

Министерство образования и науки Российской Федерации
Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова

А.А. Кальченко, В.В. Рузанов, К.Г. Пащенко

ТЕХНОЛОГИЯ КОВКИ И ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

Часть 1

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

Магнитогорск
2015

УДК 621.73(075.8)

Рецензенты:

Заместитель директора по научной работе ОАО «Евростандарт»,
кандидат технических наук

Г.А. Щеголев

Директор ООО «Магнитогорсквнешэкономсервис»,
кандидат технических наук

Б.И. Губанов

Кальченко, А.А.

Технология ковки и объемной штамповки. Часть 1: учеб. пособие / А.А. Кальченко, В.В. Рузанов, К.Г. Пащенко. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015. 63 с.

Изложены основные принципы и методика разработки технологического процесса ковки поковки на ковочных молотах и гидравлических прессах, даны конкретные примеры расчетов отдельных этапов технологического процесса и энергосиловых параметров процесса, методика проектирования чертежа поковки, представлен необходимый для самостоятельных расчетов справочный материал.

Пособие может быть использовано при выполнении заданий по данному курсу, а также в курсовом и дипломном проектировании.

Предназначено для обучающихся по специальности 150201, специализирующихся в области кузнечно-штамповочного производства.

УДК 621.73(075.8)

© Магнитогорский государственный
технический университет
им. Г.И. Носова, 2015

© Кальченко А.А., Рузанов В.В.,
Пащенко К.Г., 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. Разработка технологического процесса ковки.....	5
1.1. Разработка чертежа кованой поковки.....	7
1.2. Расчет массы исходной заготовки.....	12
1.3. Исходные материалы для ковки	16
1.3.1. Исходные заготовки	20
1.3.2. Сортовой прокат.....	21
1.4. Рекомендации по выбору коэффициента укова.....	23
1.5. Разработка технологических переходов ковки.....	25
1.5.1. Биллетировка.....	25
1.5.2. Осадка.....	26
1.5.3. Протяжка.....	27
1.5.4. Протяжка на оправке.....	28
1.5.5. Раскатка на оправке.....	29
1.5.6. Прошивка.....	31
1.5.7. Вспомогательные и отделочные операции...	32
2. Термические режимы нагрева, ковки	
и охлаждения поковок.....	33
3. Термическая обработка стальных поковок.....	43
4. Выбор оборудования для ковки.....	44
5. Схемы технологических процессов ковки поковок.....	55
6. Компоновка производственных отделений	
ковки поковок.....	60
Библиографический список.....	63

ВВЕДЕНИЕ

Основными видами обработки металлов давлением являются прокатка, волочение, прессование, ковка, объемная и листовая штамповка и др. В настоящем пособии рассмотрены вопросы разработки технологического процесса получения заготовки ковкой и горячей объемной штамповкой.

В современной металлообрабатывающей промышленности кузнечно-штамповочное производство является одним из основных способов изготовления заготовок и деталей. Ковкой и горячей штамповкой изготавливают заготовки и детали массой от десяти граммов до сотен тонн с размерами от сантиметров до десятков метров.

Детали, полученные ковкой и горячей штамповкой, обладают высокой прочностью, ударной вязкостью и стабильностью свойств. Поэтому наиболее нагруженные детали машин делают кованными или штампованными.

При ковке формоизменение металла происходит за счет течения металла в стороны, перпендикулярно движению деформирующего инструмента – бойка. Благодаря инструменту при ковке не создается интенсивное сопротивление течению металла в стороны, что и отличает ковку от других видов обработки металлов давлением. При горячей штамповке формоизменение заготовки происходит в полости инструмента, называемого штампом. Течение металла встречает сопротивление стенок полости и металл заполняет всю полость.

Цели настоящего пособия следующие:

1. Закрепление и углубление знаний студентов в области процессов и операцийковки поковок на ковочных молотах и гидравлических прессах.

2. Формирование у студентов навыков проектирования и управления технологическими процессамиковки, качеством поковок на основе расчета и оптимизации деформационных режимов и энергосиловых параметров процесса с использованием соответствующих государственных стандартов, нормалей, а также практических рекомендаций, соответствующих последним достижениям в области теории и практики производства поковок.

3. Развитие навыков самостоятельной творческой деятельности, близкой к конкретной инженерной работе в кузнечно-прессовых цехах.

1. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА КОВКИ

Ковку проводят по детально разработанным технологическим процессам. *Основными этапами последовательности разработки технологического процесса ковки* являются следующие:

1. Составление чертежа поковки с назначением припусков, допусков и напусков и определение массы поковки.
2. Определение массы и размеров заготовки, установление необходимой уковки и выбор слитка или проката на заготовку.
3. Выбор основных, вспомогательных и отделочных кузнечных операций и их последовательности, а также выбор основного и вспомогательного инструмента и приспособлений.
4. Выбор кузнечного оборудования необходимой мощности и габаритов.
5. Установление режимов нагрева и охлаждения поковки, типов и размеров нагревательных устройств.
6. Определение состава рабочей силы и норм времени на ковку.
7. Мероприятия по организации рабочего места и технике безопасности.

Разработку технологического процесса выполняют в соответствии с Единой системой технологической документации – ЕСТД. В ЕСТД входит 12 ГОСТов (ГОСТ 3.1001-81*, 3.1102-81*, 3.1103-82*, 3.1104-81, 3.1107-81 и др.), представляющих собой комплекс нормативных документов, устанавливающих взаимосвязанные правила и положения о порядке разработки, комплектации, оформления и обращения технологической документации, применяемой при изготовлении и ремонте изделий (включая контроль, испытания и перемещения). ЕСТД состоит из ГОСТов и руководящих нормативных документов. ГОСТы ЕСТД распределены по 10 группам (от 0 до 9-й). ГОСТ 3.1001-81 регламентирует общие положения. В ГОСТ 3.1102-81 даны стадии разработки технологической документации и виды документов. В ГОСТ 3.1103-82 приведены основные надписи, предназначенные для указания назначения и области применения документа на технологический процесс или операцию и для соответствующего его оформления с указанием подписей участвующих лиц и дат исполнения. В последующих ГОСТах изложены общие требования к формам документов, правила оформления текстов и графических изображений, графические обозначения, термины и определения основных понятий (технологический процесс, операция, метод, база, документ и др.), правила учета, хранения и внесения изменений, правила оформ-

ления карты заказа на проектирование и изготовление технологической оснастки, нормоконтроль, формы маршрутных карт, отражение требований безопасности труда в документации и др.

Результаты разработки технологического процесса фиксируются в технологической карте. Пример технологической карты приведен ниже (табл. 1.1).

Технологическая карта

Цех кузнечный	Технологическая карта №		Инструкция №		
			Типовой процесс №		
Материал			Наименование		№
Марка	Профиль	Объем заготовки	Заказ	-	.....
.....	.....	..... см ³	Изделие		.....
ГОСТ	Длина	Масса	.....		
.....	.....	Заготовки			.....
		 кг	Чертеж	-	
Технические условия №	.....	Масса поковки	кг	Время на 1 поковку	мин
Разряд работы	.....	Обрубки	кг	Расценка	руб
Количество штук в партии	.....	Угар	кг	Цеховая стоимость	руб
Количество поковок в заготовке	.....	Чистая масса детали	кг	Обозначено по классификации	.....
Наименование операций и переходов		Оборудование	Инструмент	Норма времени	Расценка
1. Резка материала		Пила	-	.....	.....
2. Ковка заготовки			Плоские бойки	.....	.....
3. Прошивка отверстия		“	Кольцо и прошивень	.....	.....
4. Раскатка кольца		“	Люнет и оправка	.....	.....
5. Отделка кольца		“	Плоские бойки	.....	.....
Разработал:		Проверил:	Утвердил:	Тех.отд.:	Дата:

1.1. Разработка чертежа кованной поковки

Чертеж поковки составляют на основании чертежа детали или чертежа обработанной поковки, поставляемой заказчику. На размеры детали устанавливают припуски на обработку резанием, назначают допуски на ковку и, в случае надобности, напуски на поковку.

Припуски на обработку и допуски на ковку из углеродистой и легированной стали, а также условия образования уступов, выемок, фланцев, буртов регламентированы ГОСТ 7829-70 для поковок, изготавливаемых молотами.

Припуски и допуски на поковки массой до 100 т, изготавливаемые ковкой на прессах, определяют по ГОСТ 7062-90 [1].

Все термины определяются данными стандартами:

- **припуск** – предусмотренное превышение размеров поковки против номинальных размеров детали или предварительно обработанной заготовки, обеспечивающее после обработки резанием требуемые чертежом размеры детали и чистоту ее поверхности;

- **допуск** – разность между наименьшим и наибольшим предельными размерами поковки.

Величины припусков и допусков назначаются индивидуально для каждой конкретной детали в зависимости от ее конфигурации, габаритных размеров и их соотношения.

При разработке чертежа поковки необходимо стремиться получить поковку рациональной формы, при которой технология ковки существенно упрощается – это достигается назначением напусков.

Напуск – увеличение припуска, упрощающее конфигурацию заготовки ввиду невозможности или нерентабельности изготовления поковки по контуру детали.

При конструировании поковок типа валов с уступами, выступами, выемками, буртами, фланцами большое практическое значение имеет назначение следующих напусков:

- **уступ** – участок поковки с меньшим поперечным сечением, чем смежный с ним участок; для поковок типа вала величина уступа выражается полуразностью диаметров смежных участков;

- **выступ** – участок поковки с большим поперечным сечением, чем смежный с ним участок;

- **выемка** – участок поковки, диаметр или сторона которого меньше диаметра или сторон двух смежных с ним участков;

- **бурт** – неконцевой участок поковки увеличенного поперечного сечения, у которого длина равна или меньше $0,3D$ или $0,3B$ (D – диаметр бурта, B – большая сторона прямоугольника);

- **фланец** – концевой участок вала увеличенного диаметра или стороны прямоугольника, у которого $l \leq 0,3D$ или $l \leq 0,3H$ (D – диаметр фланца, H – наибольшая сторона прямоугольника).

Пример

Составить чертеж поковки вала (рис.1.1), изготавливаемой ковкой на прессах.

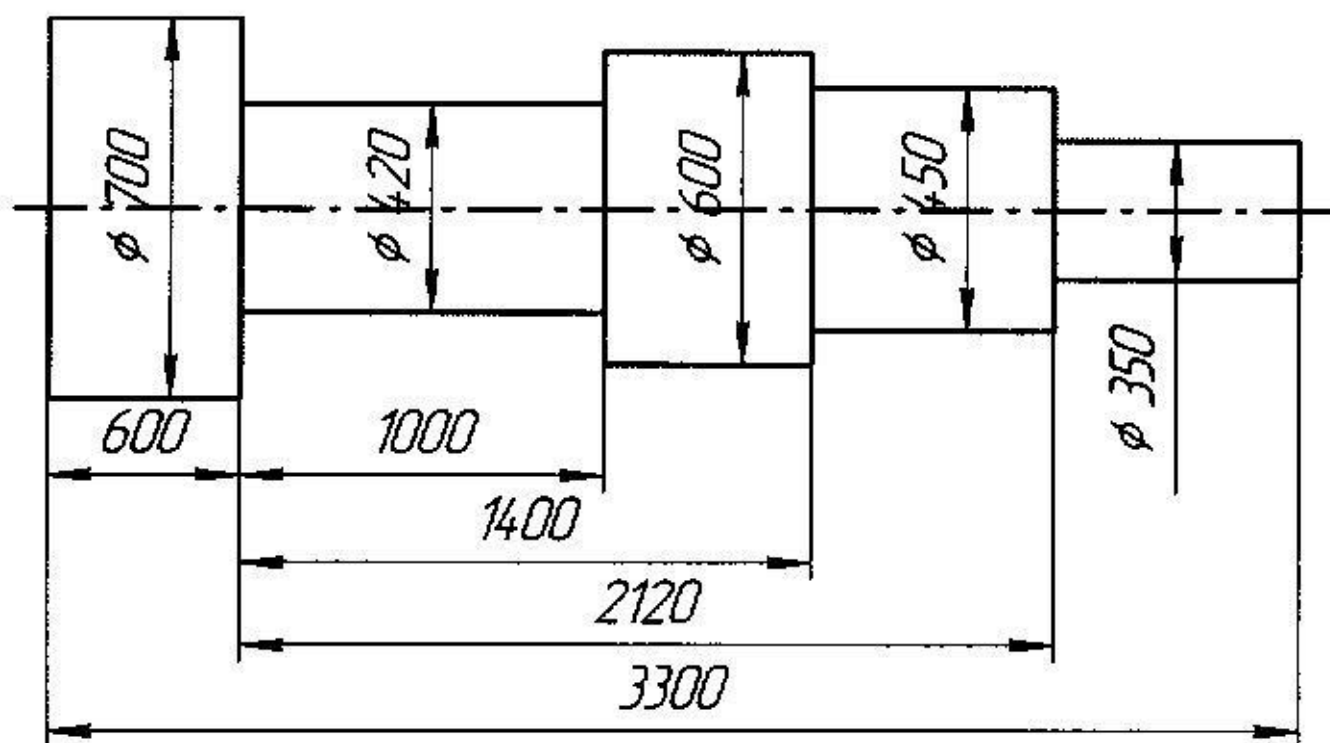


Рис. 1.1. Эскиз детали вала

Деталь вала имеет более двух уступов, поэтому согласно [1, п. 14.4] за основное сечение принимается сечение, имеющее наибольший диаметр: $D = 700 \text{ мм}$.

Основные припуски и допуски на диаметр определяются по [1, табл. 3], а дополнительный припуск – по [1, табл. 2], в зависимости от разности диаметров основного и рассматриваемого сечений детали.

На диаметр 700 мм , как на основное сечение, дополнительный припуск не устанавливается, основной припуск δ и допуск $\Delta/2$ равны соответственно $30 \pm 11 \text{ мм}$.

На диаметр 420 мм основной припуск и допуск устанавливаются равными соответственно $26 \pm 10 \text{ мм}$, дополнительный припуск – 10 мм [1, табл. 4].

На диаметр 600 мм основной припуск и допуск устанавливаются равными соответственно 29 ± 11 мм, дополнительный припуск – 4 мм.

На диаметр 450 мм основной припуск и допуск равны соответственно 26 ± 10 мм, дополнительный припуск – 9 мм.

На диаметр 350 мм основной припуск и допуск равны соответственно 24 ± 9 мм, дополнительный припуск – 13 мм.

Припуски и допуски «на длине» поковки определяются в соответствии с чертежом 6 из [1].

Например, длина левого уступа поковки равна 600 мм. Тогда длина уступа в поковке определяется выражением

$$l = 600 + 1,5\delta + 0,75\delta + 1,5\Delta/2,$$

где δ – основной припуск на диаметр 700 мм, равный 30 мм;

$\Delta/2$ – допуск на диаметр 700 мм, равный ± 11 .

В этом случае длина уступа

$$l = 600 + 1,5 \cdot 30 + 0,75 \cdot 30 + 1,5 (\pm 11) = 667,5 \pm 16,5 \text{ мм}.$$

Соответственно, на длину 1000 мм припуск равен 44,25; допуск не назначается.

На длину 1400 мм: припуск 0,75 мм; допуск $\pm 16,5$ мм.

На длину 2100 мм: припуск 3 мм; допуск $\pm 16,5$ мм.

На длину 3300 мм: припуск 81 мм; допуск ± 30 мм.

Расчетные номинальные размеры поковок допускается округлять до чисел, оканчивающихся на 5 или 0.

Минимальные размеры высоты или длины уступов и выемок данной поковки, выполняемые при ковке, проверяются соответственно по [1, табл. 5, 6]. Затем оформляется чертеж поковки (рис. 1.2).

ГОСТ 7829-90 [2], регламентирует структуру, классификацию типов поковок, принципы построения таблиц припусков и допусков. Аналогичен рассмотренному выше ГОСТу 7062-90, только поковки круглого сечения с конусом заменены в нем поковками типа втулок с уступами, изготавливаемыми в подкладном инструменте. Несколько иначе составлена также таблица для поковок с отверстиями и ряд вспомогательных таблиц; незначительно расширено

соотношение размеров для поковок типа валов, пластин, цилиндров ($l > 1,5D$ вместо $L \geq D$).

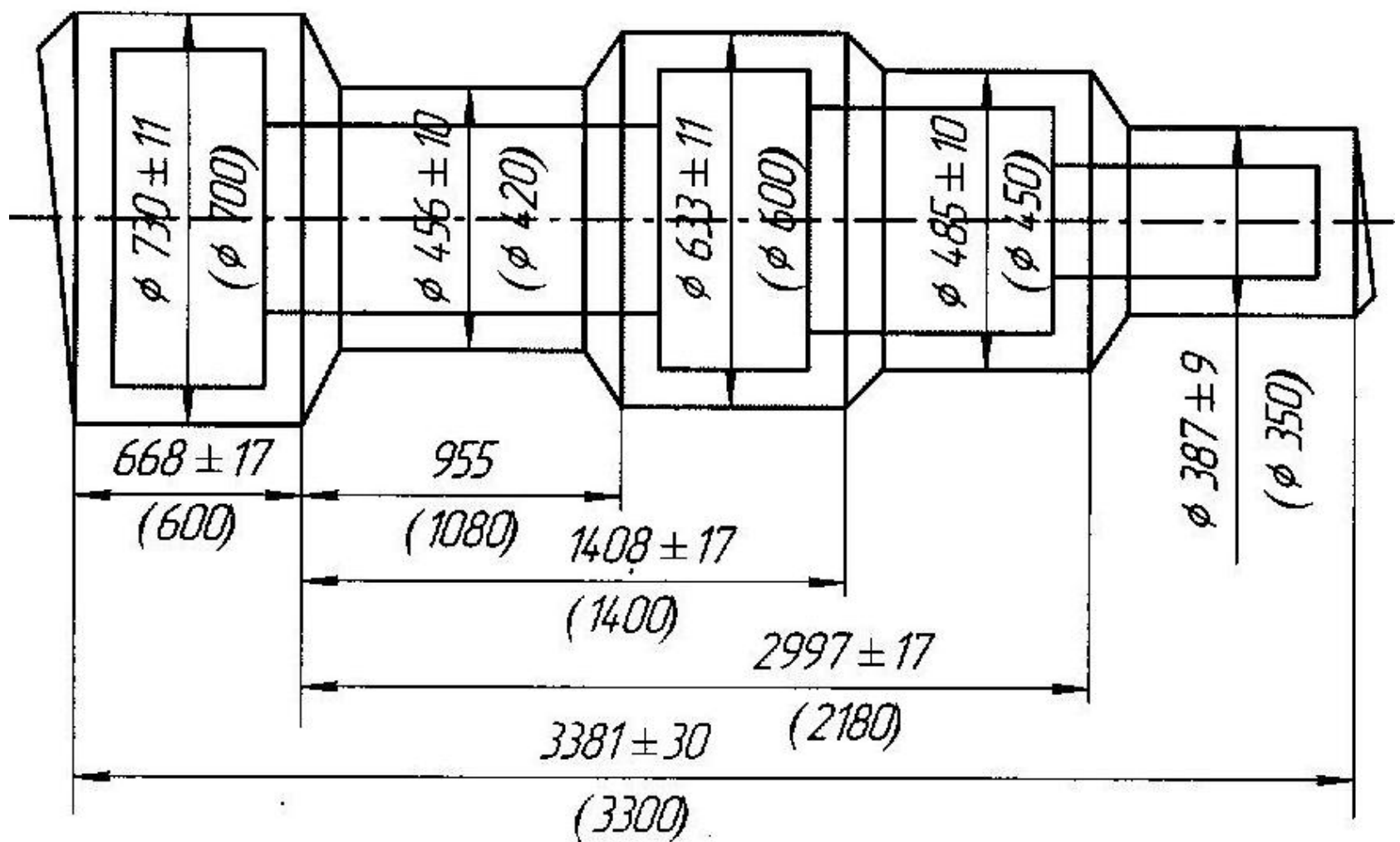


Рис. 1.2. Чертеж поковки вала

Правила оформления чертежа поковки определяются ГОСТом 31104-74, при этом контур поковки наносят жирной линией, а вписанный в него контур заготовки под термообработку – тонкой линией. В случае проведения термообработки без предварительной обдирки заготовки на чертеже поковки тонкой линией указывают контур окончательно обработанной детали.

При разработке чертежа очень крупной поковки (вал длиной свыше 5000 мм, кольцо диаметром 1600 – 5000 мм) на чертеже следует указывать «горячие» размеры поковки, т.е. размеры, увеличенные примерно на 1–1,5%.

Кроме того, на чертеже должна быть указана марка стали, из которой изготавливают данную поковку, номер ГОСТа, требованиям которого она соответствует, а в отдельных случаях – метод выплавки стали.

При разработке чертежа поковки также устанавливают величину проб для испытаний и место их расположения (если это необходимо), необходимость припуска на термообработку и его величину, размеры партии деталей.

При определении величины проб для испытаний и места их расположения используется стандарт [3], определяющий ответственность и категорию прочности поковок. В соответствии с этим стандартом назначается 5 групп испытаний поковок в зависимости от ответственности деталей:

1 – поковки требуемой марки стали, не подлежащие испытанию с целью определения механических свойств;

2 – поковки требуемой марки стали с обязательным определением твердости для партии поковок, прошедших современную термическую обработку;

3 – поковки гарантированной марки стали с определением твердости каждой поковки;

4 – поковки, для которых требуется проведение испытаний на растяжение, определение ударной вязкости и твердости для партии изделий, прошедших совместную термическую обработку. Основанием для сдачи поковки являются соответствия σ_B , $\sigma_{0,2}$, δ , ψ , KCU , HB заданным величинам;

5 – поковки, для каждой из которых определяют комплекс механических свойств: σ_B , $\sigma_{0,2}$, δ , ψ , KCU , HB .

При разработке технологического процесса необходимо в чертеже поковок групп 4 и 5 предусмотреть дополнительные объемы металла – пробы для механических испытаний.

На практике используются «продольные» и «поперечные» пробы для стандартных механических испытаний на растяжение и удар. Первые – длиной до 160 мм – для вырезки из них «продольных» образцов, вторые – длиной до 40 мм – для вырезки «поперечных» и «тангенциальных» образцов. Если длина поковки менее 2000 мм, то назначают одну пробу с любого конца поковки; если длина поковки равна или более 2000 мм – пробы назначают с двух сторон поковки.

Кроме механических испытаний, по требованиям ТУ или заказчика предусматривают дополнительные виды испытаний: проверка на флокены, серный отпечаток, УЗК и др.

Для поковок ответственного назначения обычно проводят предварительную механическую обработку – обдирку, выполняемую после полного охлаждения поковок для удаления дефектного поверхностного слоя металла и повышения прокаливаемости поковок при термообработке.

Величина припуска на термообработку назначается независимо от формы поперечного сечения поковки:

- для поковок, изготавливаемых ковкой на молотах, – до 5 мм (на обе стороны);

- для поковок, изготавливаемых на прессах, – до 15 мм.

Обычно припуск на термообработку наносят на контур исходной детали до назначения припусков и допусков на ее изготовление ковкой.

В случае, когда в одной поковке размещается несколько исходных деталей, необходимо предусматривать дополнительный припуск на разрезку поковки – 10 мм для каждого реза.

Технологические припуски для захвата предназначаются для крепления захватных приспособлений на поковках при последующей термической или механической обработке. Обычно их выполняют в виде бурта с фаской или в виде сквозного отверстия в технологическом припуске.

1.2. Расчет массы исходной заготовки

Для изготовления разработанной оптимальной поковки необходимо выбрать такую расчетную заготовку, использование которой обеспечивало бы необходимый уков по сечениям (особенно для наиболее ответственного при эксплуатации сечения) для достижения требуемых механических свойств металла, а также достаточный объем металла для изготовления поковки с учетом различных отходов [4].

Масса расчетной заготовки, предназначенной для изготовления требуемой поковки, зависит от вида исходной заготовки (слиток или прокат), состава кузнечного оборудования и технологической схемыковки.

При ковке поковок из слитков массу исходной заготовки определяют по формуле

$$G_{сл} = G_n + G_{уг} + G_{отх} + G_{дн} + G_{пр} ,$$

где G_n – масса поковки, определяемая ее объемом, рассчитанным по номинальным размерам, умноженным на плотность металла;

$G_{уг}$ – масса угара;

$G_{отх}$ – масса отходов;

$G_{дн}$ – масса донной части слитка;

$G_{пр}$ – масса прибыльной части слитка.

При ковке поковок из катаной или кованой заготовки отходы донной и прибыльной частей отсутствуют и масса исходной заготовки равна

$$G_з = G_n + G_{yz} + G_{отх}.$$

Рассмотрим виды отходов металла, образующихся при изготовлении поковок, величину отходов, способы их уменьшения и нормы расчета.

Масса отхода на угар G_{yz} при нагреве слитков и заготовок в печах, работающих на жидком и газообразном топливе, определяется по формуле

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

где m – общее число нагревов и подогревов заготовки в процессековки.

На практике при изготовлении прессовых поковок угар за первый нагрев принимается равным 2 %, а за каждый последующий нагрев – 1,0–1,25 % от массы слитка для поковок сплошного сечения; 1,25–1,5 % – для удлиненных поковок; 2,5–3,0 % – для прошитых или раскатанных поковок.

Технологические отходы $G_{отх}$ включают в себя концевые обрубки, выдры, обсечки, годные остатки, образующиеся при ковке поковок из большего, чем требуется по расчету, слитка или из не кратного проката.

Длина концевой обрубка круглых поковок, изготавливаемых протяжкой на прессах, должна составлять не менее 0,3 его диаметра; для прямоугольных или квадратных поковок – 0,3–0,4 размера большей стороны сечения.

Длину концевой обрубка для молотовых поковок с уступами можно рассчитать так:

$$l_{об} = (0,28 + 0,2K)D \text{ или } l_{об} = (0,28 + 0,2K)B,$$

где D – диаметр концевой ступени;

B – больший размер поперечного сечения концевой ступени;

K – величина укова.

Обсечка – отход металла при разрубке и зачистке торцов поковок.

Длина обсечки определяется по следующим выражениям:

$$l_0 = 0,04D \text{ или } l_0 = 0,04B.$$

Выдра – отход металла при прошивке отверстий в поковках.

Диаметр выдры принимают равным диаметру прошивня.

При односторонней прошивке сплошным прошивнем высота выдры составляет не более $0,9H_{np}$ (H_{np} – высота прошиваемой заготовки); пустотелым прошивнем – не более $1,1H_{np}$.

При двухсторонней прошивке сплошным прошивнем высота выдры составляет $(0,15 - 0,5)H_{np}$.

При закрытой прошивке отверстие получают сплошным прошивнем, при этом высота выдры составляет не более $0,9H_{np}$.

Некратные остатки считаются годными и подлежат отрубке от поковки, если длина остатка не менее 1,2 диаметра поковки, но не менее 0,3 ширины бойка применяемого молота или пресса.

Значительная часть обязательных отходов связана с обрубкой прибыльной G_{np} и донной $G_{дн}$ частей слитка и является, по сути, показателем несовершенства сталелитейного производства.

Величина этих отходов зависит от типа применяемого слитка и составляет для обычных кузнечных слитков $G_{дн} = 5 - 7\%$, $G_{np} = 20 - 25\%$ его массы; для удлиненных слитков – $3 - 5\%$ и $12 - 15\%$ соответственно.

Величина отходов донной и прибыльной частей других типов слитков – укороченных, малопробных, пустотелых и др. – составляет $10 - 15\%$ их массы.

Таким образом, определив все требуемые составляющие, рассчитывают массу заготовки (слитка), необходимой для получения данной поковки. При этом следует учитывать, что доля собственно поковки в рассматриваемом кузнечном слитке не должна превышать для нормального и укороченного слитков 65% , а для удлиненного – 75% его массы.

На основании величины массы поковки и отходов выбирают слиток или заготовку в соответствии с ГОСТом, нормами или таблицами (см. п. 1.3).

Затем подсчитывают коэффициент выхода годного:

$$K_{в.г.} = G_n / G_з ,$$

или расходный коэффициент

$$K_p = \frac{1}{K_{в.г.}} = \frac{G_з}{G_n} .$$

Наиболее прогрессивными показателями работы кузнечных цехов являются:

- коэффициент весовой точности поковок, характеризующий степень их приближения к форме и размерам готовых деталей,

$$K_{в.т.} = \frac{G_{\partial}}{G_n} ,$$

- коэффициент использования металла

$$K_{и.м.} = \frac{G_{\partial}}{G_з} ,$$

где $G_з$ – масса заготовки;

G_{∂} – масса детали.

Если учесть, что в общей стоимости детали примерно 80% составляет стоимость металла, то для современного кузнечного производства в качестве основного критерия эффективности производства следует принять минимальный расход металла.

В то же время повышение $K_{в.т.}$ часто приводит к увеличению трудоемкости изготовления поковок в кузнечных цехах, при этом значительно сокращается трудоемкость механической обработки поковок и существенно снижается общезаводская себестоимость деталей.

По найденной массе заготовки уточняются и проверяются ее исходные размеры с учетом необходимой величины укова, обеспечивающей получение требуемых механических свойств металла поковок. Рекомендации по выбору коэффициента укова при разных схемах технологического процессаковки приведены в п. 1.4.

Поскольку обеспечить одинаковую величину укова в различных сечениях поковки, особенно сложной формы, не удастся, рас-

чет этой величины обычно ведут по наиболее ответственному сечению поковки $F_{сеч}$, тогда $F_3 = KF_{сеч}$.

Если при этом сечение и объем выбранного слитка получаются чрезмерно большими, возможна компоновка двух или нескольких поковок в слитке либо введение операции промежуточной осадки заготовки и т.п.

1.3. Исходные материалы дляковки

В зависимости от назначения, ответственности, габаритных размеров и условий работы для поковок могут быть назначены следующие сплавы:

- сталь углеродистая обыкновенного качества (ГОСТ 380-71);
- сталь качественная конструкционная углеродистая (ГОСТ 1050-74);
- сталь легированная конструкционная (ГОСТ 4543-71);
- высоколегированные, коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы (ГОСТ 5632-72);
- цветные сплавы (алюминиевые, магниевые, титановые, медные и др.).

При выборе материала поковок, кроме общепринятых критериев и регламентируемых стандартами механических свойств сталей, следует учитывать и размеры сечения поковки, так как большинство поковок проходит упрочняющую термическую обработку. Здесь, кроме масштабного фактора, решающее влияние оказывает глубина прокаливаемости стали. Так, чем больше диаметр и толщина поковки, тем больше сталь должна иметь легирующих элементов, увеличивающих глубину прокаливаемости и повышающих механические свойства стали.

В соответствии с ГОСТ 8479-70 поковка может быть изготовлена одной из шестнадцати категорий прочности (табл.1.2).

Каждой категории прочности соответствуют минимальные нормы механических свойств, и в зависимости от размера поперечного сечения необходимо выбрать ту или иную марку стали. При этом следует учитывать и стоимость стали, т.е. выбирать сталь по возможности с меньшим содержанием углерода и легирующих элементов.

Таблица 1.2

Материалы и механические свойства поковок

Категория прочности	Механические свойства (не менее)					Рекомендуемые марки сталей			
	$\sigma_{0,2}$, <i>МПа</i>	σ_B , <i>МПа</i>	<i>HВ</i>	δ_5 , %	<i>KCU</i> , <i>кДж / м²</i>	Толщина поковки, мм			
						до 100	100-300	300-500	500-800
КП175	175	355	101-143	28	640	Ст3, 15, 20	Ст3, Ст5, 15, 20, 25	Ст5, 20, 25, 30	Ст5, 20, 25, 30, 35
КП195	195	390	111-156	26	590	Ст3, 15, 20, 25	Ст5, 20, 25, 30	Ст5, 25, 30, 35	30, 35
КП215	215	430	123-167	24	540	20, 25, 30	25, 30, 35, 20Х	30, 35, 40	35, 40, 45
КП245	245	470	143-179	22	490	25, 30, 35, 40, 20Х	30, 35, 40, 45	35, 40, 45	35, 40, 45
КП275	275	530	156-197	20	440	35, 45, 35Г2	40, 45, 35Г2	40, 45, 35ХМ	45, 35ХМ
КП315	315	570	167-207	17	390	40, 45	45, 35ХМ	35ХМ	35ХМ
КП345	345	590	174-217	18	590	30Х, 40Х	35Х, 40Х, 35ХМА	40Х, 35ХМА, 38ХГН	35ХМА, 40ХН
КП395	395	615	187-229	17	590	30Х, 40Х	40Х, 35ХМА, 30ХГСА	45Х, 40ХН, 38ХГН	35ХНМА, 40ХН
КП440	440	635	197-235	16	590	30Х, 40Х, 18ХГТ, 30ХГСА	40Х, 45Х, 40ХН, 35ХМА	45Х, 38ХГН, 34ХН1М	38ХН2МА, 34ХН1М
КП490	490	655	212-248	16	590	40Х, 30ХГСА, 40ХН	30ХГСА, 40ХН	40ХН, 34Х1М, 30ХН2МА	35ХН1М, 38ХН2МА, 38Х2Н2МА

Окончание табл. 1.2

Категория прочности	Механические свойства (не менее)					Рекомендуемые марки сталей			
	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	HB	δ_5 , %	KCU , кДж / м ²	Толщина поковки, мм			
						до 100	100-300	300-500	500-800
КП540	540	685	223-262	15	590	40X, 38XC, 40XГCА, 40XH	38XГH, 30X2H2MA, 35XHMA	34XH1M, 38X2MA, 40XH2MA	34XH3M, 38XH3MA, 38XH3MΦA
КП590	590	735	235-277	14	590	30XГCА, 38XГH, 40XH	34XH1M, 35XHMA, 38X2H2MA	34XH1M, 35XHMA, 38X2H2MA	34XH3M, 35XH1M2Φ, 38XH3MΦA
КП640	640	785	248-293	13	590	30XГT, 34XH1M, 38X2H2M	38X2H2MA, 34XH3M, 40XH2MA	34XH3M, 38X2H2MA, 40XH2MA	34XH3M, 35XH1M2Φ, 38XH3MA
КП675	675	835	262-311	13	590	30XГT, 34XH1M, 35XHMA, 45XHМΦA	35XHMA, 34XH3M, 38XH3M	34XH3M, 38X2H2MA, 40XH2MA	38XH3MA, 38XH3MΦA
КП735	735	880	277-321	13	590	34XH3M, 35XHMA, 38X2H2MA	34XH3M, 35XHMA, 38XH3MA	34XH3MA, 35XH1M2Φ, 38XH3MA	-
КП785	785	930	293-331	12	590	34XH3M, 38XH2H2MA, 38XH3MΦA	38XH3MA, 38XH3MΦA, 35XH1M2Φ	36X2H2MΦA, 38XH3MA, 38XH3MΦA	-

Примечания:

1. Марки стали и нормы механических свойств указаны при рекомендуемой термической обработке: для углеродистых сталей – нормализация, для легированных – закалка и высокий отпуск.

2. δ_5 – приведены нормы для поковок толщиной до 100 мм.

Согласно ГОСТ 8479-70 в зависимости от назначения деталей и видов испытания материала все поковки подразделяют на пять групп:

I – поковки требуемой марки стали, не подлежащие испытанию с целью определения механических свойств;

II – поковки требуемой марки стали с обязательным определением твердости для партии поковок, прошедших совместную термическую обработку;

III – поковки гарантированной марки стали с определением твердости каждойковки;

IV – поковки, для которых требуется проведение испытаний на растяжение, определение ударной вязкости и твердости для партий изделий, прошедших совместную термическую обработку. Основанием для сдачиковки являются соответствия σ_B , $\sigma_{0,2}$, δ , ψ , KCU, HB заданным величинам.

V – поковки, для каждой из которых определяют комплекс механических свойств: σ_B , $\sigma_{0,2}$, δ , ψ , KCU, HB.

При разработке технологического процесса необходимо в чертеже поковок групп IV и V предусмотреть дополнительные объемы металла – пробы для механических испытаний.

На чертеже детали, получаемой ковкой или штамповкой, записывают не только марку стали, но и категорию прочности сплава и группу поковок. Пример обозначения марки материала дляковки группы IV из стали 34ХН1М, имеющей механические свойства в соответствии с категорией прочности КП640: $\sigma_B = 785 \text{ МПа}$, $\sigma_{0,2} = 640 \text{ МПа}$, $\delta_5 = 13 \%$, $KCU = 590 \text{ кДж / м}^2$, $HB = 248 - 297$:

$$\frac{34\text{ХН1М} \quad \text{ГОСТ 4543-71}}{\text{Гр. 4 - КП 640 ГОСТ 8479-70}} .$$

То же для групп I и II:

$$\frac{34\text{ХН1М} \quad \text{ГОСТ 4543-71}}{\text{Гр.1 ГОСТ 8479-70}} ,$$

$$\frac{34\text{ХН1М} \quad \text{ГОСТ 4543-71}}{\text{Гр. 2 - HB 248...293 ГОСТ 8479-70}} .$$

1.3.1. Исходные заготовки

Исходными стальными заготовками дляковки и объемной штамповки могут быть слитки и сортовой прокат.

Слиток является заготовкой для крупных поковок, может использоваться для одной или для нескольких поковок. Слитки получают разливкой стали из конвертеров или мартеновских и электрических печей в изложницы. Форма слитка представляет усеченную пирамиду. Поперечное сечение слитков может быть 4-, 6-, 8- и 12-угольным. Основные размеры и масса стальных слитков приведены на рис. 1.3 и в табл. 1.3 [4].

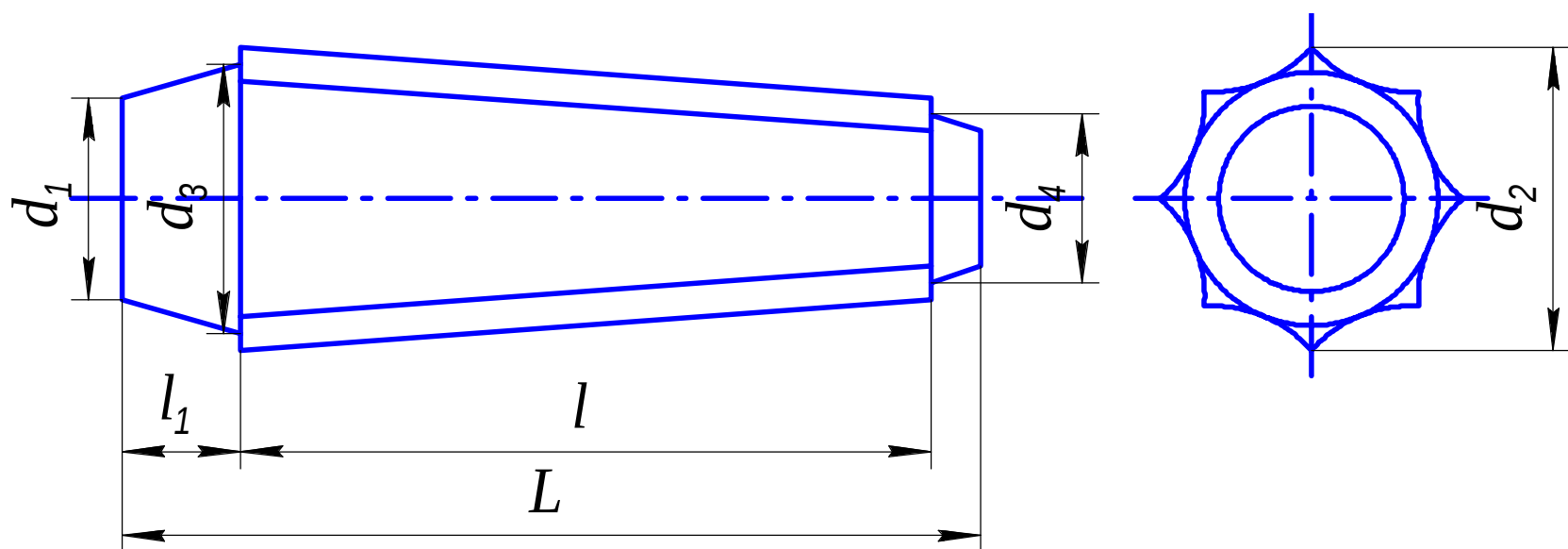


Рис. 1.3. Стальной слиток

Таблица 1.3

Сортамент стальных слитков

Масса, т	Основные размеры, мм						
	d_1	d_2	d_3	d_4	L	l_1	l
1,2	325	455	409	385	1410	370	1000
2	430	550	500	475	1610	400	1160
3	500	630	580	550	1860	450	1350
4	535	670	610	585	1926	410	1400
5	593	730	670	635	2096	455	1525
6	630	795	723	695	2268	500	1650
9	720	895	825	785	2527	560	1825
12	815	1000	930	915	2682	600	1940
15	875	1070	1000	980	2832	640	2050
18	981	1135	1065	1040	3027	690	2195
26	1040	1265	1185	1155	3574	770	2420
32	1220	1365	1275	1250	3644	840	2620

Окончание табл. 1.3

Масса, т	Основные размеры, мм						
	d_1	d_2	d_3	d_4	L	l_1	l
46	1274	1520	1440	1395	4044	940	2920
60	1420	1630	1560	1515	4480	1025	3190
97	1666	1970	1860	1800	5221	1230	3770
130	1800	2165	2045	1980	5753	1360	4150
170	1975	2360	2200	2150	6460	1490	4525
250	2280	2700	2530	2450	7744	2020	5100
350	2350	3254	2994	2950	8190	1700	6000

Верхняя (прибыльная) часть слитка содержит усадочную раковину и не может быть использована в поковке, нижняя (донная) часть является отходом слитка. Отход слитка составляет по прибыльной части 18–30 % и по донной 3–8 % от общей массы слитка. Меньшие значения соответствуют углеродистой стали, а большие – легированной. Отходы отрубают от слитка в началековки или от концов поковки на заключительной стадии.

1.3.2. Сортовой прокат

Сортовой прокат используют для большинства штампованных и мелких кованных поволоков. Длина прутков 2–6 м. Поперечное сечение проката – квадратное (ГОСТ 2591-71) или круглое (ГОСТ 2590-71). Размеры поперечного сечения (диаметр, сторона квадрата) по сортаменту составляют: 5, 6, 8, 10, 12, 15, 18, 20, 22, 24, 25, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 45, 48, 50, 56, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 105, 110, 120, 125, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 210, 220, 240, 250 мм.

Пример обозначения проката квадратного сечения из стали 45 при стороне квадрата 60 мм :

$$\text{квадрат } \frac{60 \text{ ГОСТ } 2591 - 71}{45 \text{ ГОСТ } 1050 - 74},$$

то же для круглого проката из стали Ст3:

$$\text{круг } \frac{60 \text{ ГОСТ } 2590 - 71}{\text{Ст3 ГОСТ } 380 - 71}.$$

1.4. Рекомендации по выбору коэффициента укова

На практике для определения степени деформации поковки, обеспечивающей получение высоких механических свойств металла, в качестве основного критерия используется *коэффициент укова* K .

Так как ковка крупных поковок производится за несколько операций (выносов), то величина общего укова определяется как произведение величин укова за каждую операцию:

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \dots \cdot K_n,$$

где n – число операций (выносов).

Учитывая, что в процессековки поковок применяются различные операции (биллетировка, осадка, протяжка, раскатка и др.), отдельно рассчитывается величина укова за эти операции. Уков определяют:

- при осадке $K = \frac{H_0}{H_K};$

- при протяжке $K = \frac{F_0}{F} = \frac{L_K}{L_0};$

- при раскатке на оправке $K = \frac{F_0^2}{F_K^2} = \frac{\delta_0}{\delta_K},$

где H_0 и H_K – исходная и конечная высота заготовки соответственно;

F_0 и F_K – исходная и конечная площадь поперечного сечения заготовки, соответственно;

δ_0 и δ_K – исходная и конечная толщина заготовки, соответственно;

L_0 и L_K – исходная и конечная длина заготовки, соответственно.

На практике установлено, что при ковке нормальных слитков из углеродистых сталей хорошее качество поковок обеспечивается при величине общего укова $K = 2,5 - 3,0$, при ковке поковок из

Таблица 1.4

**Величина общего укова при изготовлении
ответственных поковок**

Назначение поковки	Величина K	Примечания к определению коэффициента укова
Валы судовые гребные, промежуточные и упорные, баллеры рулей	3,0	По сечению основного тела поковки. При ковке из удлиненных слитков $K = 2,5$
	1,5	По сечению фланца и гребня
Валы ступенчатые паровых турбин	3,0	По максимальному сечению
Валы роторные паровых турбин и электрогенераторов	3,5	По бочке
Трубы, работающие под большим внутренним давлением	3,0-4,6	В каждом сечении
Призматические поковки, бабы к молотам	4,5-5,0	—
Диски турбинные	5,0-7,0	—
Бандажи, кольца	5,0	—
Блоки штамповые	3,0	Ковку необходимо производить с осадкой слитков или промежуточной заготовки массой 5 т и более, не менее, чем на 50 %. При применении обычных слитков массой до 5 т и удлиненных слитков массой до 13 т допускается ковка без осадки.

1.5. Разработка технологических переходовковки

1.5.1. Биллетировка

Биллетировка применяется для обработки слитков из высоколегированных сталей, а также слитков из всех марок сталей, имеющих плохое качество поверхности. На практике при ковке слитков из углеродистых и среднелегированных сталей биллетирование не производится.

Скругление слитка производится небольшими обжатиями с уковом $K = 1,1 - 1,2$, при этом за исходный размер слитка принимается расстояние между диаметрально противоположными впадинами на наружной поверхности его нижней части.

$$H_K \approx H_{пок},$$

где $H_{пок}$ – высота поковки;

- для раскатных колец, предварительно заготовленных на оправке,

$$H_K = (0,6 - 0,7) H_{пок};$$

- для пустотелых поковок, изготавливаемых протяжкой на оправке,

$$H_K = (0,8 + 1,2) D_K,$$

где D_K – диаметр осаженой заготовки.

1.5.3. Протяжка

Протяжка применяется как промежуточная и как окончательная операцияковки с целью увеличения длины заготовки за счет уменьшения площади ее поперечного сечения, а также повышения качества обрабатываемого металла.

Величина обжатия при протяжке на практике колеблется в диапазоне 30–150 мм за проход в зависимости от размеров поковки и марки материала, и составляет 8–20 % за один проход.

Величина относительной подачи принимается в следующих пределах:

$$l > \frac{\alpha}{D} > 0,5,$$

где α – величина подачи, мм;

D – диаметр обжимаемой части заготовки, мм.

Угол кантовки φ выбирается в зависимости от формы поперечного сечения заготовки и режима протяжки. При ковке поковок с круглым поперечным сечением угол φ задается в пределах 60–75° при протяжке и 5–23° - при отделочных операциях.

Величина укова при протяжке принимается равной

$$K = \frac{F_0}{F_K} = \frac{L_K}{L_0}.$$

1.5.5. Раскатка на оправке

Раскатка на оправке применяется:

- как окончательная операция при ковке раскатных колец незначительной высоты;
- как заготовительная и окончательная операции для раскатки колец, заготавливаемых на ковочной оправке;
- как заготовительная операция для всех пустотелых поковок (барабаны котлов, колонны и т.д.) для выравнивания толщины стенок.

Раскатка осуществляется на раскаточной оправке-дорне, опирающейся концевыми участками на две опоры, с узким удлиненным бойком, ориентированным вдоль оправки параллельно фронту прессы (молота). Зазор между опорами и поковкой не должен превышать 100–150 мм. Диаметр раскаточной оправки в зависимости от длины заготовки H можно выбирать по графику (рис. 1.5).

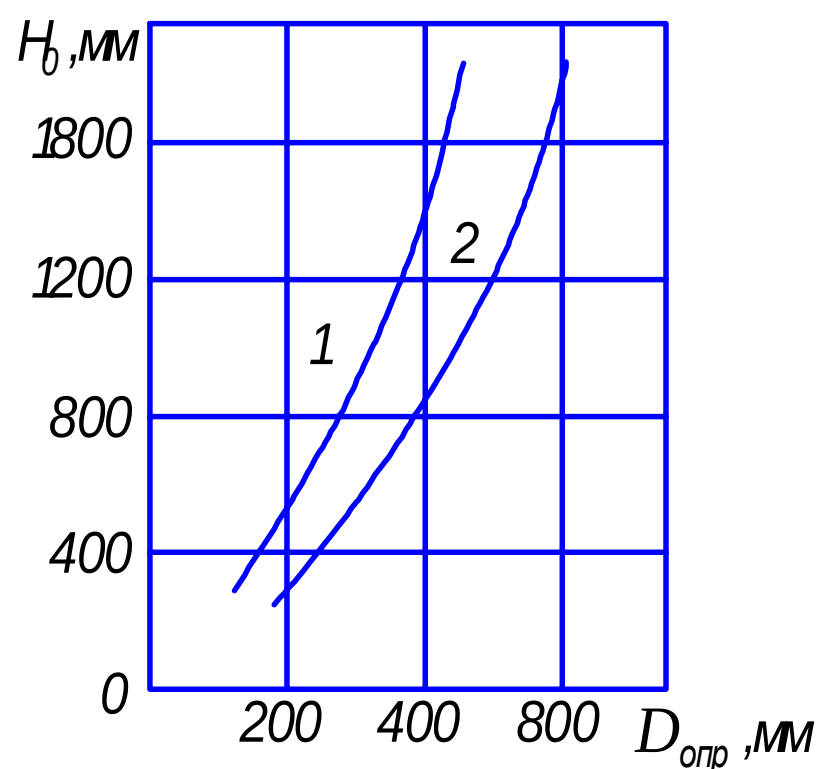


Рис. 1.5. Зависимость диаметра оправки от длины заготовки, толщины стенки: 1 – толстостенные поковки; 2 – тонкостенные поковки

Внутренний диаметр исходной заготовки d_0 при получении определенного укова на последней операции можно определить по формуле

$$d_0 = \frac{D_K (1 + K^2) + d_K (1 + K^2)}{2K},$$

где K – заданный коэффициент укова.

Расчет процесса раскатки на оправке производится аналитическим методом, а также с помощью таблиц и диаграмм, построенных на основании опытных данных.

Ориентировочно величину коэффициента уширения $K_H = H_0 / H_K$ при раскатке кольцевых поковок на гидравлических прессах можно определить по табл. 1.5.

Таблица 1.5

Коэффициент уширения

Наружный диаметр поковки D_K , мм	Значения K_H при высоте поковки H_K , мм										
	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
До 1500	0,7	0,82	0,9	0,93	0,95	0,95	0,95	—	—	—	—
1501-2000	0,6	0,7	0,8	0,85	0,88	0,9	0,92	0,93	0,94	—	—
2001-3000	—	—	—	0,7	0,8	0,85	0,9	0,92	0,93	0,93	0,95

Высоту заготовки H_0 перед раскаткой на молотах можно определить по графику, представленному на рис. 1.6.

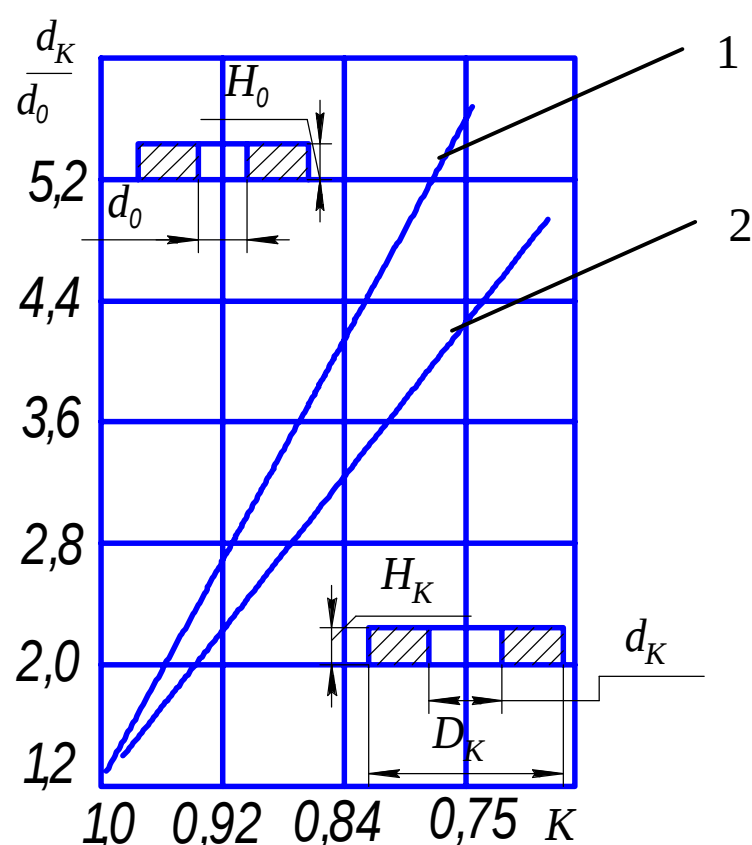


Рис. 1.6. Диаграмма для определения высоты заготовки перед раскаткой на молотах (по данным УЗТМ):

1 – отношение $\frac{H_K}{D_K} > 0,3$; 2 – отношение $\frac{H_K}{D_K} < 0,3$

Величина укова при раскатке на оправке определяется по формуле

$$K = \frac{F_0}{F_K} = \frac{D_0^2 - d_0^2}{D_K^2 - d_K^2},$$

где D_0 и d_0 – наружный и внутренний диаметры исходной заготовки соответственно;

D_K и d_K – наружный и внутренний диаметры поковки соответственно.

Обычно величина укова при раскатке составляет 1,4–1,8.

1.5.6. Прошивка

Прошивка – кузнечная операция, служащая для получения в поковках сквозных отверстий или глухих полостей (углублений). Используется в качестве основной, а также вспомогательной операции при ковке.

В качестве инструмента для прошивки используются прошивни двух видов – сплошные и пустотелые.

При ковке на молотах сплошные прошивни используются для получения отверстий диаметром до 230 мм; при ковке на прессах - диаметром 250–300 мм.

Для получения отверстий диаметром 400–500 мм и более, а также при изготовлении поковок из слитков массой 25 т и более используются полые прошивни.

При изготовлении особо ответственных поковок из легированной стали применение пустотелых прошивней может быть рекомендовано для слитков массой менее 25 т.

Диаметр сплошного прошивня во избежание непредусмотренной осадки заготовки в начале процесса не должен превышать 0,5–0,6 диаметра осаженой заготовки.

При прошивке полым прошивнем можно получить относительно больший размер отверстия без осадки заготовки, чем при прошивке сплошным прошивнем.

Заготовку в процессе прошивки устанавливают на стол прессы торцом со стороны прибыльной части с целью удаления в отход (выдру) наиболее некачественного металла.

4. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ КОВКИ

Усилие пресса или энергия удара молота при выполнении различных технологических операций при ковке рассчитывается по зависимостям, приведенным в табл. 4.1.

Значения предела текучести различных материалов в зависимости от температуры представлены в табл. 4.2.

Таблица 4.1

Аналитические зависимости для расчета ковочного оборудования

Технологическая операция	Аналитическая зависимость
1. Осадка	Усилие пресса, МН: $P = \sigma F \left(1 + 0,17 \frac{D}{H} \right),$ где σ – сопротивление деформированию при температурно-скоростных условиях монотонной или циклической осадки на прессе, МН; F – площадь поперечного сечения заготовки после осадки, м²; D, H – диаметр и высота слитка после осадки соответственно, м.
	Энергия удара молота, МДж: $A = \frac{A_{OC}}{\eta_{y\partial}} = \frac{\sigma V}{\eta_{y\partial}} \left[\ln \frac{H_0}{H} + \frac{1}{9} \left(\frac{D}{H} - \frac{D_0}{H_0} \right) \right],$ где A_{OC} – работа при осесимметричной осадке, МДж; $\eta_{y\partial}$ – КПД удара молота; V – объем заготовки, м³; σ – сопротивление деформированию при температурно-скоростных условиях циклической осадки на молоте, МПа; D_0, H_0, D, H – диаметр и высота заготовки до и после рассматриваемого обжатия соответственно, м.

Окончание табл. 4.1

Технологическая операция	Аналитическая зависимость
	$\varepsilon = 0,06 - 0,1$ – степень деформации за один удар; σ – сопротивление деформированию при температурно-скоростных условиях протяжки в вырезных бойках на молоте, МПа; $\eta_{y\partial} = 0,8$ – КПД удара молота; μ_s – фактор трения.
4. Протяжка на оправке	Усилие пресса, МН: $P = 1,05l\sigma D \left[1 + \mu_s \left(\frac{1}{S} + \frac{1}{D} \right) \frac{l}{3} \right],$ где D – наружный диаметр заготовки, м; l – подача, м; S – толщина стенки, м; μ_s – фактор трения.
5. Открытая прошивка сплошным прошивнем	Усилие пресса, МН: $P = \sigma \left(2 + 1,1 \ln \frac{D}{d} \right) \frac{\pi \cdot d^2}{4},$ где D - диаметр заготовки, м; d - диаметр прошивня, м; σ - сопротивление деформированию при температурно-скоростных условиях прошивки, МПа.
6. Закрытая прошивка сплошным прошивнем	Усилие пресса, МН: $P = 1,1\sigma \left[1,5 + \frac{1}{1 - \frac{d^2}{D^2}} \ln \frac{D}{d} + \frac{2}{\sqrt{3 \frac{d}{D} \left(1 - \frac{d^2}{D^2} \right)}} \right] \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4},$ где D, d – наружный и внутренний диаметры прошиваемой заготовки соответственно, м; σ – сопротивление деформированию при температурно-скоростных условиях прошивки, МПа.

$$H_K = H_0(1 - \varepsilon_{OH}) = 2(1 - 0,5) = 1 \text{ м};$$

$$D = \sqrt{\frac{H_0}{H_K}} = \sqrt{\frac{2}{1}} = 1,414 \text{ м};$$

$$F = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,414^2}{4} = 1,57 \text{ м}^2.$$

Величину предела текучести при температуре процесса $\sigma_{T(t)}$ принимаем равной 7,6 МПа (см. табл. 4.2).

Тогда усилие осадки равно

$$\begin{aligned} \sigma_{T(t)} \cdot F \left(1 + 0,17 \frac{D}{H} \right) = \\ = P = 7,6 \cdot 1,57 \cdot \left(1 + 0,17 \frac{1,414}{1} \right) = 13,33, \text{ МН}. \end{aligned}$$

Выбираем пресс усилием 20 МН (см. табл. 4.3).

При осадке заготовок на молоте массу его падающих частей G , кг, можно определить по формуле

$$G = 1,25 \cdot 10^{-4} \sigma_{T(t)} \cdot \psi \cdot W \left(1 + \frac{\mu \cdot D_K}{3H_K} \right) \cdot \varepsilon \cdot V_0,$$

где ψ – масштабный коэффициент, равный отношению сопротивлений деформированию крупно- и малогабаритных образцов, в зависимости от их объема:

Объем поковки, дм ³	0–25	150–1000	8000–10000	15000–25000
Значение коэффициента ψ	1	0,9–0,8	0,7–0,6	0,5–0,4

W – скоростной коэффициент, при ковке на молотах $W = 2,5$;

μ – коэффициент трения;

ε_{II} – степень деформации при последнем ударе молота, обычно $\varepsilon_{II} = 0,05–0,1$;

V_0 – объем заготовки, мм³.

Работу деформирования для всего процесса деформации можно определить по выражению

$$A_{PD} = \psi \cdot W \cdot \sigma_{T(t)} \cdot V \left[\ln \frac{H_0}{H_K} + \frac{2\mu}{9} \left(\frac{D_K}{H_K} - \frac{D_0}{H_0} \right) \right].$$

Кинетическая энергия удара молота A_K , *кДж*, составляет

$$A_K = 2,5G \cdot 10^{-2}.$$

Число ударов молота

$$n = \frac{A_{PD}}{\eta_{y\partial} \cdot A_K},$$

где $\eta_{y\partial}$ – коэффициент полезного действия удара, обычно $\eta_{y\partial} = 0,8$.

Пример 2. Определить массу падающих частей молота и число ударов, необходимых для осадки заготовок из стали 40Х, размеры которых следующие: $D_0 = 100$ мм, $H_0 = 140$ мм до высоты $H_K = 70$ мм. Температурный интервалковки: $1200 - 900^0C$.

Диаметр заготовки после осадки

$$D_K = D_0 \sqrt{\frac{H_0}{H_K}} = 100 \sqrt{\frac{140}{70}} = 141,4 \text{ мм}.$$

Объем заготовки составляет

$$V = \frac{\pi D_0^2 \cdot H_0}{4} = \frac{3,14 \cdot 100^2 \cdot 140}{4} = 1100000 \text{ мм}^3.$$

При температуре концаковки, равной 900^0C , для стали марки 40Х предел текучести равен $\sigma_{T(t)} = 45$ МПа; при средней температурековки 1050^0C $\sigma_{T(t)} = 35$ МПа.

Степень деформации за последний удар (по диаграмме рекристаллизации) принимаем равной $\varepsilon_n = 0,05$; коэффициент трения $\mu = 0,3$.

Тогда масса падающих частей составит

$$G = 1,25 \cdot 10^{-4} \cdot \sigma_{T(t)} \cdot \psi \cdot W \left(1 + \frac{\mu \cdot D_K}{3H_K} \right) \cdot \varepsilon \cdot V_0 =$$

$$= 1,25 \cdot 10^{-4} \cdot 45 \cdot 1 \cdot 2,5 \left(1 + \frac{0,3 \cdot 141,4}{3 \cdot 70} \right) \cdot 0,05 \cdot 1100000 = 929,6 \text{ кг}.$$

Выбираем молот с массой падающих частей $G = 1 \text{ т}$ и энергией удара, равной

$$A_K = 2,5 \cdot G \cdot 10^{-2} = 2,5 \cdot 1000 \cdot 10^{-2} = 25 \text{ кДж}.$$

Полная работа деформирования определяется следующим образом:

$$A_{PD} = \psi \cdot W \cdot \sigma_{T(t)} \cdot V \left[\ln \frac{H_0}{H_K} + \frac{2\mu}{9} \left(\frac{D_K}{H_K} - \frac{D_0}{H_0} \right) \right] =$$

$$= 1 \cdot 2,5 \cdot 35 \cdot 1100000 \left[\ln \frac{140}{70} + \frac{2 \cdot 0,3}{9} \left(\frac{141,4}{70} - \frac{100}{140} \right) \right] \cdot 10^{-6} = 75 \text{ кДж}.$$

Определяем число ударов:

$$n = \frac{A_{PD}}{\eta_{y\partial} \cdot A_K} = \frac{75}{0,8 \cdot 25} = 3,75 \approx 4.$$

Для выбора оборудования также можно воспользоваться данными, представленными в табл. 4.5.

Таблица 4.5

**Характеристика ковочных паровоздушных
двухстоечных молотов арочного типа**

Модель	Масса падающих частей, т	Энергия удара, кДж	Число ударов в минуту при наибольшем ходе	Расстояние между стойками в свету, мм	Высота рабочей зоны в свету, мм	Размеры зеркала бойка, мм	Габаритные размеры (длина, ширина, высота над уровнем пола), мм	Масса, т		Завод-изготовитель
								шабота	молота	
М 1340	1	25	63	1800	450	410×230	3900×1400×5145	15	27,9	Завод КПО, Воронеж
М 1343	2	50	50	2300	530	530×290	4900×1930×5350	30	50,1	Тоже
М 1345	3,15	80	50	2700	630	600×330	5100×2490×5895	47.2	74.6	-»-
М 136	5,0	125	40	3200	710	710×400	5900×2600×7230	75	172	-»-
М 1545	3,15	80	50	4000	630	600×330	6850×2750×5900	47	83	-»-
М 1547	5,0	125	40	4000	710	710×400	6850×2750×6390	75	122	-»-
М 1549	8	200	31	4600	800	825×4600	2800×7200×8595	120	202	СКМЗ, г. Краматорск

Примечание. Расстояние от зеркала нижнего бойка до уровня пола для всех моделей молотов составляет 750 мм .

Окончание табл. 5.2

Номер выноса	Наименование операций	Эскизы перехода
	Осадить до $\varnothing 975\text{ мм}$. Протянуть на квадрат 530x530 мм. Сбить углы	
2	Нагрев до ковочной температуры. Протянуть на $\varnothing 470\text{ мм}$. Разметить и засечь бочку. Обжать шейки до размеров. Править. Отрубить поковку	

Таблица 5.3

Схемаковки вала холодной прокатки
с осадкой удлиненного слитка

Номер выноса	Операции	Эскизы переходов	Инструмент	Примечание
	Нагрев слитка			$G_{сл} = 3050\text{ кг}$
1	Разметка слитка. Протяжка верхней и нижней части слитка. Заделка цапф. Отрубка прибыли и излишков металла		Пережимка. Комбинированные бойки. Топор	$\frac{L}{D_{cp}} \approx 2,8$

Окончание табл. 5.3

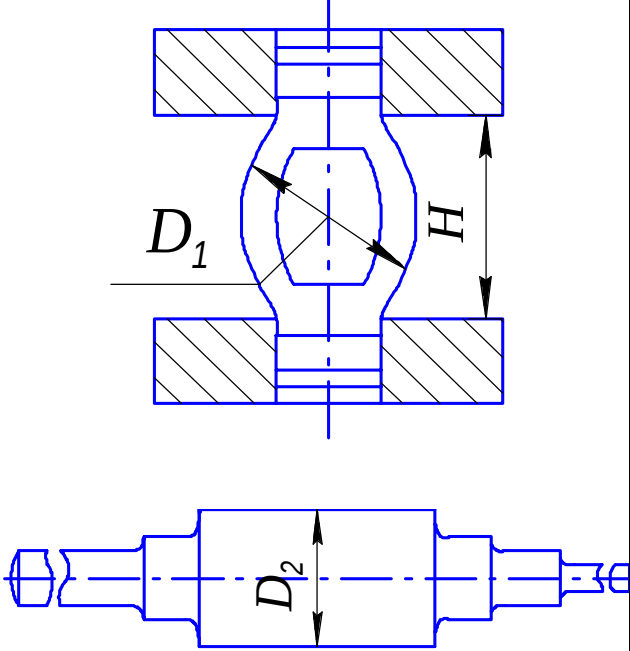
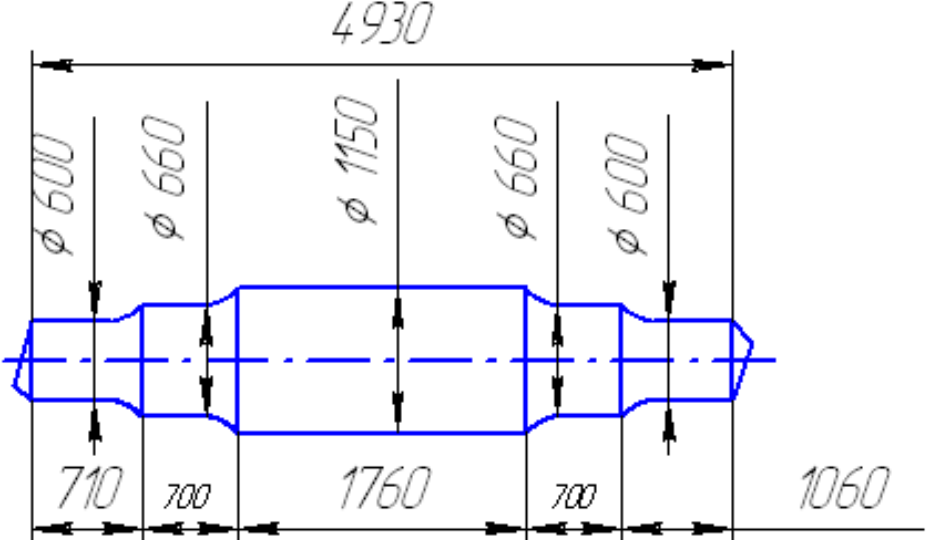
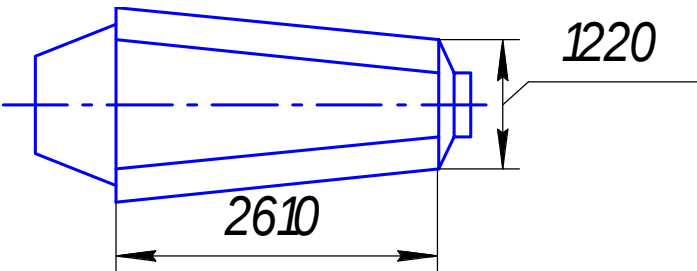
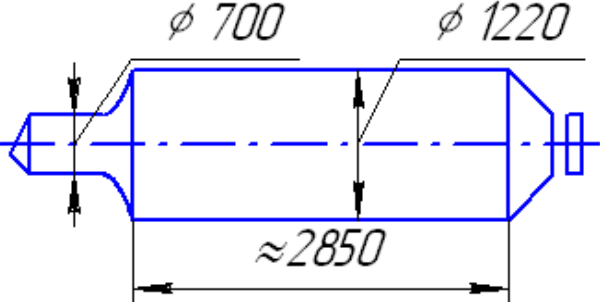
Номер выноса	Операции	Эскизы переходов	Инструмент	Примечание
2	Осадка слитка. Протяжка до ковочных размеров. Отделка и правка поковки		Осадочные кольца. Комбинированные бойки	$\frac{L}{H} \approx 2;$ $\frac{D_1^2}{D_2^2} \approx 2,7;$ $G_{сл} = 2400 \text{ кг}$

Таблица 5.4

Пример технологического процесса ковки валка горячей прокатки

Эскиз поковки		Масса слитка – 34000 кг
		Масса поковки – 22500 кг
		Марка стали – 60ХН
		Уков – 2,7
		Температурный интервал ковки - 1220 – 800°С
Вынос	Наименование операций	Эскизы переходов
1	Нагрев под ковку	
	Обжать прибыль. Обкатать на Ø 1220 мм. Сбить вкладыш	

Окончание табл. 5.4

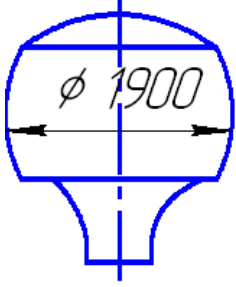
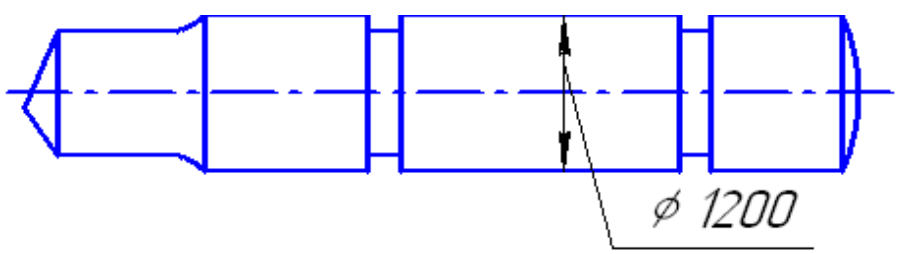
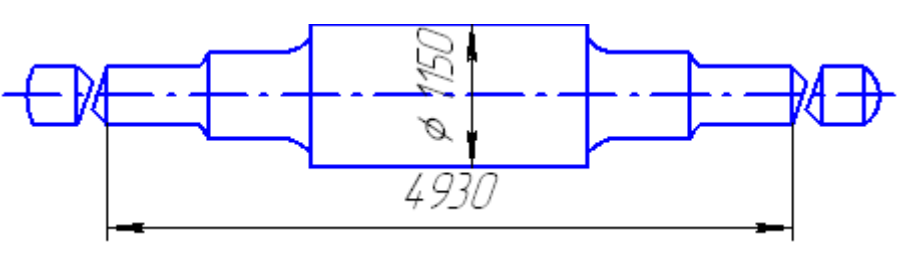
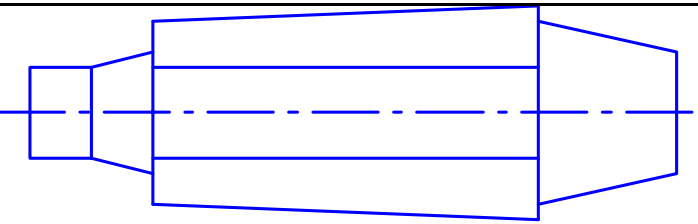
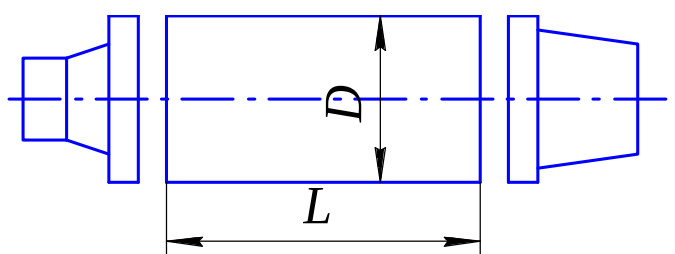
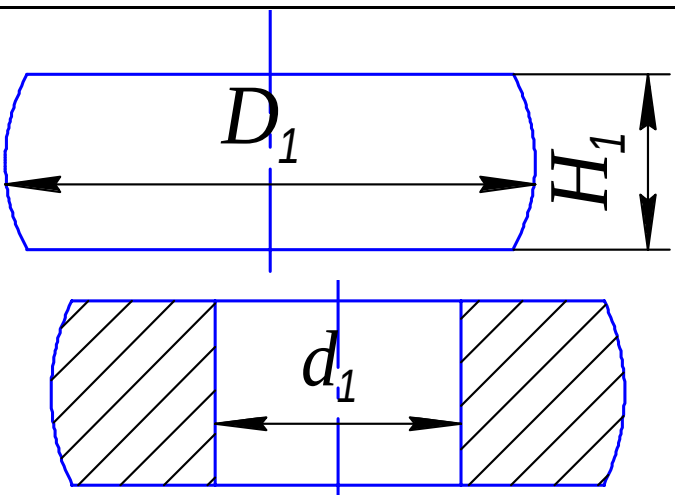
2	Нагрев до ковочной температуры. Осадить до получения Ø 1900 мм	
	Протянуть на Ø 1200 мм . Разметить и засечь бочку. Обжать шейки до поковочных размеров	
	Отрубить излишек с донной стороны. Прогладить бочку в меру. Отрубить прибыль. Править	

Таблица 5.5

Схема процессаковки методом раскатки
с последующей вытяжкой на оправке

Номер выноса	Операции	Эскизы переходов	Инструмент	Примечание
1	Нагрев слитка			
2	Биллетировка. Отрубка от-ходов		Плоские или комбинированные бойки. Топор	$\frac{L}{D} \leq 2,6$
3	Осадка. Прошивка от-верстия		Плоские плиты. Прошивень	$\frac{H_1}{D_1} \approx 1;$ $d_1 \leq \frac{D}{2,6}$

