МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

# «московский политехнический университет» (МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Электростальский институт (филиал) Московского политехнического университета

Методические указания

«Проектирование технологических процессов кузнечно-

штамповочного производства

Часть 1 Проектирование штампованных поковок.»

Направление подготовки 22.03.02 «Металлургия 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

> Квалификация (степень) выпускника Бакалавр

Форма обучения Очная, очно-заочная, заочная

Электросталь 2021

# Методические указания разработаны в соответствии с требованиями ΦГОС ВПО по направлениям подготовки: 22.03.02 «Металлургия», 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Автор: Таупек И.М.

Методические указания одобрены на заседании кафедры «Машиностроительные и металлургические технологии» 03.06.2021 протокол №10

Введение	4
1. Курсовое проектирование	5
1.1 Задачи курсового проектирования	5
1.2 Структура расчетно-пояснительной записки курсового проекта (работы)	5
1.3 Задание на курсовой проект (работу), сроки его выполнения и защита	5
2. Состав и последовательность выполнения курсового проекта (работы)	7
2.1 Введение	7
2.2 Технологическая характеристика детали	7
2.3 Обоснование выбора способа штамповки	7
2.4 Способ нагрева заготовок	11
2.5. Разработка чертежа поковки	14
2.5.1 Выбор плоскости разъема штампа	14
2.5.2 Назначение припусков, допусков, напусков /1, 2/	15
2.5.3 Выполнение чертежа поковки	30
2.5.4 Пример расчета (назначения) допусков, допускаемых отклонений и	
припусков на поковку втулка	
31	
2.6 Выбор переходов штамповки и ручьев штампов	33
2.7. Определение размеров и выбор исходной заготовки	43
2.7.1 Для поковок I группы, штампуемых на молотах /1,2/	43
2.7.2 Для поковок II группы, штампуемых на молотах /1,2/	44
2.7.3 Пример расчета при конструировании поковки и определение размеров исхо	дной
заготовки 45	
2.8 Конструирование и расчет ручьев	47
2.8.1 Штамповка на молотах	47
2.8.2 Штамповка на КГШП	49
2.8.3 Штамповка на ГКМ /1/	50
2.8.4 Штамповка на винтовых прессах/1/	51
2.8.5 Конструирование штампа для обрезки облоя и прошивки отверстия	52
2.9 Расчет усилия штамповки /1/	52
2.9.1 Определение массы падающих частей штамповочного молота	52
2.9.2 Определение необходимого усилия КГШП	54
2.9.3 Определение необходимого усилия штамповки и выбор ГКМ	55
2.9.4 Определение необходимого усилия штамповки на винтовых фрикционных	
npeccax 56	
2.9.5 Определение необходимого усилия штамповки на гидравлических прессах	57
3. Вспомогательные операции объемной штамповки	57
4. Завершающие и отделочные операции	57
5. Качество поковок	58
5.1 Факторы, определяющие точность и качество поковок	58
5.2 Коэффициент использования металла	58
5.2.1 Пути повышения коэффициента использования металла	59
5.3 Варианты совершенствования технологических процессов штамповки	61
6. Моделирование процесса горячей штамповки с использованием конечно-элементно	ого
программного комплекса DEFORM-2D	62
6.1 Создание и подготовка применяемых моделей	62
6.2 Работа с Препроцессором DEFORM	66
6.3 Работа с Постпроцессором DEFORM	102
Список использованных источников	116

#### Введение

В техническом вооружении промышленности процессы обработки металлов давлением (ОМД) играют весьма существенную роль, так как операции ОМД позволяют получать заготовки или детали требуемых форм, размеров и свойств путем пластического деформирования металла, то есть перераспределения его из одной части заготовки в другую. Все это дает возможность рассматривать обработку давлением как составной элемент технологии машиностроения, приборостроения и других производств.

В настоящее время обработка давлением и, в частности, кузнечно-штамповочное производство, является одним из самых металлосберегающих производств, так как отходы при производстве поковок и штамповок значительно ниже, чем при других способах производства. В целом эти отходы не присущи технологии объемной штамповки и большее или меньшее их количество характеризует лишь степень достигнутого технического совершенства данного производства поковок./1/. Такие операции ОМД, как штамповка из порошковых материалов и штамповка жидкого металла, вообще обеспечивают безотходное производство. Тот или иной метод обработки применяется, прежде всего, в зависимости от серийности производства.

Для штамповочного производства (ШП) желательно массовое и крупносерийное производство. Понятие серийности производства относительное, так как даже для одного и того же типа поковок это понятие может быть не одинаковым, и зависит оно от габаритов и массы поковки. Например, для поковки «коленчатый вал» для малолитражного автомобиля массой 1,5 кг мелкосерийное производство составит от 300 до 3000 штук, а для судового двигателя массой 120 кг – от 75 до 1000 штук.

Обработке давлением подвергают заготовки из черных и цветных металлов и сплавов, из пластических масс и других не металлических материалов.

По сравнению с другими способами изготовления деталей (обработкой резанием, литьем и сваркой) операции ОМД обеспечивают следующие преимущества:

- экономичное расходование металла;

- улучшение структуры, следовательно, и свойств деталей;

- снижение трудозатрат на изготовление;

- высокая производительность кузнечного и прессового оборудования;

- некоторые детали другим способом просто невозможно сделать./2/

По степени специализации кузнечно-штамповочные цехи подразделяются на специализированные, универсальные и смешанные. По характеру производство бывает индивидуальным, мелкосерийным, серийным, крупносерийным и массовым.

Процесс создания любой детали или машины состоит из двух неразрывно связанных этапов: проектирования и изготовления. При этом требования, предъявляемые к детали (машине) конструктором и технологом, часто оказываются взаимно противоречивыми. Например, стремление получить более точную и качественную деталь и машину неизбежно влечет за собой усложнение и удорожание технологии изготовления. И наоборот, необоснованное упрощение технологии изготовления, как правило, приводит к нарушению требований, которым должна отвечать машина и ее детали. Поэтому для создания высококачественной эффективной И машины необходимо согласование всех конструкторских технологических решений, ИХ строгое технико-экономическое И обоснование.

# 1. Курсовое проектирование

# 1.1 Задачи курсового проектирования

Курсовой проект (работа) предусматривает разработку технологического процесса объемной горячей штамповки на молотах, ГКМ, КГШП и других машинах. Она закрепляет и углубляет знания, полученные студентами в период прохождения учебной практики, при изучении лекционных материалов, выполнении лабораторных и практических работ.

При выполнении курсового проекта (работы) особое внимание уделяется самостоятельной деятельности студентов в целях развития их инициативы и стремления разработать более совершенный технологический процесс на основе критического подхода к действующим на предприятиях, изученным во время учебной практики.

Работа над курсовым проектом (работой) способствует закреплению полученных ранее навыков использования специальной справочной литературы, ГОСТов на материалы и оборудование, нормативов и методик расчетов, что будет являться основой в будущей практической деятельности по организации кузнечно-штамповочного производства.

1.2 Структура расчетно-пояснительной записки курсового проекта (работы)

- Введение.

- Задание на курсовое проектирование (курсовую работу).

- Анализ технического задания.

- Преобразование чертежа чистовой детали в чертеж горячей штамповки.

- Расчет и выбор исходной заготовки.

- Определение оптимальной схемы технологических переходов штамповки (перечня необходимых ручьев штампа или комплекта штампов).

- Выбор способа нагрева заготовок, разработка режима нагрева, определение характеристик печи или нагревательного устройства.

- Расчет параметров ручьев, конструирование штампа (монолитного) или ручьевых вставок при использовании сборного штампа (для курсового проекта).

- Выбор оптимальной технологической смазки и режима подогрева штампа (для курсового проекта).

- Выбор способа удаления облоя, выбор типа обрезного штампа или штампа для обрезки облоя и прошивки перемычки отверстия (для курсового проекта).

- Расчет усилия обрезки (прошивки) и выбор пресса (для курсового проекта).

- Конструирование пуансона, матрицы и съемника облоя обрезного штампа (для курсового проекта).

- Разработка режима, выбор методов и средств контроля качества штамповок (для курсового проекта).

- Выбор способа и средств очистки поверхности штамповок (для курсового проекта).

-.Выбор средств удаления дефектных участков (для курсового проекта).

-.Определение режима термической обработки, отделки (при необходимости), консервации и упаковки, если эти операции выполняются в штамповочном цехе (для курсового проекта).

- Список литературы, использованной при работе над курсовым проектом (курсовой работой).

- Графический материал курсового проекта (для курсового проекта).

1.3 Задание на курсовой проект (работу), сроки его выполнения и защита.

Перед началом работы студенты получают индивидуальное задание на специальном бланке. Вместе с заданием выдается также календарный план выполнения курсовой работы (проекта) с указанием сроков выполнения студентом определенных этапов (табл.1). Выполнение курсового проекта (работы) следует осуществлять в том порядке, который представлен в задании.

Курсовой проект включает пояснительную записку объемом 30...40 страниц текста и графическую часть; курсовая работа - пояснительную записку объемом 20...30 страниц текста

В зависимости от характера задания состав и содержание графической части курсового проекта назначается руководителем курсового проекта.

Студент представляет законченную работу руководителю курсового проектирования (курсовой работы), который решает вопрос о допуске студента к защите и ставит свои подписи на титульном листе расчетно-пояснительной записки, а также на каждом чертеже проекта.

К защите допускаются работы, выполненные в полном соответствии с заданием и в требуемом объеме согласно настоящим методическим указаниям. При защите курсовой работы (курсового проекта) студент выступает перед комиссией (не менее двух человек) с докладом, в котором четко, аргументировано, излагает суть выполненной работы.

Оценка производится по пятибалльной системе с учетом своевременности (согласно календарному плану), качества выполненного курсового проекта (курсовой работы), сделанного доклада и глубины ответов на заданные в процессе защиты вопросы.

№п/п	Этапы проектирования	№ недели	Выполнение,%	
			по	факти-
			плану	чески
1	Технологическая характеристика детали, обоснование	3 (3-6)*	25	
	способа штамповки, нагрева, разработка чертежа		(30)*	
	поковки			
2	Определение переходов штамповки	4 (7-8)*	30	
			(40)*	
3	Определение размеров заготовки	4 (8-10)*	35	
			(50)*	
4	Расчет усилия штамповки	5 (11-12)*	45	
			(60)*	
5	Конструирование и расчет ручьев	5-6 (14)*	50	
			(60)*	
6	Конструирование штампа	7-8	60	
7	Конструирование штампа для обрезки облоя	9-10	70	
8	Расчет усилия обрезного пресса	11-12	75 *	
9	Термический режим штамповки	13 (15)*	80	
			(80)*	
10	Мероприятия контроля качества поковок	14 (16)*	85	
			(90)*	
11	Представление графической части в законченном	15-16	90	
	виде			
12	Защита курсового проекта (курсовой работы).	17 (17)*	100	

Таблица 1 - Календарный план выполнения курсового проекта.

\*Примечание: В скобках указаны данные для выполнения курсовой работы.

# 2. Состав и последовательность выполнения курсового проекта (работы)

# 2.1 Введение

Во введении кратко изложить информацию не о выбранном способе штамповки вообще, а только о конкретных решениях в проекте (работе), о новых результатах и показателях по отдельным разделам спроектированного процесса штамповки.

Охарактеризовать заданную деталь и поковку по назначению, сложности формы, химическому составу материала, объему выпуска.

Отметить преимущества выбранного способа штамповки по сравнению с другим.

Привести значения расчетных коэффициентов (выхода годного, коэффициента использования материала (КИМ)) и оценить металлоемкость разработанного процесса штамповки.

Введение основывается на результатах анализа всех разделов пояснительной записки. Поэтому окончательную редакцию введения рекомендуется производить после полного завершения курсового проекта (работы).

# 2.2 Технологическая характеристика детали

Описать параметры детали: объем, массу, соотношение габаритных размеров и объемов ее частей, тип формы и ее особенности (удлиненная, круглая, сплошная, полая), химический состав и группу материала.

Определить назначение и установить степень ответственности ее при эксплуатации. Указать объем выпуска деталей и охарактеризовать тип, серийность производства.

Для конструирования рациональной формы поковки проанализировать чертеж детали и проверить возможность:

– получения заданной детали горячей штамповкой;

– штамповки по две и более деталей в одной поковке с последующей разрубкой или разрезкой;

– получения поковки наименее трудоемким способом, с использованием специального профиля или из проката периодического профиля.

Чертеж готовой детали следует выполнить на отдельном листе по стандартам ЕСКД.

# 2.3 Обоснование выбора способа штамповки

Определить место заданной детали в существующих классификациях поковок (табл.2), ознакомиться с известными методами получения горячей штамповкой аналогичных деталей, рассмотреть ряд возможных вариантов изготовления. По результатам анализа выбрать наиболее целесообразный метод получения поковки и согласовать с руководителем. При оценке вариантов процессов штамповки нужно исходить из следующих критериев: минимальная себестоимость производства поковки, минимальный расход металла, минимальная трудоемкость и т.д.

Таблица 2 - Классификация молотовых поковок /3/

Подг	руппы	Поковки типа			
Номер подгруппы; основная характеристика поковок	Технологические особенности изготовления.	A	Б		
1	2	3	4		
I группа. Пок	овки штампуемые і	перпендикулярно оси заготов	ки (штамповка плашмя)		
1. С прямой линией разъема О-О и прямой удлинненой главной осью А-А;отношение длины к средней ширине поковки в плане: $L_{\Pi} \ge 2,5$ $\overline{b}_{cp}$	Необходимы заготовительные операции для распределения металла исходной заготовки в соответствии с площадями поперечных сечений поковки.	С простыми поперечными сечениями (круглые, трапецеидальные и т. д.), получаемые при незначительном выдавливании металла.	Со сложными поперечными сечениями (ребристые, двутавровые и т. д.), получаемые при значительном выдавливании металла.		
2. С прямой линией разъема О-О и прямой удлинненой главной осью A-A, при $1,5 \leq \frac{L_{\Pi}}{\overline{b_{cp}}} \leq 2,5$	Необходимы заготовительные операции для перераспределен ия металла исходной заготовки в соответствии с площадями поперечных сечений поковки и для уширения заготовки.	То же что и в первом случае (кроме круглых сечений).	То же что и в первом случае.		

3.Удлиненные поковки с прямой осью, имеющей фланец. Площади остальных поперечных сечений отличаются друг от друга.	Необходимы подготовительн ые операции: для типа А – высадка фланца, для типа Б – высадка с предварительной протяжкой стержня.	Фланец небольшого объема: $\pi d^2$ $V_{\phi} = 3 \frac{\min}{4}$ ; $F_1 \gg F_2, F_3, F_4$ $, F_2 \approx F_3 \approx F_4$	Фланец большого объема: $\pi d^2$ $F_1 >> F_2, F_3,$ $V \phi > 3 - \frac{\min}{4}$ ; $F_2 \approx F_3$
4.Поковки с изогнутой осью, у которой главная ось или линия разъема кривая.	переходы по перераспределен ию объема заготовки А – гибка, Б – изгибается в штамповочных ручьях. При штамповке необходима конструкция штампа, предусматривать различные приспособления для уровновешивани я сдвиговых усилий.	С кривой главной осью и с формой поперечного сечения: а) простой; б) сложный.	С кривой главной осью и с формой поперечного сечения: а) простой; б) сложный.

5.Поковки удлиненые с отростками и развитлениями.	Кроме изготовительных ручьев изготавливают подготовитель- ный ручей для поковок типа А – со специальным элементом,обесп ечивающим последующее получение отростка. Иногда применяют формовочный ручей, чтобы сместить металл в сторону отростка. Тип Б – с рассекателем для разгонки металла в стороны.		
6.Поковки удлиненые комбинированн ой формы.	В зависимости от формы и размеров применяют различные штамповочные агрегаты, необходимые для рациональной штамповки разных участков.	Изготовление на штамп молоте в сочетании с прессом.	Штамповка на молоте в сочетании с ГКМ.
	II группа :	поковки осаживаемые в торе	ц Г
1.Круглые и квадратные.	Приемы штамповки сводятся к различным способам комбинирования осадки выдавливания и прошивки.	Крупные в плане поковки, штампуемые в основном осаживанием и выдавливанием.	Квадрат в плане поковки.
2.Крестовины.	См 1 подгруппу.	Симметрично расположеные отростки оптимальной длины и выступами.	С тремя симметричными отростками разной длины.



Должно быть принято решение о применении вида штампа (открытого, закрытого или штампа для выдавливания); какую часть поковки в каком штампе располагать (внизу, вверху, в матрице, в пуансоне). Кроме того, нужно решить вопрос о виде заготовки и возможных потерях материала в отход, а также о последовательности операций и переходов штамповки.

# 2.4 Способ нагрева заготовок

Установить способ, режим и время нагрева заготовки, а также температурный интервал штамповки. Выбрать средства нагрева металла под штамповку в зависимости от вида штамповочного оборудования, условий производства, размеров и марки материала заготовки.

Основное назначение нагрева метала перед ковкой и штамповкой – это уменьшение сопротивления деформации металла. С повышением температуры пластичность увеличивается, а сопротивление деформированию уменьшается от 10 до 15 раз.

Все марки стали по отношению к нагреву разделены на четыре группы. В первой группе объедены заготовки из низкоуглеродистой и низколегированной стали. Во второй - заготовки из высокоуглеродистой инструментальной стали, в третьей - заготовки из среднелегированной стали и в четвертой группе - заготовки из высоколегированной стали. От принадлежности заготовки к той или иной группе выбирают конечную температуру и режим нагрева.

Нагрев металла сопровождается изменением структуры, физических, механических (прочности, твердости, пластичности) и химических свойств. Структура стали изменяется следующим образом: с одной стороны, при ударе молота или нажатии пресса происходит деформация металла и связанное с ней дробление зерен, с другой стороны под влиянием нагрева размер зерен увеличивается. Штамповку желательно осуществлять при высоких температурах, т.к. металл в этом состоянии обладает наибольшей пластичностью и на его деформацию затрачивается меньше усилия. Однако штамповочные операции должны заканчиваться при более низких температурах для того, чтобы предотвратить рост зерна.

	p# 1011 0 0 p # 0 0 11411 11 0 1		
Металл или сплав	Температурный интервал, <sup>0</sup> С		
	начало	конец	
сталь	1050-1350	700-950	
медные сплавы	750-850	600-770	

Таблица 3 - Температурный интервал для горячей обработки металла давлением

алюминиевые сплавы	470-500	350-400
магниевые сплавы	370-430	300-350

При штамповке в области высоких температур величину обжатия следует принимать равной 25-30%, а при штамповке в области низких температур -5%.

Металл перед горячей обработкой давлением нагревают до определенной температуры. Факторами, определяющими технологию нагрева, являются температура и продолжительность нагрева. От этих параметров зависят размеры рабочего пространства нагревательных печей. При недостаточном нагреве возможно появление трещин в заготовке или разрушение штампа. При нагреве до температуры выше допустимой, возникает чрезмерный рост зерен в металле или сплаве (перегрев), а при длительном перегреве наблюдается окисление и разрушение металла по границам зерен (пережог). Угар крайне отрицательно сказывается как на экономической стороне процесса нагрева, так и на работе оборудования. На практике всячески стремятся уменьшить штампов и угар и обезуглероживание металла при нагреве. От качества нагрева металла зависит качество конечной продукции и работа кузнечнопрессового оборудования. Нагрев металла проводят по вполне определенной технологии, характер которой зависит от марки материала и от целей нагрева металла. Для предупреждения угара металла также применяют нагрев в печах без окисления, с восстановительной или нейтральной атмосферой. В нагревательных устройствах создают защитную среду (атмосферу), используя для этого специальные газовые смеси.

На продолжительность нагрева кроме формы и размеров нагреваемых заготовок большое влияние также оказывает способ укладки их на поду печи.

Нагрев заготовок проводят:

1.В пламенных печах. В высокотемпературных нагревательных установках основным видом теплопередачи от источника к изделию является излучение. Одновременно происходит излучение от факела к стенкам и своду печи, а так же непосредственно к нагреваемой заготовке. Температура печи устанавливается в зависимости от марки стали, формы и размера профиля нагреваемого изделия. Подавляющее большинство заготовок сечением до 100мм из конструкционных сталей сажают в печь при температуре 1200°-1300°С.

Скоростью нагрева называют повышение температуры металла за единицу времени. Чем выше температура в рабочем пространстве печи, тем быстрее нагревается металл; чем выше теплопроводность, тем быстрее передается теплота от поверхности заготовки внутрь ее. Перепад температур между рабочим пространством печи и нагретой заготовкой в обычных пламенных печах составляет около150°С.

Нагрев стальных заготовок при температуре печи 1400<sup>0</sup> – 1500<sup>0</sup>С называется *скоростным нагревом*. При скоростном нагреве размер камеры нагрева немного больше диаметра заготовки; в этом случае применяют специальные керамические горелки.

При нагреве металла перед штамповкой необходимо следить за тем, чтобы скорость, с которой распространяется теплота внутрь заготовки, не была меньше скорости подачи теплоты на ее поверхность. Большая разница температур внутренней части заготовки и ее поверхности создает термические напряжения в металле, приводящие к образованию кольцевых трещин. Быстрый нагрев приводит к перегреву, интенсивному окалинообразованию и оплавлению поверхности металла. В зависимости от допустимой скорости нагрева определяется и продолжительность нагрева металла.

При печном нагреве угар металла может достигать от 1,5 до 3 %, а величину угара определяют по формуле:

$$G_{\delta\hat{a}} = [0,02 + (m-1) \cdot 0,015] \cdot G_n$$

где m – общее число нагревов; G<sub>П</sub> – масса поковки, кг.

#### 2. Нагрев с применением электротока.

a) в электропечах, работающих от элементов сопротивления – для нагрева заготовок из цветных металлов и сплавов, т.к. невозможно получить высокую температуру для нагрева стали под штамповку; является неэкономичным.

б) контактный электронагрев – применяют при крупносерийном и массовом производстве поковок, изготавливаемых из заготовок круглого постоянного сечения. Минимальная длина нагреваемой части заготовки зависит от возможности сближения контактных головок.

в) индукционный электронагрев – применяют при массовом производстве. Принцип индукционного нагрева основан на прохождении электрического тока по поверхности нагреваемой заготовки, вокруг которой создается магнитное поле. Если ток переменный, то магнитное поле тоже меняется (изменяется его величина и направление).

Нагрев металла, осуществляемый в электрических установках, в электрических индукционных или контактных установках является скоростным, такие установки обычно работают в автоматическом режиме и в них нагревают заготовку за десятки секунд. Такой нагрев протекает при незначительном угаре (от 0,5 до 1%).

Продолжительность нагрева небольших заготовок (диаметром или со стороной квадрата меньше 100 мм) приводится в таблицах справочников и составляет от 120 сек для единичных круглых заготовок диаметром 10 мм и до 3600 сек для квадратных заготовок со стороной 90 мм, уложенных вплотную. Для заготовок диаметром больше 100 мм продолжительность нагрева определяют по эмпирической формуле Н.Н. Доброхотова:

$$T = K \cdot \alpha \cdot d \cdot d$$

где К – коэффициент, учитывающий свойства стали по отнесению к одной из четырех групп. Для заготовок из низкоуглеродистой и низколегированной стали он равен 12,5, для заготовок из высокоуглеродистой инструментальной стали он равен 20, для заготовок из среднелегированной стали он равен 25 и для заготовок из высоколегированной стали он равен 30.

α- коэффициент, учитывающий расположение заготовок на поду печи, он изменяется от единицы до четырех.

d – диаметр заготовки или сторона квадрата, м./1/

Ориентировочные данные о продолжительности нагрева до температуры штамповки приведены в таблицах 4,5,6.

Tuotinidu ( Dpenin nulpebu (mini) biniumennibir ne nun Ann Jimepoditerbir mupok erunni						
	Температура	Диаметр заготовки, мм				
С,%	начала	25	50	75	100	
	штамповки, <sup>0</sup> С					
0,4	1275	4	8,5	11	15	
0,7	1250	3,5	8,0	10,0	13,5	
1,1	1200	3	7	9	12	

Таблица 4 – Время нагрева (мин) в пламенных печах для углеродистых марок стали.

<b>T C T</b>	f in the second s				~
	DODODULITOTI HOCTI	TIOTHODO	OTOTIL OTOUT	BOROUTORTIUM	CHOCODOM
$1 a 0 \pi n n a \beta - 1 1$		нагосва	стали элскт	роконтактным	CHOCOOOM

Диаметр	Время	Диаметр	Время	Диаметр	Время
заготовки, мм	нагрева, сек	заготовки, мм	нагрева, сек	заготовки, мм	нагрева, сек
20	10	30	22	46	52
22	12	34	28	50	61

25	15	38	35	60	90
28	20	42	43	70	120

Таблица 6- Продолжительность индукционного нагрева стали.

V	Время нагрева, сек				Время нагрева, сек				V		Время на	грева, сек	
W	Током		То	ком	W	To	КОМ	To	ком				
dr:	повышенной		промы	пленной	erp	повыі	пенной	промы	шленной				
aMe	част	оты	частоты		aMe	час	тоты	час	тоты				
Дия	наимень	наибол	наимен	наиболь	Дия	наим.	наиболь	наим.	наиболь				
	шее	ьшее	ьшее	шее			шее		шее				
25	15	30	-	-	135	420	720	480	800				
50	50	100	-	-	150	460	900	360	480				
75	110	210	-	-	200	-	-	420	480				
100	170	350	-	-	250	-	-	540	600				
125	320	600	-	-	300	-	-	660	720				

## 2.5. Разработка чертежа поковки

При составлении чертежа поковки необходимо, прежде всего, стремиться придать ей такую форму, которую можно получить, применяя наиболее удобные для выбранной машины простые переходы (ручьи) штамповки при минимальном их количестве и наименьших потерях металла в отход (клещевина, заусенец, перемычки, напуски).

Создать условия для заполнения полости штамповочных ручьев преимущественно осаживанием заготовки, чтобы обеспечить высокую стойкость инструмента и снизить деформирующее усилие (или работу деформации). При этом, зная условия работы детали в машине, обеспечить правильное направление волокна в поковке по отношению к направлению действия рабочих напряжений.

Чертеж поковки составляется по чертежу готовой детали, на котором проставлены ее номинальные размеры, обозначены исходные базы механической обработки и указан класс шероховатости поверхности по ГОСТ2789–73. Чертеж поковки составляется по ГОСТ7505–89 «Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски» в следующей последовательности:

- установить плоскости разъема штампа;

– ориентировочно определить массу поковки по массе детали с учетом приближенной массы припусков и напусков для того, чтобы пользоваться таблицами стандарта;

– назначить припуски на механическую обработку, допуски и кузнечные напуски;

- установить штамповочные уклоны, построить линию разъема;

– установить наружные и внутренние радиусы закругления;

выбрать конструкцию наметки отверстия с перемычкой под прошивку (для деталей с отверстием);

– определить точную массу поковки с учетом половины положительного (верхнего) предельного отклонения для наружных размеров и половины отрицательного (нижнего) отклонения для внутренних размеров (отверстия или полости).

# 2.5.1 Выбор плоскости разъема штампа

В открытом штампе в плоскости разъема штампа предусматривают облойную канавку, заполняемую вытекающим из ручья избытком металла, образующим облой.

Конфигурация поверхности разъема штампа может быть принята, согласно ГОСТа 7505-89:

- плоская (П);

- симметрично изогнутая (И<sub>с</sub>);

- несимметрично изогнутая (И<sub>н</sub>).

При выборе положения разъема необходимо выполнить условия:

– поковка должна свободно удаляться из верхней и нижней частей штампа, для чего разъем молотового штампа располагают в плоскости сечения поковки с наибольшим периметром, что обеспечивает наименьшую глубину и наибольшую ширину ручья. Для штампов КГШП разъем располагают в плоскости наименьших габаритных размеров;

– ручьи ориентируют таким образом, чтобы их заполнение осуществлялось за счет осадки, а не выдавливания, при этом полости под тонкие и высокие ребра, бобышки и приливы в молотовом штампе рекомендуется располагать в верхней половине штампа;

– предпочтительно, чтобы поверхность разъема пересекалась вертикальными образующими поковки, что упрощает контроль смещения частей штампа;

– при криволинейной плоскости разъема горизонтальные сдвигающие усилия компенсируют замками, направляющими колонками, симметричным расположением двух неплоских поковок или поворотом неплоской поковки таким образом, чтобы концы ее оказались на одном уровне /3/.

Главный разъем штампов ГКМ может иметь три положения, при которых поковка окончательно формируется только в матрице, только в пуансоне и частично в матрице, частично в пуансоне.

2.5.2 Назначение припусков, допусков, напусков /1, 2/

Если качество поверхностного слоя поковки, его шероховатость и допуски на размеры не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к готовой детали, предусматривается припуск на механическую обработку всей поверхности или отдельной ее части, что учитывают при составлении графического материала поковки.

Припуск – предусмотренное одностороннее увеличение размера поковки по сравнению с номинальным размером детали, обеспечивающее после обработки резанием требуемые, проставленные на чертеже размеры детали и шероховатость ее поверхности.

Припуск на механическую обработку регламентируется ГОСТ 7505–89 и назначается на номинальные размеры детали в зависимости от класса шероховатости поверхности детали с учетом параметров:

– массы поковки (кг);

- точности изготовления поковки (класс T1 - T5);

- группы стали (М1-М3);

- степени сложности поковок (C1- C4).

Ориентировочную величину *расчетной массы поковки* (М<sub>пр</sub>) определяют по формуле:

$$M_{np} = M_{\partial} \cdot K_{p}$$

где М<sub>д</sub> –масса детали, кг;

К<sub>р</sub> - расчетный коэффициент, устанавливаемый в соответствии таблице стандарта

В расчетную массу поковки не включают массу той ее части, которая не подвергается деформации, и массу облоя.

Таблица 7 – Коэффициент (К.) лля определ	ения опиентиповочной пасчетной массы і	локовки

І руппа	Характеристика детали	Типовые представители	Кр
1	Удлиненной формы		
1.1	С прямой осью	Валы, оси, цапфы, шатуны	1,3-1,6
1.2	С изогнутой осью	Рычаги, сошки рулевого управления	1,1-1,4
2	Круглые и многогранные в		

	плане		
2.1	Круглые	Шестерни, ступицы, фланцы	1,5-1,8
2.2	Квадратные, прямоугольные,	Фланцы, ступицы, гайки	1,3-1,7
	многогранные		
2.3	С отростками	Крестовины, вилки	1,4-1,6
3	Комбинированной (сочетающей	Кулаки поворотные, коленчатые валы	1,3-1,8
	элементы групп 1 и 2-й)		
	конфигурации		
4	С большим объемом	Балки передних осей, рычаги	1,1-1,3
	необрабатываемых поверхностей	переключения коробок	
		передач,	
		буксирные крюки	
5	С отверстиями, углублениями,	Полые валы, фланцы, блоки шестерен	1,8-2,2
	поднутрениями, не		
	оформляемыми в поковке при		
	штамповке		

Класс точности изготовления поковок указывается в технических условиях на чертеже поковки и устанавливается в зависимости от технологического процесса и оборудования для ее изготовления, а также исходя из предъявляемых требований к точности размеров поковки и характера производства (серийное, массовое). Повышенной точности поковки Ікласса. При более высоком специальном классе точности поковки калибруют. Допускается назначать различные классы точности на размеры одной и той же поковки, при этом класс точности определяют по преобладающему числу размеров одного класса точности, предусмотренному чертежом поковки.

Класс точности согласуется между потребителем и изготовителем поковок.

Основное деформирующее оборудование,	Класс точности							
технологические процессы	T1	T2	T3	T4	T5			
Кривошипные горячештамповочные прессы:								
Открытая (облойная) штамповка				+	+			
Закрытая штамповка		+	+					
Выдавливание			+	+				
Горизонтально-ковочные машины				+	+			
Прессы винтовые, гидравлические				+	+			
Горячештамповочные автоматы		+	+					
Штамповочные молоты				+	+			
Калибровка объемная (горячая и холодная)	+	+						
Прецизионная штамповка	+							

Таблица 8 – Выбор класса точности поковок

Примечания:

- 1. Прецизионная штамповка способ штамповки, обеспечивающий устанавливаемую точность и шероховатость одной или нескольких функциональных поверхностей поковки, которые не подвергаются окончательной обработке.
- 2. При пламенном нагреве заготовок допускается снижение точности для классов Т2-Т4 на один класс.
- 3. При холодной или горячей плоскостной калибровке точность принимается на один класс выше.

В зависимости от химического состава стали поковки делятся на группы:

– группа M1 – поковки из углеродистой и легированной сталей с содержанием углерода до 0,35% и суммарной массовой долей легирующих элементов до 2%;

 группа M2 – поковки из углеродистой и легированной сталей с содержанием углерода 0,35%-0,65% и суммарной массовой долей легирующих элементов 2%-5%;

 группа М3 – поковки из углеродистой и легированной сталей с содержанием углерода более 0,65% и суммарной массовой долей легирующих элементов более 5%;

Степень сложности поковок «С» является одной из конструктивных характеристик формы поковок, качественно оценивающей ее, и используется при назначении припусков и допусков. Ее определяют путем вычисления отношения массы (объема) поковки  $G_{\Pi}$  к массе (объему) геометрической фигуры  $G_{\phi}$ , в которую вписывается поковка. Геометрическая фигура может быть шаром, параллепипедом, цилиндром с перпендикулярными к его оси торцами или прямой правильной призмой.(рис. 1). При определении размеров описывающей поковку геометрической фигуры допускается исходить из увеличения в 1,05 раза габаритных линейных размеров детали, определяющих положение ее обработанных поверхностей. В расчете используют ту из фигур, объем которой меньше:



Рис.1 Примеры поковок и геометрических фигур, в которые могут быть вписаны поковки: b.d.h и L - габаритные размеры поковок

Таблица 9 – Численные значения отношения  $G_{\Pi}$  и соответствующая степень сложности.  $G_{\phi}$ 

Степень сложности	C1	C2	C3	C4
Значение отношения С	0,63-1	0,32–,63	0,16–,32	до 0,16

Для последующего назначения основных припусков, допусков и допускаемых отклонений в зависимости от массы, марки стали, степени сложности и класса точности поковок по ГОСТ 7505-89 определяется исходный индекс (табл.10).

Также исходный индекс определяют по формуле:

$$M = N + M + C + 2 \cdot (T - 1) - 2$$

где N – масса поковки (1,2...10, номер строки из таблицы 10); M – группа стали (1, 2, 3); C – степень сложности (1, 2, 3, 4);

T – класс точности (1, 2, 3, 4, 5).



Таблица 10 – Определение исходного индекса

Припуск на механическую обработку включает основной, а также дополнительные припуски, учитывающие отклонения формы поковки. Величины припусков следует назначать на одну сторону номинального размера поковки. Основные припуски на механическую обработку поковок определяются в зависимости от исходного индекса по ГОСТ 7505-89.

Таб	пица 1	1 - 0	сновн	ые пр	ипусн	ки на 1	механі	ическ	ую об	работ	ку (н	а стор	ону)														
				-					-	•			Толш	ина де	етали												
ekc		до 25			25-40			40-63		(	63-100	)	1	00-16	0	1	60-25	0		св. 250	)						
ЦНД	Длина, ширина, диаметр, глубина и высота детали																										
1 1		до 40		,	40-100	)	1	00-160	)	1	60-25	0	2	50-40	0	4	00-63	0	6.	30-100	00	10	00-16	00	16	00-250	)0
cxo	100	10	1,25	100	10	1,25	100	10	1,25	100	10	1,25	100	10	1,25	100	10	1,25	100	10	1,25	100	10	1,25	100	10	1,25
И	12,5 V	1,6 V	V	12,5 V	1,6 V	V	12,5 V	1,6 V	V	12,5 V	1,6 V	V	12,5 V	1,6 V	V	12,5 V	1,6 V	V	12,5 V	1,6 V	V	12,5 V	1,6 V	v	12,5 V	1,6 V	V
1	0.4	0.6	0.7	0.4	0.6	0.7	0.5	0.6	0.7	0.6	0.8	0.0	0.6	0.8	0.0	•	•	•	•	•	•	•	v	•	•	v	
2	0,4	0,0	0,7	0,4	0,0	0,7	0,5	0,0	0,7	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	1.0	- 0.8	-	- 11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	0,4	0,0	0,7	0,5	0,0	0,7	0,0	0,8	0,9	0,0	0,0	1.0	0,7	1.0	1,0	0,0	1,0	1,1	1.0	13	14		-	-		-	
4	0,5	0,0	0.9	0,0	0,8	0,9	0,0	0,0	1.0	0.8	1.0	1,0	0,0	1,0	1.2	1.0	13	1.4	1.1	1,5	1.5	_	_		_	_	
5	0.6	0.8	0.9	0.7	0.9	1.0	0.8	1.0	1,0	0.9	1,0	1,1	1.0	1.3	1,2	1,0	1,3	1.5	1,1	1.5	1,5	1.3	1.6	1.8	_	_	_
6	0.7	0.9	1.0	0.8	1.0	1.1	0.9	1.1	1.2	1.0	1.3	1,4	1.1	1.4	1.5	1,1	1.5	1,6	1.3	1.6	1.8	1,5	1.7	1.9	1.5	1.8	2.0
7	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2
8	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5
9	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7
10	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0
11	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,0	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3
12	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5
13	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8
14	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1
15	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7
16	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1
17	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6
18	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6	4,5	5,7	6,2
19	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6	4,5	5,7	6,2	4,9	6,2	6,8
20	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6	4,5	5,7	6,2	4,9	6,2	6,8	5,4	6,8	7,5
21	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6	4,5	5,7	6,2	4,9	6,2	6,8	5,4	6,8	7,5	5,8	7,4	8,1
22	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6	4,5	5,7	6,2	4,9	6,2	6,8	5,4	6,8	7,5	5,8	7,4	8,1	6,2	7,9	8,7
23	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6	4,5	5,7	6,2	4,9	6,2	6,8	5,4	6,8	7,5	5,8	7,4	8,1	6,2	7,9	8,7	7,1	9,1	10,0

Дополнительные припуски, учитывающие смещение поковки, изогнутость, отклонения от плоскостности и прямолинейности, межцентрового и межосевого расстояний, угловых размеров определяются исходя из формы поковки и технологии ее изготовления. В зависимости от класса точности Т устанавливают дополнительные припуски на механическую обработку (табл. 12,13,14).

Таблица 12 – Дополнительные припуски,	учитывающие	смещение по	поверхности	разъема
штампов				

		Припуски для классов точности, мм							
	Плоск	ая повер	охности	ь разъе	ма (П)				
	T1	T2	T3	T4	T5				
				Симме	трично	изогнута	я		
Масса поковки,кг			Ι	товерхи	ность ра	зъема (I	$I_c)$		
			T1	T2	T3	T4	T5		
				H	Несимме	трично	изогнут	ая	
				поверхность разъема (И <sub>н</sub> )					
				T1	T2	T3	T4	T5	
До 0,5 включ.			0.1	0,1	0.2	0,2	0,3	0.2	
Св.0,5 до 1,0	0.1	0,1	0,1	0.2	0,2			0,5	
» 1,0 » 1,8	0,1		0.2	0,2		0,3		0,4	
» 1,8 » 3,2		0.2	0,2		0,3		0,4	0,5	
» 3,2 » 5,6	0.2	0,2		0,3		0,4	0,5	0,6	
» 5,6 » 10,0	0,2		0,3		0,4	0,5	0,6	0,7	
» 10,0 » 20,0		0,3		0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	
» 20,0 » 50,0	0,3		0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2	
» 50,0 » 125,0		0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2	1,6	
» 125,0 » 250,0	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2	1,6	2,0	

Таблица 13 - Дополнительные припуски,	, учитывающие изогнутость и отклонения от
плоскостности и прямолинейности	

Наибольший размер поковки, мм	Припуски для классов точности, мм							
	T1	T2	Т3	T4	T5			
До 100 включ.	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4			
Св.100 до 160 »	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5			
» 160 » 250 »	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6			
» 250 » 400 »	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8			
» 400 » 630 »	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0			
» 630 » 1000 »	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2			
» 1000 » 1600 »	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6			
» 1600 » 2500 »	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0			

Таблица 14 – Дополнительные припуски, учитывающие отклонения межосевого расстоя	ния
---	-----

Расстояние между центрами, осями,	Припуски для классов точности, мм							
MM	T1	T2	T3	T4	T5			
До 60 включ.	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3			
Св.60 до 100 »	0,1	0,2	0,2	0,3	0,5			
» 100 » 160 »	0,2	0,2	0,3	0,5	0,8			
» 160 » 250 »	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2			
» 250 » 400 »	0,3	0,5	0,8	1,2	1,6			
» 400 » 630 »	0,5	0,8	1,2	1,6	2,0			
» 630 » 1000 »	0,8	1,2	1,6	2,0	2,5			

» 1000 » 1600 »	1,2	1,6	2,0	2,5	4,0
-----------------	-----	-----	-----	-----	-----

Величина дополнительного припуска, учитывающего отклонения угловых размеров, устанавливается по согласованию между изготовителем и потребителем.

При назначении величины припуска на поверхность, положение которой определяется двумя и более размерами поковки, устанавливается наибольшее значение припуска для данной поверхности.

При изготовлении поковок по классу точности T5 с применением пламенного нагрева заготовок допускается увеличение припуска для поковок с массой:

- для поковок массой до 3,2 кг – до 0,5 мм;

- для поковок массой 3,2...10,0 кг – до 0,8 мм;

- для поковок массой свыше 10,0 кг – до 1 мм.

Разрешается округлять линейные размеры поковки с точностью до 0,5мм.

Допуск – отклонение размера поковки от номинального, обусловленное неточностью изготовления, недоштамповкой, износом ручья штампа и т. д.. Допуск зависит от массы

поковки, степени ее сложности, группы стали и размеров поверхностей. Допуски на штамповочные поковки нормальной точности назначают согласно ГОСТа 7505-89 (табл. 16).

Допуски по длине и ширине поковки относятся к размерам тех ее поверхностей, которые расположены с одной стороны поверхности разъема штампа, т. е. в одной его части, и охватывают все отклонения.

Допуски на внутренние размеры поковок принимают с обратными знаками, что связано с уменьшением выступов в ручье штампа в результате их износа.

Допуски и допускаемые отклонения размеров, отражающие односторонний износ штампов принимают равным половине величин, приведенных в табл. 8 ГОСТа 7505-89.

Допуски и допускаемые отклонения размеров толщины, учитывающие недоштамповку, устанавливаются по наибольшей толщине поковки и распространяются на все размеры ее толщины.

Для поковок, имеющих углубления , допуски на размер по высоте принимают с обратным знаком.

Допуски длины стержня для поковок, у которых стержень выходит за пределы штампа и не подвергается деформации принимают согласно таблице 15.

Tuomingu to Achiferin Annun erephinis								
Класс точности	1	2	3	4	5			
Допуск, мм	до 2	до 3	до 4	до 5	до 6			

Таблица 15 - . Допуски длины стержня:

Величина допуска длины недеформированного стержня у поковок, полученных двухсторонней высадкой, удваивается.

Для поковок, полученных высадкой с последующей штамповкой и высадкой проката мерной длины, допуск длины стержня устанавливается по согласованию между изготовителем и потребителем.

Допускаемые отклонения размеров сечения стержня на недеформируемых участках поковки определяются соответствующими стандартами на сортамент проката с увеличением отрицательного допускаемого отклонения не более чем на 0,5 мм.

	Наибольшая толщина поковки, мм																	
сод ек		10	40	(2)	(2	100	100	1(0	1.00	250		250						
1cx IHJ	до	40	40	-63	63-	<u>100</u> 	100	-160	160	-250	CB.	250						
		40	- 10	100	100	Длин	а, шири	<u>ина, диам</u>	иетр, гл	уоина и	высота		И, ММ	1000	1000	1 ( 0 0	1.000	2500
	до	40	40-	100	100	-160	160	-250	250	-400	400	-630	630-	1000	1000	-1600	1600	-2500
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	0,3	+0,2	0,4	+0,3	0,5	+0,3	0,6	+0,4	0,7	+0,5	-	-	-	-	-	-	-	-
		-0,1		-0,1		-0,2		-0,2		-0,2								
2	0,4	+0,3	0,5	+0,3	0,6	+0,4	0,7	+0,5	0,8	+0,5	0,9	+0,6	-	-	-	-	-	-
		-0,1		-0,2		-0,2		-0,2		-0,3		-0,3						
3	0,5	+0,3	0,6	+0,4	0,7	+0,5	0,8	+0,5	0,9	+0,6	1,0	+0,7	1,2	+0,8	-	-	-	-
		-0,2		-0,2		-0,2		-0,3		-0,3		-0,3		-0,4				
4	0,6	+0,4	0,7	+0,5	0,8	+0,5	0,9	+0,6	1,0	+0,7	1,2	+0,8	1,4	+0,9	-	-	-	-
		-0,2		-0,2	<i>,</i>	-0,3		-0,3	,	-0,3		-0,4		-0,5				
5	0.7	+0.5	0.8	+0,5	0.9	+0,6	1.0	+0,7	1.2	+0.8	1.4	+0.9	1.6	+1,1	2.0	+1,3	-	-
	,	-0,2	,	-0,3	,	-0,3	Í	-0,3	,	-0,4		-0,5		-0,5	,	-0,7		
6	0.8	+0.5	0,9	+0,6	1.0	+0,7	1.2	+0,8	1,4	+0.9	1.6	+1,1	2,0	+1,3	2,2	+1,4	2,5	+1,6
	,	-0,3	,	-0,3	,	-0,3	, í	-0,4	,	-0,5		-0,5		-0,7		-0,8	,	-0,9
7	0,9	+0,6	1.0	+0,7	1.2	+0,8	1,4	+0,9	1.6	+1,1	2,0	+1,3	2,2	+1,4	2,5	+1,6	2,8	+1,8
		-0,3		-0,3	<i>,</i>	-0,4		-0,5	,	-0,5		-0,7		-0,8		-0,9	,	-1,0
8	1.0	+0.7	1,2	+0.8	1,4	+0.9	1.6	+1,1	2,0	+1,3	2,2	+1,4	2,5	+1,6	2,8	+1,8	3.2	+2,1
		-0,3		-0,4	<i>,</i>	-0,5		-0,5	,	-0,7		-0,8		-0,9		-1,0	,	-1,1
9	1.2	+0,8	1,4	+0,9	1.6	+1,1	2,0	+1,3	2,2	+1,4	2,5	+1,6	2,8	+1,8	3.2	+2,1	3.6	+2,4
		-0,4		-0,5	<i>,</i>	-0,5		-0,7	,	-0,8		-0,9		-1,0		-1,1	,	-1,2
10	1,4	+0,9	1,6	+1,1	2,0	+1,3	2,2	+1,4	2,5	+1,6	2,8	+1,8	3,2	+2,1	3,6	+2,4	4,0	+2,7
		-0,5	-	-0,5		-0,7		-0,8		-0,9		-1,0		-1,1		-1,2	-	-1,3
11	1,6	+1,1	2,0	+1,3	2,2	+1,4	2,5	+1,6	2,8	+1,8	3,2	+2,1	3,6	+2,4	4,0	+2,7	4,5	+3,0
		-0,5	-	-0,7		-0,8		-0,9		-1,0		-1,1		-1,2		-1,3	-	-1,5
12	2,0	+1,3	2,2	+1,4	2,5	+1,6	2,8	+1,8	3,2	+2,1	3,6	+2,4	4,0	+2,7	4,5	+3,0	5,0	+3,3
	-	-0,7	-	-0,8	-	-0,9		-1,0	-	-1,1	-	-1,2		-1,3	-	-1,5	-	-1,7

Таблица 16 – Допуски и допускаемые отклонения линейных размеров поковок

Продолжение таблицы 16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
13	2,2	+1,4	2,5	+1,6	2,8	+1,8	3,2	+2,1	3,6	+2,4	4,0	+2,7	4,5	+3,0	5,0	+3,3	5,6	+3,7
		-0,8		-0,9		-1,0		-1,1		-1,2		-1,3		-1,5		-1,7		-1,9
14	2,5	+1,6	2,8	+1,8	3,2	+2,1	3,6	+2,4	4,0	+2,7	4,5	+3,0	5,0	+3,3	5,6	+3,7	6,3	+4,2
		-0,9		-1,0		-1,1		-1,2		-1,3		-1,5		-1,7		-1,9		-2,1
15	2,8	+1,8	3,2	+2,1	3,6	+2,4	4,0	+2,7	4,5	+3,0	5,0	+3,3	5,6	+3,7	6,3	+4,2	7,1	+4,7
		-1,0		-1,1		-1,2		-1,3		-1,5		-1,7		-1,9		-2,1		-2,4
16	3,2	+2,1	3,6	+2,4	4,0	+2,7	4,5	+3,0	5,0	+3,3	5,6	+3,7	6,3	+4,2	7,1	+4,7	8,0	+5,3
		-1,1		-1,2		-1,3		-1,5		-1,7		-1,9		-2,1		-2,4		-2,7
17	3,6	+2,4	4,0	+2,7	4,5	+3,0	5,0	+3,3	5,6	+3,7	6,3	+4,2	7,1	+4,7	8,0	+5,3	9,0	+6,0
		-1,2		-1,3		-1,5		-1,7		-1,9		-2,1		-2,4		-2,7		-3,0
18	4,0	+2,7	4,5	+3,0	5,0	+3,3	5,6	+3,7	6,3	+4,2	7,1	+4,7	8,0	+5,3	9,0	+6,0	10,0	+6,7
		-1,3		-1,5		-1,7		-1,9		-2,1		-2,4		-2,7		-3,0		-3,3
19	4,5	+3,0	5,0	+3,3	5,6	+3,7	6,3	+4,2	7,1	+4,7	8,0	+5,3	9,0	+6,0	10,0	+6,7	11,0	+7,4
		-1,5		-1,7		-1,9		-2,1		-2,4		-2,7		-3,0		-3,3		-3,6
20	5,0	+3,3	5,6	+3,7	6,3	+4,2	7,1	+4,7	8,0	+5,3	9,0	+6,0	10,0	+6,7	11,0	+7,4	12,0	+8,0
		-1,7		-1,9		-2,1		-2,4		-2,7		-3,0		-3,3		-3,6		-4,0
21	5,6	+3,7	6,3	+4,2	7,1	+4,7	8,0	+5,3	9,0	+6,0	10,0	+6,7	11,0	+7,4	12,0	+8,0	13,0	+8,6
		-1,9		-2,1		-2,4		-2,7		-3,0		-3,3		-3,6		-4,0		-4,4
22	6,3	+4,2	7,1	+4,7	8,0	+5,3	9,0	+6,0	10,0	+6,7	11,0	+7,4	12,0	+8,0	13,0	+8,6	14,0	+9,2
		-2,1		-2,4		-2,7		-3,0		-3,3		-3,6		-4,0		-4,4		-4,8
23	7,1	+4,7	8,0	+5,3	9,0	+6,0	10,0	+6,7	11,0	+7,4	12,0	+8,0	13,0	+8,6	14,0	+9,2	16,0	+10,0
		-2,4		-2,7		-3,0		-3,3		-3,6		-4,0		-4,4		-4,8		-6,0

Допускаемая величина смещения по поверхности разъема штампа, допускаемая величина остаточного облоя определяется в зависимости от массы поковки, конфигурации поверхности разъема штампа и класса точности и назначается по таблицам 17,18.

	Допускаем	опускаемая величина смещения по поверхности разъема штампа, мм									
	Плоская поверхность разъема штампа (П)										
	T1	T2	T3	T4	T5						
Масса поковки,кг		Симметри	ма (Ис)								
		T1	T2	T3	T4	T5					
			Несиммет	рично изог	нутая повер	хность р	азъема				
		(M <sub>H</sub> )									
			T1	T2	T3	T4	T5				
До 0,5 включ.	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6				
Св.0,5 до 1,0	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7				
» 1,0 » 1,8	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8				
» 1,8 » 3,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0				
» 3,2 » 5,6	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2				
» 5,6 » 10,0	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4				
» 10,0 » 20,0	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8				
» 20,0 » 50,0	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8	2,5				
» 50,0 » 125,0	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8	2,5	3,2				
» 125,0 » 250,0	1,0	1,2	1,4	1,8	2,5	3,2	4,0				

Таблица 17 - Допускаемая величина смещения по поверхности разъема штампа

Таблица 18 - Допускаемая величина остаточного облоя

		Прі	ипуски	для кл	ассов то	чности,	MM		
	Плоск	ая повер	охности	ь разъе	ма (П)				
	T1	T2	T3	T4	T5				
N			1	Симметрично изогнутая					
Масса поковки,кг			т <u>1</u>				т <b>5</b>		
			11	12		14	13		
					песимме	ость рор	изогнута томо (И	кя )	
					поверхн			1) 	
				11	12	13	14	15	
До 0,5 включ.	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
Св.0,5 до 1,0	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
» 1,0 » 1,8	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	
» 1,8 » 3,2	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	
» 3,2 » 5,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	
» 5,6 » 10,0	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	
» 10,0 » 20,0	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	
» 20,0 » 50,0	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	2,8	
» 50,0 » 125,0	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	2,8	3,5	
» 125,0 » 250,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	2,8	3,5	4,0	

Допускаемая величина высоты заусенца на поковке по контуру обрезки облоя не должна превышать:

2мм – для поковок массой до 1кг включительно;

Змм	»	»	»	св. 1	кг до 5,6 кг	»;
5мм	»	»	»	» 5,6 кг д	о 50 кг »;	
6мм	»		»	»	» 50 кг,	

А при пробивке отверстия эта величина может быть увеличина в 1,3 раза. Другие допускаемые отклонения назначаются по таблицам 19, 20, 21.

		2			
Наибольший размер	До	опустимое отн	клонение по и	изогнутости,	ММ
поковки, мм	T1	T2	T3	T4	T5
До 100 вкл	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
Св 100 « 160 «	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
« 160 « 250 «	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2
« 250 « 400 «	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6
« 400 « 630 «	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0
« 630 « 1000 «	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5
« 1000 « 1600 «	1,2	1,6	2,0	2,5	3,2
« 1600 « 2500 «	1,6	1,8	2,5	3,2	4,0

Таблица 19 - Допускаемые отклонения по изогнутости

Таблица 20 - Допускаемые отклонения межосевого расстояния

	4	Допускаемые	отклонения	межосевого	
Расстояние между центрами, мм		pa	сстояния, мм	ſ	
	T1	T2	T3	T4	T5
до 60 вкл	$\pm 0,1$	±0,15	±0,2	±0,25	±0,3
св 60 « 100 «	±0,15	±0,2	±0,25	±0,3	±0,5
« 100 « 160 «	±0,2	±0,25	±0,3	±0,5	$\pm 0,8$
« 160 « 250 «	±0,25	±0,3	±0,5	$\pm 0,8$	±1,2
« 250 « 400 «	±0,3	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$	±1,2	±1,6
« 400 « 630 «	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$	±1,2	±1,6	±2,0
« 630 « 1000 «	$\pm 0,8$	±1,2	±1,6	±2,0	±3,0
« 1000 « 1600 «	±1,2	±1,6	±2,0	±3,0	±4,5
« 1600 « 2500 «	±1,6	±2,0	±3,0	±4,5	±7,0

Таблица 21 – Допускаемые отклонения угловых элементов поковки, град. и мин.

П	Допус	каемые отклон	ения угловых з	элементов пон	ковки
Длина элементов, мм	T1	T2	T3	T4	T5
До 25 вкл	$\pm 0^{0}45'$	±1 <sup>0</sup> 00'	±1 <sup>°</sup> 30'	±2 <sup>°</sup> 00'	±2 <sup>°</sup> 30'
Св 26 « 60 «	$\pm 0^{0} 30'$	$\pm 0^{0} 45'$	±1 <sup>0</sup> 00'	±1 <sup>°</sup> 30'	±2 <sup>°</sup> 00'
« 60 « 100 «	$\pm 0^{0} 15'$	$\pm 0^{0} 30'$	$\pm 0^{0} 45'$	±1 <sup>0</sup> 00'	±1 <sup>0</sup> 30'
« 100 « 160 «	$\pm 0^{0} 10'$	$\pm 0^{0} 15'$	$\pm 0^{0} 30'$	$\pm 0^{0} 45'$	±1 <sup>0</sup> 00'
« 160	$\pm 0^{0}05'$	± 0 <sup>0</sup> 10'	$\pm 0^{0} 15'$	$\pm 0^{0} 30'$	$\pm 0^{0} 45'$

*Кузнечные напуски* – представляют собой объем металла, добавляемый к поковке для упрощения ее формы или облегчения удаления поковки из штампа. К ним относят перемычки под пробивку отверстия, штамповочные уклоны, внутренние радиусы закруглений в углублениях и полостях.

Штамповочные уклоны назначают на поверхности поковок расположенных параллельно движению деформирующего инструмента. При изготовлении поковок на молотах и прессах штамповочные уклоны назначаются на всех поверхностях детали, располагающихся параллельно движению бабы молота или ползуна пресса. При изготовлении поковок на ГКМ

штамповочные уклоны устанавливаются: на всех поверхностях детали, располагающихся перпендикулярно движению главного ползуна и выполняемых в матрицах; на всех поверхностях выступов и углублений поковки, располагающихся параллельно движению главного ползуна и выполняемых в полости пуансонов; на полостях сквозных отверстий или глубоких полостях, располагающихся параллельно движению главного ползуна и выполняемых формовочным или прошивным пуансоном.

Величины уклонов характеризуются внешними  $\alpha$  и внутренними  $\beta$  углами, причем  $\alpha < \beta$ . Величина штамповочных уклонов зависит от оборудования и конструкции штампа (наличия выталкивателя). С точки зрения экономии металла углы  $\alpha$  и  $\beta$  должны иметь минимальную величину и их назначают с учетом данных таблицы 22, в которой приведены значения максимальной величины штамповочных уклонов.

	Штамповочные уклоны, град				
Оборудование	Поверхность				
	наружная	внутренняя			
Штамповочные молоты, прессы без выталкивателей					
Прессы с выталкивателями, ГКМ	5	7			
Горячештамповочные автоматы	1	2			

Допускаемые отклонения штамповочных уклонов на поковках устанавливаются в пределах ±0,25 их номинальной величины.

Все пересекающиеся поверхности поковки должны сопрягаться по радиусам. Так же, как и штамповочные уклоны, радиусы закруглений подразделяют на наружные и внутренние. Стандарт регламентирует величину наружных радиусов закруглений в зависимости от массы поковки в килограммах и глубины полости ручья штампа.

a sound 20 minimum sound sound product of the product of the sound sound sound sound sound sound sound sound so									
	Минимальная величина радиусов закруглений, мм								
Масса поковки,	при глубине полости ручья штампа, мм								
КГ	до 10 включ	от10 до 25	от 25 до 50	св 50					
до 1,0 вкл	1,0	1,6	2,0	3,0					
св 1,0 « 6,3 «	1,6	2,0	2,5	3,6					
« 6,3 « 16 «	2,0	2,5	3,0	4,0					
« 16 « 40 «	2,5	3,0	4,0	5,0					
« 40 « 100 «	3,0	4,0	5,0	7,0					
« 100 « 250,0 «	4,0	5,0	6,0	8,0					

Таблица 23 – Минимальная величина радиусов закруглений наружных углов

Радиусы закруглений внутренних углов поковки (r) влияют на условия течения металла, стойкость штампа и качество поковок. Внутренние радиусы должны быть в 2-3 раза больше наружных радиусов, в противном случае возможно образование зажимов или перерезание волокон.

н. Для глубоких наметок внутренний радиус равен  $r = 3 + (2 + h) \cdot 0.01 \cdot D$ 

Ваввесх остальных случаях

$$r = 2,4 + \left(\begin{array}{c} h \\ 2 + \frac{h}{\overline{b}} \end{array}\right) \cdot 0,008 \cdot D$$

Π

В этих формулах *D*<sub>17</sub> - диаметр поковки, мм. h, b – соответственно высота и ширина уступа, мм Значения радиусов закруглений рекомендуется выбирать из ряда: 0,8; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12,5; 15; 20; 25; 30, и следует стремиться к их унификации (для одной поковки), так как это существенно снижает трудоемкость изготовления штампа и режущего инструмента. Допуски на все радиусы назначаю по таблице 24.

Радиус закругления, мм	Допуск радиуса закругления, мм							
	T1	T2	Т3	T4	T5			
До 4 вкл.	0,5	0,5	0,5	1,0	2,0			
Св. 4 « 6 «	0,5	0,5	1,0	2,0	3,0			
« 6 « 10 «	1,0	1,0	2,0	3,0	5,0			
« 10 « 16 «	1,0	2,0	3,0	5,0	8,0			
« 16 « 25 «	2,0	3,0	5,0	8,0	12,0			
« 25 « 40 «	3,0	5,0	8,0	12,0	20,0			
« 40 « 60 «	5,0	8,0	12,0	20,0	30,0			
« 60 « 100 «	8,0	12,0	20,0	30,0	50,0			

#### Таблица 24 - Допуск радиуса закругления

#### Полости, наметка отверстий в поковках

Получение поковок с полостями или сквозными отверстиями приводит к сокращению расхода металла и уменьшению механической обработки.

При получении деталей со сквозным отверстием делают двусторонние наметки с последующим удалением перемычки при обрезке заусенца. Получение полостей и наметок под сквозные отверстия в поковках приводит и к повышенному износу выступов штампов, формирующих такие полости. Поэтому, полости с диаметром меньше 30 мм не выполняют. В полостях и наметках (двусторонних) назначают внутренние штамповочные уклоны.

Выполнение сквозных отверстий или полостей (углублений) в поковках, изготовляемых на молотах и прессах, обязательно в тех случаях, когда оси отверстий или полостей совпадают с направлением движения бабы молота или ползуна пресса, а размеры или диаметры отверстий или полостей больше или равны высоте поковки, но не менее 30 мм. Полости (углубления) делаются глубиной не более 0,8 их диаметра.

При изготовлении поковок на ГКМ выполнение сквозных отверстий или углублений является обязательным, когда оси отверстий или углублений в поковках совпадают с направлением движения главного ползуна, а диаметры или размеры прошиваемых отверстий не менее 30 мм при длине не более трех диаметров.

Проектирование углублений и отверстий.

Практически возможно получение отверстий с диаметром основания

$$d_{ocumin} = 24 + 0.0625 \cdot D_{T}$$

где  $D_{\Pi}$  - диаметр поковки, мм.

Наметка верхним знаком делается глубиной  $h_B \leq d_{och}$ ; нижним знаком – глубиной  $h_H \leq 0.8 \cdot d_{och}$ . Минимальная ширина кольцевого выступа поковки определяется размером поковки:

$$b_{1\min} = 10 + 0,0625 \cdot D_{T}$$

Если ширина выступа  $b_1 > b_{1\min}$ , то этот выступ получают в поковке при условии  $\frac{h}{b} \le 0.8$ . В противном случае назначается напуск.

Толщина плоской перемычки может быть определена по формуле

$$s = 0,45$$
 ·  $q_{och} - + 0,6$   
 $0,25 \cdot \eta$ 

При  $\frac{h}{d_{ome}} < 0,4$  вместо плоских наметок рекомендуются наметки с раскосом (рис. 2 б),

при этом толщина перемычки  $s_{\min} = 0.65 \cdot s$ ,  $s = 1.35 \cdot s$ , где s следует определять так же, а

как и для плоской перемычки, а  $d_1 = 0,12 \cdot d_{\scriptscriptstyle ome} + 3$  мм.

Радиусы закруглений вершин наметок в предварительном, а также в окончательном ручьях, если штамповка проводится без предварительного ручья, рекомендуется определить по формуле

$$r_1 = r + 0, 1 \cdot h + 2$$
<sub>MM</sub>

где r – внутренний радиус закругления данной поковки, а h – глубина наметки.



Рис. 2 – Перемычки в наметках отверстий и углубления: а – плоская; б – с раскосом; в – с магазином; г сдвоенная поковка; д и е – детали; ж – перемычка с карманом; з – глухая наметка (углубление)

При штамповке с применением предварительного ручья с раскосом в окончательном ручье можно предусмотреть плоскую наметку с магазином (рис. 2в), причем радиус закругления  $r_2$  должен быть вдвое меньше соответствующего радиуса в предварительном ручье, а размеры  $\frac{h_0}{2}$  и *l* перемычки определяют так же, как и для нормальной облойной канавки штампа для данной поковки. С целью экономии металла вместо магазина в перемычке можно штамповать поковку с соответствующими габаритными размерами (рис. 2г). Для низких поковок при  $\frac{h}{d}$  < 0,07 после штамповки в предварительном ручье с плоской

наметкой для снижения усилия и повышения стойкости знаков окончательного ручья рекомендуются наметки с карманом (рис. 2ж). После штамповки в окончательном ручье карман должен оставаться немного незаполненным. При этом толщина перемычки S = 0,4. *плубина кармана*  $S_{max} = 5 \cdot S$ , а радиус скругления  $r1 = 5 \cdot h$ . Радиус подбирают графически. *r*2

Если глубина намечаемого отверстия h > 1,7. или после назначения радиуса  $d_{och}$ 

закругления, определенного по формуле  $r_1 = r + 0, 1 \cdot h + MM$ , не остается плоского участка, то 2

ограничиваются глухой наметкой (рис. 4.4, в). Радиус закругления глухой наметки

$$r = \frac{d}{2 \cdot tg\left(45^\circ - \frac{\alpha}{2}\right)}$$

Для двусторонней наметки рекомендуется смещать поверхность внутреннего разъема, а с ним и перемычку по отношению к поверхности внешнего разъема (рис. 3), что значительно облегчает центрирование поковки в окончательном ручье.



Рис.3 – Варианты размещения перемычки в наметке отверстия: а – рекомендуемый; б – возможный; в – нежелательный.

Таблица 25 - Минимальная толщина s (мм) дна или плоской перемычки удлиненных или круглых в плане поковок:

1.2		
$K_{s \text{ или}} d_{s}$	$l_{K_S} \leq 3$ или $h   d_S \leq 3$ К	$l_{K_S} > 3$ или $h   d_S > 3$
До 25	2	3
25-40	3	4
Св. 40до 63	5	6
63-100	6	8
100-160	8	10
160-250	12	16
250-400	20	25
400-630	30	40
Примечание : $K_S = 0.5(K_1 + K_2)$	); $dS = 0.5(d1 + d2)$	

Таблица 26 – Минимальная ширина b (мм) выступов (ребер) удлиненных или круглых в плане поковок:





Рис. 4 – Параметры круглых и удлиненых в плане поковок с плоским дном или перемычкой.

Перемычка под пробивку относится к поковке, т.е. включается в ее объем.

#### 2.5.3 Выполнение чертежа поковки.

Детальную проработку указанных вопросов при составлении чертежа поковки следует осуществлять с учетом особенностей выбранной штамповочной машины. После определения вышеперечисленных параметров выполняется чертеж поковки.

Необходимо проставить фактические размеры с указанием допусков. По этому чертежу осуществляется приемка готовой поковки. На чертеже поковки внутри ее контура тонкой линией вычертить форму готовой детали, что наглядно показывает наличие припуска на обработку резанием. Чертеж поковки выполняется в масштабе 1:1.

На чертеже окончательно спроектированной поковки необходимо указать основные технические требования:

- класс точности поковки;

- степень сложности;

– допуск на неоговоренные размеры поковки, устанавливаемый из расчета ±0,7 поля допуска по ширине или длине поковки;

допускаемые значения смещения штампа в разъеме и допускаемый заусенец по ГОСТ 7505-89;

– допуск по плоскости прошиваемых отверстий;

– допуск по изогнутости, неплоскостности и непараллельности поверхностей;

- допуск на угловые отклонения отдельных элементов;

– допуск на радиусы закруглений и штамповочные уклоны.

В заключение необходимо определить точную массу поковки Мп (рекомендуется с учетом 0,5 положительного предельного отклонения для наружных размеров и 0,5 отрицательного отклонения для внутренних размеров) /1/.

2.5.4 Пример расчета (назначения) допусков, допускаемых отклонений и припусков на поковку втулка.

Вид детали (втулки) приведен на рис. 5. Штамповочное оборудование – КГШП. Нагрев заготовок –

| 12,5 | 🗸 |



индукционный.

Рис. 5 – Чертеж детали втулка

1) Исходные данные по детали.

Материал – сталь 65Г (по ГОСТ 14959-79) с содержанием от 0,62 до 0,7 % С, от 0,5 до 0,8 % Мп, от 0,17 до 0,37 % Si и до 0,25 % Cr.

Размеры детали – из чертежа. Масса детали – 5,4 кг.

2) Исходные данные для расчета.

Масса поковки (расчетная) 8,6 кг, при расчетном коэффициенте Кр=1,6, (5,4x1,6=8,6). Класс точности – Т3.

Группа стали – М3, так как средняя массовая доля углерода в стали 65Г

составляет 0,68 % С, а суммарная массовая доля легирующих элементов –

1,04 % (0,27 % Si, 0.65 % Mn, 0,12 % Cr).

Степень сложности—С1.

Размеры описывающей поковку фигуры (цилиндра), мм:

147 (140x1,05) - диаметр; 84 (80x1,05) - длина (где 1,05 - коэффициент).

Масса описывающей фигуры (расчетная) - 11,2 кг;

Gп/Gф=8,6/11,2=0,78.

Конфигурация поверхности разъема штампа П (плоская).

Исходный индекс— 12.

3). Припуски и кузнечные напуски.

Основные припуски на размеры, мм:

на диаметр 140 мм и шероховатости поверхности 12,5 мкм -

1,5; на диаметр 120 мм и шероховатости поверхности 1,6 мкм -

2.0; на толщину 80 мм и шероховатости поверхности 6,3 мкм -

1.7;

на толщину 12 мм и шероховатости поверхности 12,5 мкм -1,6; на толщину 12 мм и шероховатости поверхности 1,6 мкм -1,6; на диаметр впадины 65 мм и шероховатости поверхности 6,3 мкм - 1,7; на глубину впадины 60 мм и шероховатости поверхности 12,5 мкм - 1,7. Дополнительные припуски, учитывающие: отклонение от плоскостности – 0.3 мм; смещение по поверхности разъема штампа-0.3 мм. Штамповочные уклоны: на наружной поверхности не более 5°, принимается 3°; на внутренней поверхности не более 7°, принимается 7°. 4). Размеры поковки и их допускаемые отклонения. Размеры поковки, мм: диаметр 140+(1,5+0,3)х2=143,6 принимается 144; диаметр 120+(1,8+0,3)х2=124,2 принимается 124; диаметр 65 - (1,7+0.3)х2=61 принимается 61; толщина 80+1,7+2+0,3х2=84 принимается 84; толщина 12+1,7+1,6+0,3х2=15,9 принимается 16; глубина 60х0,8=48, принимается 50. Радиус закругления наружных углов на глубину полости ручья штампа, мм: до 50 - не менее 3 принимается 5; св. 50 - не менее 3 принимается 4. Допускаемые отклонения размеров, мм: диаметр 144<sup>+1,3</sup> диаметр 124<sup>+1,3</sup><sub>-07</sub> диаметр 6 +0,6 глубина 50<sup>+0,7</sup> толщина 84<sup>+1,6</sup><sub>-0,9</sub> толщина 16<sup>+1,6</sup> Неуказанные допуски радиусов закругления 0,5 мм. Допускаемое отклонение от плоскостности 0,6 мм. Допускаемая величина остаточного облоя 0,8 мм. Допускаемое отклонение от соосности 50х0,01=0,5 мм принимается 0,5. Допускаемая величина на смещение по поверхности разъема штампа 0,7 мм. Ha основании полученных расчетных значений строим техническую документацию (чертеж) поковки (рисунок 6).



Рис. 6 – Чертеж поковки

# 2.6 Выбор переходов штамповки и ручьев штампов

Для изготовления заданной поковки, требуется установить, какое количество переходов (ручьев) в штампе необходимо. Выбор ручья, определяется, прежде всего, формой и размерами поковки, а также способами штамповки (вдоль или поперек оси заготовки), типом штампа (закрытый или открытый) и видом штамповочного оборудования. Для облегчения задачи правильного выбора переходов штамповки необходимо использовать классификацию поковок, изготавливаемых на выбранном оборудовании, а также связанные с ней классификации ручьев и способов штамповки.

Классификация предусматривает разделение поковок на группы, подгруппы и классы, для изготовления которых даются рекомендации по выбору переходов и способов штамповки.

При проектировании технологии горячей штамповки на молотах, следует установить, возможно, более рациональный процесс по переходам, т.е. наиболее благоприятное сочетание заготовительных и штамповочных ручьев для заданной поковки с учетом технологических условий и классификационной группы (1 и 2), к которой следует отнести рассматриваемую поковку.

К штамповочным переходам (ручьям) относятся окончательный и предварительный ручей. Полость окончательного ручья является точной копией конфигурации горячей поковки и строится по чертежу горячей поковки. Для размещения заусенца по периметру окончательного ручья предусматривается заусеничная канавка, форма и размеры которой определяются в зависимости от сложности поковки и толщины заусенца в мостике канавки Типы канавок, применяемых в открытых штампах, показаны на рис.7.



Рис. 7 – Типы облойных канавок.

Канавка типа I обеспечивает большую стойкость выступа (мостика), так как верхняя половина штампа прогревается меньше, чем нижняя.

Магазин высотой  $h_1$  можно выполнить в нижней половине штампа. Такой вариант целесообразен при обрезке облоя с поворотом поковки, т. е. в положении, обратном положению поковки в окончательном ручье штампа, так как предпочтительна укладка поковки на матрице плоской стороной облоя, а также в том случае, если поковка целиком размещается в нижней половине штампа.

Канавку типа II рекомендуется использовать в тех случаях, когда поковку нельзя отштамповать с нормальным облоем, например, когда по условиям производства нельзя осуществить точную отрезку заготовки и объем заготовки сильно колеблется. Канавку этого типа применяют для увеличения объема магазина при штамповке сложных поковок. Для молотовых поковок удлиненной формы (I группа) облойную канавку типа II следует применять, если заготовительные ручьи не обеспечивают распределения металла в соответствии с площадями поперечных сечений поковки. Поэтому канавку типа II допускается выполнять на отдельных участках контура, где заготовительные операции не обеспечивают удаления избытка металла в исходной заготовке.

Канавку типа III применяют в том случае, если необходимо резко повысить сопротивление течению металла на некоторых участках окончательного ручья, с тем чтобы обеспечить заполнение глубоких и сложных полостей штампа. При этом на части заготовки предусматривают увеличенный избыток металла. Канавку этого типа предусматривают на отдельных участках контура фигуры ручья.

*В канавке типа IV* отсутствует магазин для облоя, а остается только тормозящий мостик с наклоном. Канавку этого типа применяют для круглых в плане поковок, которые обычно штампуют с применением только окончательного ручья (малоотходная штамповка).

Таблица 27– Рекомендуемые размеры и площади	S	поперечного сечения для облойной
канавки типа I.	00.K	

И	$h_0$	$h_1$	R при глубине  Номер канавки в зависимости от формоизменении    ручья,мм					Номер канавки в зависимости от				нении при	штампо	овке
Номер канавкі			До 20	20-40	Св. 40	1; штамповка осаживанием или осаживание с элементами выдавливания.		2; выд покое	2; штамповка выдавливанием поковок несложной формы.			3; штамповка поковок сложной формы с труднозаполияемыми глубокими полостями.		
						b	$b_1$	<i>S</i> <sub>об.к.</sub> ,см	b	$b_1$	<i>S</i> <sub>об.к.</sub> ,см	b	$b_1$	<i>S</i> <sub>об.к.</sub> ,см
$\frac{1}{2}$	0,6 0.8	3	1	1 1.5	1,5 1,5	6 6	18 20	0,52 0,69	6 7	20 22	0,61 0,77	8	22 25	0,74 0.88

3	1,0	3	1	1,5	2,0	7	22	0,80	8	25	0,91	10	28	1,04
4	1,6	3,	1	1,5	2,0	8	22	1,02	9	25	1,13	11	30	1,55
5	2	5	1,5	2,0	2,5	9	25	1,36	10	28	1,53	12	32	1,77
6	3	4	1,5	2,0	2,5	10	28	2,01	12	32	2,33	14	38	2,78
7	4	5	2	2,5	3,0	11	30	2,68	14	38	3,44	16	42	3,85
8	5	6	2	2,5	3,0	12	32	3,43	15	40	4,34	18	46	5,06
9	6	7	2,5	3,0	4,0	13	35	4,35	16	42	5,3	20	50	6,42
1	8	8	3	3,5	4,0	14	38	6,01	18	46	7,45	22	55	9,03
0	10	10	3	3,5	4,0	15	40	7,68	20	50	9,88	25	60	12,0
1		12												8
1														

Таблица 28 – Ориентировочные критерии для выбора варианта канавки для заусенца

Положение заготовки	Форма	Характер деформации	Подходящий
в окончательном	полости	при штамповке	вариант
ручье			канавки
	Простая	Осаживание и	1
This The This The	неглубокая	расплющивание	
Ручей не перекрывается			
T. Min	То же	Выдавливание	2
Ручей частично перекрыт			
или сочетание первого и			
третьего вариантов			
	Слдожная неглубокая	Выдавливание	3
Ручей перекрыт			

Толщину облоя на мостике рекомендуется определелить в зависимости от формы поковки в плане:

– для поковок произвольной формы с площадью поперечного  $F_{\Pi}$ : сечения

$$h_0 = 0,015$$
 ·  $h_0$ 

– для квадратных поковок со стороной  $A_{\Pi}$ : квадрата

$$h_0 = 0,015 \cdot A_{\Pi}$$

 – для круглых поковок диаметром

$$h_0 = 0,015 \cdot D_{II}$$

 $D_{\Pi}$ :

Округлив результат, подбирают по таблице. ближайшее значение и определяют номер *h*0

канавки, а следовательно, и другие размеры канавки:  $h_0$ , R,b, $b_1$ .

Размеры канавок типов II и III определяют по таблице (канавка номер 3 по горизонтали) и соотношениям, приведенным на рисунке; размеры канавок типа IV – также по таблице (колонка для канавки номер 2).

Объем *V<sub>o</sub>* облоя (без учета внутренней пленки) можно определить как произведение средней площади его поперечного сечения на длину линии, проходящей через центры тяжести поперечных сечений облоя или приближенно по формуле

$$V_o = S_o \cdot P_{\Pi}$$

<sup>где</sup> *Р*<sub>П</sub> - периметр поковки по линии разъема.

Для поковок массой менее 3 кг вместо периметра  $P_{\Pi}$  в расчетах используют периметр по центру тяжести облоя, находящегося на расстоянии  $(b + b_1)|_2$  от крайней точки контура поковки. Средняя площадь поперечного сечения облоя

$$S_o = \xi \cdot S_{o \delta.\kappa}$$

где ξ - коэффициент, учитывающий степень заполнения облойной канавки; зависит от формы поковки (или элемента поковки) и сложности сечения;

S<sub>об.к</sub> - площадь поперечного сечения облойной канавки, для канавки типа I определяют по таблице, для канавок других типов – соответствующим подсчетом.

Таблица 29 – Значение коэффициента ξ

Группа	Macca	Номер канавки по горизонтали						
поковки	поковки,	1	2	3				
	КГ							
Ι	До 1	0,4	0,5	0,6				
	1-5	0,5	0,6	0,7				
	Св. 5	0,6	0,7	0,8				
II	До 1	0,3	0,4	0,5				
	1-5	0,4	0,5	0,6				
	Св. 5	0,5	0,6	0,7				

Для поковок массой более 3 кг вместо периметра  $P_{\Pi}$  в расчетах используется периметр по центру тяжести облоя, находящегося на расстоянии (b+b1)/2 от крайней точки контура поковки, а расчетное значение объема необходимо увеличить на 20%.  $V_o$ 

Для поковок, штампуемых на КГШП, объем заусенца определяется по формуле

$$V_{\varsigma} = P_n \cdot \left(h_{\varsigma} \cdot b + h_2 \cdot b\right)$$

где hз и b - толщина и ширина мостика заусеничной канавки, определяемые в зависимости от усилия КГШП;

h2 - средняя толщина облоя по  $h_2 = 2 \cdot h_3$ , магазину, b - толщина облоя в магазине.

Для поковок массой до 0,5 кг принимают b=10 мм, при массе до 2кг – b=15 мм, при массе более 2 кг – b=20 мм. Если поковки имеют сложную форму, а облой образуется в предварительном штамповочном ручье — значение. b - удваивают.


Рис. 8 – Типы облойных канавок при штамповке на КГШП (размеры, мм)

Давление	h3	а	l	h1	<i>R</i> 1	При Н	r
пресса, т	мм	$\mathcal{M}\mathcal{M}$	мм	мм	мм	мм	мм
630	1-1,5	0,6-1,0	4-5	5	15	1-3	0,5
1000	1,5-2,0	1,0-1,5	4-6	6	15	3-8	1,0
1600	2,0-2,5	1,2-1,6	5-6	6	20	8-20	1,5
2000	2,5-3,0	1,4-1,8	6	6-8	20	20-30	2,0
2500	2,5-3,0	1,6-2,0	6	6-8	20	30-60	3,0
3150 - 4000	3,5-4,0	2,0-2,5	6-8	8	25	60-80	3,5-4,0
5000 - 6300	4,5-5,0	3,0-3,5	8-12	9-12	30	св. 80	5-6

Таблица 30 – Размеры облойных канавок КГШП

Виды заготовительных и штамповочных ручьев выбирают в соответствии с размерами поковки и формой её поперечных сечений.

К заготовительным ручьям относятся пережимной, подкатной открытый и закрытый, протяжной, формовочный, гибочный, высадочный, площадка для расплющивания и осадки. Заготовительные ручьи находят применение при перераспределении металла исходной заготовки и придании ей формы, близкой к форме поковки.

При штамповке на молотах поковок удлиненной формы (І группы), почти во всех случаях требуется применять предварительный и окончательный штамповочные ручьи. При серийном производстве поковки І группы штампуют, как правило, в многоручьевых штампах, с использованием заготовительных ручьев. В этих ручьях стремятся к получению такой заготовки, площадь поперечных сечений которой была бы, по возможности, близка к суммарной площади соответствующих сечений поковки и заусенца. Такая заготовка обеспечивает получение качественной поковки с равномерным заусенцем при наименьшем расходе металла, уменьшает износ дорогостоящих штампов.

Для выбора заготовительных ручьев пользуются диаграммой (Рис.10) А.В. Ребельского /1,2/, для чего необходимо предварительно построить расчетную заготовку и

эпюру ее сечений (рис.9). Для поковок с прямой осью расчетную заготовку строят по чертежу поковки (рис.9,а), для поковки с изогнутой осью – по чертежу ее геометрической развертки.

Расчетной заготовкой называется условная заготовка с круглыми поперечными сечениями, площади которых равны суммарной площади соответствующего сечения поковки и заусенца (рис.9,б):

$$S_{ij} = S_{ij} + 2 \cdot S_{o} = + \xi \cdot S_{i\dot{a}.\hat{e}}$$
$$S_{ij}$$

где  $S_{\mathfrak{H}}$  - площадь поперечного сечения расчетной заготовки в произвольном месте;

 $S_{\Pi}$  - площадь поперечного сечения поковки, рассчитанная по номинальным размерам с добавлением к вертикальным размерам половины положительного отклонения; площадь внутреннего облоя (перемычки под пробивку) должна добавляться  $S_{\Pi}$ ; к

*S*<sub>0</sub> - площадь сечения облоя;

*S*<sub>об.к</sub> - площадь сечения облойной канавки, определяемая по таблице для канавки типа I или соответствующим расчетом для канавок других типов;

ξ - коэффициент заполнения канавки.

Диаметр расчетной заготовки в каком-либо сечении определяют из равенства:

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} = S_{\dot{Y}}$$

следовательно

$$d_{y} = 1,13 \cdot \mathbf{i} \qquad \mathbf{s}$$

Площадь расчетной заготовки на концах поковки следует принимать:

$$S_{\acute{Y}} = 2 \cdot S_{i\acute{a}\acute{e}}$$

Соответственно, диаметр

$$d_{y} = 1,13$$
 ·

Рассчитав ряд значений *d*, для характерных понеречных сечений поковки, откладывают отрезки полученных диаметров по линии плоскостей этих сечений, распределив их симметрично по отношению к оси и, соединив последовательно по участкам прямыми и плавными кривыми линиями характерные точки, получают чертеж расчетной заготовки или эпюру приведенных диаметров (см. рис. 9).



Рис.9 – Элементарная расчетная заготовка и эпюра её сечений (по А. В. Ребельскому).

Изображение расчетной заготовки рекомендуется выполнять в масштабе 1:1. Если по ординатам отложить в масштабе М величины площадей характерных сечений  $S_{\mathfrak{I}}$  в виде отрезков, равных  $h = \frac{S_{\mathfrak{I}}}{2}$ , то, соединив концы этих отрезков, получим эпюру поперечных

n = -, то, соединив концы этих отрезков, получим эпюру поперечных M

сечений расчетной заготовки. Площади отдельных ее элементов, умноженные на принятый масштаб М, представляют собой объемы соответствующих элементов расчетной заготовки:

$$V_{x} = F_{yx} \cdot M$$

,

где  $V_x$  - объем любого х-го элемента расчетной заготовки;  $F_{x}$  - площадь соответствующего элемента эпюры сечений.

Объем всей расчетной заготовки равен:

$$V_{2} = F_{2} \cdot M$$

Средней расчетной заготовкой называют цилиндр диаметром  $d_{cp}$ , длиной, равной длине поковки ( $l_{g} = l_{\Pi}$ ), и  $V_{\Pi.ob}$ , равным сумме объемов поковки и облоя  $V_{O}$ : объемом  $V_{\Pi}$ 

$$V_{\Pi.o\delta} = V_{\Pi} + V_O = V_{\mathfrak{Z}} = F_{\mathfrak{Z}} \cdot M$$

Площадь сечения средней расчетной заготовки:

$$S_{cp} = \frac{V_{\Pi.o\delta}}{l_{\Pi}} = \frac{V_{\Im}}{l_{\Im}}$$

Диаметр средней расчетной заготовки

$$d_{cp} = 1,13 \cdot \mathsf{I} \qquad [s_{c}]_{c}$$

Объем средней расчетной заготовки и ее диаметр можно также определить, пользуясь эпюрой поперечных сечений, предварительно найдя ее  $F_{3}$  по формуле площадь

$$V_{\mathfrak{s}} = F_{\mathfrak{s}} \cdot M$$

Высота эпюры среднего сечения

$$h_{\mathfrak{s},cp} = \frac{F_{\mathfrak{g}}}{l_{\mathfrak{g}}}$$

Площадь сечения средней расчетной заготовки по эпюре поперечных сечений

$$S_{cp} = h_{\mathfrak{s}.cp} \cdot M$$

В соответствии с полученными размерами расчетной заготовки можно определить общий коэффициент подкатки:

$$K_{\Pi O} = \frac{\frac{Max}{S_{cp}}}{\frac{Max}{S_{cp}}} = \frac{\frac{Max}{d_{cp}^2}}{\frac{Max}{d_{cp}^2}}$$

Возможные значения  $K_{\Pi}$  для отдельных ручьев указаны в табл. 31.

	Таблица	31 –	Значение	коэфа	bишиента	полкат	ки ручьев.
--	---------	------	----------	-------	----------	--------	------------

·		
Ручей	Индекс ручья по	Kn
	классификации	

Формовочный	3-I-1, a	1,2
Подкатной открытый	3-І-1, б	1,3

Подкатной закрытый	З-І-1, в	1,6
Предварительный	-	1,1
Окончательный	-	1,05

Комбинацию ручьев выбирают таким образом, чтобы  $K_{\Pi O} \leq K_{\Pi P}$ , где  $K_{\Pi P}$  равно произведению  $K_{\Pi}$  выбранных ручьев. Например, если выбраны ручьи: подкатной закрытый, предварительный и окончательный, то  $K_{\Pi P} = 1,6 \cdot 1,1 \cdot 1,05 \approx 1,8$ .  $K_{\Pi O} >$  необходимо применить протяжной ручей. При 1,8 Выбор заготовительных ручьев можно производить по диаграмме А.В. Ребельского (рис.10). Для получения диаграммы следует по данным расчетной заготовки (эпюры

диаметров) предварительно рассчитать величины «а», «В» и «К», отложенные на координатах диаграммы и обусловливающие величину работы деформации, необходимой для перемещения избыточного объема металла из области стержня в область недостающего объема металла головки.

$$a = \frac{d_{\max}}{d_{\tilde{n}\delta}};$$
$$B = \frac{l_{\hat{y}}}{d_{\tilde{n}\delta}}$$

Конусность стержня расчетной заготовки:

$$K = \frac{d_k - d_{\min}}{l_c}$$

В зависимости от этих величин и веса поковки по диаграмме (рис.10) выбирают заготовительные ручьи.



Рис.10 – Диаграмма А.В. Ребельского: БЗ – без заготовительных ручьев; ПО –подкатной открытый; ПЗ – подкатной закрытый; Переж – пережимной

Поковки круглые и квадратные в плане (II группы) штампуют за один, два и, реже, за три перехода. Поковки простой формы с небольшими бобышками штампуют за один переход. Если торцы заготовки скошены и длина заготовки не превышает 2,5 диаметра, то торцы выравнивают осадкой.

За два перехода штампуют поковку в виде обода высотой h с полотном высотой  $h_1$ , когда  $h/h_1 > 1,3$ . В первом переходе заготовку осаживают на площадке для осадки. При больших габаритных размерах заготовки Dn > 300 мм осадку осуществляют на отдельном молоте. Осаживание заготовки выполняют до высоты  $h_{oc}$  больше высоты окончательной поковки на 10 мм, т.е.  $h_{oc} = h_n + 10 \text{ мм}$ .

Диаметр осаженной заготовки определяется:

$$D_{i\bar{n}} = 2 \cdot \begin{bmatrix} V \\ \frac{c\dot{\alpha}}{\tilde{\alpha}} \\ \pi \\ \cdot \\ 43 \\ \psi \end{bmatrix}$$

$$V'_{3\Gamma} = \frac{100 + \delta}{100},$$

гдеV<sub>зг</sub> - объем заготовки с учетом угара;

 $\delta$  –угар металла: для пламенного нагрева -  $\delta = 1,5\%$ , для индукционного и электронагрева -  $\delta = 0,5 \dots 0,8\%$ .

За два перехода штампуют также поковки, имеющие высокую ступицу. При этом размеры исходной заготовки должны перекрывать углубление для ступицы в промежуточной заготовке. Когда размеры ступицы не гарантируют заполнение полости выдавливанием, применяют протяжку хвостовой части заготовки под ступицу в специальном протяжном ручье. Для поковок этой группы применяют и высадочный ручей.

При штамповке на ГКМ и на винтовых прессах назначить технологические переходы согласно справочникам.

2.7. Определение размеров и выбор исходной заготовки.

#### 2.7.1 Для поковок I группы, штампуемых на молотах /1,2/

Размеры исходной заготовки определяют исходя из двух основных факторов: расчетной заготовки и принятой комбинации переходов штамповки.

Объем заготовки на одну поковку  $V_3$  равен произведению площади  $S_3$  сечения  $\Gamma$  заготовки на ее длину  $l_{3\Gamma}$ , отнесенную к одной поковке, т. е.

$$V_{3\Gamma} = S_{3\Gamma} \cdot l_{3\Gamma}$$

Объем заготовки И'зг с учетом потерь (без клещевины) определяют по формуле

$$V'_{3\Gamma} = \frac{100 + \delta}{V_{\Pi O}}$$

$$V_{\Pi O} = V_{\Pi} + V_O$$

гдеV<sub>по</sub> - суммарный объем поковки и облоя; δ - угар металла, %.

Объем поковки рассчитывают по номинальным размерам с добавлением к

 $V_{\Pi}$ 

вертикальным размерам половины положительного отклонения.

На основании расчетных заготовок (эпюр) и принятого процесса штамповки по переходам, а также с учетом потери металла на угар и способа укладки заготовки в заготовительные ручьи рекомендуется площадь поперечного сечения заготовки  $S_{\rm 3r}^{"}$  определять по таблице 32, составленной для поковок с элементарной расчетной заготовкой. Площадь сечения исходной заготовки рассчитывают в зависимости от типа ручья.

Таблица 32 Определение площади сечения исходной заготовки для поковок с элементарной расчетной заготовкой (по А. В. Ребельскому).

Переходы	Площадь сечения исходной	Пояснение к расчету
	заготовки. Формула для	
	определения.	

Без заготовительных		Меньшее значение коэффициента в
ручьев (вз) или с		формуле принимают для случая,
применением гиоки	$S_{3\Gamma} = (1,02+1,05)S_{cp}$	итамповочный ручей по всей лиине
		большее значение-заготовка не
		доходит до конца ручья.
С пережимом или	S' = (1,05+1,3)S	Меньшее значение коэффициента
формовкой	ЗГ ср	применяют в том случае, если
С подкатной (ПО		исходная заготовка закладывается до
или ПЗ)	S' = S = (1,02+1,2)S	конца заготовительного ручья,
	ЗГ ПД ср	большее значение, если заготовка
		закладывается не до конца ручья.
С протяжкой	** <sup>1</sup>	Эту формулу применяют в том
	$S'_{2r} = S_{TR} = \frac{V_r}{r}$	случае, если после протяжки
		проводят формовку или гибку.
С протяжкой и	$S'_{-} = S_{-} - K(S_{-} - S_{-})$	
подкаткой	ЗІ ПР ПР ПД'	

В формуле объем головки расчетной заготовки с учетом потерь на угар

$$V'_{\Gamma} = \Gamma \cdot \frac{100 + \delta}{100};$$

где <sup>б</sup> - угар, %;

Выбор профиля сечения исходной заготовки и размеры профиля.

Определив S по ГОСТу, подбирают квадратный или круглый профиль с ближайшей  $'_{3T}$  большей площадью поперечного сечения и рассчитывают  $A_3$  и  $D_{3T}$ ; если запроектирован

г высадочный ручей и не предусмотрен специальный протяжной,  $D_3 \leq d_{\kappa onu}$ .

То Наиболее выгодно применять квадратный профиль. Круглую по сечению заготовку используют: при гибке с резкими изгибами, приводящей при штамповке из квадратного профиля к образованию зажимов; если на поковке круглый по сечению участок, не подвергающийся штамповке; в случае применения высадочного ручья или штамповки на молоте после высадки на горизонтально-ковочной машине. В ряде случаев рациональнее применять заготовки из проката периодического профиля, высаженные на горизонтально-

# 2.7.2 Для поковок II группы, штампуемых на молотах /1,2/

ковочной машине, или заготовки, полученные вальцовкой на ковочных вальцах.

Размеры исходной заготовки определяют по объемам: поковки с облоем и заготовки с учетом угара. Объем поковки с облоем равен:

$$V_{\Pi.o\delta} = V_{\Pi} + V_o$$

где  $V_{\Pi}$  - объем поковки;

 $V_{\scriptscriptstyle o}$  - объем облоя.

Объем заготовки с учетом угара (без клещевины)

$$\begin{array}{c}
V'_{3T} = \\
V_{\Pi.O} \\
46
\end{array} \cdot \frac{100 + \delta}{100}$$

 $V_{_{\Pi,O}}$  100 ;

*D*'<sub>3*Г*</sub> - диаметр расчетной заготовки с учетом потерь на облой и угар.

2.7.3 Пример расчета при конструировании поковки и определение 47

Расчетные (со штрихом) и фактически выбранные размеры заготовки: S и  $S_{3\Gamma}$  -

площади сечений заготовки;  $D'_{3}$  и  $D_{3\Gamma}$  - диаметры исходной заготовки;  $A'_{3}$  и  $A_{3\Gamma}$  - стороны квадратов исходной  $L'_{3}$  и  $L_{3\Gamma}$  - длины (высоты) исходной заготовки.

Размеры заготовки, во избежание ее искривления при обработке, должны удовлетворять условию:

$$m = \frac{L_{3\Gamma}}{D_{3\Gamma}} = \frac{L_{3\Gamma}}{A_3} \le 2,8$$

где m – коэффициент, равный 2,8-1,5; чтобы облегчить отрезку заготовки, принимают  $m \approx 2,8$ ; при таком значении m заготовка имеет наименьшую толщину.

Задавшись m, можно найти диаметр круглой или сторону квадратной заготовки по формулам:

Определив по этим формулам размеры заготовки  $D'_{3}$  и  $A'_{3\Gamma}$  и, посчитав  $S'_{3\Gamma}$ , по сортаменту подбирают заготовку с размерами  $D_{3\Gamma} \bigcap_{\Gamma} A_{3}$  и  $S_{3\Gamma}$ ), ближайшими к полученным расчетам, а затем уточняют длину заготовки по формуле

$$L_{3\Gamma} = \frac{V_{3\Gamma}}{S_{3\Gamma}}$$

В случае штамповки с применением одного высадочного ручья *S* определяют по формуле: *'31* 

$$S'_{3\Gamma} = 0.98 \frac{\pi d^2}{4}$$

где *d*<sub>min</sub>-диаметр концевого участка поковки большей длины;

При штамповке поковок в высадочном и специальном протяжном ручьях определяют по формулам:

где  $V_{\phi}^{'}$ - объем фланца поковки с учетом потерь на облой и угар; определяют аналогично  $V'_{3\Gamma}$  по формуле:

 $S'_{3\Gamma}$ 

# размеров исходной заготовки.

Деталь – шестерня из стали Б Ст2 ГОСТ 280-94



1. Конструирование поковки, выбор штамповочного оборудования

По чертежу детали рассчитать и сконструировать поковку, получаемую методом открытой штамповки. Нагрев заготовок – пламенный.

В качестве штамповочного оборудования выбираем кривошипный горячештамповочный пресс (КГШП), т.к. штамповка в открытых штампах на КГШП обеспечивает изготовление относительно точных поковок без сдвига в плоскости разъема, с малыми припусками и с повышенной по сравнению с молотами производительностью.

2 Исходные данные по детали

- Наименование детали и ее материал: Деталь – шестерня;

материал детали – Б Ст 2 пс ( по ГОСТ 380 – 94) состав: 0,09 – 0,15 % С, 0,25–0,5 % Мп, Si  $\leq$  0,15 %, P  $\approx$  0,07 %, S  $\approx$  0,06 %.

- Определение массы детали

Массу определим исходя из плотности и объема детали, предварительно разбив ее на элементарные фигуры (кольца)

$$m_{\partial} = \rho \times V_{\partial \underline{T}} = \rho \times (V_1 + V_2 + V_3)$$
  
V  
<sub>кольца</sub> =  $\chi$ 

где ρ –плотность материала поковки, кг/м<sup>3</sup> для стали она равна 7850; Vд – объем детали,м<sup>3</sup>;

V<sub>1</sub> – объем фигуры, соответствующей ободу шестерни,

м3; V<sub>2</sub> – объем кольца между ободом и ступицей, м3;

V<sub>3</sub> – объем фигуры соответствующей ступице шестерни,

м3. D, d – наружный и внутренний диаметр кольца, м;

H – высота кольца, м.  

$$V = \underbrace{\overset{3,14}{}}_{1} \times (0,16^{2} - 0,1^{2}) \times 0,06 = 735 \times 10^{-6} \, \text{m}^{3}$$

$$V = \underbrace{\overset{3,14}{}}_{2} \times (0,1^{2} - 0,06^{2}) \times 0,04 = 201 \times 10^{-6} \, \text{m}^{3}$$

$$V = \underbrace{\overset{3,14}{}}_{3} \times (0,06^{2} - 0,02^{2}) \times 0,08 = 201 \times 10^{-6} \, \text{m}^{3}$$

$$V_{\phi} = (735 + 201 + 201) \times 10^{-6} = 1137 \times 10^{-6} \, \text{m}^{3}$$

#### 2.8 Конструирование и расчет ручьев

#### 2.8.1 Штамповка на молотах

Исходя из чертежа горячей поковки и типоразмера облойной канавки, спроектировать чистовой ручей /1, 2/.

Согласно назначенным технологическим переходам спроектировать заготовительные ручьи, привести все необходимые обоснования и расчеты /1, 2/.

При штамповке поковок с изогнутой осью предусмотреть уравновешивание сдвигающих усилий в штампе /1, 2/.

Необходимо иметь в виду, что при штамповке на молотах заполнение металлом верхней части штампа протекает лучше, чем в нижней. Поэтому труднозаполняемые участки окончательного ручья следует располагать в верхней части штампа. Более тяжелую часть штампуемой заготовки, а также ту часть фигуры ручья, из которой трудно удалять поковку после штамповки, рекомендуется располагать ближе к пазу под клещевину.

Ручьи на зеркале штампа желательно располагать согласно очередности переходов технологического процесса, т.е. соблюдать прямоточность перемещения заготовки.

При штамповке на молоте нагревательное устройство располагают с левой стороны молота, а с правой стороны устанавливают обрезной пресс (при горячей обрезке). Поэтому первый из заготовительных ручьев (обычно протяжной) располагают с левой стороны у края штампа. Ручьи на плоскости разъема молотового штампа располагают относительно центра штампа, за который принимают точку пересечения оси хвостовика и шпонки. Штамповочные ручьи располагают вблизи центра штампа, а заготовительные ручьи – по периферии штампа /2, 3/.

Стенки между полостями ручьев и боковыми гранями штампа, а также между ручьями должны обладать достаточной прочностью, толщины стенок рассчитываются в зависимости от глубины и уклонов полостей ручьев /2/. Необходимо также учитывать, что максимальное смещение центра удара штампа относительно геометрического центра тяжести штампового кубика,  $\Delta b_K$  и  $\Delta l_K$ , не должно превышать 0,1 габаритного размера кубика  $b_K$ ,  $l_K$  в направлении смещения. Если это соотношение не удовлетворяется, то размеры ширины  $b_K$  или длины  $l_K$  штампа увеличивают в направлении от центра штампа, противоположном расположению отрезков  $\Delta b_K$  и  $\Delta l_K$ . Затем проводится проверка на достаточную величину площади соударения штампов и опорной площади хвостовика, приходящейся на единицу массы падающих частей молота (МПЧ). Для молотов с МПЧ G=1т свободная площадь соударения  $F_c \ge 150G$ , для средних молотов с МПЧ G=2...4т –  $F_c \ge 300G$ , для молотов с МПЧ G>4т – $F_c \ge 450G$ .

После размещения ручьев на зеркале штампа определяют размеры штампа в плане и выбирают размеры заготовок для изготовления штампа по ГОСТ 7831–78. Максимальный размер штампа слева направо ограничивается условиями, что расстояние от края штампа до направляющих молота (в свету) должно быть не менее 20мм, а минимальный – условием, что

штамп должен быть шире опорной части хвостовика не менее чем на 70...100 мм (на 35...50 мм с каждой стороны).

На главной проекции помещают наружный вид штампа в рабочем положении, т.е. в нижнем положении бабы молота, и указывают транспортные отверстия, выемки под клещевину, литниковые канавки и др. В случае необходимости (наличие замков, контрзамков и др.) допускается показ сечения с вырывом, а на свободных местах листа показывают те элементы штампа, которые не видны на главном виде из-за сечения.

Высоту кубика выбирают с учетом требуемой прочности штампа и необходимости его возобновления. В первом приближении высоту кубика можно определить в зависимости от высоты h<sub>max</sub> наиболее глубокой полости штампа. При наибольшей глубине полости h<sub>max</sub>=10...25мм высота кубика H<sub>min</sub>=(6...10) h<sub>max</sub>, а при глубине полости h<sub>max</sub>=50...100мм - H<sub>min</sub>

 $= (3...4)h_{max}$ .

Суммарная высота верхней и нижней частей штампа без хвостовиков должна быть больше закрытой высоты штампового пространства выбранного молота в 1,25 раза, что необходимо для последующего возобновления штампа.

Наибольшая масса верхней части штампа составляет 35% от номинальной массы падающих частей молота.

На листе общего вида штампа в правом верхнем углу помещают чертеж поковки с размерами в горячем состоянии, т.е. с учетом температурного расширения (для стали 1,5%), по которому будет изготавливаться окончательный ручей. Поэтому на чертеже поковки проставляют допуски на изготовление штампа (8...11 квалитеты), а не допуски на поковку. Размеры поковки по высоте указывают от плоскости разъема штампа. Поковку изображают в том виде, какой получается в окончательном ручье, т.е. без пробитого отверстия, но без облоя.

В примечаниях к чертежу поковки указывают марку стали, неоговоренные штамповочные уклоны, радиусы закругления и т.д., а также приводят другие данные, облегчающие чтение чертежа.

На листе должен быть приведен чертеж облойной канавки (в разрезе), как правило, в увеличенном масштабе, с указанием всех размеров и шероховатости поверхности. Если в поковках имеются глубокие полости, то в соответствующих местах штампа рекомендуется предусматривать вставки, которые устанавливают по посадке. Поэтому материал для вставок должен иметь меньший коэффициент линейного расширения при нагреве, что облегчает распрессовку изношенных вставок при их замене.

В случае, когда в молотовом штампе высота гибочного пуансона оказывается больше 30 мм, рекомендуется применять для него вставку, чтобы при изготовлении штампа не сострагивать металл по всей поверхности кубика.

Боковые грани штамповых кубиков механически не обрабатываются, за исключением граней контрольного угла. Его предусматривают на гранях штампа, которые наименее изрезаны ручьями открытого типа. Высота прострожки граней контрольного угла – 50...80мм от поверхности разъема, глубина – 5 мм.

На чертеже общего вида молотового штампа должна быть указана твердость по Бринеллю отдельно зеркала штампа, хвостовика, вставок. Показывают габаритные размеры в плане и минимальную высоту штампа в сборе (без хвостовиков), глубину и высоту врезок контрольного угла, размеры пазов под клещевину и литниковых канавок, а также размеры вставок с указанием посадок.

Размеры хвостовиков и паза под шпонку не указывают, а дают ссылку на ГОСТ 6039– 82. На нижней проекции расстояния до ручьев, размеры элементов штампа указывают от граней контрольного угла. Если заготовительные ручьи располагаются с противоположной стороны от контрольного угла, их ширину указывают от необработанной поверхности штампового кубика. Транспортные отверстия располагают в плоскости, проходящей через центр тяжести штампа на расстоянии от опорной части хвостовика, равном примерно 1,5 высоты хвостовика. Диаметр отверстия –20...30 мм, глубина сверления – 60...100 мм.

На чертеже помещают технические условия на изготовление штампа, в которых указывают допустимую непараллельность зеркала штампа опорной части хвостовика, неперпендикулярность граней контрольного угла и др.

Материалы молотовых штампов и элементов, а также термообработку брать по работе /5/.

## 2.8.2 Штамповка на КГШП

Штамп кривошипного горячештамповочного пресса представляет собой стандартный блок с направляющими колонками и другими деталями, в котором закрепляются вставки с ручьями. Размеры блоков и вставок зависят от размеров пресса. Поэтому перед разработкой конструкции штампа выбирают пресс, на котором будет выполняться штамповка. После определения усилия штамповки выбирают КГШП с ближайшим номинальным усилием.

При проектировании штампов КГШП составление эпюр диаметров и сечений, определение расчетной и исходной заготовки, составление чертежа поковки осуществляют так же, как при проектировании молотового штампа. При определении объема облоя и проектировании облойной щели необходимо учитывать, что в отличие от облойной канавки (замкнутой полости) молотового штампа при штамповке на КГШП используется полость, открытая с боковой поверхности – щель, т.к. в конце хода ползуна пресса во избежание заклинивания должен быть зазор между лицевыми поверхностями рабочих элементов вставок, равный расчетной толщине мостика облоя h<sub>3</sub>.

В штампе КГШП для каждого ручья предусматривают одну пару вставок (верхняя и нижняя). В связи с тем, что свободная от ручьев площадь вставок сравнительно невелика, при крайнем нижнем положении ползуна пресса между вставками должен находиться горячий металл. Поэтому при штамповке на КГШП во всех ручьях (кроме ручья для осадки) предусматривают облойные канавки. Если предварительный ручей заполняется преимущественно осадкой, то облойную канавку можно не делать, а предусмотреть зазор между вставками на 50...70% больше глубины облойной канавки окончательного ручья. ручей предварительный заполняется преимущественно Если выдавливанием, то предусматривают облойную канавку с мостиком на 1...2 мм шире и высотой на 50...70% больше, чем в окончательном ручье.

Вставки в блоках желательно устанавливать согласно очередности переходов штамповки. Однако при этом необходимо учитывать, что наибольшее усилие пресс обеспечивает по центру шатуна. Поэтому в случае, если усилие штамповки в окончательном ручье по величине близко к номинальному усилию пресса, вставку с окончательным ручьем необходимо располагать по центру блока. При автоматизации или механизации процесса штамповки на КГШП ручьи располагают согласно очередности переходов. В этом случае выбирают пресс с номинальным усилием на 40...60% больше расчетного.

Блоки штампа КГШП обычно допускают установку трех комплектов вставок. В этом случае, когда требуется только два комплекта, на место третьего помещают гладкие вставки (без ручьев), равные размерам недостающих рабочих вставок, с зазорами 15...30 мм между плоскостями разъемов.

На главном виде чертежа показывают разрез вставок в сборе при крайнем нижнем положении ползуна пресса с изображением выталкивателей в тех ручьях, в которых они предусмотрены.

На нижней проекции показывают вид на нижние вставки со снятой верхней частью штампа и проставляют габаритные размеры в плане, расстояние между осями ручьев и размеры в плане предварительных и заготовительных ручьев.

Чтобы показать форму и размеры вставок, на свободных местах листа в уменьшенном масштабе приводят боковой внешний вид одной из пар вставок. Разрезы на боковой проекции выполняют, если необходимо показать расположение выталкивателей во вставках при штамповке поковок удлиненной формы в плане.

В правом верхнем углу листа, как и при проектировании молотового штампа, показывают поковку с размерами в горячем состоянии и допусками на изготовление вставок по 8...11 квалитетам.

Предварительный ручей имеет размеры по высоте на 5...7% больше, а в плане на 2...3% меньше соответствующих размеров окончательного ручья. Радиусы скругления увеличивают в 2...3 раза по сравнению с радиусами окончательного ручья. Вертикальные сечения, имеющие форму круга в окончательном ручье, заменяют овальными с вертикально расположенной большой осью овала.

При штамповке поковок с внутренней перемычкой (наметкой, тонким полотном) в окончательном ручье обязательно предусматривают полости для избытка металла. Если ручьи размещены в узкой вставке и при штамповке облой вытекает за ее край, то необходимо на грани вставки прострогать фаски величиной 15...20 мм под углом 45<sup>0</sup>.

Мелкие и средние поковки при перекладывании из ручья в ручей обычно захватывают клещами за облой. Поэтому у всех ручьев штампа КГШП необходимо предусматривать выемку под клещевину. Тяжелые поковки захватывают за тело, поэтому в этих случаях выемку под клещевину не делают.

На листе чертежа указывают твердость вставок по Бринеллю и шероховатость всех поверхностей, а также проставляют все размеры вставок. Отдельно дают сечение облойных канавок всех ручьев (в увеличенном масштабе), величину хода выталкивателя и другие размеры.

## 2.8.3 Штамповка на ГКМ /1/

Штампы ГКМ представляют собой сборную конструкцию и состоят из разъемного блока матриц, блока пуансонов, пуансонов, матриц вставок, упоров и элементов крепления. Размерный ряд, основные параметры и характеристики штампового пространства ГКМ приведены в ГОСТ 7023–89.

Основными ручьями при штамповке на ГКМ являются наборные, формовочные, прошивные, пробивные и отрезные.

Проектирование штампа ГКМ осуществляют в следующей последовательности:

1. Составляют чертеж поковки и устанавливают технологические требования на поковку. 2. Выясняют, будет ли выполняться штамповка с облоем или без него и определяют способ отделения поковки от прутка.

3. Рассчитывают и выбирают переходы штамповки (число наборных и формовочных ручьев, их размеры), намечают способ набора металла (в пуансоне, матрице или пуансонематрице) и выбирают тип упора.

4. Определяют диаметр исходной заготовки и длину высаживаемой части по принятому диаметру исходного прутка и объему формовочного перехода для поковок с удлиненной осью.

5. Определяют наибольшее усилие штамповки.

6. Выбирают ГКМ по ближайшему большему усилию, количеству переходов и габаритным размерам штампового пространства (ГОСТ 7023–89).

7. Определяют размеры ручьев, конструкцию отдельных деталей и элементов штампа и устанавливают, какие из них будут вставными. Использование сменных вставок и сборных пуансонов позволяет повысить стойкость инструмента и облегчить переналадку машин. Вставки бывают двух видов: в виде полуцилиндра и прямоугольные. Крепление вставок осуществляют болтами или винтами. Расчет размеров вставок приводится в справочной литературе.

8. Устанавливают взаимное расположение ручьев, конструкцию и размеры пуансонодержателя. Наиболее нагруженные ручьи следует располагать на уровне главного вала машины. Ручьи располагают сверху вниз, чтобы перенос заготовки осуществлялся только в одном направлении. По длине матрицы ручьи располагают так, чтобы заготовку не нужно было перемещать вперед и назад при переносе ее из ручья в ручей.

9. Выбирают блок матриц и чертят общий вид штампа. На общем виде указывают габаритные размеры блока матриц, размеры паза под шпонку блока матриц и расстояние от паза до края блока, расстояние между осями ручьев (с допусками), рабочий ход пуансонов, минимально допустимое расстояние между блоками пуансонов и матриц в рабочем положении, зазоры между пуансонами и матрицами, посадочные размеры вставок пуансонов, длину части заготовки, высаживаемой на первом переходе (упор при этом показывается пунктирной линией) и другие размеры, которые по мере необходимости и составляют спецификацию.

При проектировании общего вида штампа ГКМ в левой части листа в соответствующем масштабе показывают ручьи штампа в рабочем положении по плоскости разъема блока матриц. При этом пуансонодержатель можно изображать не полностью, а только до мест крепления пуансонов в виде разреза по осевой линии, показав крепления пуансонов и их вставок (если они есть). На боковой проекции справа показывают вид на блоки матриц в рабочем положении. На этой проекции, как правило, при помощи вырывов показывают крепление вставок матриц, зажимных вставок, а также величину зазора между блоками матриц. На свободных местах листа общего вида изображают переходы штамповки со всеми размерами с учетом усадки. По этим размерам изготавливают полости пуансонов и матриц.

Материалы деталей штампов ГКМ и их термообработку можно брать по справочной литературе.

## 2.8.4 Штамповка на винтовых прессах/1/

В начале проектирования необходимо установить классификационную группу поковок, к которой можно отнести заданную, и установить способ штамповки: в открытом штампе, в закрытом штампе с цельной или разъемной матрицей, в полузакрытом штампе выдавливанием или высадкой.

При конструировании поковок и разработке техпроцесса штамповки следует руководствоваться теми же правилами, какими пользуются при штамповке аналогичных поковок на молотах. Применяют, как правило, один окончательный ручей и очень редко заготовительные ручьи – формовочный или пережимной.

После определения усилия штамповки выбирают пресс с ближайшим большим номинальным усилием. Наиболее широко применяют прессы усилием 0,8 - 4 МН, что обусловливает штамповку на них относительно небольших поковок.

На винтовых прессах применяют одноручьевые штампы, центр тяжести проекции ручьев которых располагают по центру винта пресса. Сравнительно малая скорость перемещения ползуна пресса позволяет наряду с цельноблочными (как у молота) применять сборные штампы с различным креплением их деталей, а также штампы с разъемными матрицами при закрытой штамповке. Для повышения точности поковок в штампах винтовых прессов рекомендуется применять направляющие колонки, замки, штыри и т.д. Минимальную толщину стенок от края ручья до края штампа, а также размеры высадочных и правочных ручьев выбирают по справочнику /2/. Размеры предварительных и окончательных ручьев рассчитывают, как и при молотовой штамповке.

На главном виде помещают разрез штампа. В нижней части листа показывают вид нижней части штампа со снятой верхней частью. Никаких разрезов в сечении на этой проекции делать не рекомендуется. В случае необходимости на свободных местах листа

располагают добавочные сечения, разрезы и т.д. Отдельно, желательно в увеличенном масштабе, показать разрез облойной канавки с размерами и шероховатостью поверхности.

На общем виде чертежа штампа проставляют габаритные размеры в плане и закрытую высоту, размеры хвостовика и толкателя, рабочий ход толкателя, посадочные размеры основных деталей, зазоры и т.д.

В правом верхнем углу листа помещают чертеж поковки в горячем состоянии.

### 2.8.5 Конструирование штампа для обрезки облоя и прошивки отверстия

Обрезку и пробивку выполняют в холодном и горячем состоянии, главным образом на кривошипных обрезных прессах, основные параметры которых приведены в справочнике /2/.

Проектирование штампов для обрезки облоя и пробивки от верстий в поковках ведут в следующей последовательности:

1. Определяют серийность обрезки.

2. Выявляют род обрезки – горячая или холодная.

3.Выбирают тип штампа – простого, последовательного или совмещенного действия.

4. Определяют конструкцию пуансона и матрицы (цельные или составные).

5. Определяют величину зазоров между пуансоном и матрицей.

6.Выбирают тип съемника.

7. Определяют усилие обрезки и пробивки и выбирают пресс.

8. Подбирают стандартные или нормализованные детали штампа: плиты, колонки, втулки, клинья и т.д.

9. Разрабатывают чертеж общего вида штампа в рабочем положении, т.е. в крайнем положении ползуна пресса.

2.9 Расчет усилия штамповки /1/

### 2.9.1 Определение массы падающих частей штамповочного молота

При штамповке круглых в плане поковок в открытых штампах необходимую для штамповки массу (кг) падающих частей паровоздушного штамповочного молота определяют по формуле:

$$G_{\overline{p}} = 5.6 \cdot 10^{-4} \cdot \underline{\sigma} \cdot (1 - 0,0005 \cdot D_{\Pi}) \times 2 \quad (b^{2} \quad \underline{b \cdot D} \quad D^{2}) \quad (2.5 \cdot (75 + 0,001 \cdot D^{2}))$$

$$\times |3,75 \cdot |b + \Pi | \cdot (75 + 0,001 \cdot D) + D_{\Pi} \cdot \underline{b} + D_{\Pi} \cdot \underline{b} + \frac{1}{2} \cdot \underline{b \cdot D} \quad D^{2}) \quad (D_{\Pi} \cdot \ln | 1 \quad \overline{D_{\Pi} \cdot h_{0}} )$$

где  $D_{\Pi}$  - диаметр поковки, мм;

σ - предел текучести материала поковки при температуре окончания штамповки, МПа;

b – ширина мостика облойной канавки, мм;

*h* 0 - толщина мостика облойной канавки, мм.

При штамповке некругых в плане поковок необходимую массу (кг) падающих частей паровоздушного штамповочного молота находят из выражения:

55

b

 $( D_{\Pi P} \cdot h_0 ) ($ 

<sup>где</sup>  $D_{\Pi P}$  - приведенный диаметр поковки, мм:  $D_{\Pi P} = 1,13$ ;  $F_{\Pi}$  $F_{\Pi}$  - площадь проекции поковки в плане,  $MM^{2}$ ;  $l_{\Pi}$  - длина поковки в плане, MM;  $b_{cp}$  - средняя ширина поковки в плане ( $b_{cp} = \frac{F_{\Pi}}{l_{\Pi}}$ ), мм.

Значение  $G_0$  и можно определить по номограмме, приведенной на рис. 12 при Gm

построении номограммы были приняты следующие соотношения размеров (мм) поковки и заготовки:  $h_0 = 0,015 \cdot D_{\Pi}$ ; b=7  $D_{\Pi} = 0 \div 100$ ; b=11  $D_{\Pi} = 150 \div$  и b=14 при при 350

 $D_{\Pi} = 400 \div 600$ .

Массу падающих частей молота простого действия  $G_{\Pi,M}$  можно определить по приведенным формулам или номограмме, умножив найденное значение на переводной коэффициент, т. е.  $G_{\Pi,M} = (1,5 \div 1,8) \cdot G_0$  (или Gm).

Формулы используют при расчете молотов для крупносерийного и массового производства поковок. В мелкосерийном производстве можно применять молоты с меньшей массой падающих частей, но с увеличенным числом ударов при штамповке. Формулы пригодны в тех случаях, когда минимальная толщина поковки превышает  $(4 \div 5) \cdot h0$ . В других случаях необходимо учитывать повышенную неравномерность распределения деформации и температуры, увеличивая полученное значение массы в 1,2-1,3 раза.

Для определения массы падающих частей молота при штамповке в закрытых штампах можно воспользоваться формулами для определения  $G_0$  и  $G_m$  и номограммой (см. рис. 12.). Полученное значение можно уменьшить на 20-25 %. Для упрощенных расчетов используют формулу

 $G = (3,5 \div 5) \cdot F_{\Pi}$ 

где G - масса падающих частей молота, кг;

 $F_{\varPi}\,$  - площадь проекции поковки в плане,  $c {\it m}^2$  .





Рис. 12 – Номограмма для определения массы падающих частей штамповочного молота.

#### 2.9.2 Определение необходимого усилия КГШП.

Расчет усилий штамповки на КГШП необходимо выполнять с максимально возможной точностью, так как при использовании пресса с недостаточным усилием может произойти авария, а при выборе пресса по завышенному усилию пресс будет использоваться нерационально.

Усилие при штамповке осаживанием в открытых штампах определяют по формулам:

• для круглых и квадратных в плане поковок, а также поковок, приближающихся к ним по форме:

$$P = \sigma_T \left\{ \begin{vmatrix} 1, 5 + \mu_0 \end{vmatrix} \right\}_{(0, 0)} \left\{ \begin{vmatrix} 2\mu_3 b & d \\ F_0 + \end{vmatrix} \right\}$$

• для удлиненных в плане поковок, а также поковок, имеющих в плане форму прямоугольника или близкую к прямоугольнику форму:

$$P = 1,155\sigma_{T} \{ \begin{vmatrix} b \\ 1 + \mu_{0} \end{vmatrix} | F_{0} + \begin{vmatrix} 2\mu_{0}b & a \\ F_{0} + \begin{vmatrix} 2\mu_{0}b & a \\ -\mu_{0} - 0,25 + 1,25 \ln h - |F_{TT} \\ -\mu_{0} \end{vmatrix} \}$$

В формулах

σ<sub>T</sub> — предел текучести металла при температуре штамповки, Па (принимают приблизительно равным временному сопротивлению растяжению соответствующих температуре и скорости деформации);

 $\mu_0$  — коэффициент внешнего трения (на мостике облоя); в расчетах часто принимают его максимальное значение, равное 0,5;

b, h<sub>0</sub> — ширина и толщина мостика облоя, мм;

*c* ,

F<sub>0</sub> — площадь проекции мостика облоя. мм2;

d, а — соответственно диаметр поковки и размер поковки по ширине, мм;

F<sub>П</sub> — площадь проекции поковки на плоскость разъема, мм2.

Для поковок, близких по форме к круглым и квадратным в плане, принимают:

$$d = 1,13$$

Среднюю ширину удлиненных поковок:

$$a = \frac{F_{\Pi}}{L_{\Pi}}$$

где L<sub>П</sub> — максимальный габаритный размер поковки в плане (в направлении длины), мм.

Формулы действительны при  $\frac{a}{h_0} = 15 - 65$  или  $\frac{d}{h_0} = 15 - 65$ . При штамповке в закрытых штампах:

$$P = \sigma \begin{bmatrix} (2r)^{2} & H^{5} & r(r) & H \\ |2,07|(1 - d^{2})| + 1,5 \ln \frac{\pi}{2r_{2}} + 12\frac{2}{d}(1 - \frac{2}{d})| - 4,5\frac{\pi}{d} + |F_{\pi}| \\ + H^{2} & 2 & - - - - - - \\ |1,92\frac{\pi}{d^{2}} + H^{2} & - - - - - - - \\ |1,92\frac{\pi}{d^{2}} + H^{2} & - - - - - - - - - \\ |H^{2} & R^{2} & R^{2} & R^{2} & R^{2} - - - - - - - - - - \\ |H^{2} & R^{2} & R^{2} & R^{2} & R^{2} & R^{2} - - - - - - - - - - \\ |H^{2} & R^{2} & R^$$

где r<sub>1</sub> — радиус закругления поковки около пуансона, мм; r<sub>2</sub> — естественный радиус закругления угла дна матрицы, мм; H<sub>П</sub>— высота поковки мм; d — диаметр поковки, мм.

### 2.9.3 Определение необходимого усилия штамповки и выбор ГКМ

Усилие ГКМ, необходимое для штамповки в открытых штампах, определяют по формулам для расчета усилия кривошипного горячештамповочного пресса. Ширину и толщину заусенца в зависимости от диаметра высаживаемой части поковки *D* определяют по таблице 33

Таблица 33 – Размеры (мм) поперечного (кольцевого) заусенца (облоя)

lto	Размер		Диаметр	D высаж поножня	ањаемой « "мм	ACT B
	paycenija	До 20	Св. 20 до 50	Св. 50 до 80	Ca. 80 no 120	Св. 120 до 160
	Шаряна <i>b</i> Толщина <i>i</i>	5 1	5—8 1,5	5—10 2,5	10—12 3	1214 3,5

При штамповке в закрытых формовочных и прошивных ручьях усилие:

$$P = K \frac{\pi D^2}{4} \sigma$$

где *D* – диаметр поковки; при высадке в конусной полости пуансона в последней формуле *D* – больший диаметр полости;

*σ* – предел прочности при температуре окончания штамповки;

*К* – коэффициент, определяемый в зависимости от вида штамповки на ГКМ по таблице 34; для наборных переходов *K*=1

Таблица 34 – Коэффициент *К* для определения усилия штамповки в закрытых формовочных и прошивных ручьях ГКМ



Определив усилие подбирают ГКМ по каталогу. Если высота штампового пространства не позволяет разместить в штампе требуемое число ручьев, то выбирают по каталогу ближайшую большую машину, а иногда и следующую машину, т. е. через одну ступень. Высоту штампа можно определить из выражения, приближенно учитывающего размеры переходов, число переходов и толщину стенок между ручьями штампа:

$$H = \sum D_h + 0.3 \sum (D_h + l_h) + 10(k+1)$$

где *D<sub>h</sub>* — наибольший диаметр перехода соответственно в каждом ручье;

*l*<sub>*k*</sub>— длина перехода соответственно в каждом ручье;

*k* — число переходов (без отрезки и высечки).

Сравнивая полученное значение *H* с допускаемой максимальной высотой штампа, по технической характеристике ГКМ устанавливают, удовлетворяет ли выбранная машина указанному выше условию.

Для поковок некруглой формы необходимое усилие для штамповки определяют, ориентируясь на приведенный диаметр:

$$D_{\Pi} = 1,13$$

где  $F_{\Pi}$  – площадь проекции поковки в плане

2.9.4 Определение необходимого усилия штамповки на винтовых фрикционных прессах

$$P = a \begin{vmatrix} 2 + 0.1 F_{\Pi} & F \\ n \\ V \end{vmatrix} \sigma_{B} F_{\Pi}$$

где: a = 3 при штамповке в закрытых штампах без значительного выдавливания металла, a = 4 при штамповке в открытых штампах,

а = 5 при штамповке выдавливанием в закрытых штампах;

F<sub>П</sub> — площадь проекции поковки;

V<sub>П</sub> — объем поковки;

σ<sub>в</sub> — временное сопротивление на разрыв при температуре штамповки.

2.9.5 Определение необходимого усилия штамповки на гидравлических прессах

Гидравлические штамповочные пресса характеризуются одинаковым усилием в любой точке хода траверсы. Максимальное усилие при штамповке определяют в момент окончания процесса деформирования металла, когда поковка приобретает наибольшие размеры в плане, а из излишка металла образуется облой.

Усилие гидравлического штамповочного пресса может быть рассчитано по формуле для определения усилия механического штамповочного пресса с учетом соответствующего поправочного коэффициента.

Усилие гидравлического штамповочного пресса:

$$P_{\Gamma \Pi} = P \cdot k ,$$

где Р – усилие кривошипного штамповочного пресса;

*К* – коэффициент, учитывающий интенсивное охлаждение заготовки в процессе изготовления поковки и зависящий от типа пресса и сложности поковки.

Tuominga 55 Ona	ισιιμι κοσφφι	щиение и					
Усилие		Гидравлические штамповочные прессы					
кривошипного	C	быкновенны	e	6	быстроходные	e	
ковочно-		]	Группы сложі	ности поковон	ĸ		
штамповочного	Ι	II	III - V	Ι	II	III - V	
пресса в МН							
(до)							
10	1,2	1,3	1,1	1,1	1,2	1,0	
20	1,3	1,4	1,2	1,2	1,3	1,1	
40	1,5	1,7	1,3	1,3	1,5	1,2	
63	1,8	2,0	1,4	1,5	1,7	1,3	

Таблица 35 – Значения коэффициента К

## 3. Вспомогательные операции объемной штамповки

Для получения заготовок штамповкой требуются вспомогательные операции, к которым относится разделка исходного материала на мерные заготовки и их нагрев перед обработкой давлением. Назначение первых операций – получение удобных для штамповки исходных заготовок и экономное расходование материала, а вторых – снижение сопротивления материала деформированию и потребной мощности оборудования.

Называть указанные операции вспомогательными можно лишь условно, так как от качества их выполнения существенно зависит качество штампованных заготовок.

## 4. Завершающие и отделочные операции

Поковки, полученные штамповкой перед отправкой на склад готовой продукции или в цех механической обработки, подвергают завершающим или отделочным операциям, к которым относятся охлаждение, обрезка заусенца, пробивка отверстий, термическая обработка, правка и калибровка.

#### 5. Качество поковок

#### 5.1 Факторы, определяющие точность и качество поковок

Все поковки по качеству делятся на три группы: годные, дефектные и окончательный брак.

Поковки первой группы соответствуют всем предъявляемым требованиям и не имеют дефектов.

Поковки, имеющие те или иные, исправимые дополнительной обработкой дефекты, называются дефектными.

Поковки с неисправимыми дефектами – это окончательный брак, который, в основном, направляют на переплавку.

Дефект поковок может быть обусловлен многими причинами, в том числе дефектом исходной заготовки или исходного металла, либо нарушением режима штамповки, а именно:

- несоответствие длины заготовки заданной, появляется при неправильной установке упора, недостаточной его жесткости крепления или неполной подаче прутка до упора;

- косой и грубый срез или скол металла исходной заготовки, искривление и чрезмерное смятие конца заготовки. Появляются такие разновидности дефектов при резке из-за неправильно выбранной величины зазора между ножами;

- торцевые трещины образующиеся, главным образом, при резке крупных профилей из высокоуглеродистых сталей и являются результатом больших внутренних напряжений, вызванных неравномерностью деформации при резке;

- неглубокими рисками или волосовиной, что являются результатом некачественной прокатки;

- крупнозернистая структура поковки, получается при перегреве металла исходной заготовки или окончании штамповки при слишком высокой температуре;

- вмятины, заштампованная окалина на поверхности поковки, или отпечаток от нее, образуются при плохом удалении окалины из ручьев штампа;

- не полная штамповка - увеличение сверх допуска всех размеров поковки в направлении движения инструмента. Возникает при недостаточном числе ударов молота, недостаточном усилии штамповочного оборудования, малой температуре нагрева заготовки, а также при повышенном объеме исходной заготовки;

- перекос или смещение одной половины поковки относительно другой в плоскости разъема штампа, возникает из-за неправильной установки штампа;

- ослабление размеров - уменьшение размеров поковки относительно заданных чертежом возникает при большом износе чистового ручья или при однобоком срезе заусенца из-за неправильной установки обрезного штампа;

- кривизна - отклонение осей и плоскостей поковки от заданных, может возникать при обрезке заусенца, из-за коробления при термообработке и остывании поковок;

- отклонение твердости от требуемой или ее пестрота по поверхности, возникает в результате неправильного режима термообработки;

- наличие окалины – при нарушении режима очистки от нее;

- забоины - местные механические повреждения, преимущественно на гранях, возникают вследствие удара поковок при падении.

Окончательный контроль штампованных поковок предусматривает проверку качества поверхности (контроль осуществляют ее визуальным осмотром), проверку геометрических размеров шаблоном и механических свойств (существующими методами). Скрытые дефекты выявляют люминесцентным или магнитным методом контроля.

### 5.2 Коэффициент использования металла

62

63

Коэффициент использования металла в кузнечно-штамповочном производстве составляет от 0,5 до 0,6, иногда до 0,9. Потеря (отход) металла наблюдается на разных переделах: при разделке металла, при штамповке в открытых штампах, при механической обработке.

Для выявления потерь металла при выполнении операций введен ряд коэффициентов, которые позволяют учесть эти потери на разных переделах.

Общий коэффициент использования металла КИМ определяют соотношением:

$$KUM = \frac{G_{\partial em}}{\eta} = \frac{G_{\partial em}}{G_{mem}},$$

где  $G_{\partial em}$  – масса детали, кг;

*G<sub>мет</sub>* – масса металла израсходованного на получение детали (норма расхода), кг.

Однако, КИМ в таком виде не дает полного правильного представления о полезном расходе металла по переделам. Эффективность работы кузнечного цеха оценивают по степени приближения размеров поковки к размерам детали коэффициентом выхода годного

$$K_{_{67}} = \frac{G_{_{\partial em}}}{G_{_{no\kappa}}}$$

а степень непроизводственного расхода металла на облой оценивают коэффициентом весовой точности, который определяется соотношением:

$$K_{67} = \frac{G_{no\kappa}}{G_{M,em}}$$

где Gпок – масса поковки, кг.

КИМ (пим) часто записывают в виде:

$$KИM = K_{\rm BP} \times K_{\rm BP}$$

Такая запись коэффициента использования металла позволяет судить о расходе металла на каждом из переходов - штамповке и механической обработки. То есть по всему производственному циклу, и отражает уровень технологии производства на предприятии. А

запись К

<sup>Cb</sup> *КИМ* =  $_{u_M} = \frac{G_{dem}}{G}$  показывает лишь затраты металла на изготовление детали.

Чем выше численное значение КИМ, тем более рационально расходуется металл, то есть технология изготовления деталей более рациональна.

## 5.2.1 Пути повышения коэффициента использования металла

Так как затраты на металл составляют существенную часть стоимости поковок, то совершенствование технологии штамповки нацелено на экономию металла и направлениями такого совершенствования являются:

- применение профильного проката;

- применение периодического проката.

Использование периодического проката под штамповку обеспечивает значительный эффект в крупносерийном и массовом производствах. Наиболее перспективным является применение периодических профилей, изготовленных поперечной прокаткой.

Основными способами повышения КИМ являются:

- выбор рациональной формы заказа металлопроката;

- максимальное использование отходов;
- снижение потерь от торцевых обрезков;
- выбор оптимальных допусков на длину заготовки;

- корректирование длины заготовки по заданной массе.

Наиболее высокий КИМ можно получить при заказе и использовании металлопроката мерной или кратной длины, но при этом увеличивается стоимость металла.

С целью снижения технологических отходов, то есть повышения КИМ за счет повышения коэффициентов выхода годного и весовой точности, в кузнечных цехах применяют целый ряд конструкторских и технологических разработок, в том числе используют ковочносварные конструкции заготовок, специализированную оснастку, рациональные конструкции слитков и заготовок.

При изготовлении относительно небольших поковок, рекомендуется многоштучная штамповка. При этом необходимо выбирать такое расположение фигур, при котором требуется наименьшее число заготовительных ручьев и будет обеспечена наибольшая экономия металла при рациональном использовании зеркала штампов. Также применяют использование особенной оснастки, ограничивающей свободное течение металла (подкладные штампы, профильные бойки, вкладыши). Использование несложной оснастки позволяет снизить массу поковок на 25 %. Автоматизация управления и проектирования ковочно-штамповочными процессами также способствует повышению КИМ.

Наиболее эффективным способом повышения КИМ при ковке является применение специализированных исходных заготовок, удлиненных, малоприбыльных, бесприбыльных и пустотелых слитков, заготовок, полученных непрерывной разливкой, имеющих высокий коэффициент выхода годного металла.

При штамповке резервами экономии металла являются получение поковок с повышенным коэффициентом весовой точности за счет снижения напусков, применение специальных методов получения поковок, в сочетании штамповки со сваркой и литьем, позволяет изготовлять крупногабаритные детали ответственного назначения с высоким КИМ. Так изготавливают цилиндры с глухим дном, различные диски, поковки типа валов, колец и обечаек.

Основными направлениями совершенствования технологии штамповки для улучшения технико-экономических показателей (ТЭП) являются изменение конструкции детали и поковки на наиболее рациональную и ужесточение припусков и напусков, изменение размеров заготовки и предварительная подготовка их формы на специальном оборудовании. Модификация конструкции ручьев штампа и применение новых конструкций канавок, как и применение сдвоенной штамповки, и совмещение выполнения разделительных и формоизменяющих операций - все это способствует повышению ТЭП.

Рациональное использование отходов, применение мало- и безокислительного нагрева повышает КИМ. Значительную экономию металла и повышение производительности и точности поковок можно достичь при комбинированной и сдвоенной штамповке.

Потери металла на заусенец составляют от 10 до 30 % от массы поковки, и они тем больше, чем меньше поковка. Применение штамповки с малым заусенцем и без него - один из резервов повышения КИМ. Применение такой штамповки уменьшает расход металла от 5 до 10 %.

Изготовление поковок в закрытых штампах, комбинированная и групповая штамповка обеспечивают экономию металла от 10 до 30 %, снижение трудоемкости и себестоимости.

Комбинированная штамповка такая, при которой работу основного кузнечноштамповочного оборудования совмещают с машинами, предназначенными для выполнения предварительного формоизменения поковок (например, сочетание вальцы – пресс).

Групповая штамповка – одновременное получение нескольких поковок.

Многоштучная штамповка небольших поковок позволяет повысить производительность и более полно использовать металл и зеркало штампа. Спаренная штамповка позволяет избежать применения сложных заготовительных ручьев.

Использование отходов для изготовления других деталей также позволяет повысить КИМ.

#### 5.3 Варианты совершенствования технологических процессов штамповки

Обработка металла давлением - это экономичные процессы с высокой производительностью, широко применяемые практически во всех отраслях промышленности. Характерным для современных операций ОМД, является качественное изменение технологических процессов, происходящих по следующим направлениям:

- комплексная механизация и автоматизация процесса;

- интенсификация процессов штамповки за счет повышения быстроходности оборудования и создания непрерывных технологических процессов;

- разработка способов штамповки без припусков или с минимальным припуском

(изотермическая штамповка, штамповка в разъемных матрицах, штамповка без заусенца и др.);

- обработка давлением в состоянии сверхпластичности;

- разработка способов и режимов обработки малопластичных и труднодеформируемых материалов;

- совершенствование нагревательных устройств для обеспечения малоокислительного и безокислительного нагрева заготовок;

- широкое использование новых и специальных видов объемной штамповки.

# 6. Моделирование процесса горячей штамповки с использованием конечноэлементного программного комплекса DEFORM-2D

Объёмная штамповка позволяет получать изделия любой геометрической формы с высокой точностью размеров. Деформирование металла заготовки происходит в полости, образуемой между рабочим инструментом – штампами, поэтому гарантированное заполнение ручья штампа является одним из важных условий получения нужной поковки. Не менее важным является также получение заданной структуры и свойств. На эти условия влияет множество факторов: состояние и форма исходной заготовки, геометрия штампа, течение металла в процессе штамповки и др.

Оценивать эти факторы, используя традиционные методики расчётов, основанные на статистических и эмпирических зависимостях несколько сложно. То же течение металла можно приблизительно определить для простых поковок. А неправильное определение пути течения металла в штампе может привести к появлению у готовой поковки загибов. Исправить это может корректировка геометрии штампа, или изменение геометрических размеров заготовки. Подбор заготовки и, тем более изменение геометрии штампа потребует как времени, так и ощутимых дополнительных материальных затрат. Тоже касается и достижения необходимых механических свойств: оценить проработку структуры можно только после штамповки, исследовав саму поковку.

С развитием вычислительной техники подобные задачи стало возможно решать при помощи математического моделирования, в частности программных продуктов, основанных на методе конечных элементов. Применение комплекса DEFORM 2D/3D позволяет моделировать операции объёмной штамповки с высокой точностью, при этом появляется возможность ещё на стадии проектирования технологического процесса управлять свойствами получаемого изделия. Так по распределению деформаций можно судить о проработке структуры металла, а значит и о механических свойствах будущей поковки. При моделирование в рамках двухмерной задачи. При этом облегчается возможность производить моделирование в рамках доработками чертежи штампа, построенные в большинстве графических редакторов (например, AutoCAD, или Компас–3D) и значительно ускоряется время расчёта, что позволяет за относительно небольшое время промоделировать несколько вариантов процесса. Данные двухмерной задачи могут использоваться для построения трёхмерного отображения исследуемого процесса, что создают более наглядную картину его протекания.

### 6.1 Создание и подготовка применяемых моделей

Сделать подобные операции позволяет модуль DEFORM Integrated 2D/3D.

Сначала необходимо на компьютере создать папку, в которой будет производиться расчет. При этом в имени папки и пути к ней не должно быть кириллических символов. Например, «D:\DEFORM\Hot\_Forging». Далее именно в эту папку нужно поместить чертежи используемых моделей (при этом для удобства имеет смысл создать для них отдельную подпапку).

В качестве примера рассмотрим штамповку обоймы, чертёж которой приведен на рис. 13.



Рис.13 – Чертёж поковки

На основании вышеизложенных в данном пособии методик был разработан штамп, чертежи верхней и нижней части которого представлены на рис. 14 и 15. Чертежи были выполнены в Компас - 3D в виду его высокой распространенности и лёгкости освоения. Однако никаких ограничений на использование для построений других редакторов (например, AutoCAD, nanoCAD и др.) нет.



Рис. 14 – Верхняя половина штампа



Рис. 15 – Нижняя половина штампа

Для импортирования в DEFORM чертежи штампов необходимо упростить: убирать все размеры, штриховку, осевые линии, отверстия под крепёж, а также оставить только правую половину. Крайне важно выполнить построения без наслоений и разрывов линий.

На рис. 16 представлен результат итоговых построений верхнего (1) и нижнего (2).



Рис. 16 – Итоговые конуры штампов

Полученные контуры необходимо сохранить в формате DXF. Для этого в Компас–3D нужно выбрать пункт меню «Файл → Сохранить как…». Появится окно настроек, показанное на рис. 17. При сохранении имена файлов не должны содержать кириллических символов.

Укажите имя ф	айла для запис	сн					? 🛛
<u>П</u> апка:	🧀 м		*	3 🤣	<del>ب</del>		
Недавние документы	Bottom.dxf Top.dxf						
[]] Рабочий стол							
Мои документы							Bottom.dxf
<b>S</b>							В <u>ы</u> ключить просмотр
Мой компьютер	<u>И</u> мя файла:	Bottom.dxf			*	Со <u>х</u> ранить	Параметры
Сетевое	<u>Т</u> ип файла:	AutoCAD DXF (*.dxf)			~	Отмена	

Рис. 17 – Окно настроек

Файлы DXF имеют ряд настроек, которые необходимо изменить для корректного импортирования в DEFORM. Для этого предназначена клавиша «Параметры», после её нажатия откроется окно, показанное на рисунке 18. Наиболее важно указать версию формата файла как «AutoCAD 12». При использовании других версий возможны ошибки при импортировании в DEFORM. Остальные настройки можно оставить по умолчанию.

Параметры вывода в файл формата DXF	×
Свойства Текст Символы Слои	_
Версия формата 🛛 🗛 🗸 🗸 🗸	
🗹 Учитывать толщину линий	
Линии толщиной более 2.11 мм преобразовывать в полилинии	
Передавать точки	
Отранати Поликани	
○ Макрообъектами	
Передавать цвет	
Установленный для <u>о</u> бъекта	
О Установленный для <u>с</u> лоя	
Количество знаков после запятой 16 🗘	
ОК Отмена Справка	)

Рис. 18 – Параметры настроек файла DXF

После сохранения чертежей штампа Компас–3D можно закрывать, больше он не потребуется. Построение остальных моделей будет производиться непосредственно в DEFORM (хотя при желании их можно построить отдельно).

В данном руководстве описывается моделирование штамповки, выполненное с применением операций, приведенных в таблице 36.

Тастица	
N⁰	Операции
1	Нагрев заготовки
2	Транспортировка к штампу
3	Охлаждение в штампе
4	Осадка
5	Охлаждение в штампе
6	Штамповка

Таблица 36 – Моделируемые операции

Моделирование многостадийных операций можно выполнять в модуле DEFORM Multiple Operations, путём задания последовательности действий, но его применение требует наличия опыта работы со стандартным Прероцессором, поэтому будет использоваться модуль Integrated 2D/3D, чей интерфейс совпадает со стандартным Препроцессором DEFORM.

## 6.2 Работа с Препроцессором DEFORM

Работа в DEFORM начинается с запуска стартового рабочего окна, показанного на рис. 19. Описание необходимых для данного моделирования элементов приведено в таблице 37.

Сначала необходимо задать рабочую папку, нажав соответствующую кнопку (1), появится окно выбора, показанное на рис. 20. После чего произвести запуск Препроцессора, нажав на кнопку (3).



Рис. 19 – Главное меню DEFORM

Таблица 37 – Панели инструментов

	<u> </u>	
1	<b>2</b>	Задание рабочей папки
2		Запуск и остановка расчёта
3	<u>DEFORM-2D/3D Pre</u> Формовка	Запуск Препроцессора
4	Предв. просмотр	Открытие окна предварительного просмотра
5	DEFURM-2073D Post	Запуск Постпроцессора



Рис. 20 – Окно выбора рабочей папки

Появится основное окно Препроцессора, показанное на рис. 21. Элементы панели инструментов представлены в таблице 38.

При первом запуске DEFORM будет настроен на решение трёхмерных задач, поэтому нужно в меню настройки процесса (пункт 6 в таблице 38) нажать на клавишу «2D». Окно Препроцессора изменить свой вид на изображённый на рис. 22 (в частности появится ось симметрии). Далее необходимо при помощи кнопки «Добавить объект» в меню управления деревом объектов (область 1 на рис. 22) создать заготовку. Для присвоения начальной температуры необходимо нажать кнопку «Установить температуру» (область 2 на рис. 22), при этом появится окно, показанное на рис. 23, в которое необходимо ввести нужное значение и нажать кнопку «ОК». В данном случае это 1200°С.

Далее заготовке присваиваются реологические свойства материала. Для этого нужно нажать кнопку «Загрузить материал из библиотеки» (область 3 на рис. 22) и в появившемся окне выбрать нужный материал. Здесь проявляется одна из неприятных особенностей DEFORM: стандартные базы данных материалов не содержат отечественных марок сталей и сплавов. Присутствуют их американские, европейские и японские аналоги. Поэтому необходимо подбирать наиболее близкие к российским ГОСТам материалы. Например, стали типа AISI – 10XX соответствуют отечественным маркировкам Сталь XX (т.е. AISI – 1045 это Сталь 45). Также следует следить за обозначением температур деформации, указанным после названия стали, например сталь AISI – 1045 [1450–1220F(900–1200С)] предназначена для горячей деформации (её температура может несколько выходить за эти рамки, т.к. происходит экстраполяция реологических свойств), а сталь AISI – 1045, COLD [70F(20)] – только для холодной деформации.


Рис. 21 – Окно Препроцессора

Таблица 38 – Панели инструментов

1	🕹 🚅 🖶 🎒 tà tā	Меню работы с файлами
2	1 8 🖉	Меню настройки окна просмотра
3		Меню отображения объектов
4		Меню перемещения объектов
5		Меню положения объектов
6	🛯 🕙 🧞 🐴 🤤 🥔 🔟	Меню настроек процесса
7		Меню помощи
8	đđ đđđđ 🗸 🗑 🗗	Меню управления деревом объектов



Рис. 22 – Настройка заготовки

💕 Object Temperature		? 🔀
Please enter the value for temperature:		
1200		
	ОК	Cancel

Рис. 23 – Задание температуры

Необходимо также смотреть, для какой именно обработки предназначен материал: в скобках после названия стоит значение температуры, для которой предназначена конкретная реологическая модель. Наиболее распространенные марки находятся в категориях «Steel» и «Stainless steel», т.е. «Сталь» и «Нержавеющая сталь» (область 1 на рис. 24). Помощь в выборе может оказать отключение некоторых групп сталей, для этого в разделе «Применение» (область 2 на рис. 24) следует убрать отметки со всех пунктов кроме «Hot Forming», т.е. «Горячая обработка». Также следует отметить, что некоторые виды реологических моделей могут использоваться для различных температур деформации, которые указаны после названия материала (область 3 на рис. 24).



Рис. 24 – Окно задачи свойств материала заготовки

Теперь нужно задать геометрию заготовки. Согласно расчетам для изготовления данной поковки необходима цилиндрическая заготовка со следующими размерами: Ø120 мм и высотой 260 мм (рис. 25).



DEFORM обладает инструментами для геометрических построений, поэтому иногда целесообразно строить некоторые простые объекты непосредственно в нём. Для этого в панели задания свойств и условий следует выбрать раздел «Геометрия» (область 1 на рис. 26) и нажать кнопку «Примитивы» (область 2 на рис. 26).



Рис. 26 – Окно настройки геометрии объектов

При этом появится окно, изображённое на рис. 27. Здесь нужно выбрать тип тела – цилиндр (область 1 на рис. 27), в качестве вида симметрии указать «Полная заготовка» (область 2 на рис. 27), начальную точку указать с координатами «0,0» (область 3 на рис. 27) и ввести размеры (область 4 на рис. 27). В данном случае это будут: толщина 60 мм (в виду симметрии 120

строится половина детали, поэтому \_\_\_\_ = 60мм), высота 260 мм. После ввода всех данных 2

необходимо нажать кнопку «Create», произойдёт построение элемента, а затем «Закрыть» для выхода из окна построений.

Результат построений показан на рис. 28 (область 1). Далее полученную модель необходимо разбить на конечно–элементную сетку, для этого в панели задания свойств и условий следует выбрать раздел «Сетка КЭ» (область 2 на рис. 28).



Рис. 27 – Окно построения геометрических примитивов



Рис. 28 – Задание конечно-элементной сетки

С помощью ползунка (3) или вручную (4) необходимо задать число элементов разбиения. Следует помнить, что чем больше элементов будет создано, тем точнее будет расчёт, но и тем больше времени он займёт. DEFORM Integrated 2D/3D позволяет создавать КЭ сетку с числом элементов вплоть до 10000. Количество элементов следует подбирать исходя из формоизменений, которые претерпевает деталь во время штамповки: если готовое изделие изменяется слабо, то можно использовать порядка 2000–3000 элементов. Также следует помнить, что размер конечных элементов должен быть меньше размера отдельных элементов штампа (таких как скругления, различные выемки и т.д.). В данном случае итоговая поковка испытывает относительно сильное формоизменение, поэтому следует создать КЭ сетку из 7000 элементов. Итоговая КЭ сетка показана на рис. 29.

🗊 DEFORM-3D Pre Ver 10.0 - [Hot_Forging]		
Файл Ввод Окно просмотра Экран Модель Инструменты Вид Настройки Справка		×8_
		🗠 🗠 ] 🖑 🗳 💦 🖓 🤐 🌮 🎦 🗓 ] 🕅 🖓
	GDEFORM SIMU È- @[1] OPERA È- ○[PDie] ( └- ∰ Me	LATION TION 1 War -1 1) Workpiece 🖾 (underined) sh - Elem 7248 🔾 Geo - Enkly 5
	Total object(s): 1	Q Q Q Q X B Ø ● & &
	Объект	(1) Workpiece
	Ссновной ССНОВНОВНОЙ ССНОВНОВНОЙ ССНОВНОВНОЙ ССНОВНОВНОВНОВНОВНОВНОВНОВНОВНОВНОВНОВНОВН	Настрояки Перестроение сетки Гранот Mesh Краткая інформация Количество: Узлое [7547 Злементов ]7248
	₩ Движение ‡Ц Гран. Усл. © Беойства	Количество элементов 0 10000 7000
	ополнительно	
Y L X		Генерировать сетку Check Mesh Area & Volume Manual Remesh
0	8	0 msec DEFORM-30 · Pre-processor

Рис. 29 – Построенная КЭ сетка

Далее необходимо задать теплообмен заготовки с окружающей средой. Для этого следует выбрать пункт «Гран.Усл.» (область 1 на рис. 30) и в древовидном каталоге указать пункт «Heat Exchange with Environment» (область 2 на рис. 30). Затем в окне выбора границ (рис. 31) указать выбор по краю (by Edge) и мышкой выбрать внешние границы заготовки (область 3 на рис. 30). Граница вдоль линии симметрии не выбирается, т.к. в данной области не происходит теплообмена с окружающей средой. Для подтверждения и задания условий теплообмена необходимо нажать на кнопку «+» (область 5 на рис. 30).



Рис. 30 – Настройка граничных условий

При этом в каталоге под пунктом «Heat Exchange with Environment» появится вкладка «Задано».

Pick edges		
₽ 🚯	%	Bce 🗙

Рис. 31-Окно выбора границ объекта

Во время расчёта происходит искажение и перестроение КЭ–сетки, при этом возможно некорректное описание изменённой формы поковки. Для предотвращения этого DEFORM позволяет отслеживать целостность объёма заготовки, что позволяет вносить необходимую коррекцию в расчёты. Данная функция находится в меню «Свойства» (область 1 на рис 32), далее необходимо поставить галочку в пункте «Включить компенсацию объёма при КЭ расчёте» и нажать кнопку расчёта объёма (область 2 на рис 32).



Рис. 32 – Настройка компенсации объёма

При этом появится окно с результатами расчёта (рис. 33), для продолжения нужно нажать на клавишу «Yes».



Рис. 33 – Результаты расчёта объёма

Далее необходимо произвести настройки самого процесса моделирования, для этого необходимо нажать кнопку «Настройки расчёта» (расположение указано на рис.21, область 6). Появится окно, изображённое на рис. 34. В графе «Simulation title» указывается название всего процесса, поэтому для простоты лучше указать его один раз и в дальнейших операциях не менять (либо оставить данное по-умолчанию название). В графе «Operation name» указывается название конкретной операции, поэтому для удобства при последующем анализе данных название следует сменять при каждой новой моделируемой операции (переносе от печи, осадке, штамповке и т.д.). Тоже самое касается и графы «Operation number»: с началом каждой новой

операции данное число нужно обновлять (т.е. перенос от печи – это 1, выдержка в инструменте – 2, осадка –3 и т.д.). Если этого не делать, то при просмотре результатов в Постпроцессоре возможны сбои с отображением добавляемого инструмента. Графа «Mesh number» показывает сколько было перестроений КЭ–сетки, данная графа изменяется автоматически при расчёте.

Также следует проверить, чтобы другие настройки совпадали с изображёнными на рис. 34, а именно: единицы – СИ, тип – Lagrangian incremental, режим – Деформирование (в первой операции данную опцию можно не включать, т.к. никаких деформационных процессов не происходит), Gen.Upper Die (данное название является ошибкой при переводе, вместо него должно быт «Тепловые процессы») должно быть включено во всех операциях.

🖑 Настройки задачи				
Сновное Simulation Simulation Steps Step Increment Cron Стоп Перестроение сетки Итерация Условия процесса Дополнительно Рас С Рас	n Info n title: M SIMULATION n name: TION 1 TION 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	Единицы © СИ Тип- © Lagrangian incremental © Steady-state machining Режим- © Деформирование © Gen. Upper Die	<ul> <li>Английские</li> <li>Фазовые превращения</li> <li>Зерно</li> <li>Нагрев Сопротивление </li> <li>Диффузия</li> </ul>	<u>О</u> К О <u>т</u> мена Перезагрузка

Рис. 34 – Окно основных настроек

Затем следует настройка шагов расчёта: пункт Simulation Steps, показанный на рис. 35. Количество шагов моделирования следует выбирать с некоторым запасом, чтобы хватило для проведения расчёта. При этом не обязательно сохранять каждый шаг расчёта: можно выбрать например каждый 10, или 5. Это позволит повысить итоговую точность расчёта, но не приведёт к излишнему увеличению объёма итоговой базы данных.

🖑 Настройки задачи			×
Основное Simulation Steps	Simulation steps Номер начального шага Количество шагов моделирования Через сколько шагов сохранять	-1  1500  10	   _
Стоп Перестроение сетки	Die info Primary die	1 ·Workpiece	
Итерация Од Условия процесса Од Дополнительно			

Рис. 35 – Окно настроек шагов расчёта

Далее необходимо установить размер продолжительности каждого отдельного шага, перейдя во вкладку «Step Increment», изображённую на рисунке 36. DEFORM позволяет

задавать различные типы приращения шага, указанные в области «Solution step definition», а именно: «Die displacement» – в зависимости от величины перемещения главного рабочего инструмента, задаётся в мм за шаг, т.е. значение 60 мм/шаг означает что за один шаг инструмент переместиться на 60 мм; «Время» – в зависимости от количества времени, протекающего за шаг, задаётся в секундах за шаг, т.е. значение 60 сек/шаг означает что за один шаг пройдёт 60 секунд; «Температура» – в зависимости от изменения температуры, данный тип мало используется при моделировании операций ОМД, поэтому выбирать его в данной задаче не рекомендуется.

🐇 Настройки задачи	X
Основное       Общие       Дополнительно         Simulation Steps       Solution step definition         Step Increment       Die displacement       Bремя         Стоп       Step increment control         Перестроение сетки       Kонстанта       60         Условия процесса       Sub-stepping control         Дополнительно       Max strain in element       1         Мах ratio of volume change       to original element       0         to original workpiece       0       1	тура Оаtabase step saving тура Пользователем С Системой Перезагрузка Step и Задать Sec/step Г Сопtact time sub-stepping

Рис. 36 – Окно настроек шага

Для задания продолжительности процесса необходимо перейти во вкладку «Стоп» и в поле «Processs duration» задать 120 сек., что соответствует реальному времени транспортировки заготовки от печи к прессу (рис. 37). Для подтверждения всех изменений, внесённых в настройки задачи необходимо нажать кнопку «ОК».

🖑 Настройки задачи	
Основное         Параметры процесса         Расстояние между инструментом         Плоскость остановки           Simulation Steps         Step Increment         0         Y         0         mm           Step Increment         20         Y         0         mm         mm           Перестроение сетки         Дополнительно         Min velocity of primary die         X         0         Y         0         mm/sec           Мах load of primary die         X         0         Y         0         N           Мах strain in any element         0         Y         0         N	<u>О</u> К О <u>т</u> мена ерезагрузка

Рис. 37 – Окно настроек остановки процесса

Далее необходимо нажав на кнопку «Генерация базы данных» (расположенной в области 6 на рис. 21) создать базу данных. При этом появится окно, изображённое на рис. 38.



Рис. 38 – Создание базы данных расчёта

Для проверки возможных ошибок следует нажать кнопку «Проверить», при этом возможно появление предупреждений в виде пунктов отмеченных жёлтым кругом с вопросительным знаком внутри, но они не влияют на последующий расчёт, главным является появление надписи «База данных может быть сгенерирована». После чего следует нажать на кнопку «Сгенерировать», после чего начнётся создание базы данных для расчёта.

Далее нужно закрыть окно генерации базы данных, выйти из Препроцессора и запустить расчёт (кнопкой «Старт», область 2 на рис. 19). Для предварительного просмотра протекания процесса можно запустить соответствующее окно (область 4 на рис. 19), при этом появится окно, изображенное на рис. 39.

DEFORM-3D Simulation Graphics - F\DP\Hot_Forging\Hot_Forging.DB		
		Close
Step 37	Temperature (C)	× * * • • • • •
	1050	Title © Step No © Stroke
	899	C Time C Operation name
	825	Strain
	750	Strain rate Stress
	676	Velocity Displacement
	601	Temperature
	527 - 527 527 Min	Contour type
	Y 1120 Max	Smooth     Solid     Vector
Hot_Forging.DB	Step 38 / 1502	Monitoring

Рис. 39 – Окно предварительного просмотра протекания процесса

Следует отметить, что расчёт тепловых процессов занимает довольно малое время.

Далее необходимо смоделировать охлаждение заготовки в инструменте, для этого после окончания расчёта необходимо вновь запустить Препроцессор, при этом появится окно выбора шага расчёта, показанное на рис. 40. Здесь необходимо указать последний шаг (№10), это позволит включить в дальнейший расчёт все предыдущие шаги (при дальнейших операциях следует также выбирать последний на момент расчёта шаг, за исключением моментов, когда расчёт завершился принудительно, тогда нужно выбирать шаг, предшествующий последнему).



Рис. 40 – Окно выбора шага расчёта

Для задания штампов необходимо добавить два объекта в древовидный каталог, это осуществляется при помощи кнопки «Добавить объект» (область 1 на рис. 41), при этом в каталоге появятся соответствующие объекты (область 2 на рис.41).



Рис. 41 – Задание дополнительных инструментов

В качестве инструмента необходимо создать плоские осадочные плиты. В реальном процессе для осадки заготовки используют плоские поверхности штампов, но из-за особенностей осесимметричного моделирования необходимо создать данные плиты отдельно. Создаются они также как и заготовка при помощи построения геометрических примитивов (область 2 на рис. 26). Необходимые размеры показаны на рис. 42: диаметр 150 мм, высота 10 мм.

🖸 Геом. примитив			×
Общие	_		<u>З</u> акрыть
Цилиндр	Вид симметрии Полная заготовка	С Четверть заготовки	Create
Полый Цилиндр Ф Тор Ф Сфера Ф Полая сфера		<b>Цилиндр</b> Начальная точка Х: 0 Y: 0 Размер Толщина (W): 150 Высота (Н): 10 Радиус (если есть) R1: 0 R2: 0	

Рис. 42 – Задание размеров осадочных плит

Построенные плиты показаны в области 3 на рис. 41. После построения плиты необходимо разместить на нужных местах. Это можно сделать как при построении примитивов, изначально задав необходимы начальные точки, так и при помощи последующего перемещения. Координаты точек выбираются таким образом, чтобы нижняя плита верхней поверхностью соприкасалась с нижней поверхностью заготовки, а верхняя плита была на некотором от неё расстоянии. Координаты начальных точек: для нижней плиты X=0, Y=-10 (значения по Y должны быть равны высоте плиты, но со знаком «-»), для верхней плиты X=0, Y=280 (таким образом, нижняя поверхность плиты окажется на 10 мм выше заготовки).

Для перемещения плит после их построения необходимо запустить «Позиционирование объектов», расположенное в «Меню настроек» (область 6 на рис.21). Появившееся окно показано на рис. 43. Для удобства позиционирования легче сначала совместить нижнюю плиту и заготовку при помощи метода «Интерференция», выбрав соответствующий пункт. Далее в области «Позиционируемый объект» необходимо выбрать перемещаемый объект, в данном случае это будет нижняя плита (объект «Bottom Die») и объект, относительно которого будет осуществляться перемещение, т.е. заготовку (Workpiece). Направление следует указать «Ү», тогда будет рассчитано позиционирование нижней плиты по положительному направлению оси Y вплоть до первоначального соприкосновения с заготовкой. В данном случае это приведёт к расположению плиты с нижней части заготовки. Перемещения осуществляются после нажатия кнопки «Применить», кнопка «Отмена» приводит не к отмене последнего действия, а к выходу из позиционирования объектов. Для завершения перемещения плиты сохранения полученных позиций необходимо нажать кнопку «ОК».

🕂 Позиционирован	ие объектов
Позиционируемый об	тьект 3 - Bottom Die
Метод	Направление
Перетащить	С-Х С-Ү С Другое 0 1
С Сместить	Относительно 1 - Workpiece Интерференция 0.0001
Интерференция	
С Вращение	
С Перевернуть	✓ Update related windows
<u>O</u> K (	Этмена Применить Совместное позиционирование

Рис. 43 – Позиционирование нижнего штампа

После завершения позиционирования может появиться предупреждение о необходимости перезадания граничных условий из-за перемещения объектов, показанное на рис. 44, это произойдет, даже если граничные условия ещё не задавались, для продолжения необходимо нажать кнопку «ОК».



Позиционирование верхней плиты начинается, как и нижней: необходимо выбрать метод «Интерференция», задать перемещаемый объект (теперь это верхняя плита «Top Die»), объект относительно которого производятся перемещения остаётся заготовкой (Workpiece), но изменяется направление, теперь это «-Y», т.к. плита первоначально располагается на верхней поверхности заготовки, рис. 44.

🚉 Позиционирование объектов					
Позиционируемый об	Позиционируемый объект 2 - Тор Die				
Метод	Направление				
С Перетащить	СХСҮ С-ХС-Ү С Другое 0 -1				
О Сместить	Относительно 1 - Workpiece				
Интерференция					
С Вращение					
Перевернуть	✓ Update related windows				
<u></u> KO	тмена Применить Совместное позиционирование				

Рис. 45 – Позиционирование верхнего штампа

Далее необходимо сместить верхнюю плиту на некоторое расстояние вверх, для этого легче всего воспользоваться методом «Сместить», окно с которым показано на рис. 46. Здесь необходимо убедиться, что позиционируемый объект это, как и ранее, верхняя плита, затем выбрать тип смещения «Вектор», в окне оси «Y» задать 10 мм и нажать клавишу «Применить». Произойдёт смещение модели плиты на заданное расстояние. Для подтверждения перемещения следует нажать клавишу «ОК».

Далее пиитам необходимо задать температуру, т.к. штамповка ведётся в подогреваемых штампах. Делается это, как и для заготовки (область 2 на рис.22 и рис. 23). Материал для штампа задавать нет необходимости.

Іозиционируемый о	бъект 2 - Тор Die
Метод	Тип смещения
С Перетащить	(• Вектор (mm) X 0 Y 10
• Сместить	С Две точки Из X 0 Y 0
С Интерференция	В точку Х 0 Y 0
С Вращение	<ul> <li>С Centroids of two objects</li> <li>Относительно 1 - Workpiece ▼</li> <li>Align coordinates Г Х Г Ү</li> </ul>
С Перевернуть	✓ Update related windows

Рис. 46 – Перемещение верхнего штампа

Следующим пунктом является задание граничных условий между заготовкой и рабочим инструментом, для чего необходимо запустить «Взаимодействие объектов», расположенное в «Меню настроек» (область 6 на рис.21), при этом появится окно, изображённое на рис.47, предлагающее автоматически задать пары взаимодействующих объектов, необходимо согласиться, нажав кнопку «Yes».



Рис. 47 – Установка стандартных пар объектов

В результате появится основное окно настроек взаимодействия объектов, показанное на рис.48. В DEFORM все граничные условия описываются через пары объектов, которые показаны на области 1. Для изменения условий необходимо выбрать интересующую пару и либо два раза кликнуть по ней левой клавишей мыши, либо нажать кнопку «Изменить» (область 2).

(1) Workpiece (1) Workpiece     He задано Coulomb 0       (2) Top Die - (1) Workpiece     He задано Coulomb 0       (3) Bottom Die - (1) Workpiece     He задано Coulomb 0	<u>О</u> тмена
Image: Workpiece     He задано Coulomb 0     0       (3) Bottom Die - (1) Workpiece     He задано Coulomb 0     0	<u>U</u> тмена
(3) Bottom Die - (1) Workpiece He задано Coulomb 0 0	$\frown$
	(4 ктные Гр. Юсл к
Изменить <u>П</u> ринять для остальных пар	ерировать вс
івный 1. Workpiece	Члалить

Рис. 48 – Окно настроек взаимодействия объектов

При этом появится окно задания условий трения, где можно выбрать различные типы трения, в основном применяются два основных закона: Зибеля и Амонтона–Кулона. В данном случае будет использоваться второй, поэтому выбираем его. Далее необходимо задать величину фактора, для штамповки будет использоваться 0,3.

Если вкладка «Деформирование» не активна, то следует выйти из «Взаимодействия объектов» и перейти в «Настройки расчёта», более детальное описание изменения параметров описано ниже по тексту (рис.51).

Деформирование	Температурные	Нагрев Окна	трения Износ инструг	<u>Закрыта</u>
Критерий разделен	ия По умолчан	ию 🔽 🛛	13	-
Плотность разделе	ния 0			
-Трение				
_ Трение _ Тип				
Трение _Тип С Зибеля	🕫 Кулона	С Смешанная	С Постоянная Таи	
Трение Тип С Зибеля Величина	• Кулона	С Смешанная	С Постоянная Тац	
Трение Тип С Зибеля Величина (• Константа	Кулона	С Смешанная	С Постоянная Тац	

Рис. 49 – Настройка условий трения

После условий трения необходимо задать теплообмен между объектами, для чего нужно перейти во вкладку «Температурные. При этом окно изменит свой вид на изображенный на рис. 50. В DEFORM для описания теплопередачи используется размерность H/cek/мм/C (которая соотносится с размерностью Bt  $\Big|_{M}^{2} \cdot ^{\circ}C$  как 1:1000).

Для операций без деформирования заготовки (к которым относится и остывание заготовки на штампе) рекомендуется применять значение 1, а с деформированием – 5. Подтверждение заданных условий осуществляется нажатием кнопки «Закрыть».

Деформирование	Температурные	Нагрев	Окна трения	Износ инструг	Закрыть
Коэффициент тепл	оообмена (N/sec/	mm/C)			
Константа	1		-		
С Функция	f(Времени)	Ŧ	1		
Подпрограммо	рй. 1	<u>^</u>			
Относительное вр	ащение				
G Variation	0				

Рис. 50 – Настройка условий теплообмена

Далее нужно задать условия для остальных пар. Для этого можно либо вручную задать их для каждой пары, либо, если условия одинаковы для всех, нажать кнопку «Принять для остальных пар» (область 3 на рис.48). При этом изменённые параметры будут отображаться в графах «Трение» и «Тепло на поверхности». Следующим шагом следует задать допуск для взаимодействия узлов КЭ–сетки и поверхностей рабочего инструмента. Для этого нужно задать автоматический подбор величины допуска, нажав соответствующую клавишу в виде молотка (область 4 на рис.48). Теперь можно запускать генерацию контакта, нажав клавишу «ОК». При

«Сгенерировать всё». Для подтверждения заданных условий нужно нажать клавишу «ОК». При этом появится окно, изображённое на рис. 51.

	TACT NOT GENERATED WITH ALL OBJECTS
•	Contact has not been generated with all objects. Possible reasons could be:
	1. The objects are not touching each other (not a problem).
	2. The tool geometry is reversed - be sure the 'geometry inside mark' shading is inside the object for all objects.
	3. The tool geometry is illegal - be sure to 'check geometry' on all objects.
	OK

Рис. 51 – Предупреждение про отсутствие контакта

Оно предупреждает, что часть объектов не контактирует друг с другом. В нашем случае это верхняя плита и такое её положение было предусмотрено изначально.

Следующим шагом следует изменение «Настроек расчёта», расположение кнопки указано на рис.21, область 6, появляющееся окно – на рис.52. Во вкладке «Основные» нужно изменить следующие параметры: «Operation name» – на «Operation 2» (в принципе здесь, как и ранее можно писать любое название, главное не использовать кириллические символы, но последовательное название операций удобней для восприятия); «Operation number» на 2 (это сделать необходимо для грамотного отображения смены рабочих инструментов при просмотре

полученных результатов моделирования) и включить режим «Деформирование» (если он не активирован, то при задании граничных условий будет недоступно задание условий трения).

Основное	Simulation Info Simulation title:	Единицы С. С.И. С. Анспийские	<u></u> К
Simulation Steps	DEFORM SIMULATION		Отмена
Step Increment	Operation name: OPERATION 2	Гип Г Lagrangian incremental	Перезагрузка
Стоп	Operation number: 2	C Steady-state machining	
Перестроение сетки	Mesh number: 1	Режим Г	
Итерация Условия процесса	Геометрия	🔽 Gen. Upper Die	
	• Осесимметричная	у Фазовые превращения С Эзоние	
Дополнительно	C Plane strain С Кручение	Г Нагрев Сопротивление	-

Рис. 52 – Окно основных настроек

Далее нужно перейти во вкладку настроек шагов расчёта «Step Increment», изображённую на рисунке рис.53, и изменить величину шага на 3 сек/шаг.

Основное	Общие Дополнительно	<u><u>O</u>K</u>
Simulation Steps	Solution step definition         Database step saving           C Die displacement         © Время         С Температура         © Пользователем         С Системой	О <u>т</u> мена Перезагрузк
Стоп Перестроение сетки	Step increment control           Константа         3         sec/step	Step incremen preview
Итерация Условия процесса Дополнительно	Sub-stepping control Max strain in element 0.1 Max ratio of volume change to original element 0	
	to original workpiece 0	

Рис. 53 – Окно настроек шагов расчёта

Теперь необходимо изменить время остановки, для чего нужно перейти во вкладку «Стоп», показанную на рис.54, и задать суммарное время протекания процесса, включая время транспортировки, т.е. 120сек. + 3 сек. = 123 сек.

Для подтверждения заданных условий нужно нажать клавишу «ОК», сгенерировать базу данных нажатием кнопки «Генерация базы данных» (расположенной в области 6 на рис. 21). Важно чтобы тип базы данных был установлен как «Старая», это допишет новые шаги к существующим.

После настройки всех условий и генерации базы данных следует выйти из Препроцессора и запустить расчёт.

Основное	Параметры процесса	Расстояние м	ежду инструменто	м Плоскост	ь остановки		<u><u>O</u>K</u>
Simulation Steps	Общие						Отмен
	Process duration	123				sec	Перезагр
Step Increment	Primary die displacement	e <mark>x</mark>	0	Y	0	mm	
Стоп	Дополнительно						
Перестроение сетки	Min velocity of primary d	e X	0	Y	0	mm/sec	
Итерация	Max load of primary die	X	0	Y	0	N	
Условия процесса	Max strain in any elemer	nt 0				mm/mm	
Дополнительно							
b i							

Рис. 54 – Окно настроек остановки процесса

Время расчёта будет минимальным. После его окончания необходимо вновь запустить Препроцессор и выбрать последний шаг для настроек условий операции осадки.

Сначала нужно произвести позиционирование верхней осадочной плиты как показано на рис. 55. Производится это методом «Интерференция», как и при предыдущем перемещении объектов.

💕 DEFORM-3D Pre Ver 10.0 - [Hot_Forging]						×
📓 Файл Ввод Окнопросмотра Экран Модель Инструменты Вид Настройки Спр	равка					_ 8 ×
j 🖆 🛃 🗧 🔤 🛅 j ŭ 🐼 🥙 j 🗊 🗊 🔁 j 🔤   ϟ ↔ 🤇	ୟ ୟ ପ <b>ଭ ଷ ଷ</b>    ୬୫		🗠 🗠 🛛 🖑 🗳 🏹 🖓 🤤 🤇	≥ 20 30 K	? 🕲 🖣	
Step -12			LATION ATION 3 War -12 strpiece AISI-1045(1650: 4h - Elem 7248 2) Top Die o - Entity 5 tom Die o - Entity 5	2200F(900-1200C)]		
	Y L X	Тotal object(s): 3 Объект Селовной Селовной Селовной Селовной Селока Ка жі Движение * 1 Гран Усл. Свойства Свойства Свойства	(1) Workpiece Mrna oбъекта Workpiece Mrna объекта Workpiece С Жесткий С Пористый С Пористы С Пористый С Пористы С Пористы	(₽) (₽) (□) (□)	ановить темпер	валарания стру
	<b>8</b>		层 Сохранить объект			Conv. Object
Изм. размера 612×886	0				16 msec	DEFORM-3D - Pre-processor

Рис. 55 – Расположение осадочных плит

Теперь, когда верхняя плита соприкасается с заготовкой нужно заново задать граничные условия. При этом фактор трения останется таким же как и ранее – 0,3, а коэффициент теплообмена изменить на 5 для всех пар объектов, что и показано на рис. 56. Далее необходимо вновь задать допуск и произвести генерирование контакта.

Деформирование	Температурные	Нагрев	Окна трения	Износ инструг 4	•	<u>З</u> акрыть
Коэффициент тепл	оообмена (N/sec/i	mm/C)				
Константа	5		-			
С Функция	f(Времени)	Ŧ	1			
Подпрограммо	рй. 1	<u>^</u>				
Относительное вра	ащение					
• Константа	0					

Рис. 56 – Настройка теплообмена между объектами

Затем нужно несколько изменить «Настройки расчёта», как показано на рис. 57, а именно во вкладке «Основное» сменить пункт «Operation name» на «Operation 3»; «Operation number» на 3.

Основное	Simulation Info Simulation title:	Единицы ГСИ	С Английские	<u></u> K
Simulation Steps				О <u>т</u> мена
Step Increment Стоп	OPERATION 3	Lagrangian incremental     Steady-state machining		
Перестроение сетки Итерация	Mesh number: 1 🚖	Режим Ф Деформирование Ф Gen. Upper Die		
Условия процесса	• Осесимметричная		Фазовые превращения	
Дополнительно	<ul> <li>Plane strain</li> <li>Кручение</li> </ul>		Барно Нагрев Сопротивление 💌	
	C Plane stress		🗖 Диффузия	

Рис. 57 – Окно основных настроек

Во вкладке «Step Increment» изменить тип приращения шага, указанный в области «Solution step definition» на «Die displacement» и поставить значение 0,3 мм/шаг, как показано на рис. 58. Данная величина определяется следующим образом: нужно с помощью инструмента «Измерить», расположенного в меню перемещения объектов (область 4 на рис. 21) измерить размер наименьшего элемента КЭ–сетки, как показано на рис. 58. Полученное значение поделить на три, результат деления и будет величина перемещения главного инструмента за один шаг расчёта. В данном случае это 1/3≈0,33, для удобства округляем до 0,3.

Основное	Общие Дополнительно	<u>0</u> K
Simulation Steps	Solution step definition	Отмена
Step Increment		Перезагрузк
Стоп	Step increment control	Step incremen preview
Перестроение сетки		
Условия процесса	Max strain in element 0.1	
Дополнительно	Max ratio of volume change	
	to original element 0 IV Contact time sub-stepping	
	to original workpiece 0	

Рис. 57 – Окно настроек шагов расчёта



Рис. 58 – Размер элемента сетки

Далее нужно перейти в пункт «Стоп» для задания критериев остановки процесса. В нём необходимо во вкладке «Параметры процесса» в окошке «Process duration» поставить 0 сек. (если оставить число 123, то процесс не запуститься, т.к. время расчёта уже составляет 123 сек.). После чего перейти во вкладку «Расстояние между инструментом» (область 1 на рис. 59) и задать контрольные точки на рабочем инструменте, между которыми будет отслеживаться изменение расстояния. Точки по-умолчанию располагаются на объектах «TopDie» и «BottomDie», т.е. на осадочных плитах. При необходимости объекты можно заменить, выбрав необходимые в соответствующих вкладках (области 2 и 3 на рис.59). В данном случае точки необходимо проставлять на поверхностях плит, с которыми соприкасается заготовка, как показано на рис. 60. Далее необходимо в окне «Метод» (область 4 на рис. 59) указать ось, относительно которой будет отслеживаться перемещение инструмента, в данном случае это ось Y, а в окне «Расстояние» задать величину зазора. Она берётся исходя из технологического процесса и составляет 140 мм. Для подтверждения заданных изменений нужно нажать на кнопку «ОК». Кнопка в области 6 – сброс условий.







Рис. 60 – Задание контрольных точек на плитах

Следующим шагом идёт задание движения рабочего инструмента. Для этого необходимо в древовидном каталоге объектов (область 1 на рис. 61) выбрать пункт «ТорDie» и перейти в пункт «Движение» (область 2 на рис. 61). В качестве типа движения указывается «Скорость», направление: «-Y», а значения скорости составляет 60 мм/сек. Данные значения соответствуют штамповке с применением гидравлического пресса. При необходимости можно выбрать штамповку на молоте, или КГШП, но тогда должны быть известны характеристики моделируемого оборудования.



Рис. 61 – Настройка движения инструмента

Для оценки правильности заданных параметров можно воспользоваться «Предварительным просмотром движения объекта» (область 3 на рис.61). При этом появится окно управления просмотром, изображённое на рис. 62. Кнопки управления на нём соответствуют большинству стандартных проигрывателей: движение вперёд и назад, остановка, пошаговый просмотр, наличие полосы прокрутки и т.д.

Movement Preview	lermi .		1.74		×
	-11		<b>•</b>	▶⊺ 1501	<u>З</u> акрыть
<ul> <li>Повторить</li> <li>Прараметры остановки</li> </ul>	0 Скоро	ость 🔽 0	1 1	60	
<ul> <li>View rotation only</li> <li>This object only</li> </ul>	Play speed	x0.1 @ x1 C	x 10 C x	100	

Рис. 62 – Окно управления предварительным просмотром движения

После задания скорости движения необходимо сгенерировать база данных и запустить расчёт. Время расчёта деформационных процессов значительно превышает время тепловых и зависит от мощности используемого компьютера.

Для контроля протекания процесса имеет смысл пользоваться предварительным просмотром (показано на рис. 39). Описание отображаемых параметров приведено в пункте 6.3. По-умолчанию при предварительном просмотре отображается каждый сохранённый шаг, в данном случае это каждый 10. Для просмотра шага, рассчитываемого в данное время, необходимо кликнуть правой клавишей мыши на свободном пространстве окна и в выпадающем меню выбрать пункт «Monitoring», подпункт «Current step».



Рис. 63 – Окно управления предварительным просмотром движения

Для вида удобно пользоваться сочетанием клавиш «Shift» + зажатая левая клавиша мыши + движение мышью. Изменение масштаба изображения производится комбинацией «Shift» + зажатая правая клавиша мыши + движение мышью. Выделение участка осуществляется при зажатой клавише «Ctrl»+выделение области с зажатой правой клавишей мыши.

После окончания расчёта осадки необходимо вновь запустить Препроцессор (как обычно с последнего шага) для настройки операции остывания заготовки в штампе). При этом будет произведена замена инструмента6 с плоских плит на штампы. Для импортирования чертежа штампа необходимо выбрать объёкт в древовидном каталоге (область 1 на рис.64), перейти во вкладку «Геометрия» и нажать кнопку «Import Geo» (область 2 на рис.64). При этом появится окно выбора геометрии, изображённое на рис.65, в котором нужно будет указать путь до чертежей и выбрать нужный. После импортирования произойдет замена моделей плит на верхний (область 3 на рис.64) и нижний (область 4 на рис.64) штампы.

🕃 DEFORM-3D Pre Ver 10.0 - [Hot_Forging]		_ 0
🖹 Файл Ввод Окно просмотра Экран Модель Инструменты Вид 🤇	<u>O</u> ptions <u>C</u> правка	_ # ×
😂 🚅 📮 🚝 18 18 18 19 19 19 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10	२ 🔍 🗘 🐼 🐼 🛛 🦊 🗠 🗠 🗠 🗠 🗠 🖻 🔛 🔛 🗠 🗠 🔛 🛄 🕨	' 🐵 🗊
Step -412	CEFORM SIMULATION     Geo - Entity 18	
	Total object(s): 3 Объект (3) Bottom Die Инструменты Edit Topology Construct Hacrpol Общее Инструменты Edit Topology Construct Hacrpol Общее Сетка Сетка Дакжение Неочетрия Свейства Сайства Сайства Сайства	
Y L x	I Show geometry inside mark	× Delete Geo
	0	16 msec DEFORM-3D - Pre-processor

Рис. 64 – Импортированные модели штампов

Импорт геометрии							х
🔵 🗢 📕 🕨 Компьютер 🕨 Ло	окальный диск (F:) 🕨 DF 🕨 Hot_Forg	ing ► M	<b>▼</b> <sup>4</sup> 9	Поиск: М			\$
Упорядочить 👻 Новая папка					•		?
<ul> <li>Рабочий стол</li> <li>Яндекс.Диск</li> <li>Библиотеки</li> <li>Аррз</li> <li>Видео</li> <li>Документы</li> <li>Изображения</li> <li>Музыка</li> <li>Музыка</li> <li>Локальный диск (С:)</li> <li>Локальный диск (E:)</li> <li>Докульный диск (F:)</li> <li>Докальный диск (G:)</li> </ul>	WMR Bottom.dxf Top.dxf	Дата изменения 27.02.2013 19:48 27.02.2013 19:49	Тип Файл обмена чер Файл обмена чер	Размер 26 КБ 26 КБ			
<u>И</u> мя файла:			•	Все доступни Открыть	ые формат	ы(*.kej тмена	, •

Рис. 65 – Окно управления предварительным просмотром движения

Иногда при импортировании возникают небольшие сбои: значения внешней и внутренней поверхности меняются местами. Дальнейший расчёт с такими поверхностями приведёт к ошибкам. Визуально нарушение поверхностей выглядят как серый контур с внешней стороны модели, пример которого показан в области 4 на рис. 64, нижний штамп. Правильное отображение показано в области 3 – верхний штамп, там серый контур проходит по внутренней поверхности чертежа. Для исправления необходимо выбрать объект и нажать кнопку «Check GEO», при этом появится окно, показанное на рис. 66, в котором нужно нажать кнопку «Check & Correct Geometry», которая исправит ошибки.

Проверить & корректировать геометрию         Geometry open/close type         C System detects         D.0418879	<u></u> К  
С Открыть Angles Минимально допустимый угол 20 градус Максимально допустимый угол 300 градус	Check & Correct <u>G</u> eometry По умолчанию
<ul> <li>Remove colinear points</li> <li>Граница является внутренней.</li> </ul>	

Рис. 66 – Окно проверки и исправления геометрии

В качестве подтверждения появится окно, изображённое на рис. 67.

	ЕРИТЬ ГЕОМЕТРИЮ
•	Geometry has been corrected.
	ОК

Рис. 67 – Подтверждение исправления геометрии

Как видно из рис.64 импортированные штампы нужно спозиционировать. Для этого применяется уже известный инструментарий «Позиционирование объектов». Разместить штампы необходимо как и при моделировании остывания перед осадкой: нижний соприкасается с заготовкой, а верхний находится на высоте в 10 мм над ней, как показано на рис.68.



Рис. 68 – Положение штампов при остывании заготовки

Также необходимо изменить граничные условия: выставить значения коэффициента теплообмена на 1. В «Настройках расчёта», во вкладке «Основное» сменить пункт «Operation name» на «Operation 4», а «Operation number» на 4, как показано на рис.69.

Основное	Simulation Info Simulation title:	Единицы С. С.И. С. Английские	<u></u> K
Simulation Steps	DEFORM SIMULATION		Отмена
Step Increment	Operation name:	Гип С Lagrangian incremental С Steady-state machining	Перезагрузка
Стоп	Operation number: 4		
Перестроение сетки	Mesh number: 1 🚔	Режим Г	
	Геометрия	🔽 Gen. Upper Die	
Условия процесса	• Осесимметричная	Фазовые превращения	
Дополнительно	C Plane strain	🖂 Зерно	
	С Кручение	П Нагрев Сопротивление	<b>_</b>
	© Plane stress	🗍 Диффузия	

Рис.69 – Окно основных настроек

Во вкладке «Step Increment» необходимо изменить тип приращения шага, указанный в области «Solution step definition» на «Время» и в окошке «Step increment control» поставить значение 3 сек/шаг, как показано на рис. 70, т.к. расчёт тепловых процессов без перемещения рабочего инструмента возможен только таким образом.

Основное	Общие Дополнительно	<u>O</u> K
Simulation Steps	Solution step definition Database step saving С Die displacement  Время  С Температура  Пользователем  С Системой	Отмена
Стоп Перестроение сетки	Step increment control Константа  З зес/step 3адать.	Step increme preview
Итерация Условия процесса	Sub-stepping control Max strain in element 0.1 Max ratio of volume change	
Дополнительно	to original element 0  To original workpiece 0	iping

Рис.70 – Окно настроек шага расчёта

Для задания остановки процесса необходимо задать время его протекания на данный момент, узнать которое можно перейдя во вкладку «Дополнительно», изображённую на рис.71. Значению времени, прошедшему с начала процесса соответствует графа «Current global time», в данном случае это 124,2 сек.

Основное	Переменные Допуски Опред	елено пользователем Вых	ходной контроль Узловые колебания	<u>O</u> K
Simulation Steps	Current global time	124.2	sec	Отмена
- hand	Current local time	124.2	sec	Перезагрузка
pincrement	Time to use for function data			
п	Global time	C Local tim	ne la	
рестроени <mark>е сетк</mark> и				
герация				
	Primary workpiece 0 - Het	•		
словия процесса				
ополнительно	<b>-</b> 11			
	Используйте оригинальные ада	аптивные правила для термокі	инетических диаграмм	

Рис. 71 – Окно дополнительных параметров процесса

Теперь перейдя во вкладку «Стоп» нужно задать общее время протекания процесса, полученное из следующих условий:  $124,2 + (1\div2) \approx 126$  сек., где  $1\div2$  сек. – приблизительно время остывания заготовки на штампе перед штамповкой. Затем необходимо сбросить настройки остановки по достижению расстояния между инструментами (область 6 на рис.59).

Основное	Параметры процесса	асстояние м	ежду инструментом	Плоскост	ь остановки		
Simulation Steps	Общие						Отме
▶ 	Process duration	126				sec	Перезаг
Step Increment	Primary die displacement	×	0	Y	0	mm	
Стоп	Дополнительно						
Перестроение сетки	Min velocity of primary die	X	0	Y	0	mm/sec	
Итерация	Max load of primary die	x	0	Y	0	N	
Условия процесса	Max strain in any element	0				mm/mm	
Дополнительно							

Рис. 72 – Окно настроек остановки расчёта

Далее необходимо нажав на кнопку «ОК» подтвердить все заданные условия и перейти в настройку движения рабочего инструмента (рис.61), где верхнему штампу присвоить скорость равную 0 мм/сек. Это необходимо для остановки движения штампа при расчёте остывания заготовки.

После задания всех условий необходимо сгенерировать базу данных (как и ранее необходимо выбирать тип «Старая»), выйти из Препроцессора и запустить расчёт. Как и при большинстве тепловых процессов, расчёт займёт малое время. По его окончании необходимо вновь запустить Препроцессор и выбрать последний шаг расчёта, для задания условий непосредственной штамповки заготовки.

В целом настройки параметров при штамповке повторяют настройки, использованные при осадке. Так, верхний штамп необходимо поместить на заготовку, также как это делалось перед осадкой (с использованием «Позиционирования объектов»). При задании граничных условий необходимо коэффициент трения для всех пар установить 0,3 по закону Кулона, а коэффициент теплопроводности задать 5. В «Настройках расчёта», во вкладке «Основное» нужно сменить пункт «Operation name» на «Operation 5», а «Operation number» на 5, как показано на рис.73.

Основное	Simulation Info Simulation title:	Единицы	<u></u> к
Simulation Steps	DEFORM SIMULATION		Отмена
Step Increment	Operation name: OPERATION 5	- Тип • Lagrangian incremental	Перезагрузк
Стоп	Operation number: 5 🚔	O Steady-state machining	
Перестроение сетки	Mesh number: 1 🚖	Режим Г	
Условия процесса	Геометрия	Gen. Upper Die	
Дополнительно	<ul> <li>Plane strain</li> <li>Кручение</li> </ul>	Сопротивление	
	C Plane stress	Диффузия	

Рис. 73 – Окно основных настроек

Во вкладке «Step Increment» необходимо изменить тип приращения шага, указанный в области «Solution step definition» на «Die displacement» и в окошке «Step increment control» поставить значение 0,3 мм/шаг, как показано на рис. 74.

Основное	Общие Дополнительно	<u>0</u> K
Simulation Steps	Solution step definition         Database step saving <ul></ul>	Отмена
у Step Increment ) Стоп ) Перестроение сетки	Step increment control	Step incremer preview
Итерация Условия процесса	Sub-stepping control Max strain in element 0.1 Max ratio of volume change	
Дополнительно	to original element 0 IV Contact time sub-stepping	

Рис. 74 – Окно настроек шагов расчёта

В пункте «Стоп» во вкладке «Параметры процесса» в окошке «Process duration» поставить 0 сек. (тем самым отключив остановку по прошествии времени). Далее перейти во вкладку «Расстояние между инструментом и задать контрольные точки на рабочем инструменте, между которыми будет отслеживаться изменение расстояния, как показано на рис.75. Штамп имеет сложную форму, поэтому нужно свериться с чертежом, чтобы узнать какое расстояние должно быть в данном месте. В указанном на рисунке толщина поковки составляет 30 мм, это значение и нужно внести в окошко «Расстояние», пункт «Метод» также остаётся «Расст. по Ү».



Рис. 75 – Настройка остановки расчёта

Более детально окно настроек показано на рис.76.

Основное	Параметры процесса Расстояние между инструментом Плоскость остановки	<u><u> <u> </u></u></u>
Simulation Steps	Инструмент 1 Объект 2 - Тор Die	Отмена
Step Increment	С Узел 🛛 🚖	
Стоп	Коорд. <u>Х</u> 136.33 <u>Ү</u> 191.2	
Перестроение сетки		
Итерация	Инструмент 2	
Условия процесса	Объект 3 - Bottom Die	
Дополнительно	С Коорд. <u>х</u> 133.103 <u>Y</u> 25.6004	
	Ø	

Рис. 76 – Задание контрольных точек на штампах

Далее необходимо задать движение верхнего штампа, направление и скорость соответствуют использованным при осадке: по оси «-Y» и со скоростью 60 мм/сек.

После задания всех условий необходимо сгенерировать базу данных (проследив чтобы при этом был установлен тип «Старая»), выйти из Препроцессора и запустить расчёт. Время расчёта может быть значительно дольше чем при осадке, т.к. при штамповке заготовка будет приобретать сложную форму, возможны многократные перестроения сетки.

Если возникла необходимость продолжить расчёт на другом компьютере, то необходимо зайти в директорию с расчётом и открыть файл «DEF\_MPIenv.DAT» и открыть его с помощью Блокнота, рис.77.

👂 DEF_MPlenv.DAT - Блокнот	
<u>Ф</u> айл <u>П</u> равка Фор <u>м</u> ат <u>В</u> ид <u>С</u> правка	
-env MPICH_SHMSIZE=52000000 3214-1 2	~
	1
<	≥

Рис. 77 – Редактирование файла DEF\_MPIenv.DAT

В данном файле нужно указать имя нового компьютера (на рисунке это число 3214-1) и число процессоров (число 2).

Имя компьютера можно просмотреть, щелкнув правой клавишей мыши по значку «Мой компьютер» на рабочем столе и выбрав пункт «Свойства», далее вкладку «Имя компьютера» и из графы «Описание» скопировать имя.

Если расчёт был остановлен досрочно, то может возникнуть следующая ошибка: несмотря на остановку, в главном меню DEFORM расчёт будет отображаться как все ещё работающий. Это препятствует нормальной работе как Препроцессора, так и Постпроцессора. Для решения нужно зайти в директорию расчёта и вручную удалить файл «DEFORM\_RUNNING\_JOB\_STATUS.TXT».

## 6.3 Работа с Постпроцессором DEFORM

После окончания расчёта для просмотра полученных результатов необходимо запустить Постпроцессор. Внешний вид основного окна представлен на рис.78, а более подробное описание доступных инструментов – в таблице 39.

Окно разделено на несколько областей: область отображения, где в графическом виде показываются все исследуемые параметры; дерево объектов, с помощью которого осуществляется управление отображением объектов (настройка прозрачности, скрытие и т.д.) и область настройки экрана, где производится настройка графического отображения (здание цветов шкалы отображения, названий и т.д.).



Рис. 78 – Рабочее окно Постпроцессора

Таблица 39 – Панели инструментов Постпроцессора

1		Меню работы с файлами и получения снимков
2	🛛 📚 Step -1 (Opr 1) 🛛 🔽 📢 ┥ 🔳 🕨 🕨 🐔	Меню выбора шага
3	1 🗂 🖼 🐕 🔏 🐼	Меню настройки области просмотра
4		Меню прорисовки объектов
5		Меню перемещения объектов
6	🛛 🗟 🖬 🛷 🍥 📐 🎞 🚳 🗊 🖻	Меню инструментов исследования процесса
7		Меню положения объектов
8	Иет 🔽	Меню выбора отображаемого параметра
9	🖳 🛃 🤜 🕵	Меню анимации и 2D/3D отображения
10	4000 200	Меню управления отображения объектами

Выбор нужного шага осуществляется либо в соответствующем выпадающем меню, либо при помощи навигационных клавиш (область 2 на рис.78). После выбора шага можно либо выбрать нужный параметр для отображения из выпадающего списка, либо вызвать окно с расширенным выбором (область 8 на рис.78).

Само запускаемое окно показано на рис. 79. Выбираемые параметры представлены в виде каталога, расположенного в области 1 данного рисунка.

Пояснения по некоторым пунктам отображения параметров:

Опасность разрушения (DAMAGE) – показывает возможные разрушения по критерию Кокрафта-Лейтема, рассчитываемого по формуле:

$$D = \int_{0}^{\varepsilon} \frac{\sigma^{*}}{\sigma} d\varepsilon^{-1}$$

где: ε – накопленная пластическая деформация; *d*ε – приращение накопленной деформации;

σ \* – максимальное главное растягивающее напряжение;

σ-интенсивность напряжений.

При превышении критерием значения 0,6 для сталей, или для алюминия 0,4 возможно начало разрушения металла (данные значения сильно зависят от применяемого материала, напряжённого состояния и ряда других факторов, поэтому достижение этих значений далеко не всегда свидетельствует об полном исчерпании ресурса пластичности и начале разрушения, поэтому лучше применять данный параметр для качественного сравнения состояния металла).

Интенсивность деформаций (Strain – Effective) – накопленная степень деформации, рассчитывается по формуле:

 $\overline{\varepsilon} = \frac{2}{3} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} + \left(\frac{\varepsilon_{12} - \varepsilon^2}{2}\varepsilon_{23} - \varepsilon^2\right)\varepsilon_{31} - \frac{1}{2},$ ethomyalium + ( + ( \varepsilon \vert)) где: є – главные деформации

Накопленные деформации характеризуют прочность заготовки после обработки. При больших накопленных деформациях на поверхности заготовки могут возникать дефекты.

Деформации Мизеса (Von Mises) – деформации по Мизесу (накопленная степень деформации сдвига).

Интенсивность напряжений (Stress – Effective) – напряжения текучести.

Макс.главные напряжения – главные напряжения

Средние напряжения (Stress – Mean) – Средние напряжения в заготовке показывают, насколько израсходован ресурс пластичности заготовки в процессе деформирования. Чем меньше значение среднего напряжения, тем меньше расходование ресурса пластичности, следовательно, более высокая пластичность готовой детали и меньше вероятность возникновения внутренних и наружных дефектов.

Abs Max Shear – максимальные касательные напряжения

Постпроцессор позволяет выбрать режимы отображения (область 2): «Линиями» – при этом распределение значений отображается в виде ограниченных областей, помеченных различными буквами; «Затемнено» - области показываются в виде областей разного цвета с размытыми границами; «Трёхмерно» – тоже разноцветные области, но с резко очерченными границами; «По-элементно» – значения выдаются в графическом виде для каждого элемента сетки; «Векторно» – используется только при отображении скоростей перемещения и величины смещения элементов, показывает не только величину параметра в графическом виде, но и вектор смещения. Для удобства восприятия результатов можно выбрать несколько типов отображаемых шкал параметров, расположенных в области 3: Local – максимальные и
минимальные значения шкалы выбираются исходя из значений текущего шага; Global – ограничивающие значения берутся из всего расчёта; Пользователем – возможность самостоятельно установить граничные значения шкалы. Для отображения нужного параметра на модели необходимо выбрать его, задать вид отображения, шкалу и нажать на кнопку «Apply» (Применить).

<b>6</b> р Параметры		×
<ul> <li>Параметры</li> <li>1</li> <li>☐ Clear state variables</li> <li>☐ HeT</li> <li>☐ Aнализ</li> <li>☐ Mинимальное расстояние</li> <li>☐ Координата</li> <li>☐ Опасность разрушения</li> <li>☐ Смещение</li> <li>☐ Плотность</li> <li>☐ Деформации</li> <li>☐ Напряжение</li> <li>☐ Скорость деформации</li> <li>☐ Напряжение</li> <li>☐ Скорость деформации</li> <li>☐ Аниз. напряжение</li> <li>☐ Сила</li> <li>☐ Температурные</li> <li>☐ Місто structure</li> <li>☐ Місто structure</li> <li>☐ Пистьриков</li> </ul>	Отображать С Линиями С Затененно С Трехомерно С По-элементно Установить отображением по Установить отображением по С По-элементно Отклонение Scaling Отклонение Зсаling С Локальный С Пользов С Побально С Пометка Затене Название Пометка Затене Тип шкалы Кол-во величин 4	С Векторно о умолчанию <u>Н</u> астроить Показать настройки Мin 0.000 Мах 6.281 енно Линия Отобразить Ми ( ) С
<ul> <li> <sup>1</sup> ■ Місто structure         <sup>1</sup> ■ Твердость         <sup>1</sup> ■ Диффузия         <sup>1</sup> ■ О Доминирующий атом         <sup>1</sup> ■ О Доминирующий атом         <sup>1</sup> ■ О Доминирующий атом         <sup>1</sup> ■ О Вольтаж         <sup>1</sup> ■ О Вольтах         <sup>1</sup> ■ О Вольтах</li></ul>	Кол-во величин 4	4.
Allowable value ratio     Задать	Применить	Закрыть

Рис. 79 – Панель выбора отображаемого параметра

При просмотре различных параметров, например напряжений и температуры, не всегда бывает удобно пользоваться одинаковыми цветовыми шкалами. Для их изменения необходимо перейти в соответствующий пункт меню, «Цветовая шкала», расположенный в области настройки экрана (рис.78) и выбрать нужную. По-умолчанию представлено две различные шкалы, с различными цветовыми гаммами. Любой из цветов может быть перенастроен в соответствии с необходимостью корректно отображать нужный процесс. При необходимости, количество используемых цветов также можно изменять, используя соответствующие клавиши «+» и «-».

Графические результаты из Постпроцессора можно экспортировать в виде отдельных. Для этого нужно зайти в пункт меню «Файл» и выбрать «Сохранить изображение», или «Копировать изображение в буфер обмена» (область 1 на рис. 78), изображения сохраняются в формате PNG. Для настройки сохраняемого изображения нужно выбрать соответствующий пункт меню «Настройка изображения...». В качестве примера рассмотрим изменение температуры в заготовке за время процесса, показанное на рис.80. Каждый отдельный рисунок отображает состояние заготовки после каждой операции: а) – после транспортировки; б) – после охлаждения перед осадкой; в) – после осадки; г) – перед штамповкой; д) – в финале процесса, после штамповки.



Рис. 80 – Температурное поле заготовки

Как показано на рис.80а после транспортировки происходит охлаждение внешних слоёв металла до температуры порядка 900 – 1000°С, а центральная область остывает до 1130°С. За время последующего остывания на осадочной плите (которое значительно короче времени транспортировки) вследствие более интенсивного теплообмена между инструментом и заготовкой её нижняя часть охлаждается гораздо больше остальной поверхности (рис.80б). При осадке начинается интенсивное охлаждение не только нижней, но и верхней стороны заготовки, также вызванное контактом с осадочной плитой. Однако в центральной зоне заготовки наблюдается деформационный разогрев, порядка 20 – 30°С, рис.80в. При дальнейшем остывании заготовки в штампе, показанном на рис.80г, продолжается интенсивное охлаждение

нижней поверхности. Дальнейшая штамповка приводит к интенсивному деформационному разогреву, вплоть до температур, превышающих 1250°С. Разогреваются вследствие сильного формоизменения даже ранее охлаждённые области в нижней и верхней частях.

Распределение интенсивности деформаций после осадки показано на рис.81а, после штамповки – на рис.81б. Как видно, при осаде под плитами образуются обширные зоны затруднённой деформации, вызванные сопротивлением радиальному перемещению металла вследствие влияния сил контактного трения. Максимального значения деформации достигают в центральной области заготовки. После штамповки картина распределения изменяется: максимум смещается в боковую область (которая теперь является центром кольцевой области будущей обоймы). Исходя из полученных данных можно сделать вывод о возникающей неравномерности механических свойств будущего изделия: в центре сечения они будут выше (готовая обойма в данной области имеет наименьшую толщину, поэтому повышенные механические характеристики должны хорошо сказаться на эксплуатационных свойствах).



Рис. 81 – Распределение интенсивности деформаций

Распределение интенсивности напряжений при осадке представлено на рис.82а: максимальные значения возникают в граничных с инструментом боковых областях, что вызвано силами контактного трения и пониженной пластичностью металла вследствие его охлаждения, в то время как в осевой зоне под плитами (в зонах затруднённой деформации) напряжения достигают значительно меньших величин. В финале процесса штамповки, показанного на рис.82, максимальные значения возникают в центре поковки, что связано с малой толщиной и сравнительно низкой пластичностью вследствие охлаждения. Ещё один максимум образуется в боковой области и связан с заполнением заполнении штампа: через данную область происходит интенсивное течение металла в нижнюю часть штампа. Повышенные значения около среза облойной канавки обусловлены истечением металла в неё: происходит процесс выдавливания большого объёма металла через узкое пространства зазора штампа.



Рис. 82 – Распределение интенсивности напряжений

Распределение скорости деформации, изображённое на рис.83, отображает форму очага деформации при осадке. Здесь наглядно видны занимающие большой объём зоны затруднённой деформации под плитами. Максимальных значений скорость достигает в центре заготовки и в граничных с плитами боковых областях, что соответствует распределению деформаций и напряжений.



Рис. 82 – Скорость деформации при осадке

Постпроцессор DEFORM позволяет задавать в конечно-элементной сетке отдельные точки и отслеживать их перемещение и изменение различных параметров. Количество точек может быть произвольным и по большей части ограничено производительностью компьютера. Для их задачи необходимо запустить инструментарий «Отслеживание точек» (расположенный в области 6 на рис.78) и с помощью курсора указать нужное местонахождение точек, либо задавать и править вручную, рис.83. При необходимости, координаты точек можно сохранить,

или открыть уже сохранённые (область 1 на рис.83). Для продолжения необходимо нажать «Next».

n	🛷 Отсле живание точкек 🛛 🛛 🔀							
D	Define points (1)							
	Number of sections 1 🛨 📄 📄							
		R	Z	Theta	Object# 🔺			
	1	12.9265	248.162	-15	1			
	2	53.4339	138.568	-15	1			
	3	7.57289	8.81629	-15	1			
	4							
	5							
	6							
	7				<b>_</b>			
_								
	< Back Next > Cancel							

Рис. 83 – Задание отслеживаемых точек

После задания необходимого количества точек необходимо указать, чтобы точки перемещались при формоизменении вместе с металлом, (пункт «Moving points», область 1 на рис.84). Для начала процесса расчёта траекторий перемещения необходимо нажать кнопку «Finish».

🛷 Отсле живание точкек 🛛 🛛 🛛				
Tracking option				
Points option Moving points Fixed points 1	Save result to file			
	Просмотреть 🗖 Excel friendly			
	Настройки			
< <u>B</u>	ack <u>F</u> inish <u>C</u> ancel			

Рис. 84 – Сохранение точек

Результат построений показан на рис.85. Также при выборе параметров их изменения в заданных точках будут отображаться в виде графиков. Для того чтобы убрать график или изменить настройки его отображения необходимо так же вызвать контекстное меню, кликнув правой клавишей мыши по значку в древовидном каталоге.



Рис. 85 – Отображение заданных точек

Для более наглядного течения металла DEFORM позволяет наносить на объекты различные координатные сетки. Для запуска соответствующего инструментария необходимо в каталоге выбрать заготовку и нажать клавишу «Сетка» (расположенную в области 6 на рис.78), при этом появится окно, представленное на рис.85. В нём нужно указать начальный («Starting step») и конечный («Ending step») шаги, в которых будет рассчитана сетка. Это не обязательно должны быть начальный и конечный шаги всего расчёта.

8	Flow M	Net						
Sta	Starting & ending step							
			-	-				
	Опера	Шаг	Время	Перем	Mesh 1	CK Dim	<u>v</u> -	
		873	127	254	23	2	10	
		874	127	204	24	2	10	
		875	127	254	25	2	10	
		875	127	255	26	2	10	
		877	127	255	27	2	10	
		878	127	255	28	2	10	Starting step
		879	127	255	29	2	10	
		880	127	255	30	2	10	
		881	127	255	31	2	10	$\bigcap$
		882	127	255	32	2	10	(1)
		883	127	255	33	2	10	
		884	127	255	34	2	10	Ending step
		885	127	255	35	2	10	■ 887
		886	127	255	36	2	10	
		887	127	255	37	2		
	•							
_								
				<	( <u>B</u> ack	Nex	:t >	<u>C</u> ancel

Рис. 85 – Окно задачи координатной сетки

Для продолжения настройки необходимо нажать клавишу «Next», после чего появится окно, изображённое на рис.86, где необходимо выбрать вид сетки («Grid pattern»), схематические изображения будут отображаться в соответствующем окне в нижней части. Для продолжения настройки необходимо нажать клавишу «Next».



Рис. 86 – Окно выбора вида координатной сетки

Теперь нужно настроить размер самой сетки, рис.87. Необходимо задать количество узлов («Number of grids»), либо расстояние между линиями («Расположение») и при необходимости настроить граничные линии. Для оценки получившейся сетки служит клавиша «Просмотр», после настройки следует нажать клавишу «Next».

🛎 Flow Net		X
Grid definition		
Grid data Number of grids X 8 • Y • Pасположение X 7.5 Y 7.42857 Number of sections 1 •	Rotation angle 0 Shift X 0 Y 0 Advanced options ✓ Граничные ✓ Parallel to X line ✓ Parallel to Y line Просмотр	
	< <u>B</u> ack <u>N</u> ext > <u>C</u> ancel	

Рис. 87 – Окно настройки сетки

Если данные из сетки необходимы и после построения, их можно сохранить, для этого предназначены пункты в последнем окне по созданию сетки, показанному на рис.88. «Save starting pattern» и «Save ending pattern» отвечают за сохранения соответственно начального и конечного видов сетки, а «Save results» – за формоизменение, поэтому рекомендуется сохранять их все.

S Flow Net				
Advanced option				
You can save the starting and ending patterns and the flow net result for later analysis.				
Save starting pattern				
FLOW_BEGIN.PAT	Обзор			
🦳 Save ending pattern				
FLOW_END.PAT	Обзор			
🔲 Save results				
USR_FLOW.DAT	Обзор			
< <u>B</u> ack <u>F</u> inish	Cancel			

Рис. 88 – Окно сохранения сетки

При этом при повторном запуске Постпроцессора с данной задачей сохраненная плоскость уже будет присутствовать в дереве моделей. Можно настроить директорию сохранения и имена файлов, для окончания настройки нужно нажать «Finish». Будет запущен расчёт формоизменения сетки, который может занять некоторое время.

После расчёта для просмотра сетки желательно переключить отображение объектов в контурный вид (область 4 на рис.78). Для управления настройками самой сетки в каталоге необходимо выбрать соответствующий пункт в дереве моделей и нажатием правой клавиши мыши вызвать меню.

Результаты формоизменения построенной сетки показаны на рис.89. Из них наглядно видна последовательность заполнения штампа и течение металла.







Рис. 89 – Искажение координатной сетки

Наибольшее искажение сетки совпадает с наибольшими значениями деформаций.

Использование для моделирования модуля DEFORM Integrated 2D/3D позволяет создать на основе полученного двухмерного результата трёхмерное отображение процесса. Для этого нужно нажать кнопку «3D View mode» в меню «Анимации и 2D/3D отображения» (область 9 на рис.78). При этом область отображения заменит свой вид на изображенный на рис.90. Как видно, произошёл поворот плоского течения вокруг центральной оси, причём для удобства отображения различные объекты разворачиваются на различный угол.



Рис. 90 – Трёхмерное отображение процесса

Для выбора угла развёртки нужно нажать кнопку «3D View setting», расположенную также в меню «Анимации и 2D/3D отображения», открываемое окно изображено на рис.91. В области «Object List» отображаются объекты и углы их развёртки. Для управления объектами их нужно выделить.

😫 Setup 3D parameters 🛛 🛛 🛛 🛛				
Object List	,	Geometry		
Object List	Ani	Sweep angle-	Start angle	
Workpiece	270	270 🖨 Deg	-45 🌲 Deg	
Top Die	210	Whole (360)	Auto	
Dollom Die	210		Besolution	
		60 90	C High	
		180 210	C Medium	
	·	240 270	C Low	
Apply All		Apply	<u>C</u> lose	

Рис. 91 – Настройка трёхмерного отображения объектов

Сам угол задаётся в области «Sweep angle», где можно либо выбрать из заданных значений, либо задать свой. Область «Start angle» отвечает за начальный угол развёртывания, а «Resolution» – за качество построения отображения. Тут также присутствуют предварительные установки, и имеется возможность выставить своё значение.

Сравнительные варианты отображения одного и того же процесса показаны на рис.92.



## Список использованных источников

1. Ковка и объемная штамповка: Справочник. Под ред. Е.И. Семенова: в 4-х томах, том 2. –М: Машиностроение, 1986г. Т2.-590с.

2. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные – М.: Издательство стандартов, 1990.– 41с