

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»  
Кафедра машиностроения

**Методическое пособие к курсовой работе  
по дисциплине  
«Технологияковки и объемной штамповки»**

Набережные Челны, 2018

Методическое пособие к курсовой работе по дисциплине «Технологияковки и объемной штамповки» для бакалавров Автомобильного отделения по направлению 15.03.01 «Машиностроение» / Составители: Д.Л. Панкратов, А.М. Валиев, А.И. Бадриев.

Методическое пособие написано в соответствии с учебной программой по дисциплине «Технологияковки и объемной штамповки» и предназначены для студентов, выполняющих курсовую работу по холодной объемной штамповке. Приведены методические указания и краткие теоретические данные.

## Оглавление

Введение .....	4
1 Структура технологического процесса холодной объемной штамповки .....	7
2 Проектирование чертежа штампованной детали.....	9
3 Рекомендации по разработке технологического процесса .....	13
4 Расчет объема штампованной детали .....	17
5 Основные формоизменяющие операции холодной объемной штамповки. Схемы основных операций.....	19
6 Расчеты силовых параметров. Усилие штамповки и работа деформирования .....	26
7 Выбор общей схемы технологического процесса .....	28
8 Расчет размеров полуфабрикатов по переходам штамповки .....	31
9 Термообработка и фосфатирование заготовок .....	37
10 Расчет усилий и работ деформирования.....	46
11 Выбор оборудования .....	56
12 Расчет усилий выталкивания из матриц и съема с пуансонов .....	59
13 Конструирование и расчет инструмента .....	62
14 Конструирование рабочих деталей штампов .....	74
15 Материалы для изготовления рабочих деталей штампов .....	86
16 Стойкость инструмента и пути ее повышения.....	90
17 Моделирование типового процесса холодной объемной штамповки в QFORM.....	93
Список литературы.....	100
Приложение 1.....	102
Приложение 2.....	103
Приложение 3.....	105

## **Введение**

В настоящее время, с учетом постоянного возрастания стоимости металла, при организации новых предприятий наблюдается тенденция к отказу от приобретения парка нагревательных устройств и парка металлорежущих станков для обточки припусков на горячештампованных поковках, все это делает холодную объемную штамповку (ХОШ) значительно более привлекательной.

В отечественном автомобилестроении значительно расширилась номенклатура деталей из конструкционных углеродистых, низко — и среднелегированных сталей, получаемых холодной объемной штамповкой. Так, диапазон массы штампуемых в холодном состоянии деталей составляет от нескольких граммов до 3 кг.

Как показывает опыт международных научно-технических конференций, область холодной штамповки в странах Запада также постоянно расширяется.

Применение данной технологии позволяет повысить коэффициент использования металла до 0,85-0,95, существенно снизить трудоемкость изготовления фасонных деталей и сократить расход электроэнергии. Наибольший эффект достигается обычно при замене холодной объемной штамповкой технологических процессов обработки резанием и переход с горячей штамповки в открытых штампах на молотах и КГШП на холодную объемную штамповку при изготовлении деталей типа тел вращения, а также деталей с многогранниками, зубьями и зубьями шлицевых соединений.

В связи с этим, изучение студентами ХОШ в рамках дисциплины «Технологияковки и объемной штамповки» является неотъемлемой частью образовательного процесса

будущих высококвалифицированных выпускников по направлению подготовки 15.03.01 «Машиностроение».

Важнейшим этапом изучения данной дисциплины является выполнение курсовой работы, основной целью которой является получение студентом навыков по разработке конструкции штампов позволяющих получать детали необходимой точности и качества при одновременном обеспечении наибольшей стойкости штампового инструмента и его технологичности.

В процессе выполнения работы прорабатываются следующие **вопросы**:

- 1) Проектирование чертежа штампованного изделия;
- 2) Расчет объема и массы штамповки с учетом возможных отходов металла;
- 3) Определение формы заготовки и исходного материала; выбор метода разделения исходного материала на заготовки и соответствующего технологического оборудования;
- 4) Выбор вида, количества и последовательности переходов штамповки и операций предварительной и промежуточной обработки заготовок; определение удельных и полных усилий штамповки, степени деформации по переходам и суммарной деформации; определение размеров и форм промежуточных полуфабрикатов;
- 5) Выбор штамповочного оборудования, печей для отжига и установок для фосфатирования; расчет необходимого оборудования.
- 6) Имитационное моделирование в программном комплексе Qform (рекомендуется).

**Графическая часть** работы предусматривает следующие чертежи:

- 1) Чертеж детали.
- 2) Чертеж поковки.

- 3) Чертежи переходов штамповки.
- 4) Чертеж штампа.
- 5) Графическое представление результатов имитационного моделирования в QForm (при наличии).

Образец задания на курсовую работу представлен в Приложении 1.

Основные этапы разработки технологического процесса:

Исходными данными при проектировании технологического процесса холодной объемной штамповки служат чертеж готового изделия, его материал и программа выпуска деталей.

Основными этапами разработки технологического процесса являются:

- 1) проектирование чертежа штампованного изделия;
- 2) расчет объема и массы штамповки с учетом возможных отходов металла;
- 3) определение формы заготовки и исходного материала; выбор метода разделения исходного материала на заготовки и соответствующего технологического оборудования;
- 4) выбор вида, количества и последовательности переходов штамповки и операций предварительной и промежуточной обработки заготовок; определение удельных и полных усилий штамповки, степени деформации по переходам и суммарной деформации; определение размеров и форм промежуточных полуфабрикатов;
- 5) выбор штамповочного оборудования, печей для отжига и установок для фосфатирования; расчет необходимого оборудования;
- 6) расчет экономической эффективности внедрения разрабатываемого технологического процесса взамен действующего.

## **1 Структура технологического процесса холодной объемной штамповки**

Технологический процесс холодной объемной штамповки в самом общем виде всегда включает два основных этапа: подготовку исходного материала к штамповке и собственно штамповку.

Подготовка к штамповке заключается в предварительной термической обработке (отжиге) деформируемого материала и последующем его фосфатировании и омыливании.

Целью отжига является снижение сопротивления деформированию и повышение пластичности материала. Его роль особенно велика при деформировании сталей с высоким содержанием углерода, высокой исходной твердостью и интенсивностью упрочнения.

После фосфатирования на поверхности металла в результате химических реакций образуется покрытие, имеющее кристаллическое строение и отличающееся высокой пластичностью. Оно предотвращает холодную сварку деформируемого материала со штампом и одновременно служит носителем технологической смазки - хозяйственного мыла.

В зависимости от материала штампуемой детали, сложности ее конфигурации, программы выпуска и т.п. принимаются различные варианты технологических процессов.

Часто встречающимся вариантом штамповки простых по форме деталей при средних программах выпуска является процесс, включающий разделение исходного материала на заготовки в штампе на прессе или на специальных ножницах для точной качественной резки, осадку их в закрытом штампе с целью выравнивания торцев после рубки, отжиг и фосфатирование в специальных печах с защитной атмосферой и

в установках для нанесения покрытия и штамповку за один переход на специальном прессе для холодного выдавливания. Наиболее типичным примером такой технологии является штамповка поршня колесного тормозного цилиндра на ВАЗе. Штамповка по этой схеме может осуществляться и за большее количество переходов. Так, например, на КамАЗе выдавливание ролика колонки тормозов производится за три перехода.

Главным образом этот технологический процесс с операциями отрезки и осадки заготовок на разном оборудовании применяется для изготовления крупных деталей (диаметр исходного материала свыше 25 мм).

При значительных программах выпуска небольших деталей (диаметр исходного материала не более 25 мм) отрезку и осадку нередко совмещают на одном оборудовании, что значительно повышает производительность и сокращает количество оборудования, численность рабочих, затраты электроэнергии и т.п. Для этой цели обычно используют горизонтальные однопозиционные одноударные автоматы для штамповки шариков и роликов подшипников. Затем, после отжига и фосфатирования, производят штамповку за один или несколько переходов. Эта технология широко используется на ХВЗ для изготовления фасонных деталей задней втулки, на КамАЗе и некоторых других заводах.

Для штамповки деталей сложной конфигурации нередко требуется фасонная заготовка, например, в виде простого или ступенчатого толстостенного кольца. В этом случае заготовку получают за несколько переходов на многопозиционном автомате для штамповки гаек, отжигают, фосфатируют и доштамповывают на прессе.



## 2 Проектирование чертежа штампованной детали

В подавляющем большинстве случаев чертежи деталей соответствуют требованиям технологии резания на токарных автоматах. Характерным является наличие на деталях резких переходов между ступенями, острых кромок, буртов, канавок для выхода резцов, шлифовальных кругов и т.п. Конструктивные элементы в виде канавок, поднутрений и т.п. не могут быть оформлены при холодной объемной штамповке. Невозможно получать холодной объемной штамповкой также глубокие отверстия малого диаметра, отверстия с осью, перпендикулярной оси изделия, некоторые сложные ступенчатые тонкостенные элементы и т.п.

Существует также целый ряд деталей, наличие нетехнологичных элементов у которых обусловлено конструктивными требованиями. Так, большинство шаровых пальцев рулевого управления и подвески имеют конические и цилиндрические поднутрения под шаровыми головками, необходимые для обеспечения угла взаимного поворота тяг.

Разнообразные ниппели, штуцеры, соединительные гайки имеют элементы, необходимые для установки уплотнений, ввода гибких и жестких шлангов и трубок и т.п. К ним относятся торцевые канавки в полостях, внутренние и наружные рифления, участки с уменьшенной толщиной стенки и различные поднутрения. Примеры конструирования штампуемых деталей приведены на рисунке 1.

В первом ряду представлены детали, штампуемые практически без припусков, во втором – с различного рода припусками (детали расположены по мере усложнения конфигурации).

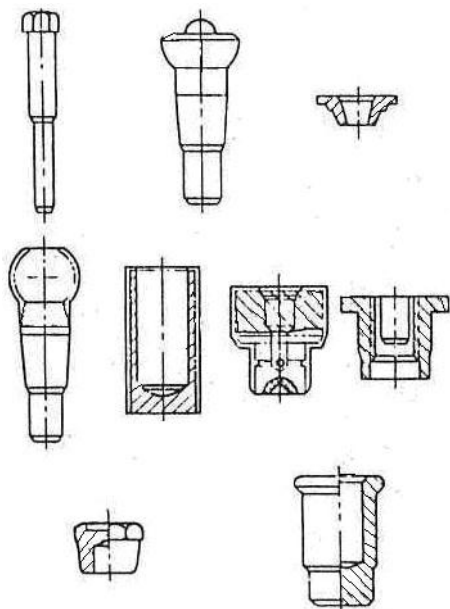


Рисунок 1 – Примеры конструирования штампуемых деталей

В последнем ряду приведены поковки, в которые внесены некоторые конструктивные изменения по сравнению с исходными чертежами. К таким изменениям относятся технологичные углубления в шестигранной головке штампованной резьбовой пробки и в квадрате гайки крепления внутреннего заднего колеса. В первом случае это углубление облегчает заполнение металлом углов при формовке шестигранника, во втором обеспечивает подпор при комбинированном выдавливании квадрата и полости, чем предотвращается возможный отрыв квадрата. Следует отметить, что подобные изменения вносятся обычно после проработки и опробования технологического процесса.

Технологичными элементами деталей являются также различные центровые отверстия, получаемые штамповкой.

Изменение конструкции детали целесообразно в тех случаях, когда оно улучшает ее технологичность и сокращает

количество формообразующих операций.

Необходимость переработки чертежа детали может быть вызвана также тем, что исходный материал относится к группе малопластичных высокопрочных металлов, а конструкция детали такова, что штамповка будет сопровождаться высокими удельными нагрузками на инструмент. Для обеспечения необходимой стойкости инструмента целесообразно в таком случае заменять высокопрочную сталь (типа сталей 40, 45 и т.п.) сталью с меньшим сопротивлением деформированию.

Требуемые механические свойства могут быть получены как за счет упрочнения материала в ходе штамповки, так и с помощью химико-термической обработки.

Методами редуцирования и выдавливания невозможно оформить резкие переходы между ступенями стержневых сплошных и полых деталей. Затруднительным является также выдавливание стаканов с плоским дном. В связи с этим переходные участки между ступенями делаются коническими - по форме заходной части матрицы, а дно стакана соответствует по форме рабочему торцу пуансона для обратного выдавливания (рис. 2,а).

Если конструкция изделия и условия его работы в узле не требуют резких переходов, в чертеже штампованной детали оставляют вышеперечисленные технологичные элементы. При этом, как следует из рис. 2,а, величина угла  $2\alpha$  переходного участка для стержневых деталей зависит от степени деформации  $\varphi$ . Угол донной части детали типа стакана всегда одинаков и составляет  $170^\circ$ .

При необходимости получить более резкие переходы вводят операции чеканки (подсадки), однако и в этом случае острые углы заменяются радиусами (рис. 2,б). Правила выбора радиусов приведены в таблице 1.

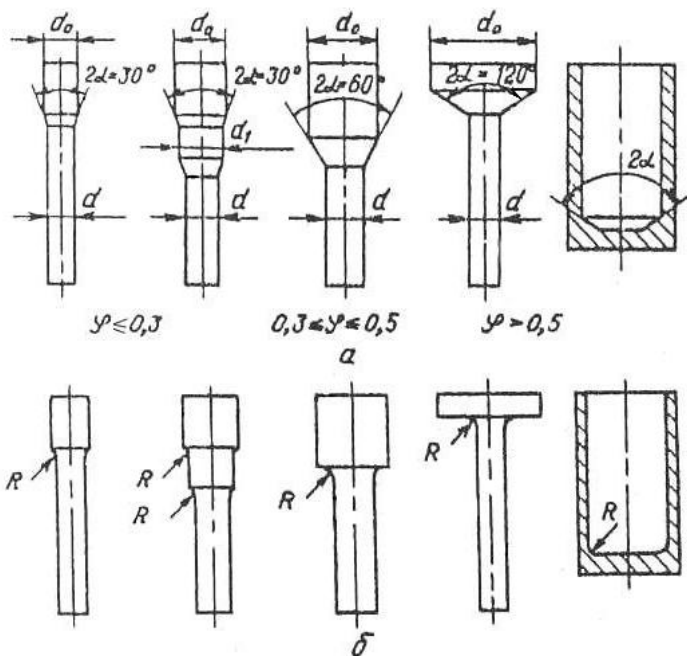


Рисунок 2 – Примеры оформления переходных участков при конструировании штампуемых деталей

Таблица 1 – Правила выбора радиусов в зависимости

Диаметр, мм	Наружные радиусы, мм	Внутренние радиусы, мм
До 10	0,5	1,0
Свыше 10 до 25	0,7	1,5
Свыше 25 до 50	1,0	2,0
Свыше 50 до 80	1,5	2,5

### **3 Рекомендации по разработке технологического процесса**

Выбор вида штамповочных операций зависит от конфигурации изделия. Последовательность и количество переходов штамповки устанавливаются на основании правил, соблюдение которых ограничивает появление нежелательных деформаций, разрушений и повышенных удельных нагрузок на штамповый инструмент. К нежелательным деформациям относится, например, потеря устойчивости заготовки при высадке. Трещины на боковой поверхности могут возникнуть при превышении допустимой величины относительной осадки. Превышение предельных степеней деформации приводит не только к потере пластичности, но и к возрастанию удельных усилий штамповки, что сокращает срок службы инструмента и приводит к перегрузкам оборудования.

Величина годовой программы выпуска детали оказывает существенное влияние на выбор исходного материала, технологию и оборудование для получения заготовок, на конструкцию штамповой оснастки и тип штамповочного оборудования.

В некоторых случаях при изготовлении фасонных заготовок допустимо их получение разрезкой прутков на токарных автоматах или вытачиванием фасонной заготовки. Например, тарелка пружин клапана штампуется из ступенчатой полой заготовки, полученной точением на токарном автомате. Процесс штамповки состоит из одного перехода (рис. 3, а).

При больших программах выпуска гораздо экономичнее получать кольцевую заготовку на многопозиционном гаечном автомате непосредственно из бунтовой проволоки и доштамповывать ее затем на прессе после соответствующего

отжига (рис. 3,б).

В массовом производстве оптимальным решением является многопозиционная штамповка тарелки пружин клапана на автомате из предварительно отожженной и фосфатированной бунтовой проволоки (рис. 3,в). Этот процесс наиболее экономичен, так как позволяет не только сократить отходы металла, но и обеспечивает наивысшую производительность, поскольку штамповка не прерывается промежуточными операциями.

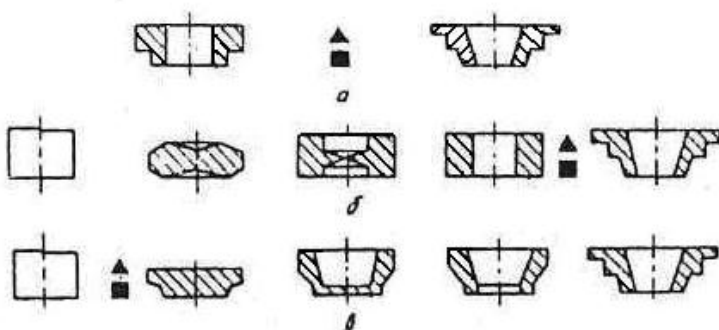


Рисунок 3 – Примеры технологических вариантов штамповки тарелки пружин клапана: ▲ - отжиг; ■ – фосфатирование; а - из точной заготовки; б - из высаженной кольцевой заготовки с промежуточным отжигом; в - на многопозиционном автомате.

При проектировании технологического процесса следует иметь в виду, что за один переход можно получать изделия только наиболее простых форм: стакан, стержень с головкой и т.п. Большинство изделий имеют более сложную форму и не всегда благоприятные для однопереходной штамповки соотношения основных размеров. Поэтому технолог гораздо чаще должен заниматься разработкой процессов, включающих несколько формообразующих переходов.

Возможны два основных варианта построения многпереходного технологического процесса: многократное

применение одной и той же операции и применение различных операций.

Первый вариант широко применяется в практике холодной высадки изделий типа стержней с головками, так как высадка за два или даже за три перехода позволяет избежать продольного изгиба заготовки. Многократное редуцирование применяется при изготовлении болтов и различных ступенчатых валов. Повторное обратное выдавливание применяется значительно реже, например при выдавливании дополнительного углубления в дне стакана. При этом следует иметь в виду, что общая длина рабочей части пуансона для повторного обратного выдавливания не должна превышать  $2,5 d_k$ .

В многопереходных процессах, состоящих из различных операций, наиболее часто встречаются следующие сочетания:

– прямое выдавливание и высадка; прямое выдавливание, редуцирование и высадка; предыдущие варианты в сочетании с обсечкой (при изготовлении стержневых деталей с разными по форме головками);

– обратное выдавливание и пробивка дна; обратное и прямое выдавливание; обратное выдавливание и высадка; предыдущий вариант в сочетании с обсечкой (при штамповке полых деталей типа трубок, стаканов, трубок и стаканов с фланцами разной формы).

Если при разработке процесса окажется, что получение заданных размеров и формы затруднительно, необходимо корректировать чертеж изделий или штамповки. В этом случае пересматривают и спроектированный технологический процесс штамповки. С помощью сравнительного экономического анализа выбирают наиболее экономичный вариант технологии.

Необходимо стремиться к тому, чтобы количество формоизменяющих операций было минимальным.

Одновременно следует строго соблюдать все правила, ограничивающие появление нежелательных деформаций, приводящих к браку штампуемых деталей или к преждевременному разрушению рабочего инструмента.

При проектировании технологического процесса холодной объемной штамповки необходимо принимать во внимание следующее:

- расчет формоизменяющих операций (переходов) ведется от конца технологического процесса (чертежа штампованной детали) к его началу (исходной заготовке); при этом каждый раз следует выбирать форму и размеры предыдущего полуфабриката, служащего заготовкой для последующего, таким образом, чтобы необходимое формоизменение могло быть выполнено за один ход пресса;

- последовательность операций (переходов) должна быть по возможности такой, чтобы штампованное изделие имело равномерное распределение механических свойств;

- не рекомендуется производить обратное выдавливание глубоких полостей (до  $2,5d_k$ ) в заготовке или в элементе штампованного полуфабриката, претерпевших значительную деформацию без отжига;

- следует стремиться к сокращению числа межоперационных отжигов и фосфатирований;

- после экспериментальной проверки разработанной технологии, при необходимости осуществляется дополнительное корректирование заготовки, штамповки и операций (переходов) процесса.



#### 4 Расчет объема штампованной детали

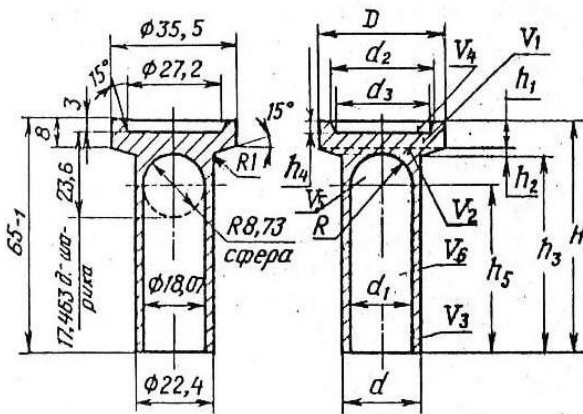
Расчет объема штампованной детали рассмотрим на примере толкателя клапана.

Объем полой фасонной детали, какой является толкатель клапана, наиболее удобно определять как разность внешнего ( $V_{\text{внш}}$ ) и внутреннего ( $V_{\text{внтр}}$ ) объемов, т.е. как объем детали, вычисленный без учета имеющихся полостей, за вычетом суммарного объема этих полостей.

Объемы геометрических элементов штампованной детали вычисляются с помощью известных формул для определения объемов тел вращения, многогранников, призм, пирамид и т.п. При этом недостающие геометрические размеры, такие, например, как длина конического перехода под фланцем толкателя, длина внутренней сферы и т.п., определяются с помощью элементарных арифметических, геометрических и тригонометрических расчетов.

Все расчеты объемов ведутся по номинальным значениям чертежных размеров. Если при штамповке детали не применяются операции пробивки или обрезки, сопряженные с образованием отходов, то расчетный объем  $V$  штамповочной детали является и объемом исходной заготовки. В противном случае к нему необходимо прибавить объем этих отходов.

Порядок расчета объема штампованной детали и исходной заготовки приводится на рисунке 4.



$$V = V_{\text{внешн}} - V_{\text{внутр}}$$

$V_1, V_3, V_6$  - цилиндр  
 $V_2, V_4$  - усеченный конус  
 $V_5$  - полусфера

$$V_{\text{внешн}} = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_{\text{внутр}} = V_4 + V_5 + V_6$$

$$V_1 = \frac{\pi D^2}{4} h_1 = 7914,37 \text{ мм}^3$$

$$V_4 = \pi h_4 (d_2^2 + d_2 d_3 + d_3^2) / 12$$

$$V_2 = \pi h_2 (D^2 + Dd + d^2) / 12$$

$$d_2 = d_3 + 2h_4 \operatorname{tg} 15^\circ = 28,81 \text{ мм}$$

$$h_2 = \frac{D-d}{2} \operatorname{tg} 15^\circ = 1,755 \text{ мм}$$

$$V_4 = 1848,42 \text{ мм}^3$$

$$V_2 = 1174,93 \text{ мм}^3$$

$$V_5 = \frac{2}{3} \pi R^3 = 1393,48 \text{ мм}^3$$

$$V_3 = \frac{\pi d^2}{4} h_3$$

$$V_6 = \frac{\pi d_1^2}{4} h_5$$

$$h_3 = H - h_1 - h_2 = 55,24 \text{ мм}$$

$$h_5 = H - 3 - 23,6 + R = 47,13 \text{ мм}$$

$$V_3 = 21758,02 \text{ мм}^3$$

$$V_6 = 12080,46 \text{ мм}^3$$

$$V_{\text{внешн}} = 30847,32 \text{ мм}^3$$

$$V_{\text{внутр}} = 15322,36 \text{ мм}^3$$

$$V = 30847,32 - 15322,36 = 15524,96 \text{ мм}^3$$

а

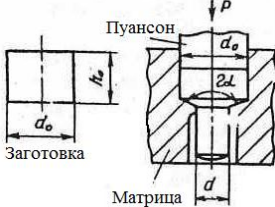
б

Рисунок 4 – Схема к расчету штампуемой детали

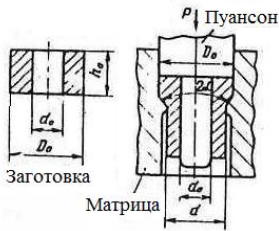
## 5 Основные формоизменяющие операции холодной объемной штамповки. Схемы основных операций

В таблице 2 представлены принципиальные схемы основных формоизменяющих операций холодной объемной штамповки и формулы расчета технологических усилий, взятые из различных источников и характеризующиеся достаточной для инженерных расчетов точностью (условные обозначения приведены в приложении 2).

Таблица 2 – Принципиальные схемы основных формоизменяющих операций холодной объемной штамповки и формулы расчета технологических усилий

Наименование и схема операции	Расчетная формула
1. Прямое выдавливание сплошной детали	
	$P = F_0 \cdot \sigma_{Scp} \cdot \varphi \cdot \left( 1 + \frac{\mu}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha} + \frac{2 \cdot \bar{\alpha}}{3 \cdot \varphi} \right) + \pi \cdot d_0 \cdot h_0 \cdot \mu \cdot \sigma_{S0},$ <p>где <math>F_0 = 0,785 \cdot d_0^2</math>, <math>\sigma_{Scp} = \frac{\sigma_{S0} + \sigma_{S1}}{2}</math>,</p> <p><math>\sigma_{S0}</math> и <math>\sigma_{S1}</math> – напряжения течения до и после деформации, определяем покривым упрочнения и заданной степени деформации <math>\varphi</math>:</p> $\varphi = \ln \frac{d_0^2}{d^2}.$

## 2. Прямое выдавливание полрой детали



$$P = F_0 \cdot \left[ \sigma_{ср} \cdot \varphi \cdot \left( 1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\bar{\alpha}}{\varphi} + \frac{\mu}{\cos \alpha \cdot \sin \alpha} \right) \right] + \mu \cdot \sigma_{s0} \cdot d_0 \cdot h_0,$$

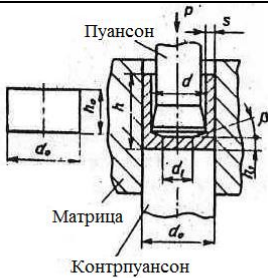
где  $\varphi = \ln \frac{F_0}{F_1}$ ,

$$F_0 = 0,785 \cdot (D_0^2 - d_0^2),$$

$$F_1 = 0,785 \cdot (d^2 - d^2)$$

$$\sigma_{ср} = \frac{\sigma_{s0} + \sigma_{s1}}{2}.$$

## 3. Обраное выдавливание стакана



а)  $\beta < 5^\circ$ ;  $d \cong 0,5d$ ;  $h_1 \leq 0,7d$

$$P = F_1 \cdot \left[ \sigma_{s1} \cdot \left( 1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{d}{h} \right) + \sigma_{s2} \cdot \left( 1 + \frac{0,5 + \mu}{2} \cdot \frac{h_1}{S} \right) \right], \text{ где}$$

$$F_1 = 0,785 \cdot d^2$$

$$\varphi_1 = \ln \frac{h_0}{h_1}; \quad \varphi_2 = \left( 1 + \frac{d}{8S} \right) \ln \frac{h_0}{h_1};$$

$$\sigma_{s1} = A \cdot e^{n \ln \varphi_1}; \quad \sigma_{s2} = A \cdot e^{n \ln \varphi_2};$$

б)  $\beta > 5^\circ$ ;  $d_1 = d - 2 \cdot 0,1d_0$ ;  $h_1 \leq 0,7d$

$$P = 1,3 \cdot \left( \frac{d_0}{d} + \varphi \right) \cdot \sigma_B \cdot \left[ \left( \frac{d_0^2 - d_1^2}{d_0^2 - d^2} - 1 \right) \cdot d_0^2 + d_1^2 \right] \cdot B, \text{ где}$$

$$\varphi = \frac{h_0 - h_1}{h_0}$$

$\beta^\circ$	75	60	45	30	5
B	1,2	1,1	1,0	0,95	0,90

в)  $\beta \cong 5^\circ$ ;  $h_1 > 0,7d$

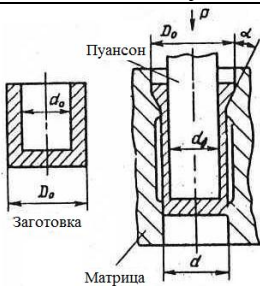
$$P = F \cdot \sigma_{ср} \cdot \frac{\left[ \frac{3}{2} + A \left( \ln \frac{d_0}{d} - \mu \frac{d}{d_0} \right) + \frac{d_0^2 - d^2}{2d^2} + \frac{1}{2} \right]}{1 - \mu \left( \frac{2}{3} + B \frac{d}{d_0} \right)},$$

где

$$F_1 = 0,785 \cdot d^2; \quad \sigma_{ср} = \frac{\sigma_{s0} + \sigma_{s1}}{2};$$

$$A = \frac{d_0^2}{d_0^2 - d^2}; \quad B = \frac{d^2}{d_0^2 - d^2}; \quad \varphi = 2 \ln \frac{d_0}{d}$$

#### 4. Вытяжка с утонением стенки



$$P = F_n \cdot \sigma_{s1} \cdot \varphi \cdot \left( 1 + \frac{\mu}{\cos \alpha \cdot \sin \alpha} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\bar{\alpha}}{\varphi} \right),$$

где

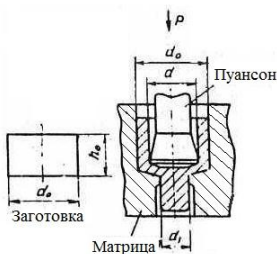
$$\varphi = \ln \frac{F_0}{F_1};$$

$$F_0 = 0,785 \cdot (D_0^2 - d_0^2);$$

$$F_1 = 0,785 \cdot (d^2 - d_1^2);$$

$$F_n = 0,785 \cdot d_1^2$$

#### 5. Комбинированное выдавливание



$$P = F_1 \cdot \sigma_{s1} \cdot \left[ \frac{d_0^2}{d^2} \cdot \ln A + \frac{h_0}{d} \cdot \left( 1 + \frac{d_1}{d} \right) \cdot A \right] \times$$

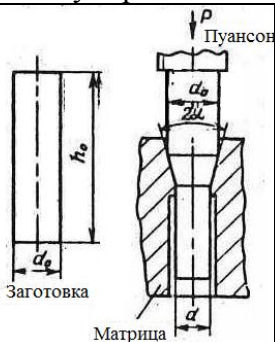
$$\times \left( 1 + \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \frac{d^3 - d_1^3}{d^2 \cdot h_0} \right),$$

где  $F_1 = 0,785 \cdot d^2$ ;  $A = \frac{d_0^2}{d_0^2 - d^2 + d_1^2}$ ;

$$\varphi = \ln \frac{\frac{d_0^2}{d_0^2 - d^2}}{1 + \mu \cdot \frac{d_1^2}{d_0^2 - d^2}}.$$

Если  $\frac{d}{d_1} \geq 1,2$ , то процесс невозможен.

## 6. Редуцирование



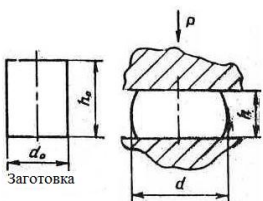
$$2\alpha \leq 30^\circ$$

$$P = F_0 \cdot \sigma_{S1} \cdot \left[ \varphi \cdot \left( 1,01 + \frac{2\mu}{\sin 2\alpha} \right) + 0,77 \operatorname{tg} \alpha \right],$$

где

$$\varphi = \ln \frac{d_0^2}{d^2}; \quad F_0 = \frac{\pi}{4} \cdot d_0^2$$

## 7. Осадка открытая



$$P = 0,785 \cdot d^2 \cdot \left( 1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \cdot \frac{d}{h} \right) \cdot \sigma_{S1},$$

где  $\varphi = \ln \frac{h_0}{h}$

## 8. Осадка закрытая



$$P = F_1 \cdot \sigma_{Scp} \cdot \left( 1 + \frac{d/2}{22,5a_1} \right),$$

где  $F_1 = 0,785 \cdot (d - 2a_1)^2$ ,

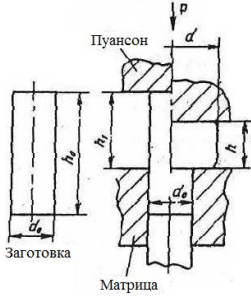
$$\sigma_{Scp} = \frac{\sigma_{S0} + \sigma_{S1}}{2};$$

$$\varphi = \varphi_0 + \varphi_2, \quad \varphi_0 = 2 \ln \frac{d}{d_0},$$

$$\varphi_2 = 1,82 \cdot \frac{a_0 - a_1}{d/2} \cdot \left( 1 + \frac{a_0 + a_1}{2d} \right),$$

$$a_0 = \frac{d - d_0}{2}.$$

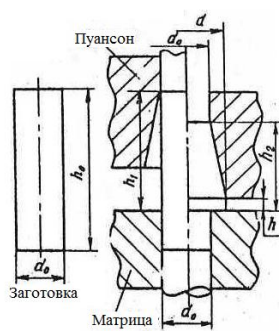
### 9. Высадка цилиндрического утолщения



$$P = F_1 \cdot \sigma_{s1} \cdot \left( 1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{d}{h} \right),$$

где  $F_1 = 0,785 \cdot d^2$ ;  $\varphi = \ln \frac{h_1}{h}$ .

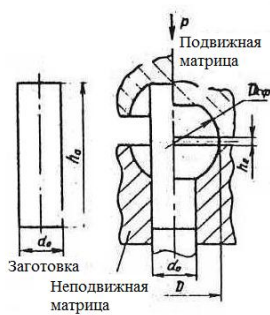
### 10. Высадка конического утолщения



$$P = F_1 \cdot \sigma_{s1} \cdot \left( 1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{d}{h} \right),$$

где  $F_1 = 0,785 \cdot d^2$ ;  $\varphi = \ln \frac{h_1}{h_2}$ .

### 11. Высадка шаровой головки



$$P = 0,785 \cdot D^2 \cdot \sigma_{s1} \cdot \left\{ 1 + \frac{R_{c\phi}^2}{4m^3 R \sqrt{3}} \cdot \left[ 6m^2 - 2mh_R + (h_R - 2m)^2 \cdot \ln \frac{h_R}{h_R - 2m} \right] \right\},$$

где  $R_{c\phi} = \frac{D_{c\phi}}{2}$ ,  $R = \frac{D}{2}$ ,  $R_0 = \frac{d_0}{2}$ ,

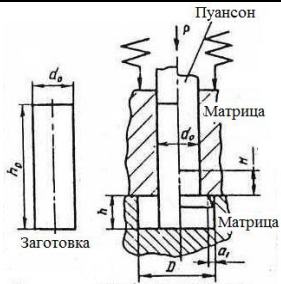
$$m = \sqrt{R_{c\phi}^2 - R^2},$$

$$h_R = \frac{V_{c\phi}}{\pi R^2} - 2 \cdot \left[ \frac{R_{c\phi}}{6} \cdot A \cdot \left( 3 \frac{R_0}{R^2} + 3 + \frac{R_{c\phi}^2}{R^2} \cdot A^2 \right) \right],$$

$$A = \sqrt{1 - \frac{R_0^2}{R_{c\phi}^2}} - \sqrt{1 - \frac{R^2}{R_{c\phi}^2}}, \quad \varphi = \ln \frac{D^2}{d_0^2};$$

$$R = (0,9 \div 0,95) \cdot R_{c\phi}.$$

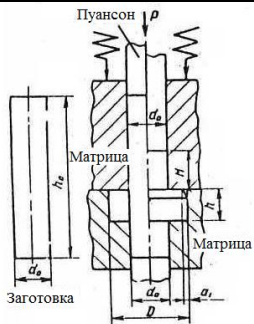
## 12. Поперечное выдавливание плоской заготовки



$$P = 1,1 \cdot \sigma_{S1} \cdot F_0 \cdot \left[ \left( 1 + \frac{4\mu}{\pi} \right) \cdot \ln \frac{h}{a_1} + 2\mu \cdot \left( \frac{D-d_0}{2h} - 1 \right) + \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{d_0}{h} + \frac{4h}{3d_0} \right) + \ln \frac{D-d_0}{2h} + 1 \right],$$

где  $F_0 = 0,785 \cdot d_0^2$ ,  $\varphi = 2 \ln \frac{D}{d_0}$ .

## 13. Поперечное выдавливание Т-образной заготовки

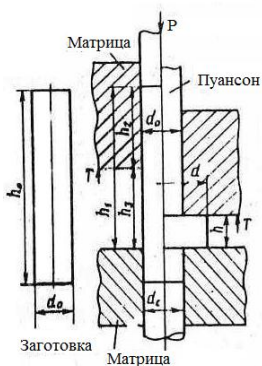


$$P = 1,1 \cdot \sigma_{S1} \cdot F_0 \cdot \left[ \left( 1 + \frac{4\mu}{\pi} \right) \cdot \ln \frac{2}{3} \cdot \frac{h}{a_1} + 2\mu \cdot \left( \frac{D-d_0}{h} - 1 \right) + 0,66 \cdot \ln \frac{3 \cdot (D-d_0)}{4h} + 2\mu \frac{H-h}{1,1d_0} + 0,75 \frac{d_0}{h} + 0,3 \frac{h}{d_0} + 1 \right],$$

где  $F_0 = 0,785 \cdot d_0^2$ ,  $h \leq 2,25d_0$ ,  $\varphi = 2 \ln \frac{D}{d_0}$ ;

Если  $h > 2,25d_0$ , то операция запрещена по потере устойчивости.

## 14. Поперечное выталкивание, совмещенное с высадкой



$$P = F_1 \cdot \sigma_{S1} \cdot \left[ 1 + \left( \frac{d_0}{h_3} + \ln \left| 1 + \frac{s}{h_0} \right| \right) \cdot e^{4\mu h_2/d_0} \right],$$

где  $F_1 = 0,785 \cdot d_0^2$ ,  $h_3 \leq 2,25d_0$ ,

$$h_2 = h_1 - h_3,$$

$s = h_2$  – итоговое перемещение пуансона от начала деформирования до определенного момента.

$$T = F_2 \cdot \sigma_{S0} \cdot \left( \frac{d_0}{h_3} + \ln \left| 1 + \frac{s}{h_3} \right| \right) \cdot \left( e^{4\mu h_2/d_0} - 1 \right),$$

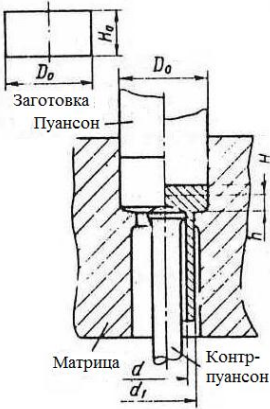
где  $F_2 = \pi \cdot d_0 \cdot h_2$ ,  $\varphi = 2 \ln \frac{d}{d_0}$ .

При достижении рабочим торцом пуансона нижней плоскости верхней



матрицы и вытеснения всего металла в зазор  $h_3$  между матрицами поперечное выдавливание заканчивается. Далее, при совместном перемещении пуансона и верхней матрицы, происходит высадка по схеме 9.

### 15. Прямое выдавливание стакана с дополнительным обжатием заготовки



$$P = \sigma_{scp} \cdot F_0 \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left[ \frac{\sqrt{3}}{m^2 k_1^2} + \frac{d}{3m^2 k_1^2 h} + A_1 + \frac{D_0}{h} \cdot A_2 + \right. \\ \left. + \frac{2h}{m k_1 D_0} \cdot A_3 + A_4 + \frac{D_0}{h} \cdot A_5 + A_6 + \frac{D_0}{h} \cdot A_7 + \right. \\ \left. + \frac{2h}{m D_0} \cdot A_8 + \mu \left( \frac{4H}{D_0} - \frac{2h}{D_0} \right) \right],$$

где  $\sigma_{scp} = \frac{\sigma_{s0} + \sigma_{s1}}{2}$ ,  $F_0 = 0,785 \cdot D_0^2$ ,

$$m = \frac{D_0}{d}, \quad k_1 = \frac{d_1}{d};$$

$$A_1 = \frac{1}{k_1^2 - 1} \cdot \left\{ 2 + \ln \frac{1}{3} \cdot \left[ m^2 k_0^2 k_1^2 + \sqrt{3 + (m k_0 k_1)^4} \right] - \right. \\ \left. - \sqrt{3 \left( \frac{1}{m k_0 k_1} \right)^4 + 1} \right\};$$

$$A_2 = \frac{1}{k_1^2 - 1} \cdot \left( \frac{2}{3} k_0 + \frac{1}{3m^3 k_1^3 k_0^2} - \frac{1}{m k_1} \right);$$

$$A_3 = \frac{m^2 k_1^2}{k_1^2 - 1};$$

$$A_4 = 2 + \ln \left[ \frac{1}{3} \left( m^2 + \sqrt{3 + m^4} \right) \right] - \sqrt{1 + \frac{3}{m^4}};$$

$$A_5 = \frac{2}{3} + \frac{1}{3m^3} - \frac{1}{m};$$

$$A_6 = \frac{1}{k_1^2 - 1} \cdot \left\{ \sqrt{3 \left( \frac{1}{mk_0} \right)^4 + 1} - \ln \left\{ \frac{1}{3} \left[ m^2 k_0^2 + \sqrt{3 + (mk_0)^4} \right] \right\} - 2 \right\};$$

$$A_7 = \frac{1}{k_1^2 - 1} \cdot \left( \frac{2}{3} k_0 + \frac{1}{3m^3 k_0^2} - \frac{1}{m} \right);$$

$$k_0 = \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{D_0}{d} \right)^2 - \left( \frac{d_1^2}{d} \right)^2}};$$

$$\varphi = \ln \frac{F_0}{f} = \ln \frac{D_0^2}{d_1^2 - d^2}$$

Относительная величина пластической зоны

$$\frac{h}{D_0} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{1}{3m^2 k_1^2} + (A_2 + A_5 + A_7) \cdot 2mk_1 \over (1 + k_1) \cdot A_3 - \mu mk_1}}.$$

## 6 Расчеты силовых параметров. Усилие штамповки и работа деформирования

Последовательность вычислений стандартна и производится в следующем порядке.

По геометрическим размерам исходной заготовки и готовой детали определяют приближенную среднюю степень деформации  $\varphi$ .

По степени деформации  $\varphi$  и пределу текучести  $\sigma_{s0}$  для данной марки стали (см. таблицу 3) определяют напряжение течения  $\sigma_{s1}$  – по формуле:

$$\sigma_{s1} = A e^{n \ln \varphi}$$

где  $A$  и  $n$  – определяются из таблицы 3.

Таблица 3 – Значения предела текучести  $\sigma_{s0}$  и параметров  $A$  и  $n$  для некоторых марок сталей

Марка стали	$\sigma_{s0}$	$A$	$n$
10	32,25	72,84	0,20886
20	36,50	80,72	0,21392
40	20,00	96,05	0,33449
45	48,26	100,09	0,17449
50	67,50	121,90	0,17352
20X	32,50	85,92	0,22906
40X	47,50	100,61	0,16301
12ХНЗА	50,00	94,60	0,18301
18ХНТ	65,00	101,66	0,13669
30ХГСА	56,00	102,45	0,16157

При отсутствии данных ( $A$ ,  $n$ ) для соответствующей марки стали можно воспользоваться ее кривой упрочнения. Обычно такие кривые строятся с применением в качестве аргумента и логарифмической деформации  $\varphi$ , а относительного обжатия  $\varepsilon$  поперечного сечения (относительной осадки). В общем виде эта величина определяется, как известно, по формулам:

$$E=1-(F_0/F_1) \text{ или } \varepsilon=(h_0-h_1)/h_0,$$

где  $F_0$  и  $F_1$  – площади поперечного сечения заготовки и штампованной детали соответственно;

$h_0$  и  $h_1$  – высоты (длины) заготовки и штампованной детали соответственно.

Среднюю величину напряжения течения  $\sigma_{Scp}$  определяют как среднее арифметическое величин  $\sigma_{S0}$  и  $\sigma_{S1}$ .

Значения величины  $\sigma_{Scp}$  геометрических параметров заготовки и детали, коэффициента  $\mu$  контактного трения и т.п. подставляют в соответствующую формулу и производят вычисление.

Удельные усилия штамповки определяют по элементарной формуле

$$P = \frac{H}{F}, \text{ где}$$

$P$  – полное усилие торца пуансона;

$F$  – площадь проекции пуансона.

Величину работы деформирования, необходимую для выбора оборудования, определяют с помощью выражения

$$A_{\text{деф.}} = P \cdot s \cdot k, \text{ где}$$

$P$  – полное усилие штамповки;

$s$  – рабочий ход ползуна (пуансона);

$k$  – коэффициент заполнения графика «усилие-путь», равный 0,88 – для процессов выдавливания и 0,4 – 0,5 – для осадки и высадки.

## 7 Выбор общей схемы технологического процесса

Теоретически толкатель клапана может быть отштампован пятью различными вариантами, схематически показанными на рис. 5. Первые два предполагают применение исходной заготовки, равной по диаметру фланцу детали, остальные основываются на использовании заготовки с диаметром, соответствующим диаметру стержня толкателя. Варианты 1 и 4, содержащие лишь по одной операции, наиболее эффективны, так как обеспечивают наивысшую производительность при наименьших затратах.

Проанализируем варианты 1 и 4, для чего рассмотрим их принципиальные схемы на рис. 6.

Определим степень обжатия заготовки при ее выдавливании по варианту 1 (рис. 6,а):

$$E = 1 - \left( \frac{f}{F} \right) = 1 - \left( \frac{d_2 - d_{12}}{D_2} \right) = 1 - \left( \frac{22,42 - 18,072}{35,52} \right) = 0,86$$

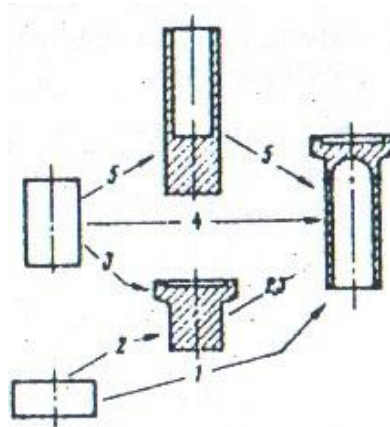


Рисунок 5 – Принципиально возможные варианты штамповки толкателя клапана

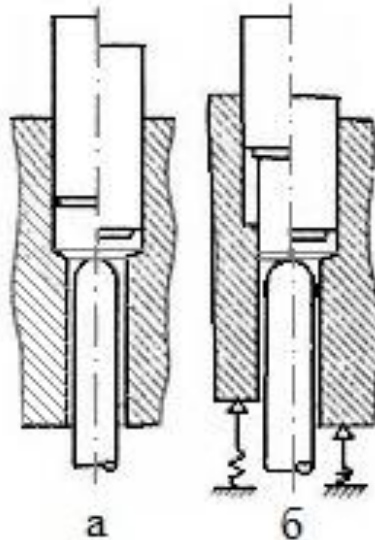


Рисунок 6 – Схемы штамповки толкателя клапана по вариантам 1 (а) и 4 (б), указанным на рис. 5

Такое обжатие является чрезмерным для прямого выдавливания как сплошной, так и, тем более, полый детали. Обеспечить приемлемую стойкость инструмента не представляется здесь возможным, так как для деформирования стали марки 35 потребуются удельные усилия свыше 3500 МПа. В особенно тяжелых условиях оказывается контрпуансон, длина

которого превышает 3 его диаметра, что при такой нагрузке категорически недопустимо.

На основании изложенного, вариант 1 отвергается. Штамповка по варианту 4 (рис. 6, б) представляет собой комбинацию высадки с выдавливанием полости. Произведем аналогичный расчет предельных соотношений.

Наибольшее относительное увеличение диаметра при высадке фланца будет равно:

$$\frac{D}{d} = \frac{35,5}{22,4} = 1,58$$

Относительная длина высаживаемой части заготовки определится из объема фланца, который рассчитывается следующим образом:

$$V_{\phi} = V_1 + V_2 - V_4 = 7914,37 + 1174,93 - 1848,42 = 7240,88 \text{ мм}^3$$

Отсюда

$$\frac{h_{\phi}}{d_1} = \frac{4 \cdot V_{\phi}}{\pi d_{13}^2} = \frac{4 \cdot 7240,88}{3,14 \cdot 18,073^2} = 1,56$$

Оба эти показателя свидетельствуют о наличии благоприятных возможностей для высадки фланца. Ни потеря заготовкой устойчивости, ни появление трещин на фланце не ожидаются.

Однако, несмотря на заметное снижение обжатия заготовки при деформировании полости:

$$E = \frac{d_{12}}{d_2} = \frac{18,072}{22,42} = 0,65$$

условия ее выдавливания остаются тяжелыми. Сталь 35 требует в этом случае усилия не менее 3000 МПа для обеспечения истечения металла вдоль контрпуансона. При этом еще раз отметим, что глубина выдавливаемой полости составляет более 3-х ее диаметров. Таким образом, и в этом случае стойкость штампа будет значительно ниже экономически оправданной (5-

10 тыс. деталей), и вариант 4 должен быть отвергнут как неэффективный.

Варианты 2 и 3 (см. рис. 5), заключающиеся в выдавливании полости в предварительно высаженной (вариант 3) или выдавленной (вариант 2) Т-образной заготовке с фланцем следует отвергнуть по той же причине, что и вариант 4, - велики удельные нагрузки контрольном длинном контрпуансоне.

Вариант 5 (см. рис. 5) заключается в посадке фланца из предварительно выдавленного стаканчика. Несмотря на неблагоприятные для обратного выдавливания соотношения размеров этого полуфабриката, он, тем не менее, наиболее перспективен, этот полуфабрикат может быть получен вытяжкой с утонением стенки из стакана с более благоприятной для выдавливания относительной глубиной полости. При этом дну полуфабриката необходимо придать рациональную форму, соответствующую форме торца пуансона для обратного выдавливания (см. схему 3 в табл. 1), так как выдавливание сферическим пуансоном требует повышенных удельных усилий.

Формирование сферического дна целесообразно совместить посадкой фланца. Такой комбинированный процесс потребует меньше усилий, чем закрытая посадка до упора, в силу более благоприятного напряженного состояния.

Примеры технологических процессов деталей, изготавливаемых ХОШ приведены в приложении 3.

## **8 Расчет размеров полуфабрикатов по переходам штамповки**

Заготовкой для формирования фланца и: сферы является полуфабрикат в виде стакана с толстым дном (рис. 7, б). Объем последнего соответствует сумме объемов фланца и элемента детали, ограниченного нижней границей объема  $V_2$  и

горизонталью, проходящей через центр сферы (рис. 7, а); полая часть полуфабриката соответствует по диаметрам части готовой детали длиной  $h_5$ .

Исходя из этих положений, а также из условия постоянства объема полуфабрикатов по переходам рассчитаны все линейные геометрические размеры этого и последующего полуфабрикатов.

Линейные размеры полуфабриката перед высадкой фланца и формированием сферического дна определяются из условия, что его объем включает в себя объем будущего фланца и объем полой части стержня высотой  $h_7$ , прилегающей к полусфере (смотреть рисунок 7, а). Объемом  $V$  (рис. 7, б) вследствие его незначительности ( $60 \text{ мм}^3$ ) можно пренебречь.

Порядок расчета размеров полуфабриката приведен ниже:

$$h_7 = 65 - 8 - 1,755 - 47,13 = 8,115 \text{ мм};$$

$$V_7 = F_{d=22,4} * h_7 = 393,88 * 8,115 = 3196,35 \text{ мм}^3;$$

$$V_8 = V_1 + V_2 + V_7 - V_4 - V_5 = 9043,75 \text{ мм}^3;$$

$$h_8 = V_8 / F_{d=22,4} = 22,96 \text{ мм};$$

$$L = h_8 + (V - V_8) / (F_{d=22,4} - F_{d=18,07}) = 22,96 + 47,6 = 70,56 \text{ мм}.$$

Заготовкой для получения стакана по рис. 7, б (рис. 8, а) должен служить более короткий, а, следовательно, толстостенный стакан, относительная глубина полости и толщина стенки которого обеспечивают формирование его обратным выдавливанием с приемлемыми нагрузками па пуансон.

При этом нельзя превышать и предельно допустимое обжатие (0,3) при вытяжке с утонением стенки. Необходимо также иметь в виду, что толстая донная часть полуфабриката по рис. 8, б деформируется при вытяжке первой и подвергается редуцированию. В связи с этим на ней должна быть предварительно сформирована коническая фаска под углом  $10^\circ$ , соответствующая профилю вытяжки матрицы.



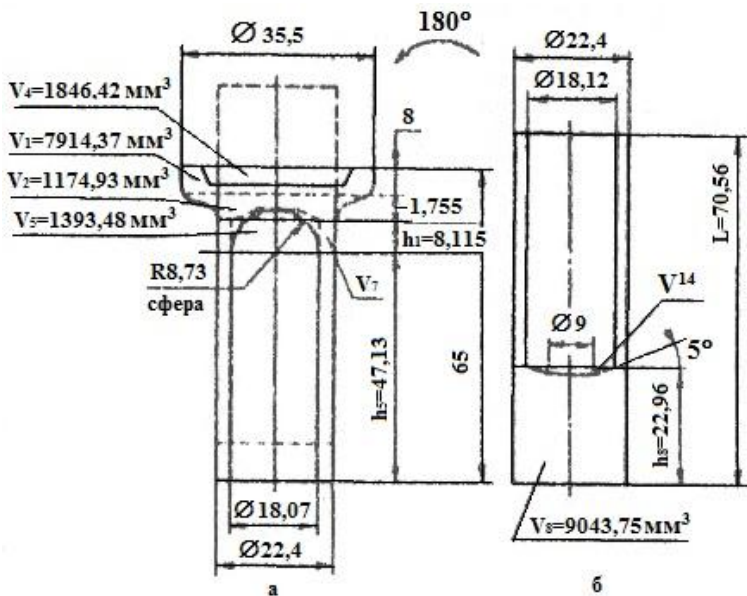


Рисунок 7 – Схема к расчету размеров полуфабриката для высадки фланца и выдавливания сферы

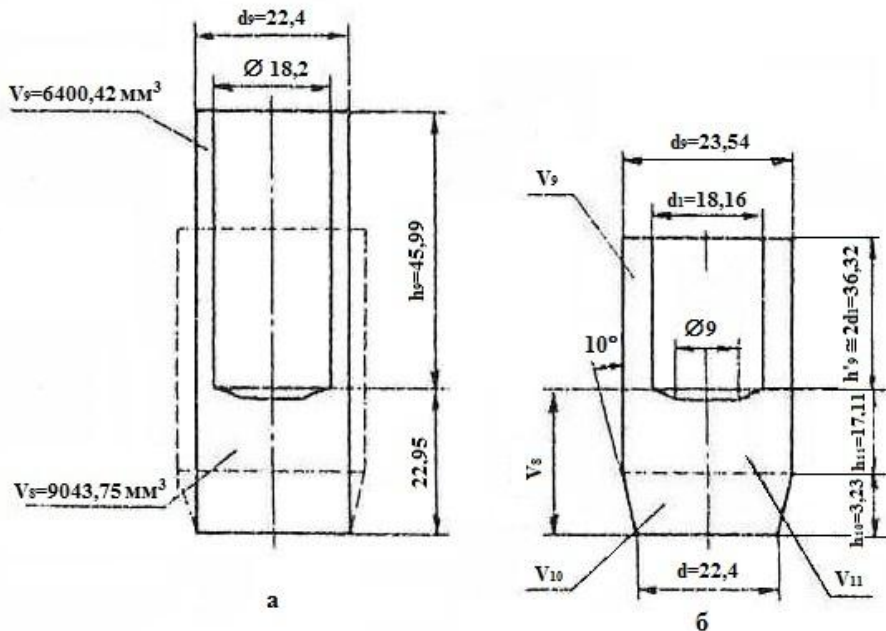


Рисунок 8 – Схема к расчету размеров полуфабриката для

вытяжки с утонением стенки

В связи с изложенным порядок расчета размеров полуфабриката по рис.8, б должен быть следующим:

1) Назначают размер  $d_1 = 18,16$  мм для обеспечения нормального ввода вытяжного пуансона в полость полуфабриката;

2) Вычисляют наружный диаметр исходя из условия постоянства объема  $V_9$  и с учетом равенства  $h'_9 = 2d_1$ :

$$V_9 = (\pi/4) \cdot (d_9^2 - d_1^2) \cdot h'_9 = (\pi/2) \cdot (d_9^2 - d_1^2) \cdot d_1,$$

откуда

$$d_9 = \sqrt{\frac{2V_9}{\pi d_1} + d_1^2} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6400,42}{\pi \cdot 18,16} + 18,16^2} = 23,54 \text{ мм};$$

3) определяют относительное обжатие при обратном выдавливании:

$$\varepsilon_{\text{выд}} = d_1^2 / d_9^2 = 18,16^2 / 23,54^2 = 0,505;$$

$$V = 15524,96 \text{ мм}^3$$

$$V_{12} = V - V'_{10} - V_{13}$$

$$V_{13} = \pi/6 \cdot (23,5^2 - 18,2^2) / 4 = 1040,95 \text{ мм}^3$$

$$V_{12} = 13193,11 \text{ мм}^3$$

$$h_{12} = V_{12} / F_{d=23,5} = 30,4 \text{ мм}.$$

4) определяют относительное обжатие при вытяжке с утонением стенки:

$$\varepsilon_{\text{выт}} = 1 - f/F,$$

где  $f$  и  $F$  — площади поперечного сечения стенки объема  $V_9$  после и до деформирования соответственно, откуда

$$\varepsilon_{\text{выт}} = 1 - (22,4^2 - 18,12^2) / (23,54^2 - 18,16^2) = 0,23;$$

5) определяют относительное обжатие донной части полуфабриката при ее редуцировании через очко вытяжной матрицы:

$$\varepsilon_{\text{ред}} = 1 - (d^2 / d_9^2) = 1 - 22,4^2 / 23,54^2 = 0,094;$$

б) анализируют полученные данные и приходят к выводу, что они являются оптимальными, так как попытки

уменьшить обжатие и нагрузки при обратном выдавливании приведут к превышению предельного обжатия при вытяжке, увеличению количества ее переходов и введению дополнительных промежуточных отжигов;

7) из условия постоянства объема рассчитывают линейные размеры (см. рис. 8, б):

$$h_{10}=(d_9-d)/(2\text{tg}10^\circ)=3,23 \text{ мм};$$

$$h_{11}=(V_8-V_{10})/F_d=23,54;$$

$$V_{10}=(\pi \cdot h_{10}/12) \cdot (d_9^2+d_9 \cdot d+d^2)=((\pi \cdot 3,23)/12) \cdot (23,54^2+23,54 \cdot 22,4+22,4^2)=1338,76 \text{ мм}^3;$$

$$h_{11}=17,71 \text{ мм}.$$

Заготовкой для выдавливания толстостенного стакана по рис. 8, б (рис. 9, а) служит полуфабрикат с фаской  $10^\circ$  и углублением (наметкой) для центрирования пуансона, показанный на рис. 9, б. Глубина наметки, из производственного опыта, выбирается приблизительно равной  $1/3$  ее внутреннего диаметра. Остальные размеры рассчитываются из условия постоянства объема в последовательности, приведенной на рисунке 9.

Заготовка для выдавливания полуфабриката с наметкой по рис. 9, б (рис. 10, а) показана на рис. 10, б. Здесь, так же как и в предыдущих случаях, диаметр заготовки уменьшен для обеспечения ее загрузки в матрицу последующего перехода. На рис. 10 приведен также порядок расчета размеров полуфабриката.

Расчет размеров этой заготовки ясен из рисунка 11.

Исходную заготовку (рис 11, б) выбирают по ГОСТ 7417-75 «Сталь калиброванная круглая. Сортамент». При этом диаметр ее выбирают по ближайшему меньшему значению стандартного ряда – обычно по 4-му классу точности. Это необходимо как для загрузки заготовки в матрицу, так и для

обеспечения ее закрытой осадки (калибрования) – для выравнивания торцов и придания формы, показанной на рисунке 11, а (рисунок 10,б).

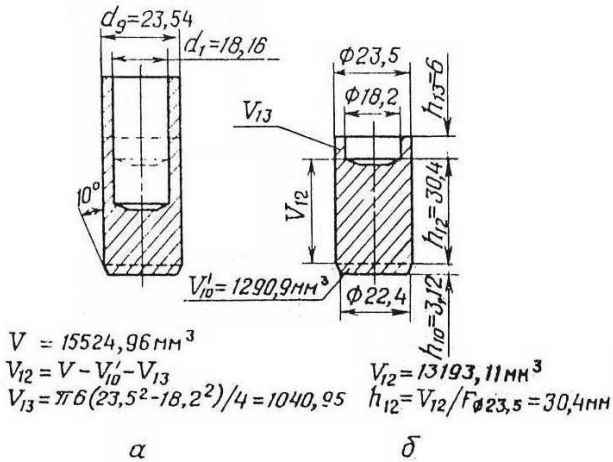


Рисунок 9 – Схема к расчету полуфабриката для обратного выдавливания

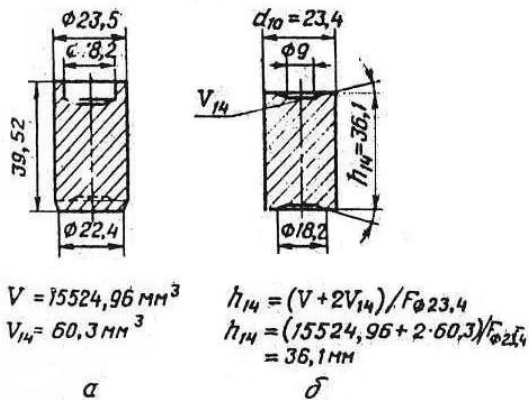


Рисунок 10 – Схема к расчету размеров полуфабриката для выдавливания центрирующего углубления (наметки)

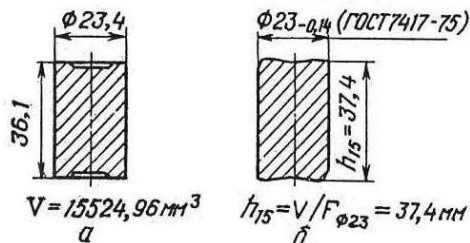


Рисунок 11 – Схема к расчету размеров исходной заготовки

В результате выполненных расчетов разработан технологический процесс, представленный на рисунке 12.

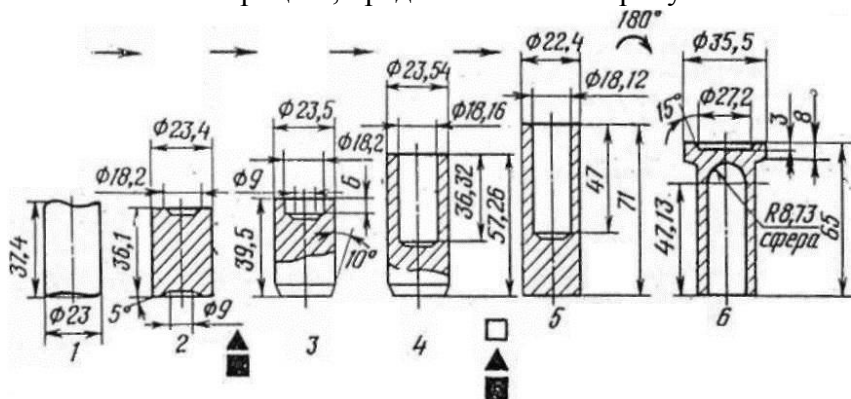


Рисунок 12 – Технологический процесс штамповки толкателя клапана: 1 - отрезка заготовки; 2 - закрытая осадка (калибрование); 3 - выдавливание центрирующего углубления (наметки); 4 - обратное выдавливание; 5 - вытяжка с утонением стенки; 6 - высадка фланца и выдавливание сферы;  $\Delta$ - отжиг;  $\blacksquare$  - фосфатирование;  $\square$  – дефосфатирование.

## 9 Термообработка и фосфатирование заготовок

### Правила выбора режимов термообработки

Теоретически холодной объемной штамповкой можно обрабатывать качественные конструкционные стали, как углеродистые, так и легированные, с химическим составом и механическими свойствами, предусмотренными ГОСТ 1050-74 и ГОСТ 4543-71. Названные стали могут быть разбиты на три основные группы:

**I – с низким сопротивлением деформированию:**

08, 08кп, 10, 10кп, 15, 15кп;

**II – со средним сопротивлением деформированию:**

20, 15X, 15Г, 15XB, 20Г, 20X;

**III – с высоким сопротивлением деформированию:**

30, 35, 40, 45, 30X, 30Г, 35X, 40X, 40XH, ШХ15.

Стали первых двух групп могут применяться для холодного выдавливания, редуцирования и высадки; стали, относящиеся к группе III, главным образом, для холодной высадки и редуцирования.

Для успешного осуществления технологических операций холодной объемной штамповки сталь должна иметь оптимальную макро- и микроструктуру.

В научной литературе содержатся рекомендации по применению термической обработки для повышения технологической пластичности материала заготовки перед ХОШ.

Целью термической обработки заготовок перед штамповкой является:

- повышение технологической пластичности материала заготовки;
- снижение сопротивления деформированию;
- повышение стойкости штампового инструмента.

При выборе режима предварительной термической обработки заготовок перед холодной объемной штамповкой следует руководствоваться данными, приведенными в таблице 4.

При осуществлении технологических операций типа осадки или высадки, для которых характерно наличие окружных растягивающих напряжений, целесообразно использовать металл заготовок с баллом зерна феррита 6-7 по ГОСТ 5639-82.

Для операций выдавливания, отличающихся наличием схемы трехосного сжатия в очаге деформации, которое положительно влияет на пластичность металла, возможны два варианта исходных структур металла заготовок по 5639-82:

- с баллом зерна феррита 3-4 - для неответственных деталей при значительных степенях обжатия;
- с баллом зерна феррита 6-7 - для ответственных деталей.

Таблица 4 – Режимы предварительной термической обработки заготовок

Технологическая операция	Группа стали	Наибольшая степень обжатия**, %	Режим термической обработки	Характеристика получаемой структуры
1	2	3	4	5
Осадка, высадка	I	70	680-700 °С, выдержка 3ч, охлаждение с печью	Зернистость феррита 6-7-, перлит частично сфероидизированный
	II	50-60	То же	То же
	III	40-50	То же	То же
		50-70	Маятниковый отжиг (нагрев до 780 °С, выдержка 1 ч, охлаждение до 680 °С, выдержка 1 ч)-2-4 цикла	То же
Прямое выдавливание	I	80	680-700 °С, выдержка 3-4 ч, охлаждение с печью	Зернистость феррита 6-7, перлит частично сфероидизированный
	II	70	740-760 °С, выдержка 3-4ч***, охлаждение с печью 740-760 °С, выдержка 4-5ч***, охлаждение с печью	Зернистость феррита 3-4, перлит частично сфероидизированный Зернистость феррита 3-4, но большая степень сфероидизации перлита
	III	80	Маятниковый отжиг 1-2- цикла	Зернистый перлит
		70	Маятниковый отжиг 2-4- цикла	То же

Обратное выдавливание	I	55	680-700 °С, выдержка 3 ч, охлаждение с печью  740-760 °С, выдержка 3-4 ч***, охлаждение с печью	Зернистость феррита 6-7, перлит сфероидизированный  Зернистость феррита 3-4, перлит частично сфероидизированный
	II	30-40	То же	То же, но большая степень сфероидизации перлита
	III	30-40	Маятниковый отжиг 4 цикла	Зернистый перлит
		55	Маятниковый отжиг 2 цикла	То же
Редуцирование	I, II, III	30 и 70	680-700 °С, выдержка 3 ч, охлаждение с печью	Зернистость феррита 6-7, перлит частично сфероидизированный

\*\* при штамповке за один переход.

\*\*\* для неотчетственных деталей.

\*\*\*\* при многопереходном редуцировании без промежуточного отжига.

При прямом выдавливании с малыми степенями деформации в матрице с малым углом раствора конического участка деформирование металла заготовки с крупнозернистой структурой может привести к образованию внутренних разрывов. Поэтому при прямом выдавливании в подобных условиях, а также во всех случаях редуцирования рекомендуется использовать металл с баллом зерна феррита порядка 6-7 по ГОСТ 5639-82.

При выдавливании сталей II и III групп со значительными степенями обжатия рекомендуется применять заготовки со



сфероидизированным цементитом. Сферическая форма карбидов железа облегчает развитие пластической деформации, поскольку представляет собой значительно меньшее препятствие для перемещения дислокаций.

Стали 35 и 45 со структурой зернистого перлита показывают при испытаниях на сжатие самое низкое сопротивление деформированию и наименьшую интенсивность упрочнения. При этом их пластические свойства оказываются наилучшими по сравнению с другими структурами (относительное удлинение 28-30%, сужение 65-88%).

Режимы отжига, приведенные в таблице 4, предназначаются для однопереходной или такой многопереходной штамповки, при которой деформированию последовательно подвергаются недеформированные участки заготовки, т.е. для случаев, когда не требуются промежуточные отжиги.

При многопереходной штамповке, когда вся заготовка испытывает многократное деформирование в одной и той же области, что может привести к потере материалом пластичности, появлению разрывов и трещин, вводят межоперационные отжиги. С их помощью снижают уровень остаточных напряжений, уменьшают сопротивление деформированию, более равномерно распределяют механические свойства.

В качестве межоперационного отжига обычно применяют рекристаллизационный отжиг (нагрев до 700-720°C, выдержка в течение 3 ч, охлаждение с печью).

Для отжига среднеуглеродистых сталей типа сталей 45 и 40X наиболее эффективны режимы, включающие предварительную подготовку структуры материала заготовок пути их закалки после длительной аустенитизации при температурах на 70-210 °C выше АС3 и последующий

сфероидизирующий отжиг с фазовой перекристаллизацией.

На рисунке 13 эти режимы представлены в виде графиков. Режимы, представленные графиками на рисунке 13, а, в, рекомендуются для отжига заготовок соответственно из сталей 45 и 40Х перед осадкой и высадкой. Стали, обработанные по этим режимам, обладают наивысшей пластичностью, низкой твердостью и сопротивлением деформированию. Режимы, представленные на рисунке 13, б, г, предназначены для отжига сталей 45 и 40Х перед выдавливанием. Они обеспечивают укрупнение карбидных глобул при одновременном увеличении размера зерен феррита.

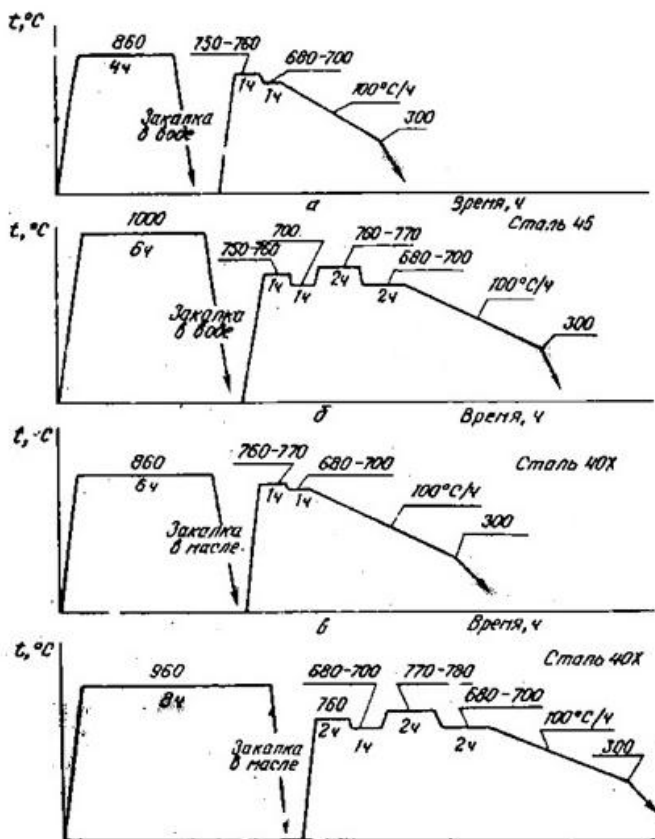


Рисунок 13 – Режимы, включающие предварительную подготовку структуры материала заготовок

Отжиг заготовок перед холодной объемной штамповкой и межоперационный отжиг могут осуществляться практически в любых печах с обязательным последующим травлением или галтовкой заготовок для удаления окалины.

В массовом и крупносерийном производстве наилучшим является применение проходных электрических печей - конвейерных или с роликовым подом. Печи такого типа обладают высокой производительностью (800-1000 кг/ч) и имеют защитную атмосферу, позволяющую осуществлять светлый отжиг. Длительность обработки в них, в зависимости от применяемых режимов отжига, колеблется от 6 до 24 ч.

### **Технология фосфатирования заготовок**

Фосфатирование заготовок рекомендуется осуществлять по технологической схеме, представленной в таблице 5.

Рекомендуемая толщина фосфатного слоя 15-20 мкм, что соответствует поверхностной плотности покрытия 1-1,5 г/дм<sup>2</sup>.

Таблица 5 – Технологический процесс фосфатирования

Наименование операции	Состав раствора	Режим обработки	
		Температура, °С	Время, мин
Обезжиривание	Щелочной раствор КМЭ-1	87-98	5
Промывка в горячей воде		60	1
Травление	Серная кислота (150-180 г/л)	65-75	15
Промывка в горячей воде		70-80	До 5
Промывка в холодной воде душированием		18-25	До 5

Продолжение таблицы 5

Активация	Нитрит натрия (8 г/л)	85-95	Не менее 2
Фосфатирование	Концентрат КФ-1 или КФ-2	90-95	8-10
Промывка в теплой воде		40-45	5
Нейтрализация	Нитрит натрия (41%), нитрат натрия (8%), тетрабонат натрия десятиводного (50%)	15-30	
Омыливание	Стеарат Т2 (120-130 г/л)	75-90	3
Снятие излишков мыла	Обезжири- ватель 11/6	75-80	1
Сушка		100-120	10-15

Проверку толщины покрытия осуществляют следующим образом. Фосфатируют пластинку из листовой стали, промывают, высушивают и взвешивают на аналитических весах. Затем удаляют фосфатный слой обработкой в течение 15 мин в 10%-ном растворе едкого натра при 60-70 °С и протиркой влажным тампоном. После промывки горячей водой и сушки пластинку снова взвешивают. Плотность покрытия определяют по формуле:

$$p = \frac{a - b}{S} \cdot 10000, \text{ где}$$

$p$  – плотность фосфатного покрытия, г/м<sup>3</sup>;

$a$  – масса фосфатированной пластинки, г;

$b$  – масса пластинки без покрытия, г;

$S$  – площадь поверхности пластинки, см<sup>2</sup>.

Перед промежуточными отжигами, а также перед окончательной термической обработкой применяется

дефосфатирование полуфабрикатов и штампованных деталей, так как фосфатный слой засоряет защитную атмосферу печей для отжига и ухудшает качество термообработки готовых деталей.

Характеристика технологического процесса для дефосфатирования приведена соответственно в таблице 6.

Таблица 6 – Технологический процесс дефосфатирования

Наименование	Состав раствора	Режим обработки	
		Температура, °С	Время, мин
Промывка в горячей воде		70-80	2
Химическое обезжиривание	Натр едкий (5-15 г/л), тринатрийфосфат (15-35 г/л), сода кальцинированная (15-35 г/л), ситанол ДС-10 (3-5 г/л)	60-80	10
Промывка в теплой воде каскадная		50-60	2
Дефосфатирование	Кислота серная или соляная 10-15%ная	18-22	10
Промывка в холодной воде		18-25	2
Нейтрализация в горячем содовом растворе	Сода кальцинированная (25-50г/л)	50-70	2
Промывка в горячей воде		70-80	2
Сушка		110	5

## 10 Расчет усилий и работ деформирования

На рисунке 12 представлен технологический процесс штамповки толкателя клапана. Расчет усилий каждой операции приведен ниже.

### Усилие отрезки заготовки

Это усилие подсчитывается по широко известной элементарной формуле:

$$P = 0,8 \cdot \sigma_B \cdot F, \text{ где}$$

$\sigma_B$  – предел прочности штампуемого материала на растяжение;

F – площадь поперечного сечения исходного прутка.

Таким образом,

$$P = 0,8 \cdot 65 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 232 = 21593,78 \text{ кгс} = 21,6 \text{ тс} (211,8 \text{ кН}).$$

### Усилие закрытой осадки (калибрования) заготовки

Расчет начинается с определения исходного зазора  $a_0$  между заготовкой и стенкой матрицы (смотреть схему 8 в таблице 2 и поз. 1, 2 на рисунке 12):

$$a_0 = (d - d_0) / 2 = (23,4 - 23) / 2 = 0,2 \text{ мм.}$$

Затем задаются величиной недоштамповки:  $a_1 = 0,1 \text{ мм.}$

Определяют степень деформации в следующем порядке:

$$Y_0 = 2 \ln(d / d_0) = 2 \ln(23,4 / 23) = 0,0345;$$

$$Y_2 = 1,82 \cdot ((a_0 - a_1) / (d / 2)) \cdot (1 + ((a_0 + a_1) / 2d)) = 1,82 \cdot ((0,2 - 0,1) / 11,7) \cdot (1 + ((0,2 + 0,1) / (2 \cdot 23,4))) = 0,0156;$$

$$Y = Y_0 + Y_2 = 0,0345 + 0,0156 = 0,0501.$$

Определяют наибольшее напряжение течения:

$$\sigma_{S1} = A \exp(n \ln Y) = 96,05 \cdot \exp(0,33449 \cdot \ln 0,0501) = 35,28 \text{ кгс/мм}^2.$$

Величину  $\sigma_{S0}$  определяют по таблице 3 – для стали 40, так

как данные для стали 35 отсутствуют.

Определяют среднее значение напряжения течения:

$$\sigma_{SCP} = (\sigma_{S0} + \sigma_{S1}) / 2 = (90 + 35,28) / 2 = 32,64 \text{ кгс/мм}^2.$$

Рассчитывают площадь контакта пуансона с заготовкой в конце хода:

$$F_1 = (\pi/4) * (d - 2a_1)^2 = 0,785 * (23,4 - 2 * 0,1)^2 = 422,52 \text{ мм}^2.$$

Подставляют полученные данные в соответствующую формулу – (10) из таблицы 1:

$$P = F_1 * \sigma_{SCP} (1 + ((d/2) / (22,5a_1))) = 422,52 * 32,64 (1 + ((23,4/2) / (22,5 * 0,1))) = 85504,52 \text{ кгс} = 85,5 \text{ тс} (838,5 \text{ кН}).$$

Находят удельное усилие закрытой осадки:

$$p = P / F_1 = 85504,52 / 422,52 = 202,37 \text{ кгс/мм}^2 (1984,5 \text{ МПа}).$$

Далее определяют необходимую работу деформирования ( $A_{\text{деф}} = Psk$ ) в таком порядке:

1 рассчитывают ход пуансона по разнице высот исходной и осаженой заготовок:

$$S = 37,4 - 36,1 = 1,3 \text{ мм} = 0,0013 \text{ м};$$

2 выбирают коэффициент заполнения графика «усилие – путь»:  $k = 0,5$ .

Таким образом, работа деформирования

$$A_{\text{деф}2} = 85504,52 - 0,0013 * 0,5 = 55,58 \text{ кгс*м} (545 \text{ кН*м}).$$

### **Усилие выдавливания углубления (наметки)**

Расчет ведется по схеме 3 и формуле (5) (см. таблицу 2), так как рассматриваемая операции представляет собой стационарную стадию обратного выдавливания, когда  $h_1 > 0,7d$ ,

Сначала определяют степень деформации:

$$U = 2 \ln(d_0/d) = 2 \ln(23,5/18,2) = 0,511.$$

Рассчитывают величину напряжения течения:

$$\sigma_{S1} = 96,05 * \exp(0,33449 * \ln 0,511) = 76,72 \text{ кгс/мм}^2.$$

Определяют среднее значение напряжения течения

(значение  $\sigma_{S0}$  см. в табл. 2):

$$\sigma_{SCP}=(\sigma_{S0}+\sigma_{S1})/2=(30+76,72)/2=53,36 \text{ кгс/мм}^2.$$

Вычисляют площадь проекции торца пуансона (см. таблицу 2):

$$F_1 - 0,785d_2 = 0,785*18,22 - 260,15 \text{ мм}^2.$$

Подставив исходные и предварительно рассчитанные данные в формулу (5), получают:

$$P=260,15*53,36(((3/2)+(23,52/(23,52-18,22))*(\ln(23,5/18,2)-0,1(18,2/23,5)))+(23,52-18,22)/2*18,22)+(1/2))/(1-0,1((2/3)+2(18,22/(23,52-18,22))(18,2/23,5)))=54971,15 \text{ кгс} = 54,97 \text{ тс} (539 \text{ кН}).$$

### **Удельное усилие выдавливания наметки**

$$p = P/F_1 = 54971,15/260,15 = 211,3 \text{ кгс/мм}^2 (2072 \text{ МПа}).$$

Работа деформирования вычисляется в следующей последовательности.

Определяют величину рабочего хода  $S$  пуансона, который состоит здесь из двух участков:

$S_1$  – отрезок, соответствующий формированию фаски на торце;

$S_2$  – отрезок, соответствующий выдавливанию собственно наметки.

Из условия постоянства объема:

$$S_1=(4V_{\phi})/(\pi d_0^2), \text{ где}$$

$d_{\phi}$  – объем фаски с углом  $10^\circ$ :

$$d_0 = 23,5 \text{ мм.}$$

Из рис. 9, б

$$V_{\phi} = V'_{10} = 1290,9 \text{ мм}^3.$$

Подставив значения в формулу, получают:

$$S_1=(4*1290,9)/(\pi*23,5^2)=2,98 \text{ мм,}$$

Отрезок хода также определяют из условия постоянства



объема:

$$S_2=(4V_{ст})/(\pi d_0^2),$$

где  $V_{ст}$  – объем трубчатой части детали на глубине наметки.

Из рисунка 9 (б)  $V_{ст}=V_{13}=1040,95 \text{ мм}^3$ .

Подставив значения в формулу, получают:

$$S_2=(4*1040,95)/(\pi*23,5^2)=2,4 \text{ мм}.$$

Таким образом,

$$S=S_1+S_2=2,98+2,4=5,38 \text{ мм} = 0,0054 \text{ м}.$$

Коэффициент заполнения графика «усилие-путь» принимают равным 0,88.

Отсюда работа деформирования

$$A_{дефS}=54971,15*0,0054*0,88=261,2 \text{ кгс*м} (2561,7 \text{ кН*м}).$$

### **Усилие обратного выдавливания**

Этот расчет является повторением предыдущего, с подстановкой несколько измененных геометрических размеров  $d_0$  и  $d$  и, соответственно, степени деформации  $U$  и хода  $S$  пуансона.

Определяют степень деформации:

$$\varphi=2\ln(d_0/d)=2\ln(23,54/18,18)=0,519.$$

Рассчитывают величину напряжения течения:

$$\sigma_{S1}=96,05\exp(0,33449*\ln 0,519)=77,13 \text{ кгс/мм}^2.$$

Определяют среднее значение напряжения течения (значение  $\sigma_{S0}$  смотреть в таблице 3):

$$\sigma_{Scp}=(\sigma_{S0}+\sigma_{S1})/2=(30+77,13)/2=53,56 \text{ кгс/мм}^2.$$

Вычисляют площадь проекции торца пуансона:

$$F_1=0,765d_2=0,785*18,162=259,013 \text{ мм}^2.$$

Подставив исходные и предварительно рассчитанные данные в формулу (5), получают:

$$P=259,013*53,56(((3/2)+(23,542/(23,542-$$

$18/162))(\ln(23,54/18,16)-0,1(18,16/23,54)+((23,542-18,162)/(2*18,162))+(1/2))/(1-0,1((2/3)+2(18,162/(23,542-18,162)))(18,16/23,54))=54802,42\text{кгс}=54,8\text{тс} (537,4\text{кН}).$

Удельное усилие обратного выдавливания

$$p = P/F_1 = 54802,42/259,013 - 211,68 \text{ кгс/мм}^2 (2075 \text{ МПа}).$$

Ход пуансона для расчета требуемой работы деформирования может быть определен из рис. 8 (б) и 9 (б) как разность толщины полуфабриката до и после выдавливания:

$$S = 33,52 - 20,94 = 12,58 \text{ мм}=0,0126 \text{ м}.$$

Отсюда работа деформирования

$$A_{\text{деф4}} = 54802,42*0,0126*0,88=607,65 \text{ кгс*м} (5959 \text{ кН*м}).$$

### **Усилие вытяжки с утонением**

Данная операция практически состоит из двух этапов: редуцирования сплошной (донной) части и вытяжки с утонением полый части.

а) Редуцирование донной части.

Расчет осуществляется по схеме 6 и формуле (8) (см. таблицу 2).

Определяют площадь проекции торца пуансона:

$$F_0 = (\pi/4)*d_0^2 = (\pi/4)*18,12^2 = 257,74 \text{ мм}^2.$$

Вычисляют степень деформации при редуцировании донной части (см. схему 4 в таблице 2):

$$U = \ln(d_0^2/d^2) = \ln(23,52/22,4^2) = 0,099.$$

Рассчитывают величину напряжения течения:

$$\sigma_{S1} = 96,05 \exp(0,33449*\ln 0,099) = 44,3 \text{ кгс/мм}^2.$$

Таким образом, усилие редуцирования

$$\begin{aligned}
 P' &= F_0*\sigma_{S1} = [U(1,01+(2\mu)/(\sin 2\alpha))+0,77\text{tg}\alpha] = 257,74*44,3* \\
 &*[0,099(1,01+(2*0,1)/\sin 20^\circ)+0,77\text{tg} 10^\circ] = 3364,2\text{кгс} = \\
 &= 3,4 \text{ тс} = (32,9\text{кН}).
 \end{aligned}$$

Удельное усилие редуцирования

$$p = P/F_0 = 3364,2/257,74 = 18,05 \text{ кгс/мм}^2 \text{ (128МПа)}.$$

Рабочий ход пуансона на стадии редуцирования определяется по схеме на рисунке 14 (а). Условно примем, что редуцирование прекращается при достижении торцом пуансона середины фаски с углом  $10^\circ$ .

Тогда

$$S_1 = 17,71 + 1,615 = 19,325 \text{ мм} = 0,0193 \text{ м}.$$

Отсюда работа деформирования при редуцировании

$$A'_{\text{деф5}} = P'_{S_1} * 0,88 = 3364,2 * 0,0193 * 0,88 = \\ = 57,13 \text{ кгс*м (560 кН*м)}$$

б) Вытяжка с утонением стенки

Расчёт ведется по схеме 4 и формуле (6) в таблице 2.

Определяют площадь поперечного сечения трубчатой части стакана до вытяжки (см. рис. 12, поз. 4):

$$F_0 = (\pi/4) * (23,542 - 18,162)^2 = 176,11 \text{ мм}^2.$$

Определяют площадь поперечного сечения трубчатой части стакана после вытяжки (см. рис. 12, поз. 5):

$$F_1 = (\pi/4) (22,42 - 18,122)^2 = 136,14 \text{ мм}^2.$$

$$S_1 = 17,71 + 1,615 = 19,325 \text{ мм}$$

$$S_2 = 46,99 + 1,615 = 48,605 \text{ мм}.$$

Вычисляют степень деформации как логарифм отношения этих площадей:

$$U = \ln(F_0/F_1) = \ln(176,11/136,14) = 0,257.$$

Определяют величину угла  $\alpha = 10^\circ$  в радианах:

$$\alpha = (2\pi\alpha_0/360^\circ) = (2\pi 10^\circ/360^\circ) = 0,1745 \text{ рад}.$$

Принимают коэффициент трения  $\mu = 0,1$ .

Рассчитывают величину напряжения течения:

$$\sigma_{S1} = 96,05 \exp(0,33449 * \ln 0,257) = 60,97 \text{ кгс/мм}^2.$$

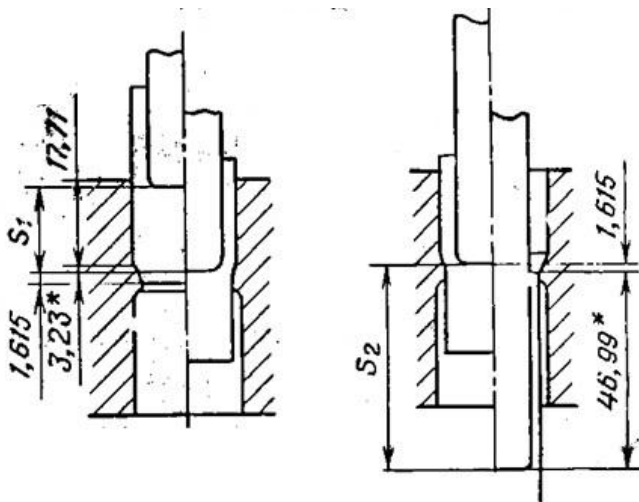


Рисунок 14 – Схема к расчету величины хода пуансона при вытяжке с утонением: а – стадия редуцирования донной части; б – стадия вытяжки с утонением стенки.

Определяют площадь проекции торца пуансона:

$$F_{\text{п}} = (\pi/4) \cdot d_{02}^2 = (\pi/4) \cdot 18,122^2 = 257,74 \text{ мм}^2.$$

Таким образом, усилие вытяжки с утонением

$$P'' = F_{\text{п}} \sigma_{S1} = Y(1 + (\mu/\cos\alpha \cdot \sin\alpha) + ((1/2) \cdot (\alpha/Y))) = \\ = 257,74 \cdot 60,97 \cdot 0,257(1 + (0,1/(\cos 10^\circ \cdot \sin 10^\circ)) + \\ + (1/2)(0,1745/0,257)) = 11809,9 \text{ кгс} = 11,81 \text{ тс} (115,82 \text{ кН}).$$

Удельное усилие вытяжки с утонением

$$p = P''/F_{\text{п}} = 11809,9/257,74 = 45,82 \text{ кгс/мм}^2 (449 \text{ МПа}).$$

Участок хода пуансона, соответствующий вытяжке с утонением, определяется по схеме на рис. 14 (б):

$$S_2 = 1,615 + 46,99 = 48,605 \text{ мм} = 0,0486 \text{ м}.$$

Отсюда работа деформирования при вытяжке с утонением

$$A''_{\text{деф5}} = P'' \cdot S_2 \cdot 0,88 = 11809,9 \cdot 0,0486 \cdot 0,88 = 505,08 \text{ кгс} \cdot \text{м} = \\ = (4953 \text{ кН} \cdot \text{м}).$$

Таким образом, общая работа деформирования на 5-й операции (смотреть рисунок 12, позиция 5) будет равна

$$A_{\text{деф5}} = A'_{\text{деф5}} + A''_{\text{деф5}} = 57,13 + 505,08 = 562,21 \text{ кгс} \cdot \text{м} (5513 \text{ кН} \cdot \text{м})$$

## Усилие высадки фланца и выдавливания сферы

Данная операция представляет собой комбинированный нестационарный процесс с двумя направлениями истечения металла: во фланец и в кольцевой зазор между матрицей и пуансоном. При этом наибольшее усилие наблюдается в конце хода пуансона при почти оформленном фланце и продолжающемся истечении металла в упомянутый кольцевой зазор. Для расчета этого усилия можно применить схему прямого выдавливания стакана с дополнительным обжатием поперечного сечения заготовки (см. схему 15 в таблице 2).

Сферической формой торца контрпуансона здесь можно пренебречь, так как формула расчета усилия, в данном случае, получена фактически методом верхней оценки и дает заметно завышенные результаты по сравнению с экспериментальными данными.

Согласно формуле, указанной в схеме 15 таблицы 2, усилие штамповки на операции 6 по рис. 12 составляет:

$$P = \sigma_{ср} \cdot F_0 \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left[ \frac{\sqrt{3}}{m^2 \cdot k_1^2} + \frac{d}{3 \cdot m^2 \cdot k_1^2 \cdot h} + A_1 + \frac{D_0}{h} \cdot A_2 + \frac{2 \cdot h}{m \cdot k_1 \cdot D_0} \cdot A_3 + \right. \\ \left. + A_4 + \frac{D_0}{h} \cdot A_5 + A_6 + \frac{D_0}{h} \cdot A_7 + \frac{2 \cdot h}{m \cdot D_0} \cdot A_8 + \mu \cdot \left( \frac{4 \cdot H}{D_0} - \frac{2 \cdot h}{D_0} \right) \right]$$

Порядок расчета следующий:

Сначала определяют параметры, характеризующие соотношения основных геометрических размеров детали.

Коэффициент обжатия:

$$m = (D_0/d_1) = 35,5/22,4 = 1,585.$$

Коэффициент толстостенности:

$$K_1 = d_1/d = 22,4/18,07 = 1,24.$$

Коэффициент:

$$k = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D_0}{d}\right)^2 - \left(\frac{d_1}{d}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{35,5}{18,07}\right)^2 - \left(\frac{22,4}{18,07}\right)^2}} = 0,548$$

Далее рассчитывают коэффициенты уравнения:

$$A_1 = \frac{1}{1,24^2 - 1} \cdot \left\{ 2 + \ln \frac{1}{3} \cdot \left[ 1,585^2 \cdot 0,548^2 \cdot 1,24^2 + \sqrt{3 + (1,585 \cdot 0,548 \cdot 1,24)^4} \right] - \sqrt{3 \cdot \left( \frac{1}{1,585 \cdot 0,548 \cdot 1,24} \right)^4 + 1} \right\} = 0,523$$

$$A_2 = \frac{1}{1,24^2 - 1} \cdot \left( \frac{2}{3} \cdot 0,548 + \frac{1}{3 \cdot 1,585^3 \cdot 1,24^3 \cdot 0,548^2} - \frac{1}{1,585 \cdot 1,24} \right) = 0,00509;$$

$$A_3 = \frac{1,585^2 \cdot 1,24^2}{1,24^2 - 1} = 7,185;$$

$$A_4 = 2 + \ln \frac{1}{3} \cdot \left( 1,585^2 + \sqrt{3 + 1,585^4} \right) - \sqrt{1 + \frac{3}{1,585^4}} = 1,403;$$

$$A_5 = \frac{2}{3} + \frac{1}{3 \cdot 1,585^3} - \frac{1}{1,585} = 0,119;$$

$$A_6 = \frac{1}{1,24^2 - 1} \cdot \left\{ \sqrt{3 \cdot \left( \frac{1}{1,585 \cdot 0,548} \right)^4 + 1} - \ln \frac{1}{3} \cdot \left[ 1,585^2 \cdot 0,548^2 + \sqrt{3 + (1,585 \cdot 0,548)^4} \right] - 2 \right\} = 1,173$$

$$A_7 = \frac{1}{1,24^2 - 1} \cdot \left( \frac{2}{3} \cdot 0,548 + \frac{1}{3 \cdot 1,585^3 \cdot 0,548^2} - \frac{1}{1,585} \right) = 0,0245$$

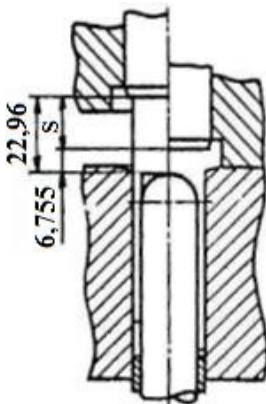


Рисунок 15 – Схема высадки фланца

$$S=22,96-6,755=16,205 \text{ мм.}$$

В связи с малым расстоянием между торцами пуансона и контрпуансона при данном способе штамповки (см. рис. 15) можно принять, что это расстояние соответствует высоте пластической зоны, что несколько сокращает объем вычислений и практически не влияет на их точность.

Площадь проекции торца высадочного пуансона будет равна

$$F_0 = (\pi/4)D_2^2 = (\pi/4)*35,52^2 = 989,3 \text{ мм}^2.$$

Степень деформации определяют исходя из следующих соображений.

Из схемы на рисунке 15 видно, что наибольшая осевая деформация сжатия будет иметь место на оси штамповки в зоне вершины сферического контрпуансона. В зоне головки, соответствующей стенке полого стержня детали, осевые деформации будут растягивающими. В зоне заплечика снова появятся деформации сжатия. При этом деформирование сферы будет осуществляться в основном за счет облегания торца контрпуансона плоским дном полуфабриката.

На основании этого можно с достаточной уверенностью утверждать, что преобладающей при формировании фланца будет окружная деформация. Ее и следует принять за ориентировочную меру интенсивности деформаций, т.е. степень деформации:

$$\varphi = \ln(D_0/d_1) = \ln(35,5/22,4) = 0,46.$$

Отсюда наибольшее значение напряжения течения

$$\sigma_{S1} = 96,05 \exp(0,33449 * \ln 0,46) = 74,08 \text{ кгс/мм}^2.$$

Среднее значение напряжения течения будет равно (значение  $\sigma_{S0}$  взято из табл. 2):

$$\sigma_{SCP} = (\sigma_{S0} + \sigma_{S1})/2 = (30 + 74,08)/2 = 52,04 \text{ кгс/мм}^2.$$

Таким образом, усилие штамповки по формуле (17)

$$P = 52,04 \cdot 989,3 \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left[ \frac{\sqrt{3}}{1,585^2 \cdot 1,24^2} + \frac{18,07}{3 \cdot 1,585^2 \cdot 1,24^2} \cdot \frac{18,07}{6,755} + 0,523 + \frac{35,5}{6,755} \cdot 0,00509 + \right. \\ \left. + \frac{2 \cdot 6,775}{1,585 \cdot 1,24 \cdot 35,5} \cdot 7,185 + 1,403 + \frac{35,5}{6,755} \cdot 0,119 + 1,173 + \frac{35,5}{6,755} \cdot 0,0245 + \frac{2 \cdot 6,775}{1,585 \cdot 35,5} \cdot 7,185 + \right. \\ \left. + 0,1 \cdot \left( \frac{4 \cdot 6,755}{35,5} - \frac{2 \cdot 6,755}{35,5} \right) \right] = 52,04 \cdot 989,3 \cdot \left( \frac{1}{\sqrt{3}} \right) \cdot 7,71 = 229170,67 \text{ кгс} = 229,17 \text{ тс} (2247,4 \text{ кН})$$

Удельное усилие высадки фланца:

$$p = P/F_0 = 229170,67/989,3 = 231,65 \text{ кгс/мм}^2 (2271,7 \text{ МПа}).$$

Рабочий ход пуансона при высадке фланца по рис. 15 равен толщине дна полуфабриката за вычетом расстояния между торцами пуансонов в конце хода:

$$S = 22,98 - 6,755 = 16,205 \text{ мм} = 0,0162 \text{ м}.$$

Работа деформирования при высадке фланца:

$$A_{\text{дефб}} = PS \cdot 0,5 = 229170,67 \cdot 0,0162 \cdot 0,5 = 1856,28 \text{ кгс} \cdot \text{м} = (18204 \text{ кН} \cdot \text{м}).$$

## 11 Выбор оборудования

Для выбора технологического оборудования сведем все результаты расчета в таблицу 7.

Анализируя результаты расчета и, учитывая массовый характер производства толкателей, а также то обстоятельство, что в связи с высоким сопротивлением деформированию стали 35 технологический процесс придется прерывать отжигами и фосфатированиями, приходим к выводу, что его следует осуществлять на отдельных прессах со средствами автоматизации.

С целью обеспечения наивысшей производительности и уменьшения капитальных затрат операции отрезки и осадки заготовок целесообразно объединить и выполнять на однопозиционном одноударном автомате для штамповки роликов.



По диаметру исходного материала (см. рис. 12), равного 23 мм, габаритным размерам осаженной заготовки ( $\varnothing 23,4 \times 36,1$  мм) и усилию осадки (1163 кН) выбираем из типажа кузнечно-прессового оборудования автомат мод. А3724А.

Прессы для выполнения операций с 3-й по 6-ю выбираются из рис. 29 по номинальному усилию, запасу работы, величине рабочего хода и числу ходов пуансона - показателям, которые сопоставляются с аналогичными параметрами технологического процесса из рисунка 25.

Поскольку речь идет о массовом производстве толкателей (16 деталей на 1 автомобиль - около 5 млн. шт. в год), прессы должны работать в автоматическом режиме. Ориентируясь на это, выбирают модификацию прессы по числу ходов и запасу полезной работы.

Очевидно, что в связи с большим количеством переходов и реализацией их на отдельных однопозиционных прессах с индивидуальными средствами автоматизации целесообразно, чтобы на участке штамповки толкателей были установлены прессы одной модели. Это обеспечит их взаимозаменяемость в аварийных ситуациях и облегчит обслуживание и ведение инструментального хозяйства.

Модель прессы следует выбирать по наиболее нагруженной операции и операции с наибольшим ходом пуансона. Таковыми являются высадка фланца с формированием сферы и вытяжка с утонением (см. таблицу 7).

Таблица 7 – Результаты расчетов

№ опер. по рис 12	Операция	S мм	P max		p max		Адеф	
			тс	кН	Кгс/мм <sup>2</sup>	МПа	Кгс*м	кН*м
1	Отрезка заготовки	-	21,6	211,8	-	-	-	-
2	Закрытая осадка (калибрование) заготовки	1,3	85,5	838,5	202,37	1984,5	55,58	545
3	Выдавливание наметки	5,4	54,97	539	211,3	2072	261,2	2561,7
4	Обратное выдавливание	12,6	54,8	537,4	211,58	2075	607,65	5959
5	Вытяжка с утонением стенки	67,9	11,81	115,8	45,82	449	562,2	5513
6	Высадка фланца и выдавливание сферы	16,2	229,17	2247,4	231,65	2271,7	1856,28	18204

Из сравнения данных таблицы 7 и рис. 29 очевидно, что для осуществления 3 – 6-й операций штамповки толкателя (см. рис. 12) необходим пресс мод. КБ0034 номинальным усилием 2500 кН, имеющий запас работы на непрерывных ходах 22,5 кН\*м, ход ползуна 200 мм, число ходов до 40 в минуту, развивающий номинальное усилие за 11 мм до крайнего нижнего положения. Некоторое несоответствие значений ходов пуансонов на операциях 4, 5 и 6 (см. рис. 12) с параметрами прессы легко объясняется из рис. 16, где кривые «усилие – путь» операций с 3-й по 6-ю наложены на график допускаемых усилий прессы. Некоторым незначительным превышением расчетного усилия на операции высадки фланца можно пренебречь.

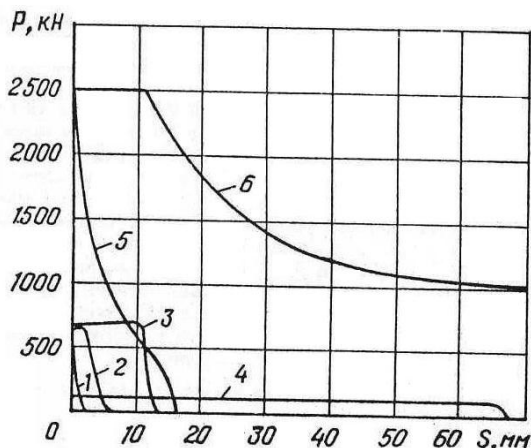


Рисунок 16 – Диаграммы усилий на операциях штамповки толкателя клапана и график допускаемых усилий пресса мод. КБ0034: 1– закрытая осадка заготовки; 2 – выдавливание наметки; 3 – выдавливание обратное; 4 – вытяжка с утонением; 5 –высадка фланца; 6 – график допускаемых усилий пресса мод. КБ0034

## 12 Расчет усилий выталкивания из матриц и съема с пуансонов

Геометрические размеры, необходимые для расчета усилий выталкивания, полуфабрикатов и готовой детали ( $d_0$ ,  $d$ ,  $H$ ), следует брать из рис. 12.

Операция 2. Закрытая осадка (калибрование) заготовки.

Значение напряжения течения  $\sigma_{S1}=35,28$  кгс/мм<sup>2</sup>.

Таким образом, усилие выталкивание заготовки из матрицы после закрытой осадки

$$F_{B2}=0,785d_2\sigma_{S1}[1-\exp(-(4\mu/d)*H)]=0,785*23,42*35,28*[1-\exp(-(4*0,1/23,4)*36,1)]=6983,13 \text{ кгс}=6,98 \text{ тс} (68,48 \text{ кН}).$$

Операция 3. Выдавливание углубления (наметки).

Полуфабрикат после этой операции является практически сплошной деталью, так как глубина наметки невелика. Поэтому расчет усилия выталкивания должен производиться по формуле (18), а значение напряжения течения следует принимать

$$\sigma_{S1}=35,28 \text{ кгс/мм}^2.$$

Тогда усилие выталкивания полуфабриката с наметкой

$$F_{B3}=0,785 \cdot 23,52 \cdot 35,28 \cdot [1 - \exp(-4 \cdot 0,1/23,4) \cdot 39,5)] = 7486,4 \text{ кгс} = 7,49 \text{ тс} \quad (73,45 \text{ кН}).$$

Операция 4. Обратное выдавливание.

В связи со значительной толщиной дна стакана, получаемого на этой операции, наибольшее усилие выталкивания  $F_{B4}$  должно быть, определено как сумма усилий выталкивания сплошной ( $F_{\text{сплш}}$ ) и полый ( $F_{\text{пол}}$ ) его частей. В соответствии с этим в расчет вводятся значения напряжений течения  $\sigma_{\text{сплш}}$  и  $\sigma_{\text{пол}}$ .

Усилие выталкивания сплошной части стакана определим по формуле

$$F_{\text{сплш}} = 0,785 d_2 \sigma_{\text{сплш}} [1 - \exp(-(4\mu/d) \cdot H)],$$

где по рисунку 12, длина  $H$  сплошной части выдавленного стакана определяется как

$$H = 57,26 - 36,32 = 20,94 \text{ мм}.$$

После подстановки в формулу исходных данных получаем:

$$F_{\text{сплш}} = 0,785 \cdot 23,542 \cdot 35,28 \cdot [1 - \exp(-4 \cdot 0,1/23,54) \cdot 20,94)] = 4594,78 \text{ кгс} = 4,59 \text{ тс} \quad (45 \text{ кН}).$$

Усилие выталкивания полый части стакана определим по формуле

$$F_{\text{пол}} = 0,785 d_0 (d_0 - d) \sigma_{\text{пол}} [1 - \exp(-(4\mu/(d_0 - d)) \cdot H)],$$

Где, по рисунку 12,  $H$  – длина полый части выдавленного стакана.

После подстановки в формулу исходных данных получаем:

$$F_{\text{пол}} = 0,785 \cdot 23,54 \cdot (23,54 - 18,16) \cdot 77,13 \cdot [1 - \exp(-4 \cdot 0,1/(23,54 - 18,16)) \cdot 36,32)] = 7152,85 \text{ кгс} = 7,15 \text{ тс} \quad (70 \text{ кН}).$$

Таким образом, общее усилие выталкивания

$$F_{B4} = F_{\text{сплш}} + F_{\text{пол}} = 4,59 + 7,15 = 11,74 \text{ тс} \quad (109 \text{ кН}).$$

Для расчета усилия  $F_{c4}$  объема детали с пуансона

несколько преобразуем формулу (20), подставив вместо  $H$  величину  $l_k$ , соответствующую высоте калибрующего пояска пуансона – по рисунку 26. Значение напряжения течения примем равным  $\sigma_{S1}=77,13$  кгс/мм<sup>2</sup>.

Из таблицы на рисунке 26  $l_k = 0,5 \cdot \sqrt{d}$ . Подставив  $d=18,16$ ,  
 $l_k = 0,5 \cdot \sqrt{d} = 2$  мм.

Усилие съема с пуансона

$F_{c4}=0,785d_0(d_0-d)\sigma_{S1}[1-\exp(-(4\mu l_k/(d_0-d)))] = 0,785 \cdot 18,16 \cdot (23,54 - 18,16) \cdot 77,13 \cdot [1 - \exp(-(4 \cdot 0,1 \cdot 2 / (23,54 - 18,16)))] = 817,35$  кгс = 0,82 тс (8кН).

Операция 5. Вытяжка с утонением.

Здесь рассчитывается только усилие  $F_{c5}$  съема с пуансона. В расчете используется значение  $\sigma_{S1}=60,97$  кгс/мм<sup>2</sup>. Величину  $H$  принимаем равной глубине полости стакана после вытяжки (смотреть позицию 5 на рисунке 12).

$F_{c5}=0,785 \cdot 18,12 \cdot (22,4 - 18,12) \cdot 60,97 \cdot [1 - \exp(-(4 \cdot 0,1 \cdot 47 / (22,4 - 18,12)))] = 3665,92$  кгс = 3,66 тс (35,9кН).

Операция 6. Высадка фланца и формирование сферы.

Наибольшее усилие выталкивания определяется здесь как сумма

$F_{в6} = F_{сплш} + F_{пол} + F_c$ .

При расчете величины  $F_{сплш}$  воспользуемся значением  $\sigma_{Scp}=52,04$  кгс/мм<sup>2</sup>, величину  $H$  примем равной высоте фланца (смотреть рисунок 12).

Отсюда

$F_{сплш} = 0,785 \cdot 35,52 \cdot 52,04 \cdot [1 - \exp(-(4 \cdot 0,1 / 35,5) \cdot 8)] = 4437,6$  кгс = 4,44 тс (43,5кН).

При расчете величины  $F_{пол}$  величину напряжения течения примем равной 60,97 кгс/мм<sup>2</sup>. Величина  $H$  должна соответствовать значению  $L_k$  – по рисунку 24, так как в матрице должен быть предусмотрен цилиндрический поясок как при

прямом выдавливании:

$$H = 0,2 * 18,07 = 3,6 \text{ мм.}$$

Подставив в формулу значения, получим:

$$F_{\text{пол}} = 0,785 * 22,4 * (22,4 - 18,07) * 60,9 * [1 - \exp(-(4 * 0,1 * 3,6 / (22,4 - 18,07)))] = 1313,35 \text{ кгс} = 1,31 \text{ тс} (12,85 \text{ кН}).$$

При расчете величины  $F_c$  напряжение течения также равно  $60,97 \text{ кгс/мм}^2$ . Величину  $H$  рассчитаем как  $L_k$  – по рисунку 26, так как пуансон здесь также должен иметь только оформляющий поясok для снижения контактного трения:

$$H = 0,5 \cdot \sqrt{18,07} = 2 \text{ мм.}$$

Подставив в формулу значения, получим:

$$F_c = 0,785 * 18,07 * (22,4 - 18,07) * 60,07 * [1 - \exp(-(4 * 0,1 * 2 / (22,4 - 18,07)))] = 631,73 \text{ кгс} = 0,63 \text{ тс} (6,18 \text{ кН}).$$

Общее усилие выталкивания, таким образом, будет равно  $F_{\text{вб}} = 4,44 + 1,31 + 0,63 = 6,38 \text{ тс} (62,6 \text{ кН})$ .

## **13 Конструирование и расчет инструмента**

### **Общие требования к инструменту**

Штампы для холодной объемной штамповки работают в тяжелых условиях, испытывая большие нагрузки от высоких удельных усилий, значительных сил трения и температурного воздействия.

Выбор конструкции штампа зависит от исходного материала штампуемой детали, ее формы, величины и точности размеров, объема выпуска и применяемого оборудования.

Основной задачей конструктора при разработке штампа является получение необходимой точности и качества штампуемой детали при одновременном обеспечении наибольшей стойкости штампового инструмента и его технологичности.

## Основные конструкции штампов

В практике холодной объемной штамповки встречаются два основных типа штампов, особенности конструкции которых непосредственно связаны с особенностями технологических процессов. Это одно- и многопозиционные штампы.

Однопозиционный штамп типичной конструкции показан на рис. 17. Его отличительной особенностью является съемник, выполняемый обычно в виде поперечины, перемещающейся по специальным направляющим или непосредственно по колонкам штампа. Поперечина всегда подпружинена. Во время штамповки съемник опускается под действием верхней части штампа, сжимая пружины. Деталь, застрявшая на пуансоне, снимается с него при обратном ходе ползуна во время прохождения пуансона с деталью через съемник. Отверстие в рабочем элементе съемника пропускает только пуансон и не пропускает отштампованный стакан. К моменту начала съема детали поперечина съемника поднята в крайнее верхнее положение и удерживается в нем ограничителями. Расстояние между нижней поверхностью рабочего элемента съемника и торцем матрицы несколько больше длины выдавленного стакана. Это обстоятельство гарантирует безупречное удаление готовой детали сжатым воздухом или автооператором, подающим новую заготовку.

Пуансоны однопозиционных штампов крепятся в пуансонодержателе верхней плиты с помощью гайки и промежуточной втулки. Матрицы прикрепляются к нижней плите с помощью фланцев, накидных гаек и т.п. Для установки матриц часто применяют специальные матрицедержатели.

Для регулирования соосности пуансонов и матриц пользуются тремя-четырьмя регулировочными винтами,

равномерно расположенными в матрицедержателе по его окружности (см. рис. 17). В этом случае матрица устанавливается с определенным зазором (1-2 мм на диаметр).

Как видно из рис. 17, пуансоны и матрицы опираются на массивные закаленные подкладки, изготавливаемые из высокопрочных инструментальных сталей. Благодаря высокой точности и твердости они гарантируют более длительную эксплуатацию. штампа, поскольку, увеличивая жесткость всего блока, позволяют с достаточной степенью точности выдерживать взаимную параллельность осей пуансонов и матриц, а следовательно, и перпендикулярность этих осей по отношению к плитам и плоскостям ползуна и стола прессы.

Другой метод центрирования пуансонов и матриц заключается в применении регулируемого, в двух координатах пуансонодержателя (рис. 18). Перемещения пуансонодержателя 1 влево или вправо осуществляются перемещением вперед или назад двух клиньев 2, воздействующих на его скошенные боковые поверхности. Положение клиньев регулируется двумя винтами, выведенными на фронтальную поверхность верхней плиты (на рисунке не показана). Перемещения пуансонодержателя вперед и назад производятся третьим винтом, также выведенным на фронтальную поверхность плиты. Это конструктивное решение наиболее удобно при сложной конструкции матрицы - с контрпуансоном 3 и втулочным нижним выталкивателем 4, - когда ее перемещения в горизонтальной плоскости могут привести к перекосу контрпуансона и заклиниванию втулочного выталкивателя и толкающих шпилек.



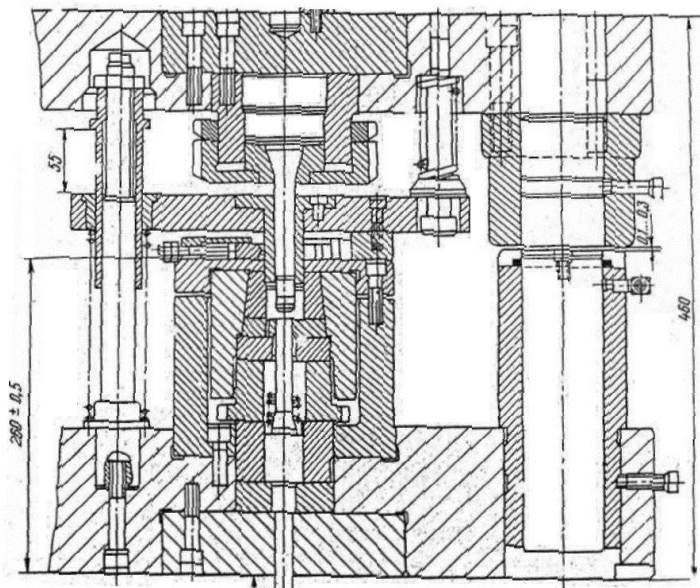


Рисунок 17 – Типичная конструкция однопозиционного штампа

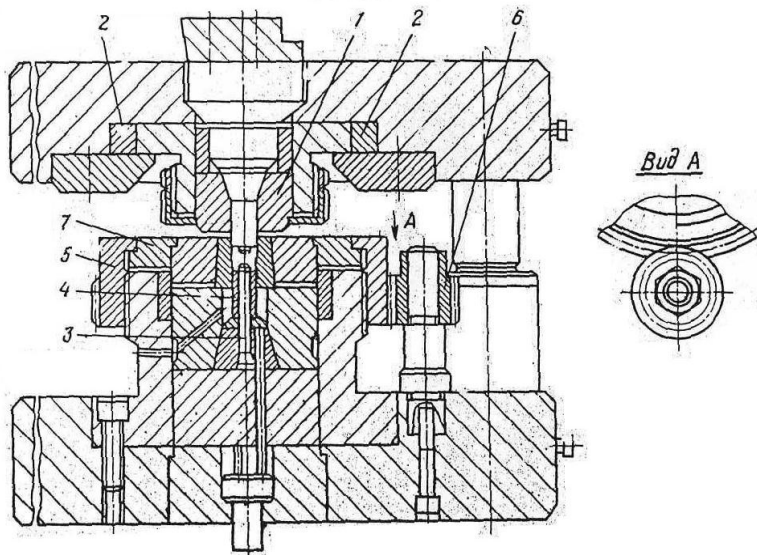


Рисунок 18 – Штамп с регулируемым пуансонодержателем

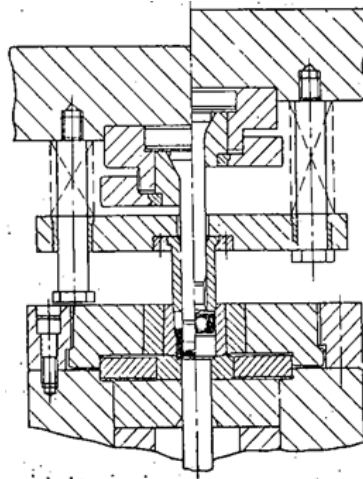


Рисунок 19 – Схема штампа для обратного выдавливания

На рисунке показано также эффективное крепление матрицы с помощью большой накидной гайки 5, имеющей с внешней стороны зубчатое зацепление. Гайка заворачивается с помощью малой шестерни 6 с шестигранной ступицей. Угол, на который необходимо отвернуть гайку для освобождения матрицы, не превышает  $120^\circ$ , так как в прижимающем бурте гайки сделаны соответствующие вырезы. Аналогичные вырезы имеются в съемном фланце 7, через который осуществляется крепление матрицы. Этот метод крепления матриц значительно ускоряет их смену и позволяет извлекать матрицы, не снимая гайки.

Хорошие результаты, особенно при выдавливании глубоких стаканов, дает применение в штампах направляющих втулок (рис. 19). Принцип их работы заключается в том, что втулка должна заходить в отверстие матрицы до соприкосновения пуансона с заготовкой. При этом условии гарантируются точное направление пуансона, равномерная толщина стенки выдавливаемого стакана. Направляющая втулка может быть расположена на специальной поперечине, подпружиненной и прикрепленной к верхней плите штампа, как

это показано на рис. 19, или установлена на съемнике.

При крупносерийном и массовом производстве для холодной объемной штамповки деталей сложной конфигурации за три и более, переходов целесообразно применять многопозиционные штампы.

В настоящее время применяются два основных типа таких штампов: с круговым и с линейным расположением рабочего инструмента. Наибольшее распространение получили штампы с расположением пуансонов и матриц по дуге окружности. Причем штамповка может осуществляться в один или в два встречных потока (см. рис. 20).

Расположение рабочего инструмента по кругу позволяет использовать для транспортирования заготовок по позициям штамповки такое хорошо известное и конструктивно отработанное устройство, как револьверная подача.

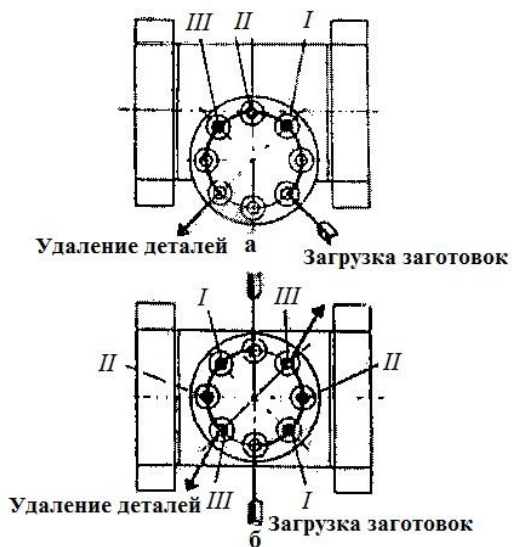


Рисунок 20 – Принципиально возможные схемы многопереходной штамповки в штампах с круговым расположением инструмента: а – в один поток; б – в два встречных потока

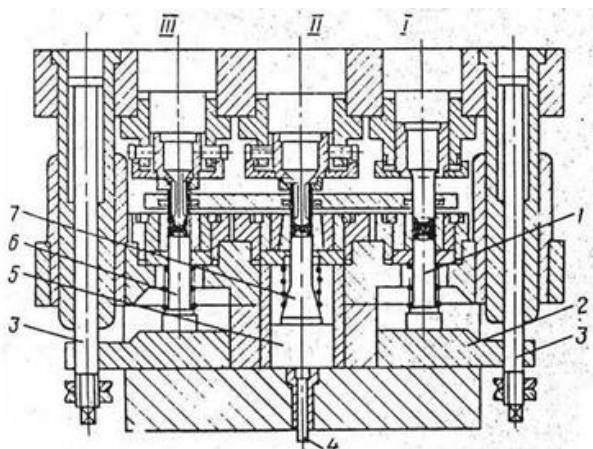


Рисунок 21 – Многопозиционный штамп для холодного выдавливания деталей типа стакан (толкателя клапана) с револьверной подачей

В трехпозиционном штампе (рис. 21) осуществляется выдавливание толкателя клапана со следующими технологическими переходами: калибрование отожженных и фосфатированных заготовок, обратное выдавливание стаканчика, выдавливание внутренней сферы. Наиболее нагруженная рабочая позиция - обратное выдавливание - размещена по оси ползуна, а остальные - симметрично относительно нее. На штампе реализуется однопоточная схема штамповки (по рис. 20, а). Удаление готовой детали производится здесь на специальной позиции: деталь проталкивается через револьверный диск толкателем, закрепленным на верхней плите, на отводящий лоток.

Штамп работает на прессе, имеющем только один центральный выталкиватель, поэтому удаление деталей с первой и третьей позиций осуществляется с помощью поперечины 2, системы тяг 3 и выталкивателей 1 и 6. Удаление детали из центральной матрицы (для обратного выдавливания) производится толкателем 4 через подкладку 5 и выталкиватель 7.

На толкатель воздействует выталкиватель пресса.

Штамп работает автоматически. Перенос заготовок с позиции на позицию производится револьверным диском, который поворачивается на необходимый угол посредством храпового механизма с пневмоприводом.

Поскольку матрицы прикрыты револьверным диском и доступ к ним затруднен, центрирование матриц и пуансонов осуществляется перемещением последних с помощью установочных винтов, расположенных в пуансонодержателях. На второй и третьей позициях в штампе предусмотрены консольные вильчатые съемники.

Многопозиционный штамп для выдавливания поршневых пальцев (схему процесса см, на рис. 20, б) обеспечивает штамповку деталей двумя встречными потоками. За каждый ход пресса на штампе изготавливаются две детали. Реализуемая на штампе технология включает следующие операции: обратное выдавливание стакана, пробивку отверстия в дне, вытяжку с утонением стенки на провал. Загрузка заготовок и выгрузка готовых деталей производятся с двух противоположных сторон пресса.

Специфика технологического процесса выдавливания поршневых пальцев на этом штампе такова, что выталкивание требуется только на позициях обратного выдавливания стакана. С этой целью пресс оснащен двумя симметрично расположенными пневмогидравлическими выталкивателями.

Штампы с круговым расположением рабочего инструмента и транспортирующим устройством в виде револьверного диска позволяют штамповать только детали без внешних ступеней. Это ограничение связано с возможностями револьверной подачи. Практика показывает, что такие штампы используются для изготовления деталей типа стаканов и втулок.

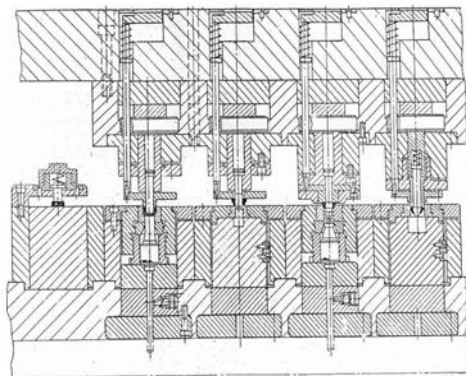


Рисунок 21 – Пример конструкции многопозиционного штампа с линейным расположением инструмента для штамповки деталей типа тарелки

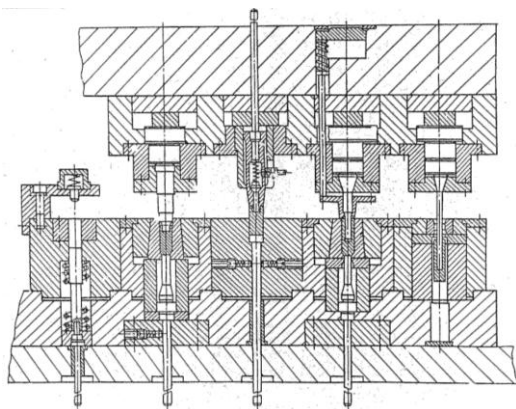


Рисунок 22 – Пример конструкции многопозиционного штампа с линейным расположением инструмента для штамповки деталей типа стакана

При этом на всех операциях, кроме последней, не допускаются изменения наружного диаметра. Последняя операция, как правило, вытяжка с утонением стенки или прямое выдавливание на провал.

Значительно большими технологическими возможностями обладают многопозиционные штампы с линейным расположением пуансонов и матриц. В основу их конструктивного решения положено многократное повторение

конструкции однопозиционного штампа, в которую вводятся некоторые специфические элементы. К ним прежде всего относятся клиновое устройство для индивидуального регулирования закрытой высоты на каждой позиции, верхние выталкиватели (съемники) и т.п.

Штампы этого типа предназначены для работы на специальных многопозиционных прессах, оснащенных несколькими (по числу рабочих позиций) верхними и нижними выталкивателями, а также грейферным или клещевым механизмом переноса. Наличие одного из этих механизмов в сочетании с возможностями штампа позволяет получать разнообразные фасонные детали без каких-либо конструктивных ограничений.

В штампе, показанном на рис. 21, изготавливаются детали типа тарелки пружин клапана. Первая из пяти его рабочих позиций используется для подачи отожженной и фосфатированной заготовки, которая фиксируется здесь подпружиненным пальцем до подхода соответствующего захвата механизма переноса. На следующих позициях поочередно производят выдавливание конической полости, пробивку, формирование фланца и ступицы и калибрование конического отверстия и, наконец, обрезку фланца по контуру на провал. Отход от пробивки и готовая деталь удаляются из штампа за пределы пресса в отдельную тару по соответствующим лоткам.

В многопозиционном штампе, показанном на рис. 22, изготавливаются детали типа стакана (см. технологию штамповки толкателя клапана на рис. 12). Здесь, как и в предыдущем случае, первая позиция используется для подачи заготовки в штамп в ориентированном положении. При этом заготовку с помощью системы загрузки устанавливают ниже

уровня матриц и вводят в первую пару захватов специальным выталкивателем, одновременно поддерживая ее сверху подпружиненным пальцем. На второй позиции штампа производят выдавливание центрирующего углубления (наметки), в которое на третьей позиции вводят дополнительную жидкую технологическую смазку. На четвертой позиции в заготовке выдавливают полость и на пятой - удлиняют полученный стакан вытяжкой с утонением стенки на провал. Отштампованные тонкостенные стаканы по лотку удаляются из штампа и прессы в соответствующую тару.

### **Конструирование штамповых блоков**

Штамповые блоки с колонками наиболее эффективны в эксплуатации. Их использование дает ряд дополнительных преимуществ с точки зрения удобства хранения, съема и установки на пресс, транспортирования.

Наибольшее распространение получили блоки с двумя колонками. Дополнительные колонки рекомендуется ставить при конструировании многопозиционных штампов, плиты которых имеют сравнительно большую длину.

Схемы размещения колонок показаны на рис. 23.

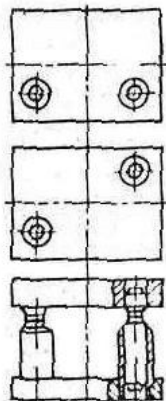


Рисунок 23 – Схемы размещения колонок штамповых блоков



Для крепления штампов в плитах делают пазы или выборки, соответствующие расположению пазов на поверхности ползуна или подштамповой плиты. В некоторых случаях верхние плиты имеют «ласточкин хвост».

Для транспортирования штампов, их монтажа и демонтажа в плитах предусматривают отверстия без резьбы и с резьбой для установки штифтов или рым-болтов, а также различные приливы. Верхние плиты штампов, предназначенных для работы на отечественных прессах, для холодного выдавливания серий «К» или «КБ», должны иметь цилиндрические хвостовики, обеспечивающие их установку строго по центру пресса. В ползунах отечественных прессов имеются соответствующие отверстия.

В целях обеспечения стабильности работы штампов в плитах, кроме обычных подкладок, зачастую устанавливают массивные закаленные вставки из инструментальной стали. Благодаря высокой прочности и твердости они гарантируют более длительную эксплуатацию штампа, поскольку, увеличивая жесткость всего блока позволяют с достаточной степенью точности выдерживать взаимную параллельность осей пуансонов и матриц и соответственно перпендикулярность этих осей к плитам и плоскостям ползуна и стола. Во многих штампах современных конструкций вставки делаются на всю толщину плиты. В этом случае исключается влияние возможного прогиба плит на положение осей рабочих деталей штампов.

Блоки штампов для изготовления крупногабаритных деталей рекомендуется выполнять с выдвижными матрицедержателями, облегчающими извлечение изношенных и установку новых матриц (рис. 23).

Для многопозиционных штамповых блоков характерно

наличие нескольких пуансоно- и матрицедержателей, а также клинового устройства для индивидуального регулирования закрытой высоты по позициям штамповки (см. рис. 21).

Штамповые плиты изготавливают обычно из стального проката марки 45 (ГОСТ 1050-88), колонки и втулки - из стали 20Х (ГОСТ 4543-71). Последние для повышения износостойкости подвергают цементации.

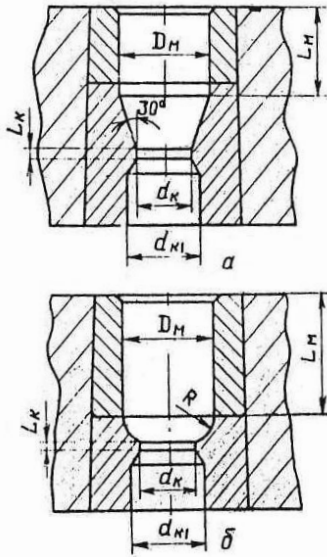
## **14 Конструирование рабочих деталей штампов**

### **Пуансоны и матрицы для прямого выдавливания**

Рекомендуемые конструкции матриц и пуансонов для прямого выдавливания сплошных и полых деталей показаны на рис. 24 и 25. Там же, в таблицах, даны формулы для расчета всех основных размеров.

Основной особенностью матриц для прямого выдавливания является наличие калибрующего пояска в рабочем очке и переходного участка от приемной части к очку: конического (рис. 24, а) или радиусного вогнутого (рис. 24,б). Калибрующий поясок диаметром  $d_k$  и увеличенное на 0,2-0,5 мм выходное отверстие диаметром  $d_{k1}$  выполнены для снижения контактного трения при выдавливании.

Оптимальным углом раствора конического переходного участка, обеспечивающим при данном обжатии наименьшие значения удельных усилий, является угол  $2\alpha = 60^\circ$ . В случае необходимости, если это диктуется конструкцией детали, он может быть как меньше, так и больше  $60^\circ$ , но не должен превышать  $120^\circ$  во избежание перегрузки пуансона, особенно при предельных обжатиях заготовки.



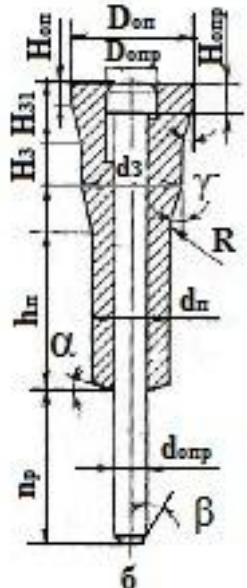
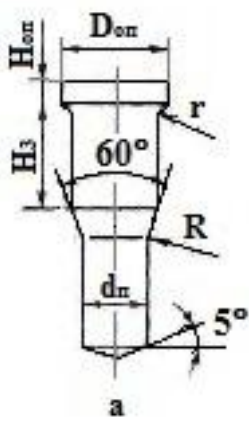
$$L_k = 0,2d_k$$

$$R = D_M - d_k$$

$$d_{k1} = d_k + (0,2 \div 0,5) \text{ мм}$$

$$L_{M1} \geq h_0 + 0,5D_M$$

Рисунок 24 – Конструктивное оформление матриц для прямого выдавливания 5°



$$d_n \geq 1,4d_{onp}$$

$$D_{onp} = 1,3d_{onp}$$

$$d_3 \approx 1,3d_n$$

$$D_{on} \approx 1,6d_n$$

$$h_n \leq 6d_n$$

$$H_3 \approx 0,5d_3$$

$$H_{31} \geq D_{on}$$

$$H_{onp} = (0,7 \dots 1,0)D_{onp}$$

$$h_p \leq 8d_{onp}$$

$$\alpha = 5^\circ$$

$$\beta = 5 \dots 10^\circ$$

$$\gamma = 5 \dots 15^\circ$$

$$R = (0,2 \dots 0,4)d_n$$

$$R = 0,1d_n$$

Рисунок 25 – Конструктивное оформление пуансонов для прямого выдавливания

При относительном обжатии  $\varepsilon > 0,8$  вместо матрицы с коническим переходным участком рекомендуется применять матрицу с радиусным вогнутым переходом (см. рис. 24,б), обеспечивающую более благоприятное распределение контактных напряжений и течение металла. Кроме того, при больших обжатиях значительно возрастает длина конического переходного участка первой матрицы, что может привести к существенному искажению конфигурации детали по сравнению с ее чертежом. Радиусный переход имеет обычно заметно меньшую длину.

При проектировании пуансонов стремятся избегать резких перепадов сечений. Места переходов сглаживают большими радиусами и тщательно полируют. Подрезы и риски на этих участках категорически не допускаются.

Особое внимание необходимо уделять конструкции пуансонов для прямого выдавливания полых деталей. Как правило, они выполняются составными (рис. 25,б). Цельные пуансоны применяются только для выдавливания тонкостенных деталей с небольшим перепадом сечений.

В связи с интенсивным течением металла вдоль вставной оправки шероховатость ее поверхности должна быть не более  $R_a = 0,5$  мкм. Для облегчения съема готовой детали с оправки на последней можно выполнять штамповочный уклон величиной до 30. При штамповке длинных деталей с большими обжатиями оправку рекомендуется выполнять плавающей (см. рис. 25, б): перемещение оправки в ходе выдавливания снижает действующие на нее растягивающие нагрузки и повышает ее стойкость. Если позволяют размеры опорной части такого пуансона, в ней рекомендуется устанавливать демпфирующее устройство, например пакет тарельчатых пружин. Оно будет смягчать нагрузку, возникающую на оправке при обратном ходе

пуансона.

Требования к размерам отдельных элементов конструкции пуансонов для прямого выдавливания приводятся на рис. 25.

### **Пуансоны и матрицы для обратного выдавливания**

Рекомендуемые конструкции пуансонов и матриц для обратного выдавливания деталей типа стаканов показаны на рисунках 26 и 27. Соотношения для расчета их исполнительных размеров приведены там же в соответствующих таблицах.

Пуансоны (см. рис. 26) показаны в коротком (а) и длинном (б) исполнениях. Первый из них предназначен для выдавливания стаканов глубиной не более  $(1,0-1,5)d_k$ . Общая длина пуансонов этого типа не превышает обычно  $(4,5+5)d_k$ . Пуансон второго типа применяется для выдавливания стаканов глубиной до  $4d_k$ . Его общая длина в значительной степени зависит от конструкций съемника, направляющей втулки и т.п. Практика показывает, что она не превышает  $(10\div 13)d_k$ . Особое внимание здесь обращается на качество поверхности не только рабочей части, но и всего пуансона. Шероховатость поверхности рабочего торца должна быть не выше  $R_a=0,5\div 1,0$  мкм. Риски и царапины не допускаются также и на стержне пуансона, особенно на переходных радиусах.

Характерной особенностью матриц для обратного выдавливания современных конструкций является наличие в их рабочей полости нескольких ступеней (см. рис. 27):

- для выдавливания - диаметром  $D_m$ ;
- для предварительного размещения заготовки - диаметром  $D_{m1}$ ;
- для ввода направлений втулки - диаметром  $D_{m2}$ .

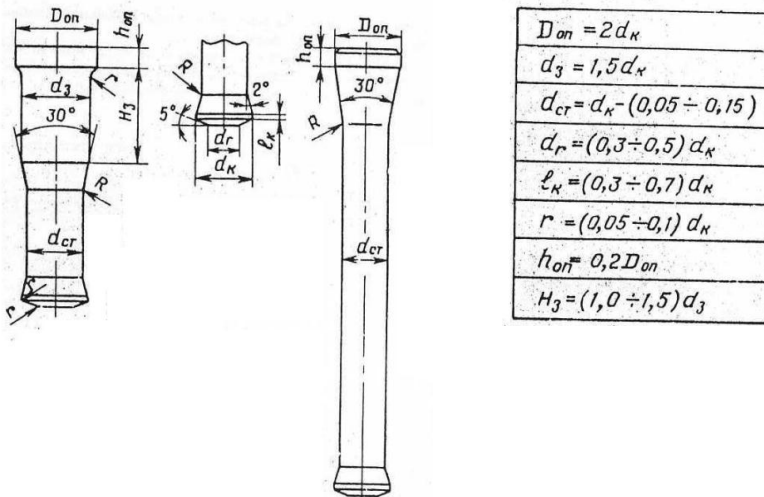
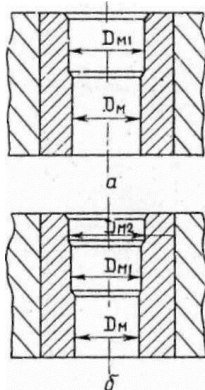


Рисунок 26 – Конструктивное оформление пуансонов для обратного выдавливания



$$D_{M2} = 1,1 D_M$$

$$D_{M1} = d_0 + \Delta$$

$$d_0 \leq 15 \text{ мм}$$

$$\Delta = 0,03 \div 0,05 \text{ мм}$$

$$d_0 \leq 30 \text{ мм}$$

$$\Delta = 0,1 \div 0,15 \text{ мм}$$

$$d_0 > 30 \text{ мм}$$

$$\Delta = 0,2 \div 0,3 \text{ мм}$$

Рисунок 27 – Конструктивное оформление матриц для обратного выдавливания

На рис. 27, а показан вариант исполнения рабочей полости матрицы без специальной ступени для направляющей втулки. Такие матрицы применяются для выдавливания коротких (до  $1,5d_k$ ) стаканов. Матрица, показанная на рис. 27, б, предназначена для выдавливания более глубоких стаканов с обязательным применением направляющей втулки.

Внутренние рабочие поверхности матриц тщательно полируют до обеспечения шероховатости не более  $R_a = 1,0$  мкм.

## Пуансоны и матрицы для комбинированного выдавливания

Комплект рабочего инструмента для комбинированного выдавливания (рис. 29) представляет собой сочетание пуансона для обратного выдавливания с матрицей, в конструкции которой сочетаются элементы, характерные как для прямого, так и для обратного способов выдавливания.

Матрица может иметь двух- или трехступенчатую полость. Из соображений технологичности ее нередко выполняют составной. На рис. 29, а показан конструктивный вариант матрицы, рекомендуемый для выдавливания деталей с относительно небольшим (до 50%) перепадом сечений между исходной заготовкой и стержнем. Матрица для выдавливания деталей с тонким стержнем показана на рис. 29, б.

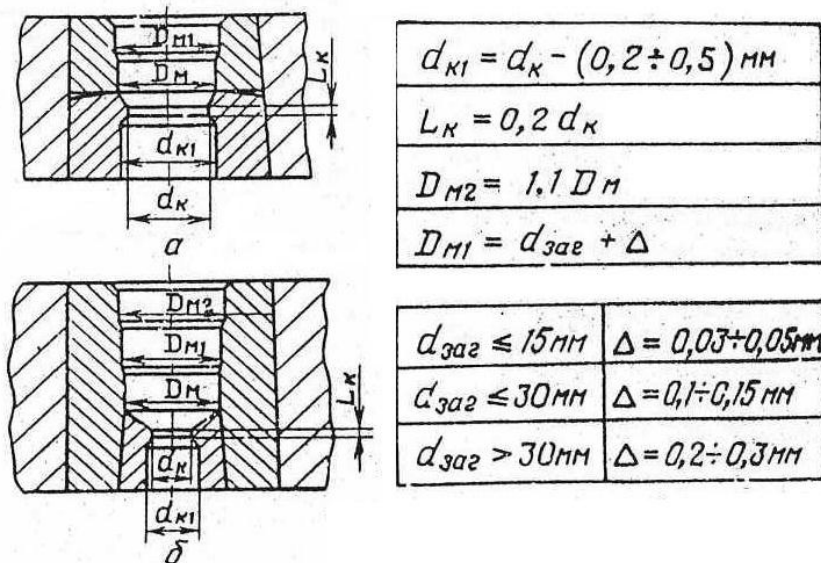
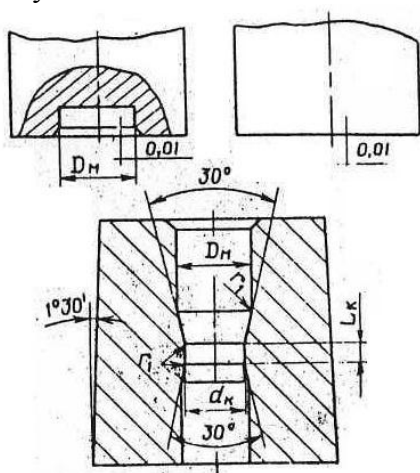


Рисунок 29 – Конструктивное оформление рабочего инструмента для комбинированного выдавливания

## Рабочий инструмент для редуцирования

Внутренняя полость редуцировочной матрицы (рис. 30) по своей конфигурации аналогична полости матрицы для прямого выдавливания. Основные отличия заключаются в отсутствии в редуцировочной матрице приемной части для размещения заготовки и величине угла раствора, ограниченного здесь  $30^\circ$ . Приемная часть редуцировочной матрицы представляет собой лишь цилиндрический поясok длиной  $L_k=(0,3\div 0,5)d_k$  и диаметром, определяемым по диаметру заготовки с некоторым зазором (см. рис. 30).

Конструкция пуансонов для редуцирования проста и не требует специальных пояснений.



$L_k=(0,3\div 0,5)d_k$	
$r_1=(0,3\div 0,5)d_k$	
$D_M=d_{\text{заг}}+\Delta$	
$d_{\text{заг}}\leq 15\text{мм}$	$\Delta=0,03\div 0,05\text{мм}$
$d_{\text{заг}}\leq 30\text{мм}$	$\Delta=0,1\div 0,15\text{мм}$
$d_{\text{заг}}> 30\text{мм}$	$\Delta=0,2\div 0,3\text{мм}$

Рисунок 30 – Конструктивное оформление инструмента для редуцирования

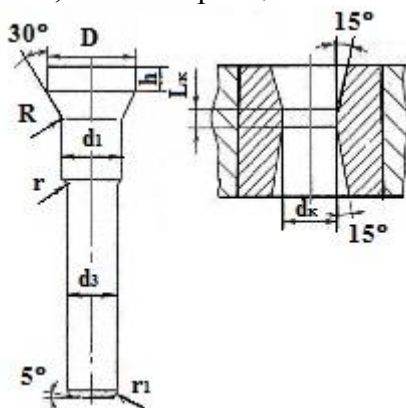
## Пуансоны и матрицы для вытяжки с утонением стенки

Конструкция рабочего инструмента для вытяжки с утонением стенки и все необходимые соотношения для расчета исполнительных размеров приведены на рисунке 31.



## Конструирование матриц технологичных конструкций

Выше уже несколько раз отмечалось, что из соображений технологичности и с целью обеспечения оптимальной стойкости матрицы для холодной объемной штамповки часто выполняют составными. На рис. 32 приведены основные варианты конструирования таких матриц для осадки, высадки и выдавливания, а также принципиальная схема их сборки.



$$\begin{aligned} D &= 2d_k \\ d_1 &= 1,5d_k \\ h &= 0,2D \\ R &\geq d_3 \\ r &= 0,2d_k \\ r_1 &= 0,1d_k \\ L_k &= 0,2 d_k \end{aligned}$$

Рисунок 31 – Конструктивное оформление инструмента для вытяжки с утонением стенки  $15^\circ$   $5^\circ$   $30^\circ$

Основным конструктивным приемом, применяющимся при конструировании матриц, является разделение рабочих вставок в горизонтальной и вертикальной плоскостях. В подавляющем большинстве случаев все подобные матрицы являются многэтажными и вместе с разнообразными подкладками и проставками собираются и закрепляются в общем корпусе с помощью специальной гайки. Корпус выполняет также роль наружного банджа.

Вертикальное разделение матричных вставок (рис. 32, а, б) применяется при значительном перепаде диаметров внутренних ступеней. Изготовить такую матрицу цельной, особенно при необходимости получить прямоугольную ступень или переход с обратным конусом, практически невозможно: ее стойкость будет

крайне низкой из-за острого концентратора напряжений, образованного прямым углом и, в еще большей степени, обратным конусом.

Для применения матриц с вертикальным разделением рабочих вставок существуют определенные ограничения, связанные со схемой напряженного состояния реализуемых в этих матрицах процессов штамповки. В соответствии с этими ограничениями вертикальное разделение применяется главным образом в матрицах для осадки и высадки. При этом центральные вставки (см. рис. 32, а, б) должны испытывать действие только осевых сжимающих напряжений. Так, например, в матрице, показанной на рис. 32, а, осуществляют осадку с образованием фаски на отрезанной заготовке, а в матрице на рис. 32, б осаживают фланец с обратным коническим буртом на детали типа тарелки.

Если перепад диаметров ступеней невелик, а вертикальная внутренняя вставка оказывается слишком тонкой и не может противостоять осевым давлениям, переходят к конструкции, представленной на рис. 32, в.

Операции выдавливания в матрицах с вертикальной центральной вставкой производят редко. Это объясняется тем, что толщина стенки таких вставок полностью определяется геометрией штампуемого изделия и не может выдерживать возникающих в ходе процесса внутренних радиальных давлений.

Вставки матриц для выдавливания разделяют обычно по горизонтали (см. рис. 32, г-е).

Для того чтобы исключить затекание металла в щель между вставками, разъем рекомендуется делать несколько выше условной верхней границы очага деформации. В наиболее сложных случаях, при ярко выраженной неравномерности

распределения внутренних радиальных давлений вдоль стенки матрицы по высоте, разделяют также и бандажи (см. рис. 32, д).

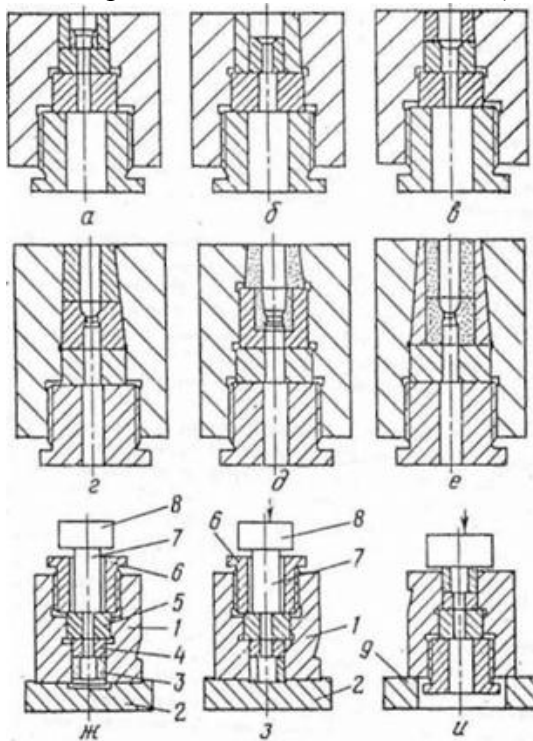


Рисунок 32 – Варианты конструктивного исполнения и схема сборки матриц для осадки, высадки и выдавливания

При использовании вставок из твердого сплава их в ряде случаев запрессовывают в бандаж в тонкой конической закаленной стальной обойме (см. рис. 32, е).

Сжатие стыков при горизонтальном членении рабочих вставок осуществляется при их запрессовке с помощью гайки, которая заворачивается при предварительно сжатых вставках. Схема и порядок сборки матриц показаны на рис. 32, ж-и.

Корпус 1 матрицы устанавливается на подкладку 2 с цилиндрическим углублением в центре. Диаметр углубления несколько больше диаметра передней вставки. В полость

корпуса вкладывают последовательно все необходимые вставки и подкладки 3, 4 и 5, заворачивают до контакта с ними гайку 6, а в отверстие гайки вставляют закаленный боек 7, на торец которого кладется подкладка 8. На гидравлическом прессе с помощью бойка 7 запрессовывают в корпус вставки, пока торец передней вставки 3 не упрется в дно углубления в подкладке 2. В этом положении, не снимая давления, заворачивают гайку 6 до отказа. Собранный таким образом блок переворачивают, устанавливают на подкладку 9 и осаживают назад вставки и гайку для выбора зазоров в резьбе. Разборка матрицы ведется в обратном порядке.

Стойкость матриц обеспечивается предварительной запрессовкой их в бандажи. За счет этого в матрицах создается предварительная сжимающая нагрузка, противодействующая внутреннему радиальному давлению при штамповке. По количеству бандажей матрицы делятся на одно- и многобандажные. Первые рекомендуется применять при штамповке с внутренним радиальным давлением не более 1600 МПа (160 кгс/мм<sup>2</sup>), вторые - при штамповке с большей внутренней нагрузкой на матрицу. На практике редко применяют более двух бандажей.

Величина внутреннего радиального давления  $P_0$  при штамповке может быть приближенно определена следующим образом:

$$P_0 = p - \sigma_{s0}$$

где  $p$  - удельное усилие на пуансоне при прямом выдавливании и закрытом калибровании или на выталкивателе при обратном выдавливании, МПа (кгс/мм<sup>2</sup>);  $\sigma_{s0}$  - предел текучести штампуемого материала, МПа (кгс/мм<sup>2</sup>).

Диаметры разъемов и натяги бандажированных матриц достаточно надежно определяются с помощью простых

соотношений, приведенных на рис. 33 и в таблице 8.

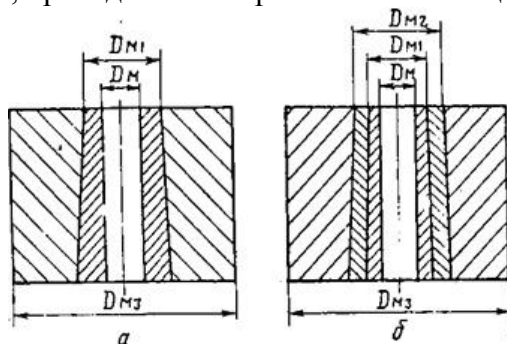


Рисунок 33 – Схемы к расчету разъемов и натягов бандажированных матриц

Таблица 8 – Формулы расчета разъемов и натяга бандажированных матриц

Конструкция матрицы	Стальная вставка	Твердосплавная вставка
С одним бандажом (а)	$D_{M1} = (1,8 \div 2,0) D_M$ $D_{M3} = (4 \div 6) D_M$ $\Delta = (0,004 \div 0,005) D_{M1}$	$D_{M1} = (1,9 \div 2,0) D_M$ $D_{M3} = (4 \div 6) D_M$ $\Delta = (0,013 \div 0,02) D_{M1}$
С двумя бандажами (б)	$D_{M1} = 1,6 D_M$ $D_{M2} = 2,56 D_M$ $D_{M3} = (4 \div 6) D_M$ $\Delta_{1,2} = (0,004 \div 0,005) D_{M1,2}$	$D_{M1} = (1,9 \div 2,0) D_M$ $D_{M2} = D_{M1} + (10 \div 16) * D_M$ $D_{M3} = (4 \div 6) D_M$ $\Delta_{1,2} = (0,013 \div 0,02) D_{M1,2}$

Угол запрессовки изменяется в зависимости от длины вставки (см. рис. 34). Увеличение угла с укорочением вставки исключает ее выпрессовку при выталкивании отштампованной детали.

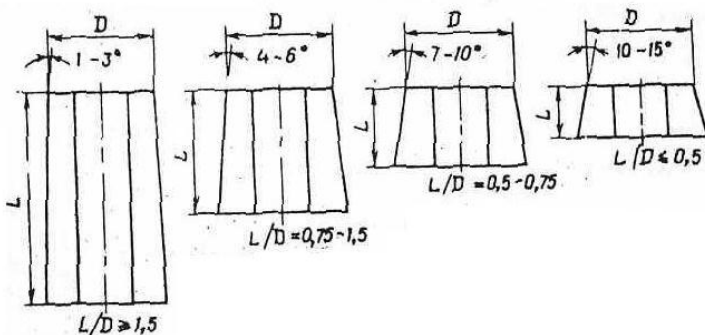


Рисунок 34 – Зависимость величины угла запрессовки от

относительной длины рабочих вставок матриц

## **15 Материалы для изготовления рабочих деталей штампов**

Материалы для изготовления рабочих деталей штампов (пуансонов, матриц и оправок) выбирают исходя из условий их работы и технологии изготовления (см. таблицу 9). Основными показателями качества материала являются его прочность, пластичность, структура, прокаливаемость и износостойкость.

Материал (прутки, полосы и т.д.), идущий на изготовление рабочих деталей штампа, тщательно проверяется. К качеству структуры стали предъявляются особые требования, в некоторых случаях повышенные по сравнению с требованиями соответствующих государственных стандартов. Карбидная сетка в структуре стали не допускается, так как детали штампов, изготовленные из такой стали, выходят из строя во время работы при первых же ударах. Карбидная неоднородность стали должна быть не более 3-го балла - для пуансонов и не более 4-го балла - для матриц. Излом стали в состоянии поставки должен быть однородным и мелкозернистым. В изломе не должно быть пустот, пузырей шлаковых включений, посторонних прослоек и блесток.

Сталь необходимого качества по микро- и макроструктуре отбирается путем разбраковки прутков или поставляется по специальному заказу, в котором указываются необходимые требования. В случае отсутствия стали необходимого качества по карбидной неоднородности для уменьшения последней до требуемого балла заготовку подвергают проковке. Проковывать заготовки, длина которых вдвое больше диаметра, не рекомендуется.

Таблица 9 – Применение штамповых сталей для различных технологических операций холодной объемной штамповки

Наименование рабочих деталей штампов	Условия работы - удельное усилие, МПа (кгс/мм <sup>2</sup> )	Марка стали	Твердость после термообработки, HRC
Пуансоны, матрицы и выталькиватели для прямого выдавливания и редуцирования	1500 (150) 1800 (180)	X6ВФ, X12Ф1, X12М P18 (пуансоны), P6M5, X12Ф1, X12М, X6ВФ (пуансоны, матрицы, выталькиват ели)	58-60 (пуансоны и выталькивателя), 56-65 (матрицы) 61-63 (пуансоны), 56-58 (матрицы и выталькиватели)
Пуансоны, матрицы и выталькиватели для прямого и обратного выдавливания	1500-1800 (150-180)	X6ВФ, X12Ф1, X12М	58-61 (пуансоны и выталькиватели), 56-58 (матрицы)
Оправки пуансонов для прямого выдавливания полых деталей	1800-2000 (180-200)	X12Ф1, X12М	58-60.
Подкладки	-	X12Ф1, X12М, ШХ12	58-60
Бандажи внутренние (промежуточные)	-	ШХ15, 5ХНВ	50-52
Бандажи наружные	-	30ХГСА, 35ХГСА 4Х5МФС, 40ХСМФ	38-42 48-50
Пуансоны и матрицы для высадки	1500-1800 (150-180) 1500 (150), диаметр инструмента (матриц)	X6ВФ, X12Ф1, X12М У10, У11, У12, X, 11Х, ШХ15	59-60 (пуансоны), 57-58 (матрицы) 59-60 (пуансоны), 57-58 (матрицы)

Для получения стали хорошей структуры, с мелкораздробленными, равномерно распределенными карбидами ковка должна производиться путем многократной (двух- и трехкратной) вытяжки.

Стали Р18 и Р6М5 могут быть заменены более дешевыми комплексно-легированными сталями марок ДИ37, ДИ57 и ЭП761. Химический состав этих сталей приведен в таблице 10.

Таблица 10 – Химический состав комплексно-легированных инструментальных сталей, %

Марка стали	C	Si	Mn	Cr	Mo	W	V
ДИ37	1.08	1.63	0,3-0,47	3,7-4,15	0,4-0,42	2-2,14	2,63 -
ДИ57	0.96-0,98	3,34-3,35	0,38-0,4	4,2-4,25	0,98-1,1	2.3	2,7
ЭП761	0.81-0,87	1,54-1,98	0,31-0,34	4,45-4,8	0,85-1,1	1,86- 1,88	1,7 - 1,8 1,4 - 1.7

Все комплексно-легированные стали проходят закалку с трех- (ДИ57, ЭП761) и четырехкратным отпуском. При этом величина зерна аустенита не должна превышать 11(10) баллов. Твердость обеспечивается в пределах HRC 60-63.

Сталь ДИ37 рекомендуется для изготовления рабочего инструмента, применяемого при прямом выдавливании, вытяжке с утонением и калибровании, рассчитанного на рабочие нагрузки до 1700 МПа, а также пуансонов для закрытой осадки заготовок с удельным усилием до 2000 МПа. Из сталей марок ДИ57 и ЭП761 рекомендуется изготавливать пуансоны всех видов, работающие при удельных усилиях до 2200 МПа.

Следует отметить, что стали ДИ37, ДИ57 и ЭП761 из-за отсутствия налипания стружки обрабатываются резанием лучше, чем сталь Р8М5.

При массовом и крупносерийном производстве рабочие детали штампов для холодной объемной штамповки



целесообразно изготавливать из твердых сплавов (ГОСТ 3882-74).

На основании опыта эксплуатации твердых сплавов ориентировочно определены следующие области их применения:

ВК20 - штамповка, высадка и обрезка углеродистых и качественных сталей при ударных нагрузках;

ВК25 - штамповка, высадка и обрезка углеродистых и качественных сталей при ударных нагрузках средней и высокой интенсивности;

ВК10КС - штамповка и высадка легированных и специальных сталей при ударных нагрузках малой интенсивности;

ВК20КС - штамповка, высадка и обрезка легированных и специальных сталей и сплавов при ударных нагрузках средней интенсивности;

ВК20К - штамповка и высадка углеродистых, легированных и специальных сталей при обычной и повышенной температурах и при ударных нагрузках высокой интенсивности.

Для инструмента холодного выдавливания (преимущественно матриц) рекомендуются сплавы марок ВК20, ВК10КС и ВК20КС.

Бандажи для запрессовки твердосплавных рабочих вставок матриц следует изготавливать из сталей марок 30ХГСА и 35ХГСА (HRC 38-42). Заготовки этих бандажей рекомендуется проковывать по схеме с сохранением исходного продольного расположения их оси. Ковка заключается в трехкратной осадке с последующими вытяжками и четвертой осадке до заданного размера. Температура начала ковки 950°С, окончания 820-840°С.

После запрессовки твердосплавных вставок матрицы

должны пройти отпуск в масле при 160-180°C в течение 2,5-3 ч для снятия остаточных напряжений.

### **16 Стойкость инструмента и пути ее повышения**

Стойкость штампового инструмента обусловлена его рациональной конструкцией, правильным подбором штамповых материалов, жестким соблюдением технологии изготовления, тщательным отжигом и фосфатированием исходного материала и т.д.

В таблице 11 приведены опытные данные КамАЗа по стойкости рабочих деталей штампов для холодной объемной штамповки. Они получены на основании анализа результатов эксплуатации стального инструмента: пуансоны и выталкиватели - из стали Р6М5 (HRC 60-63), вставки матриц - из стали Х12М (HRC 58-60).

Значительно повысить стойкость штампового инструмента можно за счет применения твердых сплавов.

Существуют четыре основных случая целесообразного использования твердосплавного штампового инструмента:

1) при больших партиях изделий, когда высокая стоимость твердого сплава окупается его прочностью и сопротивлением износу;

2) при отношении длины пуансона к диаметру больше 4:1- за счет большей жесткости твердого сплава по сравнению с инструментальной сталью (в 2,5 раза);

3) при нагрузках на пуансон, превосходящих сжимающие напряжения, допускаемые для инструментальных сталей;

4) при повышенном износе стальных матриц для редуцирования, вытяжки с утонением, высадки и прямого выдавливания.

Таблица 11 – Стойкость стального штампового инструмента при холодной объемной штамповке фасонных стальных деталей

Наименование инструмента	Стойкость, тыс. шт. деталей	Примечание
1	2	3
Отрезные матрицы штампа для отрезки заготовок или соответствующей позиции автомата	100 25-30	Для штамповки сухарей и вкладышей шаровых пальцев Стойкость в зависимости от марки штампуемой стали и степени деформации
Пуансоны для закрытой осадки (калибрования) заготовок	25-50	
Пуансоны со сферической рабочей поверхностью для выдавливания внутренней сферы в кольцевых заготовках	5-25	
Пуансоны для обратного выдавливания	15-20	
	25	
Пуансоны для пробивки	25-50	
Пуансоны для прямого выдавливания	10-20	
Матрицы для закрытой осадки (калибрования) заготовок	15-20	
Матрицы для прямого выдавливания		
Матрицы для вытяжки с утонением	20-25	
Матрицы для обратного выдавливания	25	
Матрицы с неглубокими ступенчатыми рельефами		
	25	
Выталкиватели сплошные	5-10	
Выталкиватели трубчатые	50	
Пуансоны для высадки фланцев	15-50	Для штамповки деталей типа тарелки пружин клапана
Матрицы для пробивки		

Так, замена стали X12M, из, которой изготовлена рабочая вставка матрицы для вытяжки с утонением, сплавом BK15 при штамповке толкателя клапана КамАЗа (см. рис. 20, поз. 5) позволила повысить стойкость матрицы с 15-25 до 85-100 тыс. деталей. По достижении указанного значения стойкости матрицу

подвергают переполировке и снова устанавливают в штамп. Таким образом ее общая стойкость достигает 1 млн. деталей.

Пуансоны для обратного выдавливания из твердого сплава типа ВК20 применяются на ВАЗе при изготовлении поршневых пальцев. Их стойкость достигает 300 тыс. деталей.

Обобщенные сведения о стойкости (в тыс. шт. деталей) твердосплавного инструмента для холодного выдавливания по зарубежным данным приведены ниже:

Обратное выдавливание:

пуансон ..... 250-1000  
матрица ..... 500-5000

Прямое выдавливание:

пуансон ..... 1000-10000  
матрица ..... 500-1000

Для повышения стойкости инструмента при различных методах обработки материалов широко используется нанесение многослойных покрытий на рабочую поверхность инструмента. В качестве примера рассмотрим нанесение многослойного покрытия на рабочие элементы штампов для ХОШ.

Перед нанесением многослойного покрытия на рабочую поверхность инструмента, ее предварительно насыщают азотом на глубину 30-40 мкм, что способствует компенсации разницы тепло — физико — механических свойств материалов покрытия и инструмента. На азотированную поверхность наносят чередующиеся между собой промежуточные и компенсационные слои. Твердость последующего промежуточного слоя выше предыдущего.

Промежуточные слои служат для плавного изменения твердости от подложки к поверхности покрытия, тем самым увеличивая ударную вязкость, а компенсационные слои, состоящие из чистого титана и/или хрома, осуществляют связи между слоями. После каждого нанесенного слоя производят

ионное полирование. Последний поверхностный слой выполняют из пластичного материала, который служит для приработки и "залечивания" микротрещин износостойкого слоя покрытия. Такая обработка позволяет повысить рабочий ресурс инструмента, работающего при динамических нагрузках.

## 17 Моделирование типового процесса холодной объемной штамповки в QFORM

Ниже представлен пример моделирования одного типового перехода процесса холодной объемной штамповки в программном комплексе QForm.

Последовательность выполнения моделирования:

1. Запустите QForm.
2. Создайте новую операцию (рис. 35).

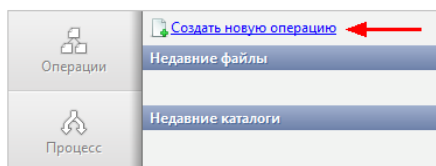


Рисунок 35 – Создание новой операции

3. Во вкладке «Процесс» (рис. 36) выберите «Тип процесса» - «Деформация», «Тип задачи» - «2D осесимметричная». Нажмите «Вперед».

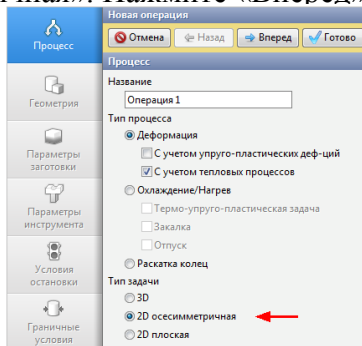


Рисунок 36 – Окно панели Процесс

4. Во вкладке «Геометрия» (рис. 37) щелкните «Загрузить» из файла и укажите путь к файлу геометрии. Файлы геометрии должны быть подготовлены заранее в любой CAD-системе, и с помощью программы QDraft распределены контура заготовки и инструментов по слоям с присвоением им стандартных имен. Нажмите «Вперед».

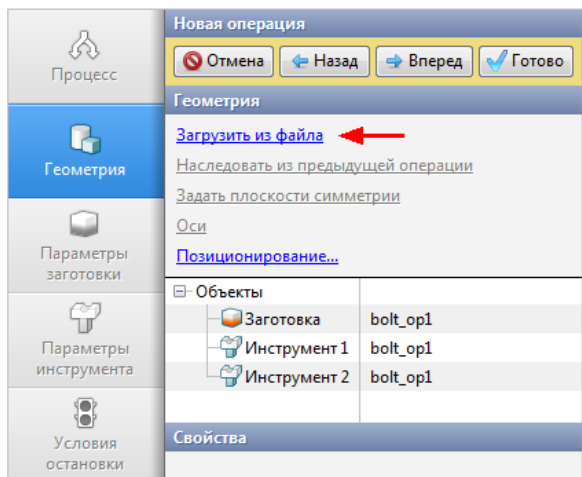


Рисунок 37 – Вкладка Геометрия

6. Во вкладке «Параметры заготовки» (рис. 38) необходимо задать материал и температуру заготовки. Щелкните напротив «Материал» [Выбрать...]

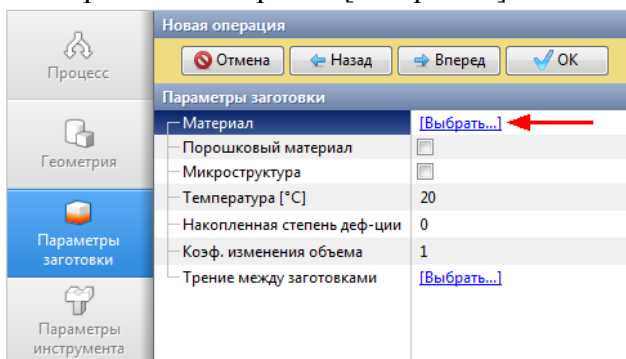


Рисунок 38 – Параметры заготовки

В открывшемся окне базы данных выберите материал и щелкните по нему два раза, после этого материал появится во вкладке «Параметры заготовки».

Задайте температуру заготовки. Нажмите «Вперед».

7. Во вкладке «Параметры инструмента» необходимо выбрать тип привода, температуру и смазку для каждого инструмента. Стоит обратить внимание, что в этом примере «Инструмент 1» - верхний инструмент, а «Инструмент 2» - нижний инструмент.

Напротив «Привод-Инструмент 1» нажмите [Выбрать...]. Если необходимо создать новое оборудование, нажмите «Создать» и задайте параметры оборудования, как показано на рисунке 39, нажмите «Сохранить как...» и задайте имя для нового оборудования, например, *bolt\_0.8MN*.

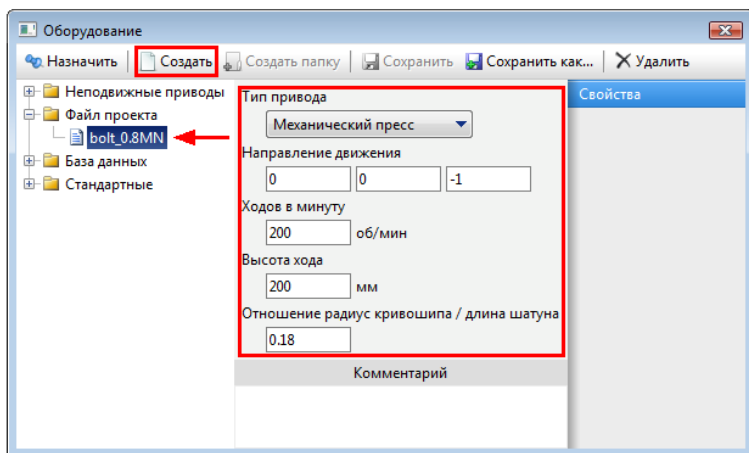


Рисунок 39 – Параметры инструмента 1

«Инструмент 2» - неподвижный, и он действует в направлении оси OZ. Напротив «Привод-Инструмент 2» нажмите [Выбрать...], в окне базы данных оборудования выберите «Неподвижные приводы\+OZ» и щелкните по нему два

раза, выбранный привод появится напротив «Привод-Инструмент 2».

Далее напротив «Смазка» нажмите [Выбрать...] и двойным щелчком задайте. Смазка появится в пункте «Смазка» сразу напротив всех инструментов.

Напротив «Материал» нажмите [Выбрать...] и двойным щелчком задайте материал. Также необходимо назначить температуру Инструментов 1, 2 - 20 градусов. В пункте «Свести в контакт» выбрать «С отводом назад» (Рисунок 40). Нажмите «Вперед».

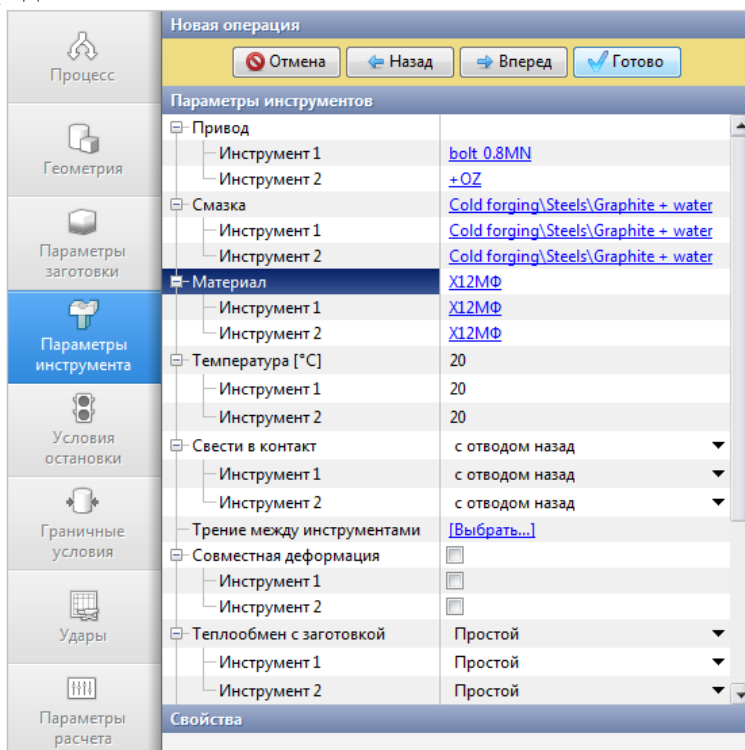


Рисунок 40 – Параметры инструмента – материал инструмента

8. Во вкладке «Условия остановки» необходимо задать конечное расстояние между инструментами. Нажмите




«Добавить условие».

Напротив «Условие 1» выберите «Расстояние». После этого укажите значение конечного расстояния (мм), выберите инструменты, между которыми оно задается и точку между этими инструментами. Нажмите «Вперед»

9. Во вкладке «Граничные условия» все остается без изменений. Нажмите «Вперед».

10. Во вкладке «Удары» все остается без изменений. Нажмите «Вперед».

11. Во вкладке «Параметры процесса» все остается без изменений. Нажмите «Готово».

Нажмите на кнопку «Расчет» , и программа предложит сохранить проект. Задайте имя проекта и нажмите ОК. После этого начнется расчет.

12. После того как расчет будет завершен, во вкладке «Операции» выделите Операцию 1. Для создания второго перехода цепочки нажмите «Создать продолжение операции» (рис. 41).

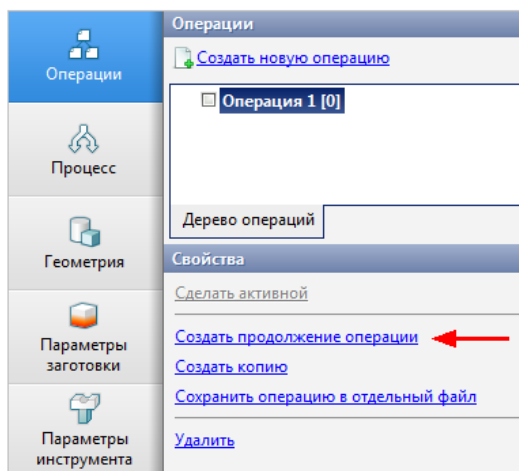


Рисунок 41 – Создание продолжения операции

13. Выполнить по аналогии пункты 1-12 для второго перехода.

#### 14. Просмотр результатов после завершения моделирования.

В QForm интерфейсная часть и расчетное ядро полностью разделены и работают независимо, поэтому просмотр всех результатов моделирования возможен как в процессе расчета, так и после его остановки. В программе имеется широкий набор инструментов для управления отображением объектов, вывода расчетных полей, графиков и трассировочной информации (рис.42).

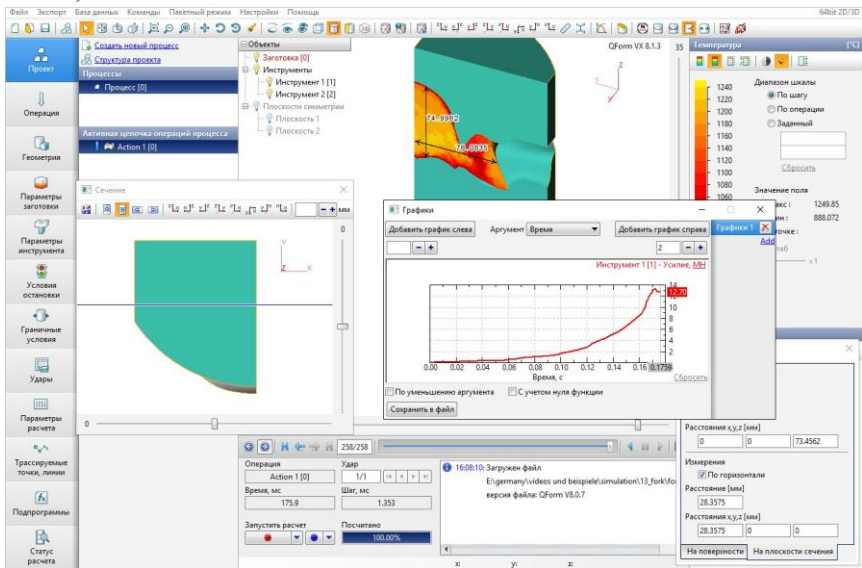


Рисунок 42 – Инструменты для просмотра и анализа результатов моделирования

Инструменты для просмотра и анализа результатов моделирования в QForm можно разделить на следующие группы:

- Отображение объектов. Управление отображением объектов осуществляется с помощью кнопок Панели инструментов.

- Вывод расчетных полей. Инструменты управления выводом полей расположены в правой части главного окна

программы. Расчетные поля разделены на четыре группы: поля заготовки, поля инструмента, общие поля и поля в трассируемых точках. С помощью инструментов Панели шкалы можно изменять способ отображения полей и менять диапазон значений.

- Сечения и измерения. Окно Сечение открывается кнопкой «Показать сечение плоскостью», расположенной на Панели инструментов. Необходимое сечение создается перемещением синей линии с помощью мыши. Также можно двойным щелчком указать элемент на поверхности объекта, в этом случае сечение пройдет через указанную грань, после этого необходимо задать величину смещения сечения в направлении, перпендикулярном плоскости сечения. Окно измерения объектов открывается кнопкой «Измерить», расположенной на Панели инструментов. Возможно измерение расстояний между двумя произвольными точками в пространстве, а также – в сечении.

- Вывод графиков. Окно вывода графиков открывается кнопкой Графики, расположенной на Панели инструментов. Возможен вывод графиков энергосиловых и кинематических характеристик инструментов, а также – расчетных значений в трассируемых точках. Экспорт данных из графиков осуществляется в файлы с расширениями \*.xlsx, \*.xls, \*.csv.

- Сохранение анимаций и изображений. Для сохранения картинок и видео с результатами моделирования необходимо нажать на кнопку «Анимация», расположенную на Панели проигрывания результатов.

- Отображение трассируемых точек и линий. С помощью инструментов вкладки «Трассируемые точки, линии», расположенной на Панели исходных данных, можно управлять отображением объектов трассировки.

## Список литературы

1 Дмитриев, А.М. Восстановление деталей пластической деформацией (теория, технология, оборудование) Научное издание / А.М. Дмитриев, В.Г. Шibaков, Д.Л. Панкратов. М.: Academia, 2012. 387 с.

2 Панкратов Д.Л., Владимiрова С.Г. Проектирование технологических процессов холодной объемной штамповки. Набережночелнинский институт КФУ. 2017. 168 с.

3 РТМ 37.002.0098-83 Холодная объемная штамповка стальных деталей в автомобильной промышленности М.: 1984. 210 с.

4 Кроха В.А. Упрочнение металлов при холодной пластической деформации. Справочник / В.А. Кроха. М.: Машиностроение, 1980. 157 с.

5 Третьяков, А.В. Механические свойства сталей и сплавов при пластическом деформировании. Справочник / А.В. Третьяков, Г.К. Трофимов, М.К. Гурьянов. М.: Металлургия, 1971. 64 с.

6 Филимонов, Ю.Ф. Штамповка прессованием / Ю.Ф. Филимонов, Л.А. Позняк. М.: Машиностроение, 1964. 188с.

7 Ковка и штамповка: Справочник в 4-х т/Ред. Совет: Е.И. Семенов (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1987 – т. 3. Холодная объемная штамповка/ Под ред. Г.А. Навродского. 1987. 384 с., ил.

8 Обработка металлов давлением в машиностроении / П.И. Полухин, В.А. Тюрин, П.И. Давидков, Д.Н. Витанов. М.: Машиностроение. 1983. 280 с. Илл.

9 Норицын, И.А. Повышение штампуемости конструкционных углеродистых сталей при холодном выдавливании / В.А. Головин, И.К. Букин—Батырев // Вестник

машиностроения. — 1967.— № 1.— с. 54-57.

10 Соколов, А.М. Термическая обработка среднеуглеродистых сталей для улучшения их деформируемости в холодном состоянии / А.М. Соколов, Д.И. Брон, И.И. Белугин, Г.А. Волченко // Технология автомобилестроения. — 1981.— №5.— с. 6-11.

11 РТМ 37.002.0098-83.

12 Панкратов Д.Л., Сосенушкин Е.Н., Ступников В.П., Шibaков В.Г. Автоматизация, робототехника и гибкие производственные системы кузнечно-штамповочного производства: Учеб. Пособие/Под ред. д.т.н. проф. В.Г. Шibaкова – М.: Машиностроение 2001.-339 с., ил.

13 Официальный сайт QForm: <http://www.qform3d.ru/> (дата обращения: 06.05.2018)

# Приложение 1

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Набережночелнинский институт  
Казанского (Приволжского) федерального университета  
Кафедра Машиностроения  
г. Наб. Челны

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

По дисциплине: \_\_\_\_\_

Тема курсовой работы: \_\_\_\_\_

Годовая программа выпуска деталей \_\_\_\_\_ шт.

### СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

#### Пояснительная записка

1. Введение.
2. Проектирование чертежа штампованного изделия;
3. Расчет объема и массы штамповки с учетом возможных отходов металла;
4. Определение формы заготовки и исходного материала; выбор метода разделения исходного материала на заготовки и соответствующего технологического оборудования;
5. Выбор вида, количества и последовательности переходов штамповки и операций предварительной и промежуточной обработки заготовок; определение удельных и полных усилий штамповки, степени деформации по переходам и суммарной деформации; определение размеров и форм промежуточных полуфабрикатов;
6. Выбор штамповочного оборудования, печей для отжига и установок для фосфатирования; расчет необходимого оборудования;

#### Графическая часть

1. Чертеж детали.
2. Чертеж поковки.
3. Чертежи переходов штамповки.
4. Чертеж штампа
5. Графическое представление результатов моделирования в Qform (при наличии)

Руководитель курсовой работы \_\_\_\_\_

Дата получения задания \_\_\_\_\_

**Основные величины и параметры процессов холодной  
объемной штамповки**

$D_0, d_0, h_0$  — размеры исходной заготовки, мм;

$d, d_1, H, h, h_1$  — размеры детали после штамповки, мм;

$a_0, a_1, b$  — величины незаполнения угла полости закрытого штампа, мм;

$S$  — толщина стенки детали типа втулки или стакана, мм;

$F_0, F_1$  — площади поперечных сечений исходной заготовки и штампованной детали соответственно, мм<sup>2</sup>;

$V_0$  — объем заготовки, мм<sup>3</sup>;

$G_0$  — масса заготовки, кг;

$\mu$  — коэффициент контактного трения (для процессов холодной объемной штамповки составляет 0,08-0,12);

$\sigma_{SO}$  — предел текучести материала заготовки, МПа;

$\sigma_{SI}$  — напряжение течения металла, МПа;

$\sigma_B$  — предел прочности материала заготовки, МПа;

$\varphi$  — средняя логарифмическая степень деформации;

$\varepsilon$  — относительное обжатие поперечного сечения заготовки при выдавливании (относительная осадка при высадке);

$2\alpha$  — угол раствора конического участка матрицы, град;

$\alpha$  — угол раствора конического участка матрицы в радианах;

$\beta$  — угол наклона рабочего торца пуансона для обратного выдавливания, град;

$\gamma$  — угол наклона образующей обратного конуса на рабочей части пуансона для обратного выдавливания, град;

$\theta$  — коэффициент, учитывающий влияние угла  $\gamma$  на величину усилия обратного выдавливания;

$P$  — полное усилие штамповки, Н;

$P$  — удельное усилие штамповки, МПа;

$A_{\text{деф}}$  — работа деформирования, Дж;

$D_M, D_{M1}, D_{M2}$  — диаметры ступеней в полости матрицы, мм;

$d_k$  — диаметр рабочей (калибрующей) части пуансона для обратного выдавливания или диаметр очка матрицы для прямого выдавливания (вытяжки с утонением стенки), мм; .

$d_{k1}$  — диаметр полости за очком матрицы для выдавливания, мм;

$L_k$  — длина калибрующего пояска в очке матрицы для выдавливания, мм;

$d_{ст}$  — диаметр направляющей части пуансона для прямого выдавливания (стержневой части пуансона для обратного выдавливания), мм;

$d_3$  — диаметр закрепляемой части пуансона, мм;

$D_{0,1}$  — диаметр опорной части пуансона, мм;

$d_{опр}$  — рабочий диаметр оправки пуансона для прямого выдавливания полых деталей, мм;

$H_{оп}$  — высота опорной части пуансона, мм;

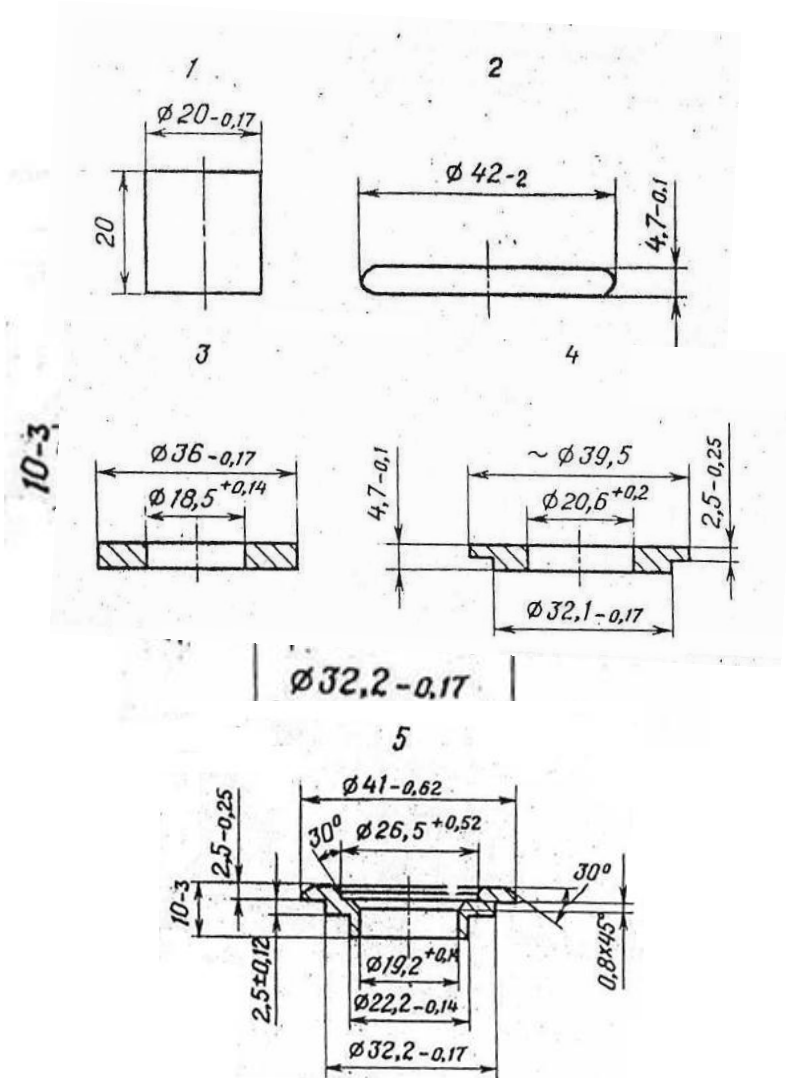
$H_3$  — длина закрепляемой части пуансона, мм.



Эскизы переходов и маршрутные технологические процессы холодной объемной штамповки

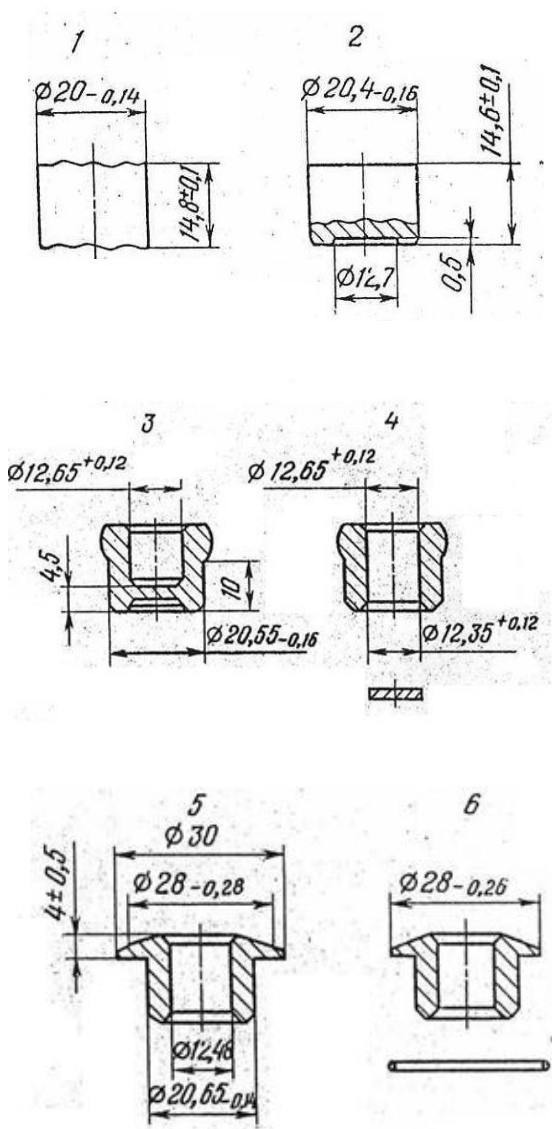
Тарелка пружин клапана

Материал: сталь 20 (ГОСТ 10702-78) в бунтах



1. Отрезка и осадка заготовок (поз. 1,2), автомат для штамповки шариков мод. А3724.
2. Отжиг заготовок, печь электрическая конвейерная мод. СКЗ 8.50.2,5/10-100.
3. Фосфатирование и омыливание заготовок, линия фосфатирования мод. АЛХ-73.
4. Пробивка и обрезка заготовок (поз. 3), пресс мод. КД2328Ц усилием 0,83 МН.
5. Фосфатирование и омыливание заготовок, линия фосфатирования мод. АЛХ-73.
6. Осадка контурная (поз. 4), пресс мод. К0032 усилием 1,6 МН.
7. Объемная штамповка (поз. 8), пресс мод. К0032 усилием 1,6 МН

**Гайка регулировочная**  
**Материал: сталь 20 (ГОСТ 10702-78) в бунтах**

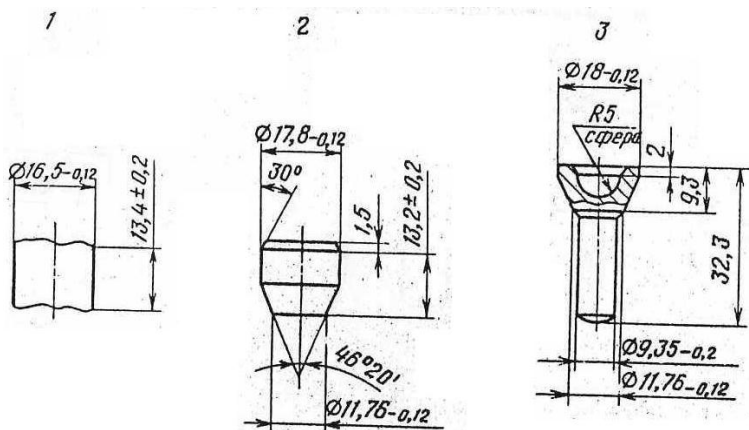


1. Отрезка и осадка заготовок (поз. 1, 2), автомат для штамповки роликов мод. А3723А.

2. Отжиг заготовок, печь электрическая конвейерная мод. СКЗ 8.50.2,5/10-100.

3. Фосфатирование и омыление заготовок, линия фосфатирования мод. АЛХ-73.
4. Выдавливание (поз. 3), пресс мод. К0032 усилием 1,6 МН.
5. Пробивка (поз. 4), пресс мод. КД2328Д усилием 0,63 МН.
6. Осадка фланца (поз. 5), пресс мод. К0032 усилием 1,6 МН.
7. Обрезка (поз. 6), пресс мод. КД2328Д усилием 0,63 МН.

**Наконечник штанги верхний**  
**Материал: сталь 15 ХФ (ГОСТ 4543-71) в бунтах**



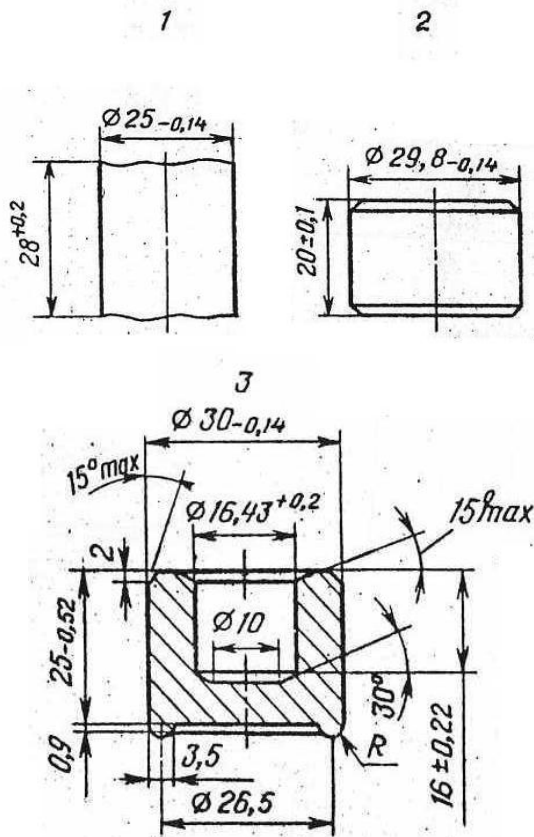
1. Отрезка и осадка заготовок (поз. 1,2), автомат для штамповки шариков мод. А3724.

2. Отжиг заготовок, печь электрическая конвейерная мод. СКЗ 8.50.2,5/10-100.

3. Фосфатирование и омыливание заготовок, линия фосфатирования мод. АЛХ-73.

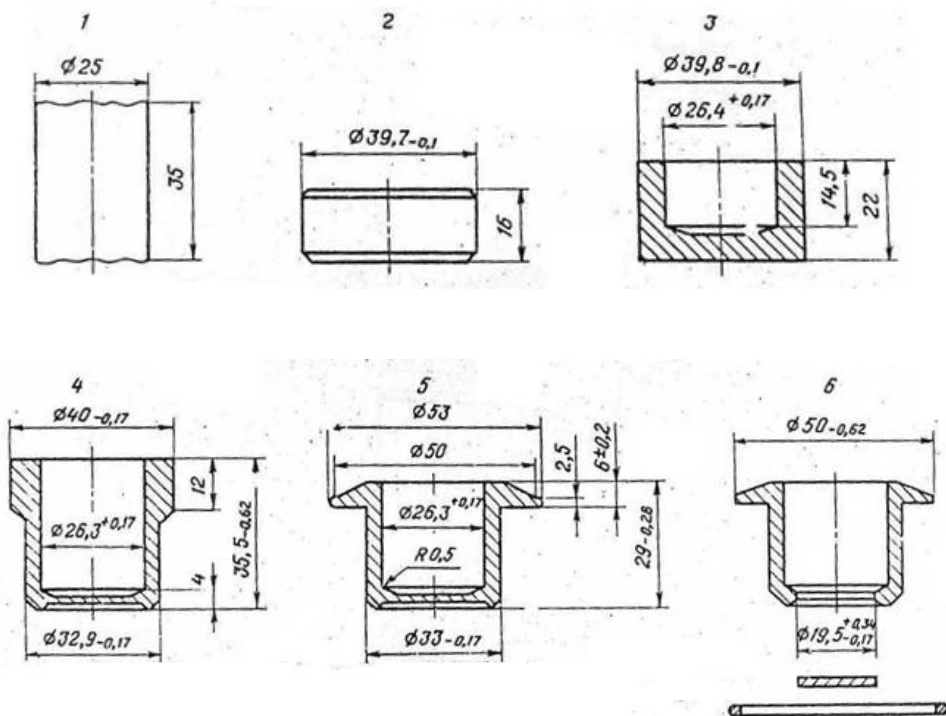
4. Выдавливание (поз. 3), пресс мод. К0032 усилием 1,6 МН.

**Корпус спускного**  
**Материал: сталь 10 (ГОСТ 10702-78) в прутках.**



1. Отрезка заготовок (поз. 1), пресс мод. К2232 усилием 1,6 МН.
2. Фосфатирование и омыливание заготовок, линия фосфатирования мод. АЛХ-73.
3. Осадка заготовок (поз. 2), пресс мод. К0034 усилием 2,5 МН.
4. Отжиг заготовок, печь электрическая конвейерная мод. СКЗ 8.50.2,5/10-100.
5. Фосфатирование и омыливание заготовок, линия фосфатирования мод. АЛХ-73.
6. Выдавливание (поз. 3), пресс мод. К0034 усилием 2,5 МН.

**Стакан стержня механизма блокировки межосевого  
дифференциала**  
**Материал: сталь 20 (ГОСТ 10702-78) в прутках**



1. Отрезка заготовок (поз. 1), пресс мод. К2535 усилием 3,15МН.

2. Фосфатирование и омыливание заготовок, линия фосфатирования мод. АЛХ-73.

3. Осадка заготовок (поз. 2), пресс мод. К0036 усилием 4 МН.

4. Отжиг заготовок, печь электрическая конвейерная мод. СКЗ 8.50.2,5/10-100.

5. Фосфатирование и омыливание заготовок, линия фосфатирования мод. АЛХ-73.

6. Выдавливание обратное (поз. 3), пресс мод. К0034 усилием 2,5 МН.

7. Отжиг полуфабрикатов, печь электрическая конвейерная мод. СКЗ 8.50.2,5/10-100.

8. Фосфатирование и омыливание полуфабрикатов, линия фосфатирования мод. АЛХ-73.

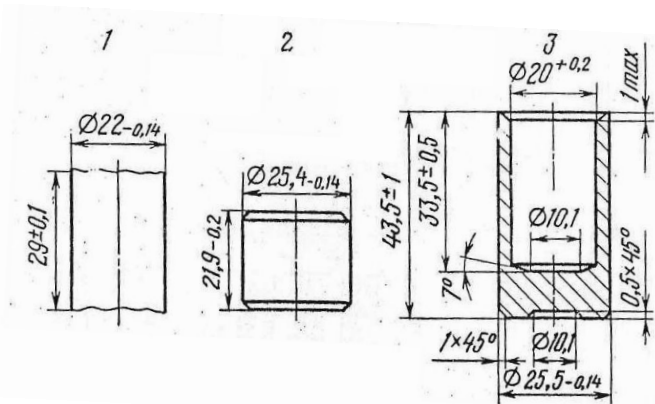
9. Выдавливание прямое (поз. 4), пресс мод. К0034 усилием 2,5 МН.

10. Осадка фланца (поз. 5), пресс мод. К0034 усилием 2,5 МН.

11. Пробивка и обрезка (поз. 6), пресс мод. КД2328 усилием 0,63 МН.

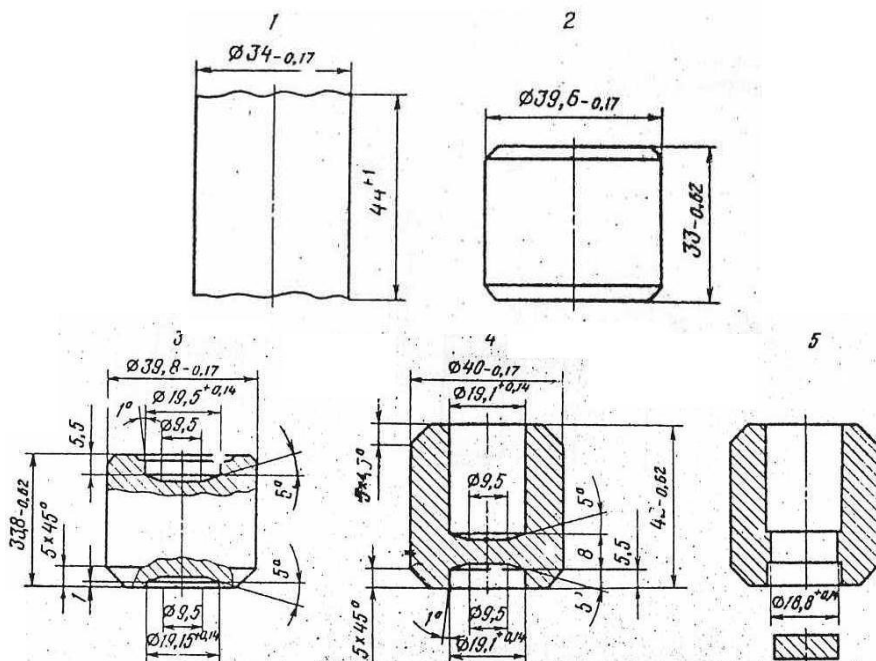


**Муфта наконечника шланга высокого давления  
Материал: сталь 15 (ГОСТ 10702-78) в прутках**



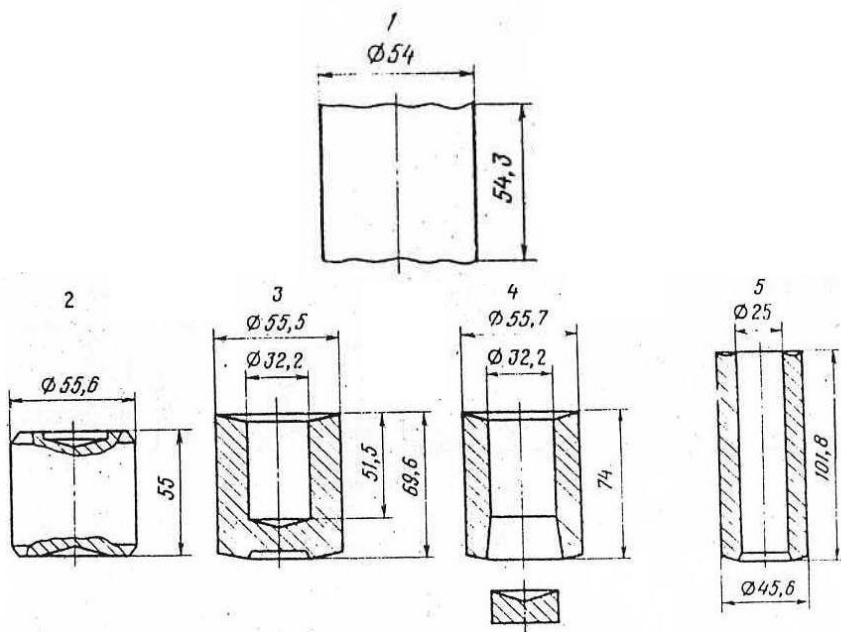
1. Отрезка заготовок (поз. 1), пресс мод. К2232 усилием 1,6 МН.
2. Фосфатирование и омыливание заготовок, линия фосфатирования мод. АЛХ-73.
3. Осадка заготовок (поз. 2), пресс мод. К0034 усилием 2,5 МН.
4. Отжиг заготовок, печь электрическая конвейерная мод. СКЗ 8.50.2,5/10-100.
5. Фосфатирование и омыливание заготовок, линия фосфатирования мод. АЛХ-73.
6. Выдавливание (поз. 3), пресс мод. К0034 усилием 2,5 МН.

**Ролик колодки тормоза**  
**Материал: сталь 20 (ГОСТ 10702-78) в прутках**



1. Отрезка заготовок (поз. 1), пресс мод. К2535 усилием 3,15 МН.
2. Фосфатирование и омыливание заготовок, линия фосфатирования мод. АЛХ-73.
3. Осадка заготовок (поз. 2), пресс мод. К0036 усилием 4 МН.
4. Отжиг заготовок, печь электрическая конвейерная мод. СКЗ 8.50.2,5/10-100.
5. Фосфатирование и омыливание заготовок, линия фосфатирования мод. АЛХ-73.
6. Выдавливание углубления (поз. 3), пресс мод. К0034 усилием 2,5 МН.
7. Выдавливание обратное (поз. 4), пресс мод. К0034 усилием 2,5 МН.
8. Пробивка (поз. 5), пресс мод. КД2328 усилием 0,63 МН.

**Поршневой палец**  
**Материал: сталь 12 ХН2 (ГОСТ 4543-71) в прутках**



1. Отрезка заготовок (поз. 1), пресс мод. РКР-250 фирмы Kaltform (ФРГ) усилием 2,5МН.

2. Отжиг заготовок, печь электрическая проходная толкательная фирмы Holcroft (США).

3. Фосфатирование и омыливание заготовок, линия фосфатирования фирмы Blasberg (ФРГ).

4. Осадка заготовок (поз. 2), выдавливание обратное (поз. 3), пробивка (поз. 4), пресс многопозиционный мод. ККРРФ-630 фирмы Kaltform усилием 6,3МН.

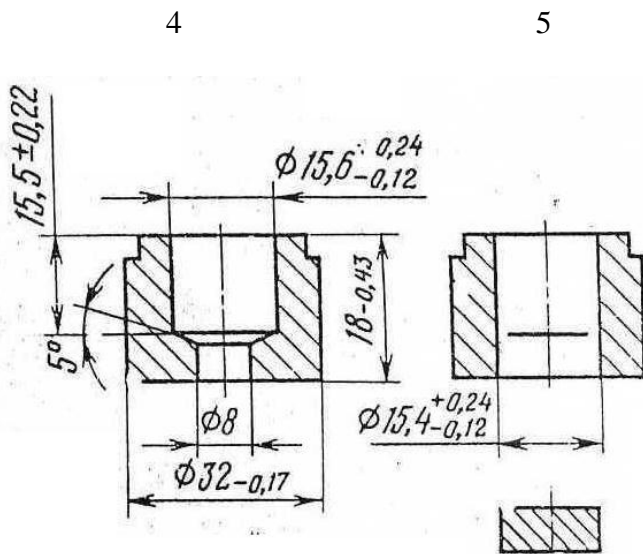
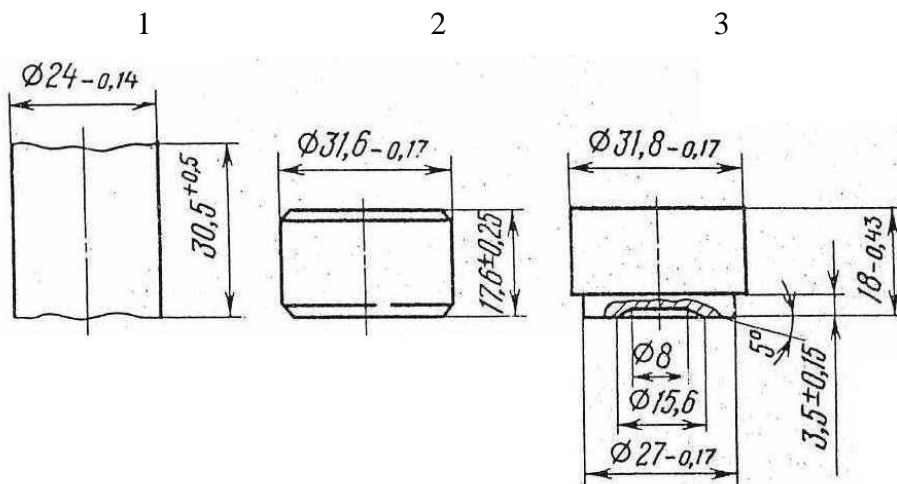
5. Дефосфатирование полуфабрикатов, установка для дефосфатирования фирмы Blasberg.

6. Отжиг полуфабрикатов, печь электрическая проходная толкательная фирмы Holcroft.

7. Фосфатирование и омыливание полуфабрикатов, линия фосфатирования фирмы Blasberg.

8. Прямое выдавливание (поз. 5), пресс мод. ККРРФ-630 фирмы Kaltform усилием 6,3 МН.

**Опора оси педали сцепления**  
**Материал: сталь 20 (ГОСТ 10702-78) в прутках**

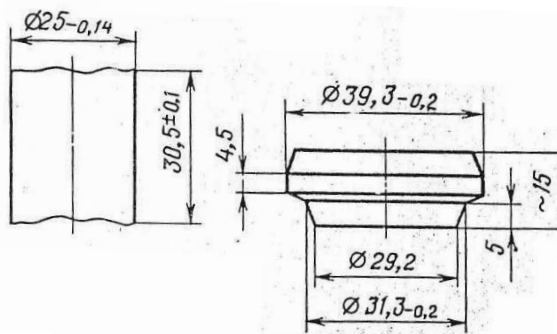


1. Отрезка заготовок (поз. 1), пресс мод. К2232 усилием 1,60МН.
2. Фосфатирование и омыливание заготовок, линия фосфатирования мод. АЛХ-73.
3. Осадка заготовок (поз. 2), пресс мод. К0034 усилием 2,5МН.
4. Отжиг заготовок, печь электрическая конвейерная мод. СКС 8.50.2,5/10-100.
5. Фосфатирование и омыливание заготовок, линия фосфатирования мод. АЛХ-73.
6. Выдавливание уступа и закрытая осадка (поз. 3), пресс мод. К0034 усилием 2,5МН.
7. Выдавливание полости (поз. 4), пресс мод. К0034 усилием 2,5МН.
8. Пробивка (поз. 5), пресс мод. КД2328 усилием 0,63 МН.

**Втулка крышки картера заднего моста**  
**Материал: сталь 20 (ГОСТ 10702-78) в прутках**

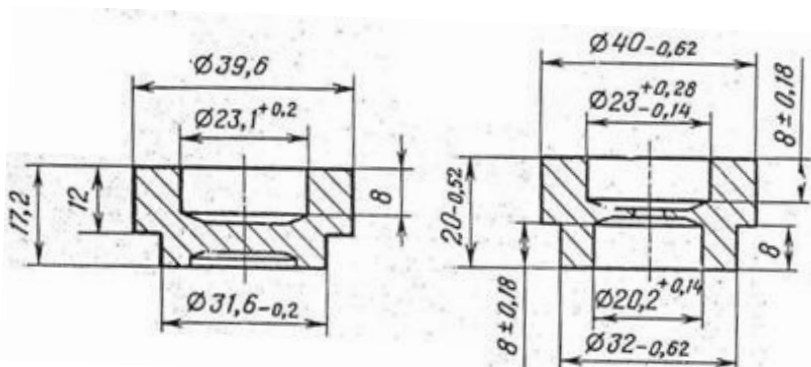
1

2



3

4



1. Отрезка заготовок (поз. 1), пресс мод. К2535 усилием 3,15МН.

2. Фосфатирование и омыливание заготовок, линия фосфатирования мод. АЛХ-73.

3. Поперечное выдавливание (поз. 2), пресс мод. К0036 усилием 4 МН.

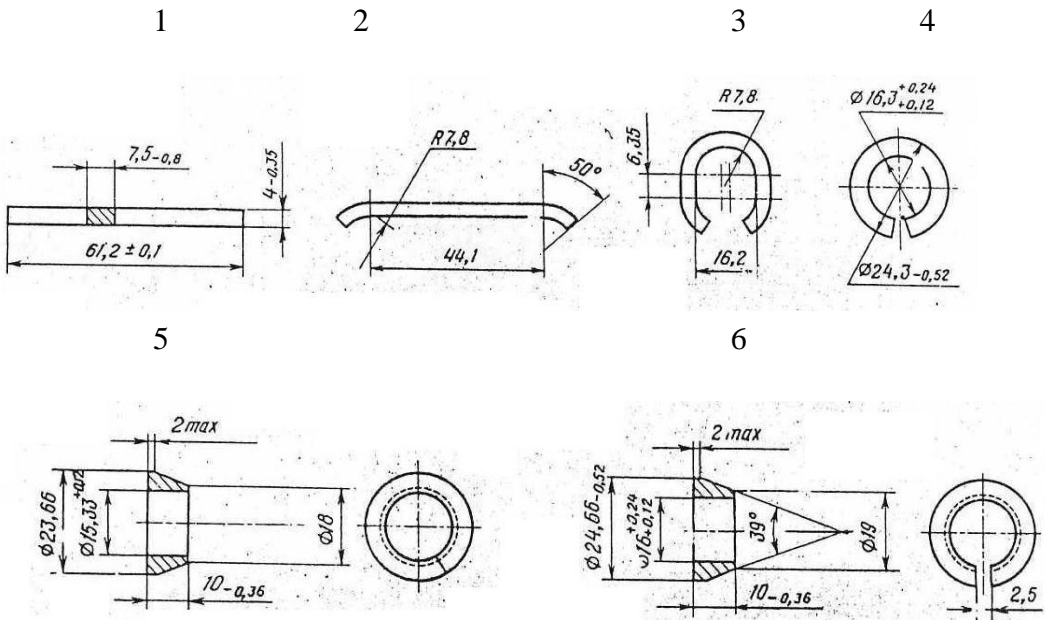
4. Отжиг полуфабрикатов, печь электрическая конвейерная мод. СКЗ 8.50.2,5/10-100.

5. Фосфатирование и омыливание полуфабрикатов, линия фосфатирования мод. АЛХ-73.

6. Выдавливание верхней полости (поз. 3), пресс мод. К0034 усилием 2,5МН.

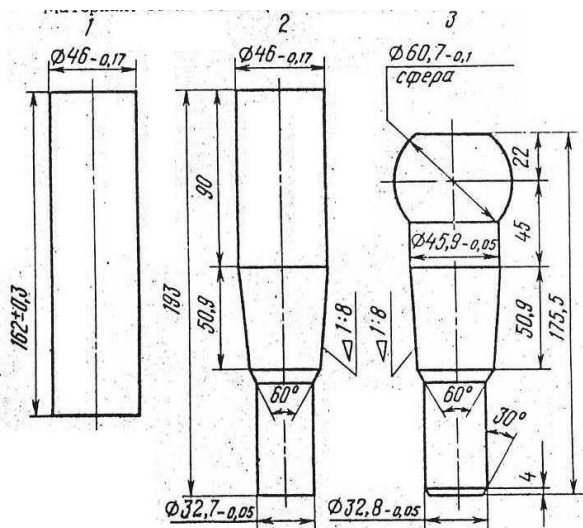
7. Выдавливание нижней полости (поз. 4), пресс мод. К0034 усилием 2,5МН.

**Втулка разжимная шпильки полуоси**  
**Материал: сталь 30 (ГОСТ 1050-60) плоская лента в**  
**бунтах**



1. Отрезка заготовок и гибка их в кольцо (поз. 1, 2, 3, 4), автоматический комплекс на базе прессы мод. КД2330 усилием 1МН.
2. Отжиг заготовок, печь электрическая шахтная мод. Ц105Б.
3. Фосфатирование и омыливание заготовок, линия фосфатирования мод. АЛХ-73.
4. Выдавливание (поз. 5), пресс мод. К0032 усилием 1,6МН.
5. Раздача (поз. 6), пресс мод. КД2328 усилием 0,63 МН.

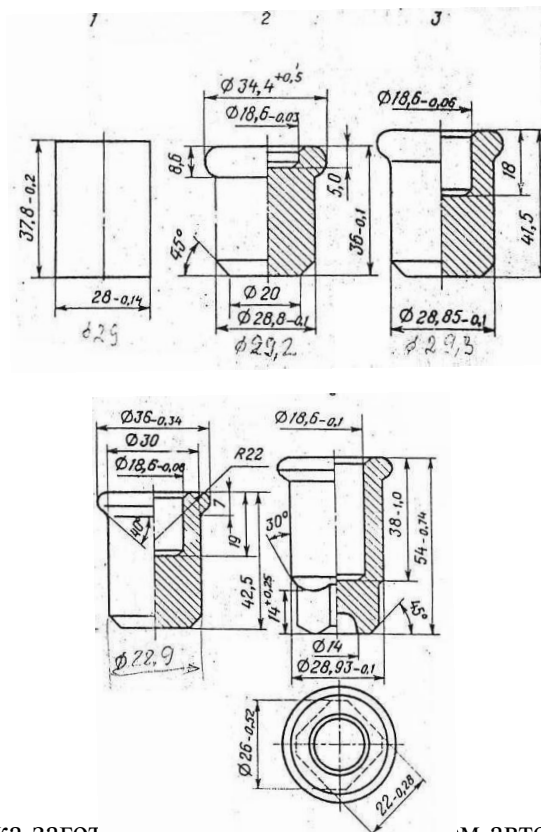
**Шаровой палец реактивных штанг**  
**Материал: сталь 55ПШ (ТУ 77-77-64) в прутках**



1. Отрезка заготовок, пресс мод. К273 усилием 2,5МН, обтачивание по наружной поверхности и подрезка торцев (поз. 1).
2. Фосфатирование и омыливание заготовок, линия фосфатирования КрАЗа.
3. Выдавливание прямое (поз. 2), пресс мод. LKP-400/900 (ЧССР) усилием 4 МН.
4. Высадка (поз. 3), пресс мод. LKP-400/900 (ЧССР) усилием 4 МН.



**Гайка внутренняя крепления заднего колеса  
Материал: сталь 10 (ГОСТ 10702-78)\* в прутках.**



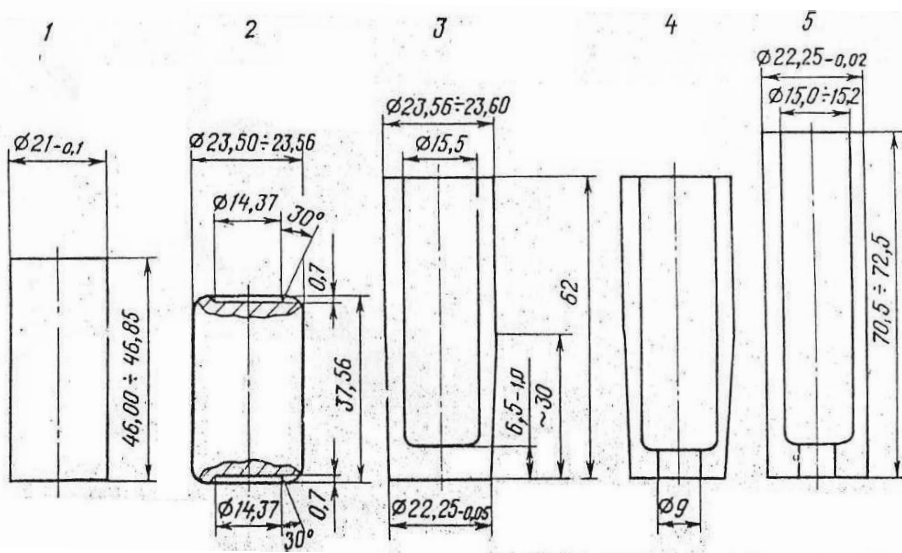
1. Отрезка заготовок из прутка диаметром  $\varnothing 28$  мм на станке (поз. 1).
2. Фосфатирование и омыливание заготовок, линия фосфатирования КраЗа.
3. Высадка фланца и выдавливание центрирующего углубления (наметки) (поз. 2), пресс мод. К0034 усилием 2,5МН
4. Выдавливание обратное (поз. 3), пресс мод. К0034 усилием 2,5МН.
5. Окончательное формирование фланца (поз. 4), пресс мод. К0034 усилием 2,5МН

6. Фосфатирование и омыливание полуфабрикатов, линия фосфатирования КрАЗа.

7. Выдавливание комбинированное (поз. 5), пресс мод. К0034 усилием 2,5МН.

\* Завод получает отожженный металл

**Поршневой палец**  
**Материал: сталь 12ХН (ГОСТ 4543-71) в бунтах**



1. Отрезка заготовок (поз. 1), пресс кривошипный фирмы Verson (США) усилием 2,15 МН.

2. Осадка заготовок (поз. 2), пресс кривошипный фирмы Verson усилием 3МН.

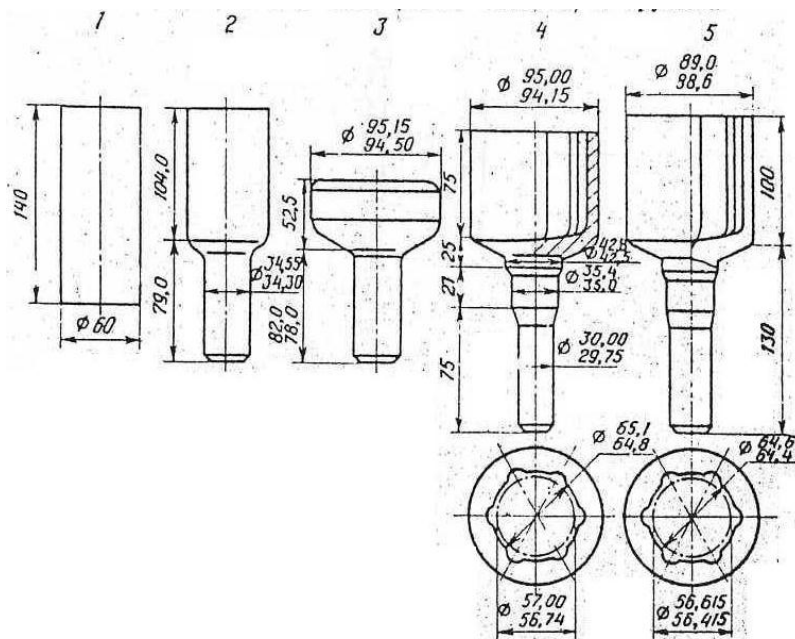
3. Отжиг заготовок, печь электрическая проходная толкательная фирмы Humbert (Италия).

4. Фосфатирование и омыливание заготовок, линия фосфатирования фирмы Ocifel (Италия).

5. Выдавливание обратное (поз. 3), пробивка отверстия в дне (поз. 4), вытяжка с утежением стенки на провал (поз. 5), пресс двухкривошипный специальный с шестипозиционным штампом с револьверной подачей на базе прессы мод. F-S2-300 фирмы Verson усилием 3МН.

## Корпус шарнира внутренний

Материал: сталь 16ХГ (ГОСТ 4543-71) в прутках



1. Отрезка заготовок дисковой пилой (позиция 1).
2. Отжиг заготовок, печь электрическая проходная толкательная фирма Holcroft (США).
3. Фосфатирование и омыливание заготовок, линия фосфатирования фирмы Blasberg (ФРГ).
4. Выдавливание прямое (позиция 2), пресс кривошипный фирмы Wilkins&Mitchell (Великобритания) усилием 9,65 МН.
5. Высадка (позиция 3), пресс кривошипный фирмы Wilkins&Mitchell усилием 9,65 МН.
6. Отжиг полуфабрикатов, печь электрическая проходная толкательная фирма Holcroft.
7. Фосфатирование и омыливание полуфабрикатов, линия фосфатирования фирмы Blasberg.
8. Выдавливание комбинированное (позиция 4), пресс кривошипный фирмы Wilkins&Mitchell усилием 9,65 МН.

9. Отжиг полуфабрикатов, печь электрическая проходная толкательная фирма Holcroft.

10. Фосфатирование и омыливание заготовок, линия фосфатирования фирмы Blasberg.

11. Выдавливание прямое (позиция 5), пресс кривошипный фирмы Wilkins&Mitchell усилием 9,65 МН.