, ведущие к потере на одну смену и более трудоспособности, относятся к **категории** несчастных случаев. Если пострадавший частично или полностью теряет трудоспособность - несчастный случай называют тяжелым.

При **производственной** травме рабочий **немедленно** извещает об этом мастера или руководителя работы и направляется в медпункт. При сложных или тяжелых травмах пострадавшего сопровождают или доставляют на транспорте в медпункт. О травме мастер сразу извещает начальника цеха, инженера по технике безопасности и **общественного** инспектора.

Производственная травма обязательно регистрируется. При несчастном случае не позже 24 часов со времени происшествия составляется акт комиссией под руководством начальника цеха.

Причины несчастных случаев подразделяют на **производственные** (применение опасных приемов работы и нарушение правил безопасности, отсутствие, несоответствие или неприменение индивидуальных защитных средств, недостатки в организации и **содержании** рабочих мест, недостаточность инструктажа и контроля за, соблюдением правил техники безопасности и т.д.); технические (несовершенство технологических **процессов** и **оборудования**, неисправность приспособлений, инструментов, штампов и **оборудования**; несовершенство или неисправность оградительных и

предохранительных устройств и т.п.) и санитарно-гигиенические (недостаточность освещения, неблагоприятные метеорологические условия в производственных помещениях и т.п.).

Борьба с травматизмом предусматривает технические, организационные и санитарно-гигиенические мероприятия.

К техническим мероприятиям относятся: применение машин, безопасных в эксплуатации, при наладке и ремонте; механизация и автоматизация тяжелых, трудоемких и опасных производственных процессов; перенесение трудовых приемов из опасных зон в безопасные; ограждение движущихся, токоведущих и иных опасных деталей и узлов машин и устройств; предварительные испытания производственных агрегатов; устройство электроизоляционных систем и т. д.

К организационным мероприятиям относятся: удобное расположение оборудования и правильное распределение грузопотоков в цехе; правильная организация и содержание в порядке рабочих мест; начальный, повторный и текущий инструктаж работающих по вопросам безопасности труда; обучение работающих безопасным приемам работы и проверка их знаний в этой области; запрещение работы неисправным инструментом или на неисправном оборудовании, запрещение опасных приемов работы; запрещение пуска в эксплуатацию новых агрегатов без разрешения органов охраны труда; обеспечение работающих индивидуальными защитными средствами и наблюдение за их применением, обеспечение работающих инструкцией по безопасности труда и т.д.

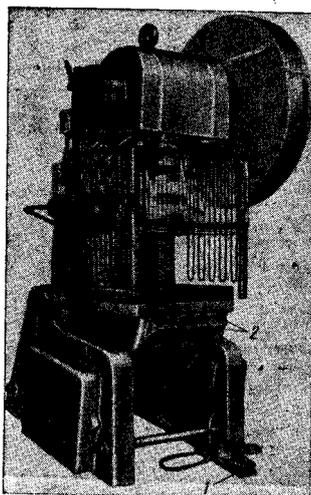
К санитарно-гигиеническим мероприятиям относится обеспечение соответствующей вентиляцией, освещением и т.д.

Характерные виды травм в цехах холодной штамповки—это уколы, порезы и мелкие ранения пальцев и кистей рук, рук до локтя, а иногда и ног острыми углами, острыми кромками, заусенцами заготовок, полуфабрикатов, деталей и отходов при введении в штамп, удалении из штампа, переноске и транспортировке.

Травматизм значительно сокращается при механизации и автоматизации работ. Для предупреждения травм при ручной работе мелкие заготовки и полуфабрикаты следует укладывать в штамп и удалять из него пинцетом, а застрявшие отходы - крючком. При штамповке средних и крупных деталей в транспортных работах надо надевать рукавицы. Не следует касаться острых углов, острых кромок заготовок, полуфабрикатов и т. д.

Многие травмы и несчастные случаи в штамповочных цехах являются следствием падения переносимых или перевозимых заготовок, инструмента, деталей, штампов и т. д. Поэтому переносить и перевозить штампы, заготовки и другие предметы нужно осторожно. Причинами травм могут быть неровности пола и захламление рабочего места, тесные проходы и т. п. Вот почему рабочее место должно быть достаточно просторным и содержаться в образцовом порядке. При переносе кранами грузы должны быть хорошо закреплены: переносить грузы над людьми и стоять под грузом запрещено. Наиболее тяжелые несчастные случаи при штамповке происходят в результате попадания руки рабочего при рабочем ходе прессы в рабочую зону штампа. Для

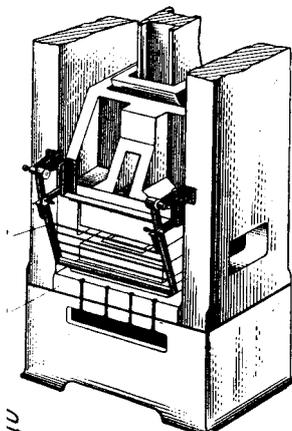
предупреждения этого каждый штамповщик должен применять только безопасные приемы работы, на ходу пресса в штампе ничего не поправлять и ничего туда не класть, а прессы оснащать защитными устройствами. Такими устройствами являются **двухкнопочные** включающие устройства (рисунок 110), **рукоотстранители**, отводящие руки; рабочего или верхнюю половину туловища от пресса при рабочем ходе ползуна (рисунок 111, 112), защитные блокирующие устройства, **немедленно** останавливающие пресс, если в рабочую зону попала рука рабочего.



1 — педаль включения, 2 — кнопки двурукого включения

Рисунок 110 - Двухстоечный открытый кривошипный пресс с ограждением рабочей зоны, с педальным и двуруким (двухкнопочным) включением и местным освещением **штампового** пространства

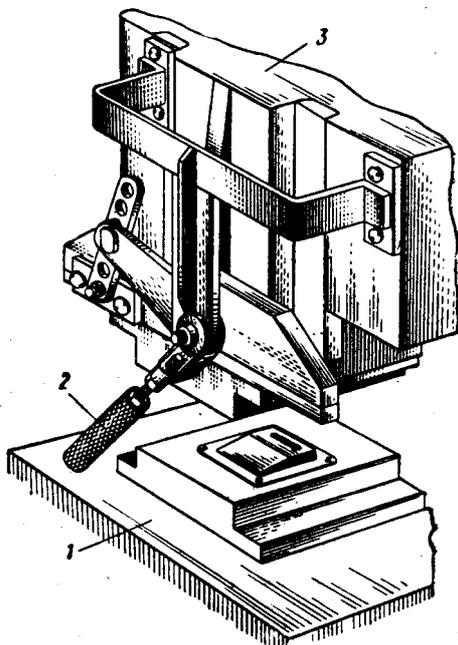
Защитное **приспособление** отводящего действия (рисунок 111) сделано таким образом, что при опускании ползуна решетка поворачивается в сторону рабочего - что заставляет рабочего несколько отклониться и вывести руки из опасной зоны.



1 — плита стола, 2 — отводящая рамка

Рисунок 111 - Защитное приспособление отводящего действия

Защитные вертикальные (рисунок 112) и горизонтальные отводящие устройства) маятникового типа при опускании ползуна, перемещаясь перед штампом, принудительно отводят руки рабочего из опасной зоны. Для смягчения удара маятника по рукам рабочего на маятник надевают кольца из губчатой резины.



1 - стол пресса, 2 — рукоотстранитель. 3 — ползун

Рисунок 112 - Вертикальный защитный рукоотстранитель

Нередко несчастные случаи являются следствием нарушения рабочим трудовой дисциплины, правил безопасной работы и технологии. Поэтому мастеру и наладчику следует наблюдать, чтобы штамповщик при работе вручную пользовался пинцетом, не работал на неисправном прессе, при неисправном штампе, не разговаривал во время работы и т. д. Отступать от технологии и нарушать правила техники безопасности при работе на прессах категорически воспрещается.

Несчастные случаи могут возникать и при наладке и ремонте пресса. Поэтому при этих работах необходимо также строго соблюдать правила техники безопасности. Ремонт и наладка, как правило, должны выполняться соответствующими специалистами (наладчиками, слесарями-ремонтниками и т.д.). Если штамповщик считает, что пресс или штамп неисправны, работу следует прекратить и вызвать мастера или наладчика.

Для предупреждения электрических травм штамповщику запрещается регулировать электрические системы или устранять в них неполадки. Все электрические системы и пресс в целом должны быть заземлены.

## Список использованных источников

1. Попов Е.А., Ковалев В.Г., Шубин И.Н. Технология и автоматизация листовой штамповки. - М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 2000. - 480 с.51
2. Орлов П.Г. Штамповка деталей на листоштамповочных автоматах. - М.: Машиностроение, 1984. - 160 с.
3. Афонькин М.Г., Магницкая М.В. Производство заготовок в машиностроении. – Ленинград: Машиностроение, 1987. - 256 с.
4. Домогацкий В.И. Прогрессивные заготовки в машиностроении. – Куйбышев: Куйбышевский авиационный институт, 1983. - 100 с.
5. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения. - М.: Машиностроение, 1996. – 156с.
6. Материаловедение. Под общ. редакцией Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 648 с.
7. Суворов И.К. Обработка металлов давлением. - М.: Высшая школа, 1973. - 384 с.
8. Патент РФ № 2200311, МПК G 01 N 3/56/ Способ определения относительной износостойкости материалов при абразивном изнашивании. / С.И. Богодухов, Д.В. Вялков, А.С. Килов, С.И. Павлов - № 2000120842 / 28. Заяв.1108.2000. Оpubл. 10.03.2003, БИ № 3.
9. Кацнельсон М.Ю., Балаев Г.А. Полимерные материалы: Справочник. -Л.: Химия, 1982.- 317с.
- 10.Аверкиев Ю.А., Аверкиев А.Ю Технология холодной штамповки. – М.: Машиностроение, 1989. - 304 с.
- 11.Егоров С.А. Холодная штамповка. - М.: Высшая школа, 1988. - 271 с.
- 12.Щеголев В.Ф., Максимов Л.Ю., Линц В.П. Кузнечно-прессовые машины. - М.: Машиностроение, 1979. - 304 с.
- 13.Гусев А.Н., Линц В.П. Устройство и наладка холодноштамповочного оборудования. - М.: Высшая школа, 1983.- 263 с.
- 14.Номенклатурный каталог. Кузнечно-прессовое оборудование выпускаемое предприятиями министерства станкостроительной и инструментальной промышленности в 1985-1986 г.г. М. ВНИИ-ТЭМП., 1985. - 138 с.
- 15.Смазочно-охлаждающие технологические средства: Справочник / Под общей редакцией проф. С.Г. Энтелиса, канд. техн. наук Э.М. Берлинера.- М.: Машиностроение, 1975. – 496 с.
- 16.Охрименко Я.М., Смирнова Ю.В., Юхтанов Д.В. Защитно-смазочные покрытия и смазочно-охлаждающие жидкости. – М.: Машиностроение, 1983. - 64с.
17. Учаев П.Н., Привалов В.В., Учаев И.Н. Жестяницкие работы. - М.: Машиностроение, 1989. - 336 с.
- 18.Медведев В.А. Технология кузнечно-прессового машиностроения. – М.: Машиностроение, 1984. - 184 с.

19. Болотов А.В., Шепель Г.А. Электро-технологические установки. - Алма-Ата.: Мектеп, 1983. - 272 с.
20. Ланской Е.Н., Евстифеев В.В., Грязнов В.В. Автоматизация проектирования процессов холодной объемной штамповки и создание систем автоматизированного производства. - М.: Машиностроение, 1979. - 284 с.
21. Шухов Ю.В., Еленев С.А. Холодная штамповка. - М.: Высшая школа, 1972. - 208 с.
22. ГОСТ 18970-84. Определения и схемы разделительных и формоизменяющих операций листовой штамповки. Введен в действие с 1.09.1984г. - М.: Издательство стандартов, 1984. - 10 с.
23. Установки индукционного нагрева / Под редакцией А.Е. Слухоцкого. - Ленинград: Энергоиздат, 1981. - 328 с.
24. Вайсман А.М. Препятствие - высокая производительность. // Изобретатель и рационализатор. - 1987. - № 3. - С. 12-13.
25. Бойцов В.В., Трофимов И.Д. Горячая объемная штамповка. - М.: Высшая школа, 1982. - 270 с.
26. Смирнов В.К., Литвинов К.И., Харитонов С.В. Горячая вальцовка заготовок. - М.: Машиностроение, 1980. - 152 с.
27. Юсипов З.И., Каплин Ю.И. Обработка металлов давлением и конструкции штампов. - М.: Машиностроение, 1981. - 272 с.
28. Рябых А.А., Ситников Л.Л. Технологические параметры пробивки отверстий эластичной средой. // Кузнечно-штамповочное производство. - 1987. - № 5. - С. 27-28.
29. Капорович В.Г. Ротационная обкатка металлоизделий из труб // Изобретатель и рационализатор. - 1992. - № 2. - С.2.
30. Богоявленский К.Н., Елкин Н.М., Каспаров И.А. и др. Оптимизация режимов обработки при раскатке профильных колец // Кузнечно-штамповочное производство. - 1987. - № 10. - С.10.
31. Зорчев С.Н., Кузминцев В.Н. Общая технология кузнечно-штамповочного производства. - М.: Высшая школа, 1986. - 87 с.
32. Мендельсон В.С., Рудман Л.И. Технология изготовления штампов и пресс-форм. - М.: Машиностроение, 1982. - 207с.
33. Бельский Е.И., Ситкевич М.В. Эксплуатация, ремонт и пути повышения стойкости штампов. - М.: Машиностроение, 1981. - 51с.
34. Закиров И.М. Состояние и проблематика формообразования тонкостенных деталей эластичной средой на ротационных машинах. // Кузнечно-штамповочное производство. - 1990. - № 7. - С. 24-27.
35. Власов В.И., Власов А.В. Автоматизация в кузнечно-штамповочном производстве. - М.: Машиностроение, 1982. - 40 с.
36. Шурков В.Н. Основы автоматизации производства и промышленные роботы. - М.: Машиностроение, 1989. - 240 с.
37. Тетерин Г.П., Полухин П.И. Основы оптимизации и автоматизации проектирования технологических процессов горячей объемной штамповки. - М.: Машиностроение, 1979. - 284 с.

38. Алиев З.А., Тетерин Г.П. Системы автоматизации проектирования горячей объемной штамповки. - М.: Машиностроение, 1987. - 224 с.
39. А.с. № 1794557 , МПК В 21 D 43/10. Способ подачи и удаления заготовок из рабочей зоны штампа. / А.С. Килов (СССР). -.№ 4933755 / 27. Заяв. 29.04.91. Оpubл.15.02.1993, БИ №6.
40. Патент РФ № 2094156 , МПК В 21 D 43/10. Устройство для удаления из рабочей зоны пресса. / А.С. Килов. -. № 5045505 / 02. Заяв..02.06.92. Оpubл.27.10.1997, БИ №30.
41. А.с. № 1382541, МПК В 21 D 28/24. Пуансонодержатель пробивного штампа. / А.С. Килов, Б.И. Явлонин (СССР). - № 3759520 / 25-27. Заяв. 18.05.84. Оpubл.23.03.1988, БИ №11
42. А.с. № 1382540 , МПК В 21 D 28/16. Инструмент для пробивки граненых отверстий. / А.С. Килов, В.С. Новоселецкий, Ю.Н. Тишаков. (СССР) № 3739832 / 31-27. Заяв. 15.05.84. Оpubл.23.03.1988, БИ №11.
43. А.с. № 1632570, МПК В 21 D 28/26, 35/00. Инструмент для пробивки отверстий и формовки фаски. / А.С. Килов, К.М. Тулендинов, С.А. Филипов. (СССР) - № 4689931 / 27, Заяв. 23.03.89. Оpubл.07.03.1991, БИ №9.
44. А.с. № 1611512, МПК В 21 D 28/16, 37/00. Инструмент для пробивки граненых отверстий. / А.С Килов, Ю.Н. Тишаков. (СССР) - № 4436966 / 31-27. Заяв. 08.06.88. Оpubл. 07.12. 1990, БИ №45.
45. Чиченев Н.А., Кудрин А.Б., Полухин П.И. Методы исследования процессов обработки металлов давлением. - М.: Металлургия, 1977.-311 с
46. А.с. № 1552058, МПК G 01 N 3/28. Материал для моделирования пластической деформации. / А.С. Килов. (СССР) - № 4390331 / 25-28. Заяв. 11.03.88. Оpubл.23.03.1990, БИ №11.
47. А.с. № 1488068 , МПК В 21 D 28/26. Способ получения отверстий с фасками. / А.С. Килов (СССР). -.№ 4213983 / 31-27. Заяв. 23.03.87. Оpubл.23.06.1989, БИ №23.
48. А.с. № 1344464 , МПК В 21 D 28/14. Штамп многопуансонный. / А.С Килов, В.В. Бородихин, Ф.Б. Соловьев. (СССР). - № 3853363 / 31-27. Заяв..11.02.85. Оpubл.15.10.1987, БИ №38.
49. Патент РФ № Штамп совмещенного действия МПК В 21 D 37/08, В 21 J 13/02. / В.А. Бондаренко, А.С. Килов, С.И. Богодухов. - № 2000122985 / 02 (024439). Заяв.05.09.2000. Решение о выдаче патента от 24.12.2002.
50. А.с. № 1400726 , МПК В 21 D 35/00. Способ изготовления гнутых деталей. / А.С. Килов (СССР). - № 4059679 / 31-27. Заяв. 21.04.86. Оpubл.07.06.1988, БИ №21.
51. Заявка № 2002107731/02. МПК В 21 D 35/00, 37/16, 7/16. Способ изготовления гнутых деталей и устройство для его осуществления. / В.А. Бондаренко, А.С. Килов. Приор.26.03.2002. Решение о выдаче патента от 10.12.2003.
52. Электротермическое оборудование: Справочник / Под общ. ред. А.П. Альтгаузена. – 2-е изд.. - М.: Энергия, 1980. – 416 с.

53. Романов Д.И. Электроконтактный нагрев металла. - М.: Машиностроение.: 1981. - 168 с.
54. Кабанов Н.С. Сварка на контактных машинах. - М.: Высшая школа, 1985. - 271 с.
55. А.с. № 1578212, МПК С 21 D 1/40. Способ электроконтактного нагрева проката. / А.С. Килов, Т.П. Осипова (СССР). - №4328200 / 31-02. Заяв. 17.11.87. Оpubл.15.07.1990, БИ №26.
56. А.с. № 1786123 , МПК С 21 D 1/40. Способ электроконтактного нагрева электропроводных заготовок. / А.С. Килов, В.И. Ващенко (СССР). - № 4889299 /02. Заяв.10.12.90. Оpubл.07.01.1993, БИ №1.
57. А.с. № 1715863 , МПК С 21 D 1/40. Устройство для электроконтактного нагрева электропроводящего материала. / А.С. Килов, Б.А. Каримов, К.М. Тулендинов (СССР). - № 4714129 / 02. Заяв.04.07.89. Оpubл.29.02.1992, БИ №8.
58. Бринза В.Н., Векшин Б.С. Охрана труда в кузнечно-штамповочных цехах. – М.: Машиностроение, 1983. - 48 с.
59. Михайлова В.Л., Буренин В.В. Безопасность труда кузнеца на молотах и прессах. - М.: Машиностроение, 1986. - 64 с.
60. Михайлова В.Л., Буренин В.В. Безопасность труда в кузнечно-штамповых цехах. - М.: Высшая школа, 1988. - 120 с.

## **Приложение А** (справочное)

### **Авторские разработки по направлениям рассматриваемого вопроса**

Изобретения по автоматизации производственных процессов:

1) А.с. № 1794557, МПК В 21 D 43/10. Способ подачи и удаления заготовок из рабочей зоны штампа. / А.С. Килов (СССР). - № 4933755 / 27. Заяв. 29.04.91. Оpubл.15.02.1993, БИ № 6.

2) Патент РФ № 2094156, МПК В 21 D 43/10. Устройство для удаления из рабочей зоны прессы. / А.С. Килов. - № 5045505 / 02. Заяв. 02.06.92. Оpubл.27.10.1997, БИ №30.

Изобретения по совмещению операций штамповки как одного из направлений автоматизации производства:

3) А.с. № 1632570, МПК В 21 D 28/26, 35/00. Инструмент для пробивки отверстий и формовки фаски. / А.С. Килов, К.М. Тулендинов. (СССР) - № 4689931 / 27, Заяв. 23.03.89. Оpubл.07.03.1991, БИ №9.

4) А.с. № 1382540, МПК В 21 D 28/16. Инструмент для пробивки граненых отверстий. / А.С. Килов, В.С. Новоселецкий, Ю.Н. Тишаков. (СССР) № 3739832 / 31-27. Заяв. 15.05.84. Оpubл.23.03.1988, БИ №11.

5) А.с. № 1611512, МПК В 21 D 28/16, 37/00. Инструмент для пробивки граненых отверстий. / А.С. Килов, Ю.Н. Тишаков. (СССР) - № 4436966 / 31-27. Заяв. 08.06.88. Оpubл. 07.12. 1990, БИ №45.

6) А.с. № 1488068, МПК В 21 D 28/26. Способ получения отверстий с фасками. / А.С. Килов (СССР). - № 4213983 / 31-27. Заяв. 23.03.87. Оpubл.23.06.1989, БИ №23.

7) А.с. № 1382541, МПК В 21 D 28/24. Пуансонодержатель пробивного штампа. / А.С. Килов, Б.И. Явлонин (СССР). - № 3759520 / 25-27. Заяв. 18.05.84. Оpubл.23.03.1988, БИ №11.

8) А.с. № 1400726, МПК В 21 D 35/00. Способ изготовления гнутых деталей. / А.С. Килов (СССР). - № 4059679 / 31-27. Заяв. 21.04.86. Оpubл.07.06.1988, БИ №21.

Изобретения по моделированию процессов и материала для их осуществления:

9) А.с. № 1552058, МПК G 01 N 3/28. Материал для моделирования пластической деформации. / А.С. Килов. (СССР) - № 4390331 / 25-28. Заяв. 11.03.88. Оpubл.23.03.1990, БИ №11.

10) Патент РФ № 2200311, МПК G 01 N 3/56/ Способ определения относительной износостойкости материалов при абразивном изнашивании. / С.И. Богодухов, Д.В. Вялков, А.С. Килов, С.И. Павлов - № 2000120842 / 28. Заяв.1108.2000. Оpubл. 10.03.2003, БИ № 3.

11) Патент РФ № 2207929 Модель кристаллической решетки. МПК G 09 В 23/26 / В.А. Бондаренко, А.С. Килов, О.А. Килова Заявка № 2001132453/12... Приор.29.11.2001. опбл. 09.09.2003.

4)- штампы с эластичными элементами:

12) А.с. № 1344464 , МПК В 21 D 28/14. Штмп многопуансонный. / А.С Килов, В.В. Бородихин, Ф.Б. Соловьев. (СССР). - № 3853363 / 31-27. Заяв..11.02.85. Оpubл.15.10.1987, БИ №38.

13) Патент РФ № 2207929 Штмп совмещенного действия МПК В 21 D 37/08. / В.А. Бондаренко, А.С. Килов, С.И. Богодухов. - № 2000122985 / 02 (024439). Заяв.05.09.2000. Оpubл. 10.07.2003, БИ № 19.

Изобретения по созданию неоднородного температурного поля в очаге деформации:

14) А.с. № 1578212, МПК С 21 D 1/40. Способ электроконтактного нагрева проката. / А.С. Килов, Т.П. Осипова (СССР). - №4328200 / 31-02. Заяв. 17.11.87. Оpubл.15.07.1990, БИ №26.

15) А.с. № 1786123 , МПК С 21 D 1/40. Способ электроконтактного нагрева электропроводных заготовок. / А.С. Килов, В.И. Ващенко (СССР). - № 4889299 /02. Заяв.10.12.90. Оpubл.07.01.1993, БИ №1.

16) А.с. № 1715863 , МПК С 21 D 1/40. Устройство для электроконтактного нагрева электропроводящего материала. / А.С. Килов, Б.А. Каримов, К.М. Тулендинов (СССР). - № 4714129 / 02. Заяв.04.07.89. Оpubл.29.02.1992, БИ №8.

17) Заявка № 2002107731/02.МПК В 21 D 35/00, 37/16, 7/16. Способ изготовления гнутых деталей и устройство для его осуществления. / В.А. Бондаренко, А.С. Килов. Приор.26.03.2002. Решение о выдаче патента от 10.12.2003.