

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 поковок на ковочных молотах и гидравлических прессах, даны конкретные примеры расчетов отдельных этапов технологического процесса и энергосиловых параметров процесса, методика проектирования чертежа ковки, 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 коваными 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 ГОСТ	Профиль Длина	Объем заготовки см ³ Масса Заготовки кг	Заказ Изделие Чертеж	- -
Технические условия №	Масса поковкикг	Время на 1 поковкумин		
Разряд работы	Обрубкикг	Расценкаруб		
Количество штук в партии	Угаркг	Цеховая стоимостьруб		
Количество поковок в заготовке	Чистая масса деталикг	Обозначено по классификации		
Наименование операций и переходов		Оборудование	Инструмент	Норма времени	Расценка
1. Резка материала		Пила Молот, т	-
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 кованой 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 поволоков 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 поволоков 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.

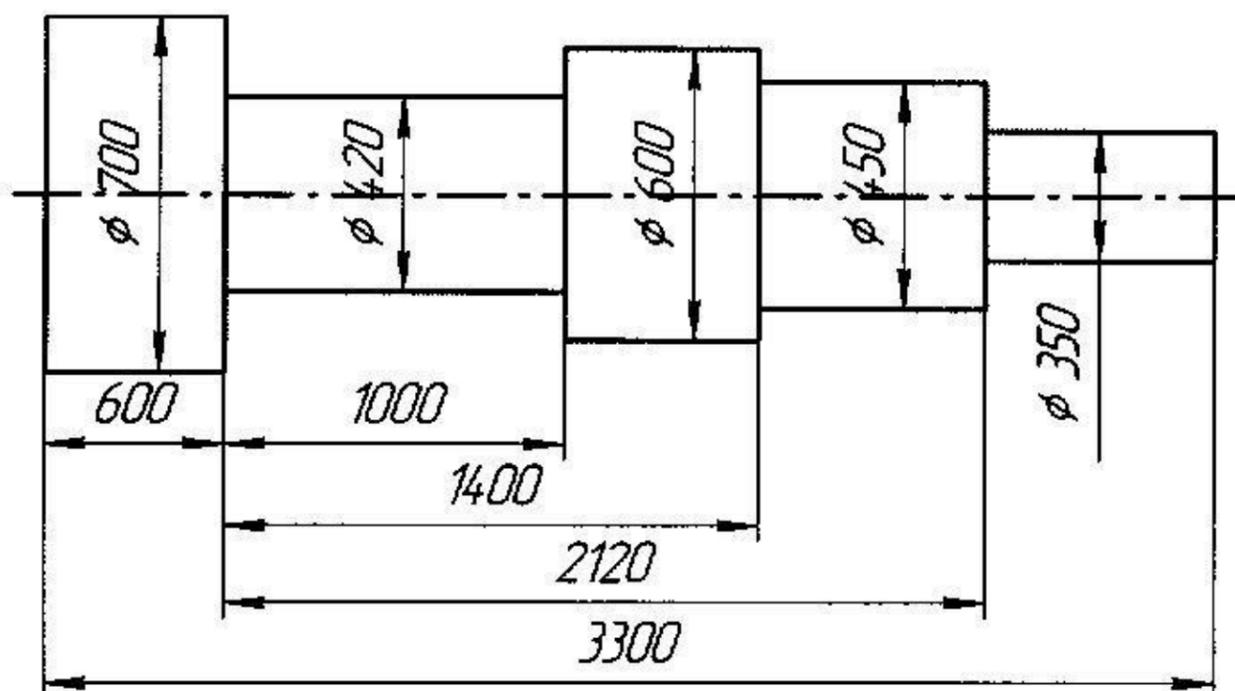


Рис. 1.1. Эскиз детали вала

Деталь вала имеет более двух уступов, поэтому согласно [1, п. 14.4] за основное сечение принимается сечение, имеющее наибольший диаметр: $D = 700$ 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 ± 11 мм.

На диаметр 420 мм основной припуск и допуск устанавливаются равными соответственно 26 ± 10 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 $L \geq D$).

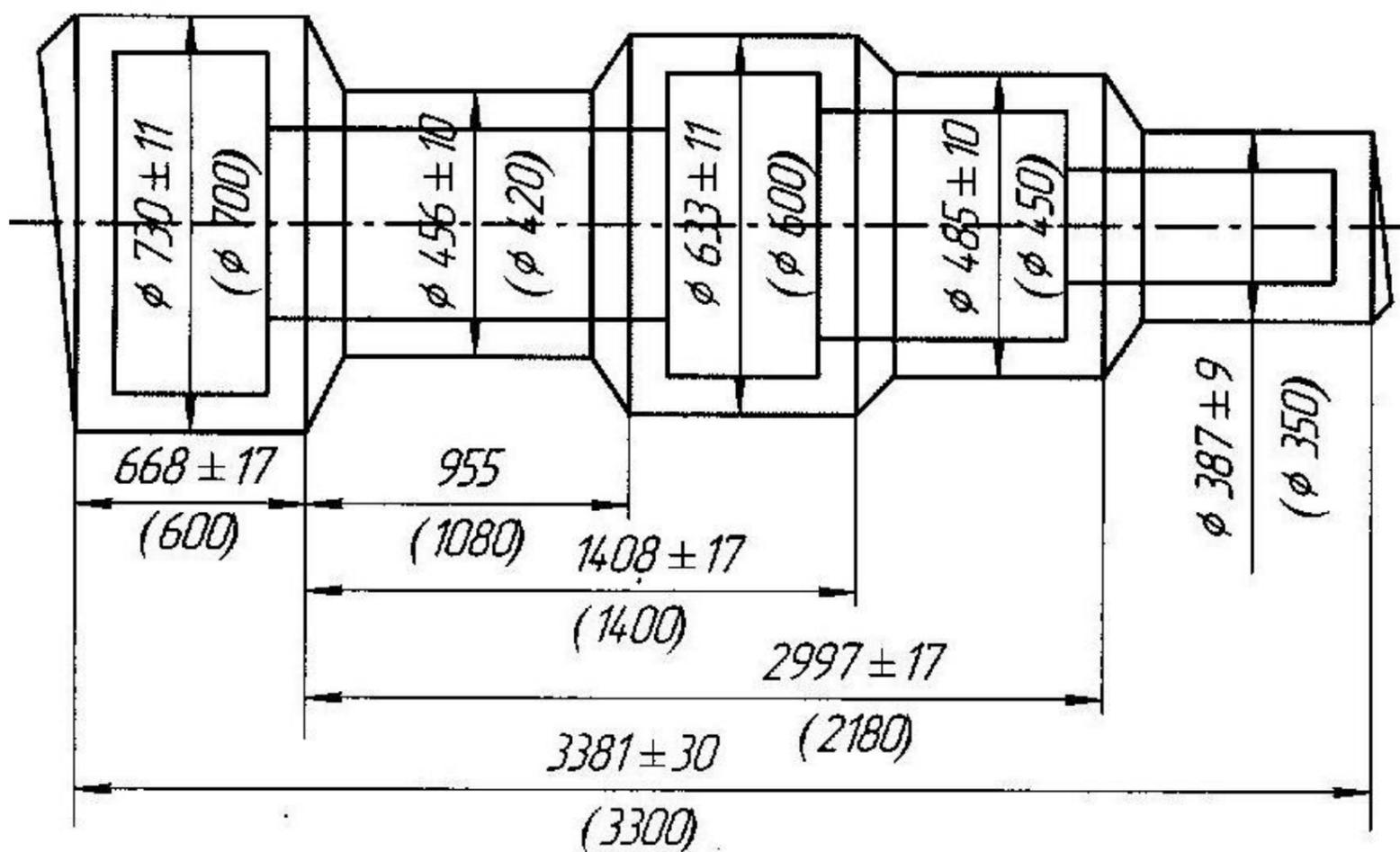


Рис. 1.2. Чертеж поковки вала

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 , HV заданным величинам;

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

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, малоприбыльных, 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,

$$K_{в.т.} = \frac{G_д}{G_n} ,$$

- коэффициент использования металла

$$K_{и.м.} = \frac{G_д}{G_з} ,$$

где $G_з$ – масса заготовки;

$G_д$ – 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			
	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	НВ	δ_5 , %	КСУ, кДж / м ²	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	НВ	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, 40XГСА, 40XH	38XГН, 30X2H2MA, 35XHMA	34XH1M, 38X2MA, 40XH2MA	34XH3M, 38XH3MA, 38XH3MΦA
КП590	590	735	235-277	14	590	30XГСА, 38XГН, 40XH	34XH1M, 35XHMA, 38X2H2MA	34XH1M, 35XHMA, 38X2H2MA	34XH3M, 35XH1M2Φ, 38XH3MΦA
КП640	640	785	248-293	13	590	30XГТ, 34XH1M, 38X2H2M	38X2H2MA, 34XH3M, 40XH2MA	34XH3M, 38X2H2MA, 40XH2MA	34XH3M, 35XH1M2Φ, 38XH3MA
КП675	675	835	262-311	13	590	30XГТ, 34XH1M, 35XHMA, 45XHMΦA	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 каждой поковки;

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

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

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 для поковки группы IV из стали 34ХН1М, имеющей механические свойства в соответствии с категорией прочности КП640: $\sigma_B = 785 \text{ МПа}$, $\sigma_{0,2} = 640 \text{ МПа}$, $\delta_5 = 13 \%$, $КСУ = 590 \text{ кДж / м}^2$, $НВ = 248 - 297$:

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

То же для групп I и II:

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

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

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].

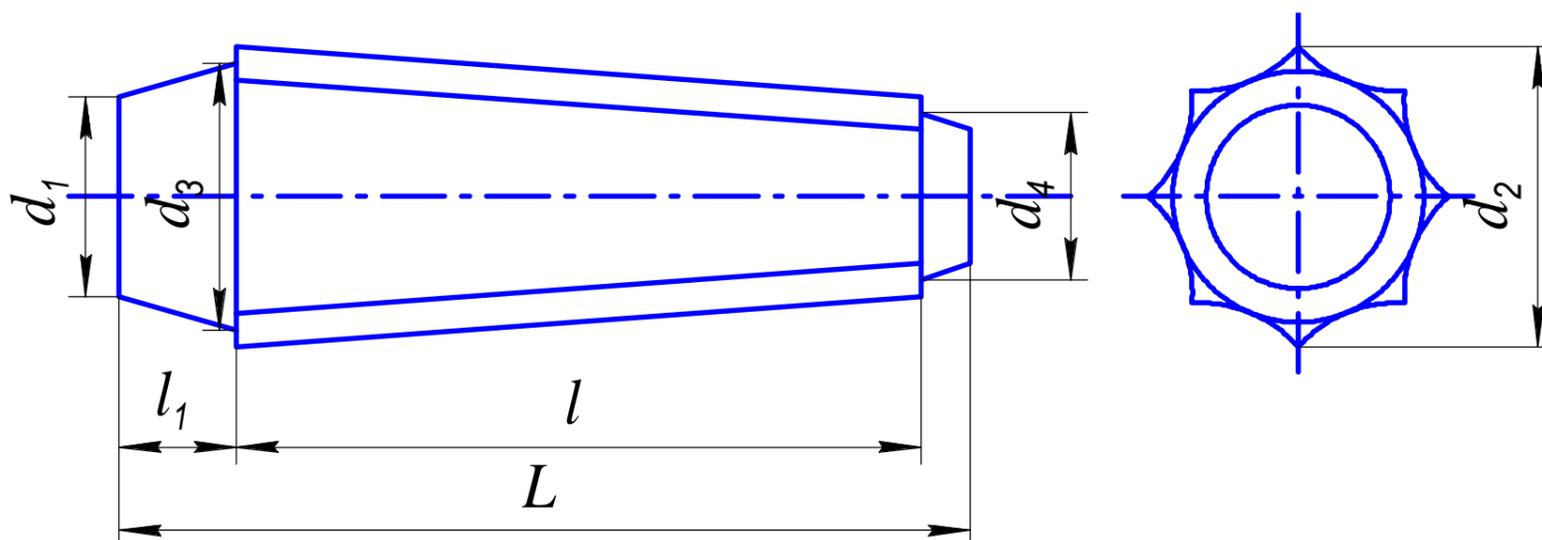


Рис. 1.3. Стальной слиток

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

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 начале ковки 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:

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

Исходные материалы подлежат разделке на штучные заготовки. Слитки разделяют непосредственно в процессековки, а сортовой прокат на заготовительных участках. Разрезку проката производят пилами, газовой резкой, но чаще всего на кривошипных пресс-ножницах. Рабочим инструментом ножниц (рис.1.4) являются нижний 1 и верхний 2 ножи. Рольганг 6 подает пруток 5 в окно между кромками ножей 1 и 2 до регулируемого упора 3. Прижим 4 предохраняет искривление прутка и улучшает качество среза. Отделение заготовки происходит при ходе верхнего подвижного ножа 2 вниз.

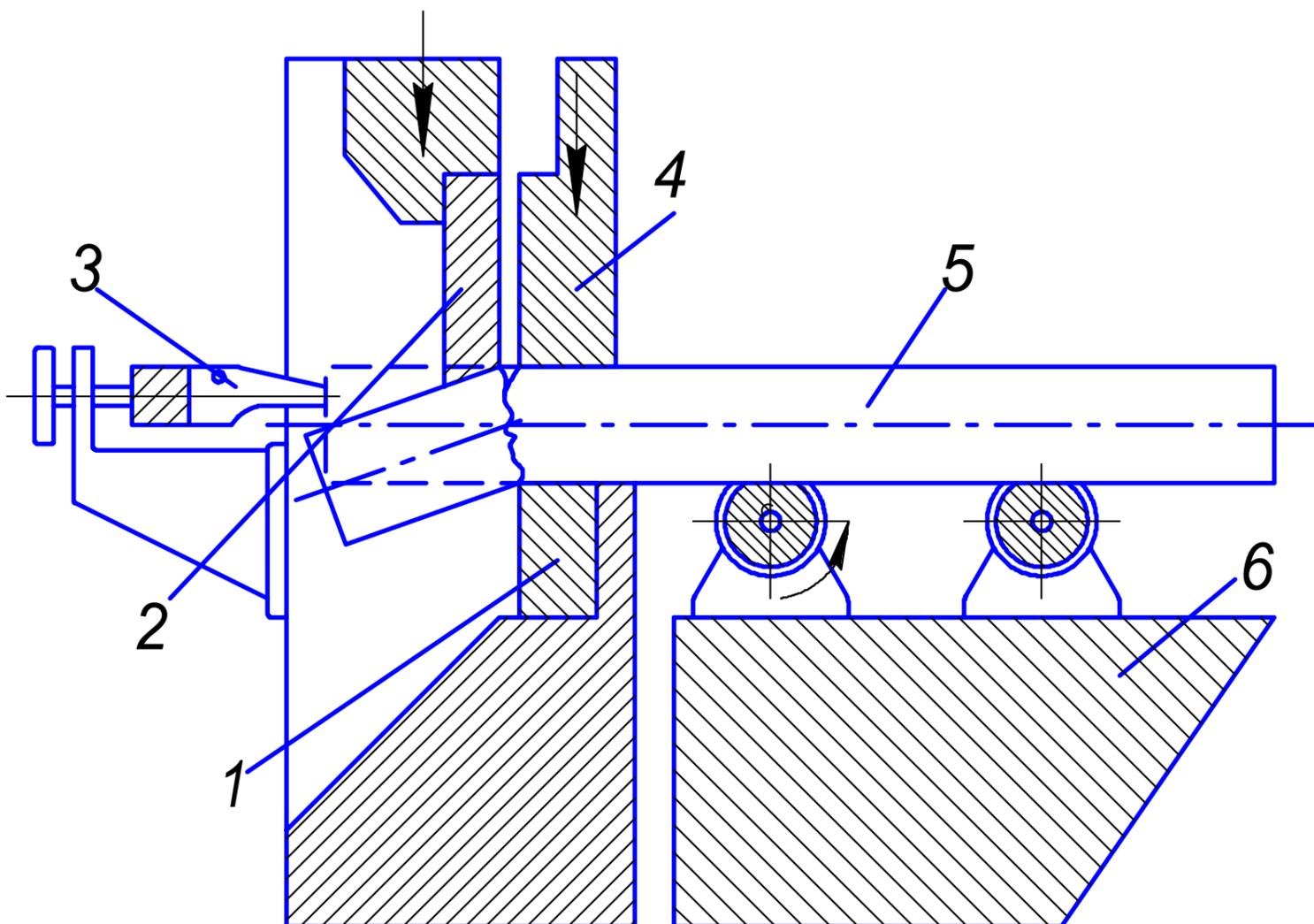


Рис. 1.4. Схема резки прутков на ножницах

Точность резки на пресс-ножницах удовлетворяет основным видам штамповки иковки. Существующие пресс-ножницы позволяют разделять прутки с поперечным сечением размером до 250 мм. Причем прутки крупных сечений (более 80 мм), а также из хрупких и легированных сталей разделяют после подогрева до 450 – 550°С.

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

удлиненных слитков – при $K = 2,0 - 2,5$; при ковке из сортового проката – при $K = 1,5 - 2,0$.

Следует отметить, что в технологической схеме изготовления различных по назначению поковок одни и те же основные операции ковки могут выполнять различные функции: получение заданной конфигурации и размеров поковок; достижение требуемой величины общего укова; перераспределение объема металла; получение заданного направления волокон и т.д. Так, если в технологической схеме ковки ступенчатых валов применяется осадка, то для получения высоких механических свойств металла поковок требуется протяжка с величиной укова $K = 3,0 - 4,0$. При протяжке слитка без осадки эти же качества можно получить при $K = 1,2 - 2,0$. Поэтому в тех случаях, когда обеспечивается уков $K = 2,5 - 3,0$, применение промежуточной осадки для улучшения механических свойств нецелесообразно, кроме случаев, оговоренных в ТУ на данный тип ковки, или по согласованию с заказчиком.

В общем случае величину укова за операцию задают в пределах $K \leq 2,0$.

При биллетировке величина K обычно не превышает $1,1 - 1,2$.

При ковке полых поковок раскаткой на оправке коэффициент укова за операцию составляет $K = 1,6 - 1,8$. Большая его величина задается при первой операции раскатки, а меньшая – при последующих операциях. Для тонкостенных колец значительной высоты $K = 1,4 - 1,6$. При протяжке на оправке коэффициент укова за вынос обычно задают в пределах $K = 1,6 - 2,0$. При этом, если поковку изготавливают за несколько протяжек, для первой протяжки величина укова составляет $K = 1,6 - 1,9$, а для последующих – несколько меньше – $K = 1,4 - 1,6$, в зависимости от толщины стенок ковки.

При проглаживании (отделке) поковок уков за проход составляет $K \leq 1,05$.

При изготовлении ответственных поковок выбор величины общего укова можно рекомендовать на основании данных, приведенных в табл. 1.4.

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.

Если длина получаемого биллета превышает нормальную, т.е. $H_B > 2,5D_B$ (где D_B – диаметр биллета), допускается производить скругление слитка при сохранении конусности.

При изготовлении из слитка сплошных поковок в процессе биллетировки не рекомендуется производить отделение концевых отходов с использованием их в качестве технологических державок-цапф, отрубаемых в дальнейшем на промежуточных операциях или при завершенииковки.

Образование цапфы производится, как правило, из прибыльной части слитка. При изготовлении предельно тяжелых и длинных поковок с использованием двух кранов и патронов или при изготовлении двух сплошных поковок из слитка отковывают две цапфы. Диаметр цапфы равен $d_{Ц} = (0,45 + 0,60)D_B$, длина цапфы $l_{Ц} \geq 1,5d_{Ц}$.

1.5.2. Осадка

Осадка применяется:

- для получения достаточной величины укова, необходимой для последующей протяжки;
- для получения необходимой конфигурации поковки (дисков, штамповых блоков и т.п.);
- для возможности последующей прошивки заготовок при изготовлении колец и пустотелых барабанов;
- как мера борьбы с флокенами при ковке поковок из высоколегированной флокеночувствительной стали (совместно с промежуточными отжигами).

Исходная высота биллета, во избежание его искривления при осадке, должна быть следующей:

$$H_B \leq 2,5D_B.$$

При ковке турбинных дисков и роторных валов, когда особенно недопустимо смещение осевой зоны слитка, исходная высота биллета должна удовлетворять условию

$$H_B \leq 2,2D_B.$$

Высота заготовки H_K после осадки выбирается следующим образом:

- для раскатных колец, не заготавливаемых на оправке,

$$H_K \approx H_{пок},$$

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

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

1.5.4. Протяжка на оправке

Протяжка на оправке – деформация между бойками на специальном стержне-оправке предварительно прошитой заготовки с целью ее удлинения при соответствующем утонении стенки.

Для облегчения удаления оправки из поковки, а также в целях улучшения условий течения металла оправке придается конусность, равная (1:100)–(1:150). Размеры оправок определяются по соответствующим нормам машиностроения.

Зазор между оправкой и заготовкой в начальный моментковки для ускорения надевания заготовки на оправку и с целью получения чистой от окалины внутренней поверхности принимается равным 30–100 мм на сторону; зазор тем больше, чем больше диаметр оправки и толщина стенки заготовки.

Длинные пустотелые поковки изготавливаются протяжкой с применением постепенно уменьшающихся по диаметру оправок.

Число оправок n ориентировочно определяется по формуле

$$n = \frac{D_0^2 - d_0^2}{K(D_K^2 - d_K^2)},$$

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

D_K и d_K – наружный и внутренний диаметры наименьшего сечения поковки соответственно;

K – средняя степень укова.

Число нагревов при протяжке на оправке обычно определяется опытным путем. На практике длина проковываемой на оправке части поковки при $K = 2$ составляет 4–6 мм за вынос.

Если протяжка выполняется за два выноса, ковку начинают с середины заготовки и ведут в следующем направлении:

- при первом выносе – в сторону донной части;
- при втором выносе – в сторону прибыльной части слитка.

Во всех случаях интенсивная ковка на оправке ведется по направлению к упорному бурту оправки, что сокращает конусность отверстия поковки и облегчает сход поковки с оправки.

Уков при протяжке с оправкой

$$K = \frac{F_0}{F_K} = \frac{D_0^2 - d_0^2}{D_K^2 - d_K^2} = \frac{L_K}{L_0}.$$

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 пресса (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).

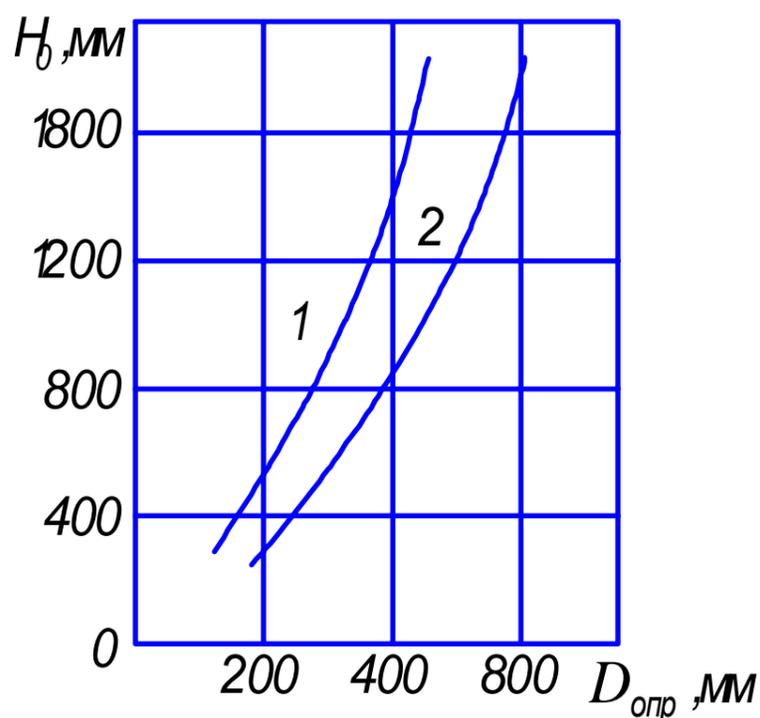


Рис. 1.5. Зависимость диаметра оправки от длины заготовки, толщины стенки: 1 – толстостенные поковки; 2 – тонкостенные поковки

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.

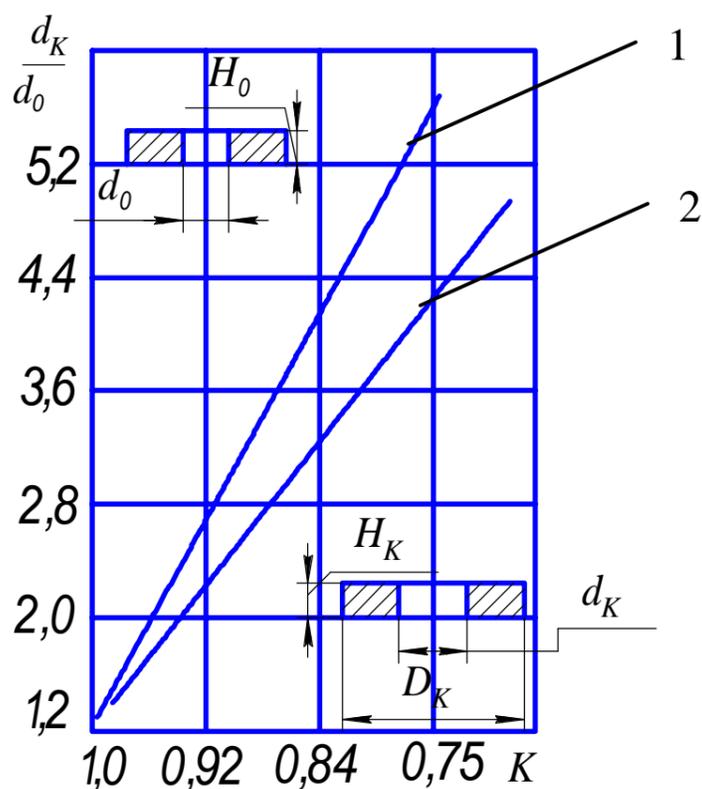


Рис. 1.6. Диаграмма для определения высоты заготовки перед раскаткой на молотах (по данным УЗТМ):

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.

Прошивку заготовок сплошным или пустотелым прошивнем на прессе, в отличие от прошивки на молоте, следует производить в одном направлении так, чтобы прошивень не менял направления движения по отношению к заготовке, т.е. без кантовки заготовки.

1.5.7. Вспомогательные и отделочные операции

Разметка и пережим заготовок

Разметка и пережим заготовок – кузнечные операции, служащие для разделения поверхностных слоев металла заготовки, необходимых для образования уступов, выступов, выемок в процессе дальнейшей протяжки.

Разметка выполняется прутком, круглыми и полукруглыми пережимками, посредством их вдавливания в заготовку легкими ударами (ходами) молота или пресса с одновременной кантовкой заготовки на угол $20-30^\circ$. Перепад ступеней по высоте при этом составляет до 100 мм . При больших значениях перепада после разметки производится пережим металла с помощью треугольной пережимки, иногда с добавлением прямоугольных накладок.

При изготовлении поковок с перепадом ступеней более $250-300\text{ мм}$ разметка производится путем надрубки металла топором.

Рубка

На практике в зависимости от формы, размеров сечения и назначения операции применяются следующие способы рубки:

- рубка с отсечкой квадратом (применяется для разделения на части прутков и небольших заготовок на молотах);
- рубка с двух сторон на плоских бойках (применяется для разделения на части небольших цилиндрических заготовок, а также поковок типа пластин с соотношением сторон сечения $A : B > 3$);
- рубка с трех сторон в вырезном бойке (применяется для отрубки отходов, рубки заготовок на прессах);
- рубка с четырех сторон цилиндрических заготовок большого диаметра в вырезном бойке;
- рубка с четырех сторон поковок прямоугольного сечения (квадратного) на плоских бойках;
- рубка со сдвигом (применяется обычно для обрубки кюмпельной части слитка перед осадкой).

Правка

Правка применяется для устранения местной или общей кривизны на поковках, производится как в холодном, так и горячем состоянии.

В холодном состоянии правят поковки из аустенитных марок стали, а также из стали марок 10, 15, 20, 25, 35 сечением до 300 мм. Поковки из остальных марок стали правят в горячем состоянии при температуре не выше 700°C.

Охлаждение поковок производится на воздухе; тонкостенные кольца охлаждаются в закрытых термосах.

На поковках, подвергаемых правке, не допускаются заковы и трещины, поверхностные дефекты должны быть зачищены.

Правка осуществляется по следующим схемам:

- 1 - правка на двух бойках с фиксатором и манипулятором;
- 2 - правка на столе и равновысоком бойке с манипулятором;
- 3 - правка на столе с кантовкой вручную;
- 4 - правка на столе и разновысоком бойке с кантовкой вручную;
- 5 - правка колец растяжением на оправке.

2. ТЕРМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ НАГРЕВА, КОВКИ И ОХЛАЖДЕНИЯ ПОКОВОК

При определенных температурах сталь и другие деформируемые металлы и сплавы обладают высокой пластичностью и низким сопротивлением деформированию. Эти температуры имеют нижний и верхний пределы, между которыми лежит температурный интервалковки-штамповки, т.е. область температур, при которых целесообразно проводить ковку или горячую штамповку.

Для определения оптимального или допустимого температурного интервалаковки целесообразно рассмотреть, как изменяются механические характеристики в зависимости от температуры (рис. 2.1).

При температурах выше 1470°C и вблизи температуры плавления находится зона хрупкости металла – зона пережога. При пережоге кислород диффундирует внутрь металла и окисляет границы зерен, которые при этом оплавляются, так как окислы железа имеют меньшую температуру плавления, чем сам металл. Ковка при пережоге приводит к браку. Таким образом, верхняя граница температурного интервалаковки должна находиться ниже температуры пережога.

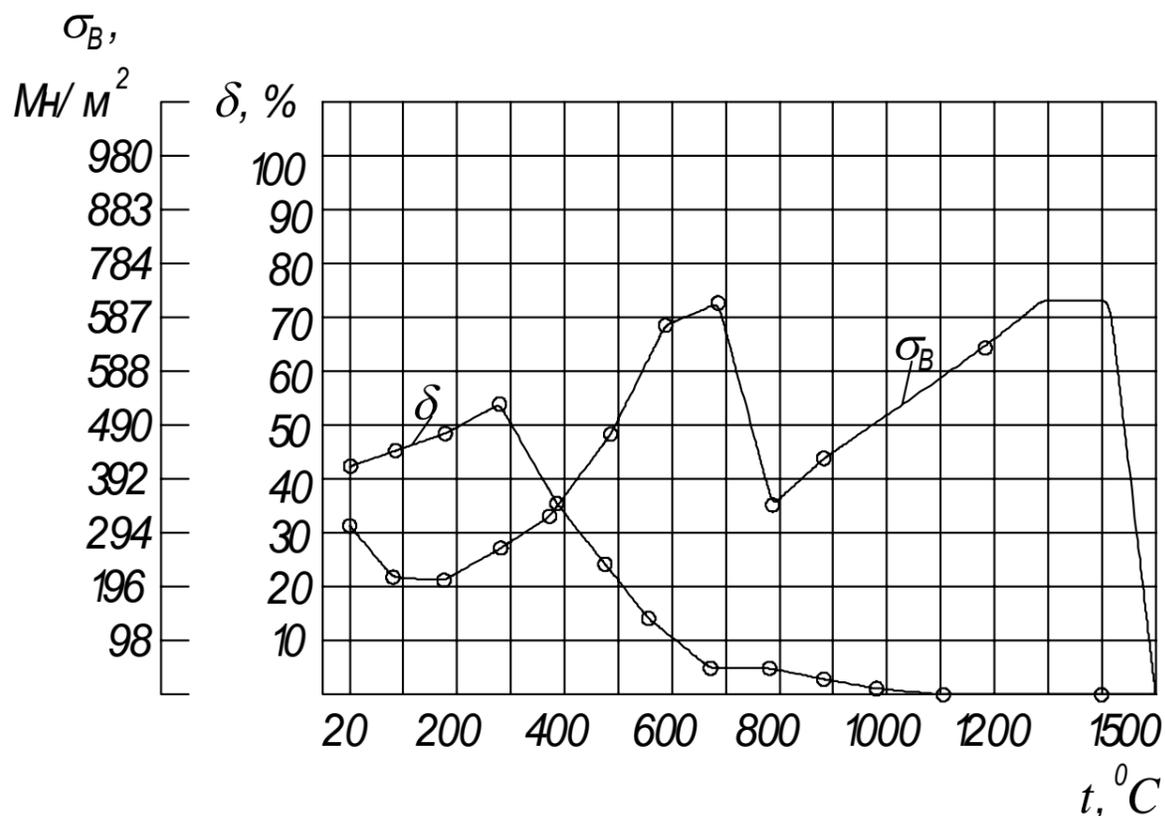


Рис. 2.1. Изменение σ_B и δ стали 15 в зависимости от температуры

При температурах, близких к пережогу, наблюдается большой рост зерна и крупнозернистое строение металла. Возникает перегрев металла. Крупнозернистое строение не всегда можно размельчить ковкой или штамповкой, что приводит к крупнозернистому, менее качественному строению металла в поковке. Поэтому необходимо устанавливать верхнюю границу температурного интервалаковки ниже температуры, при которой резко увеличивается рост зерна.

Из рис. 2.1 видно, что при температурах 750–800°С сопротивление деформированию остается примерно постоянным, а пластичность уменьшается. Это объясняется фазовыми превращениями, происходящими в металле. Температуру фазовых превращений и структуру стали при различных температурах легко определить по диаграмме состояния (рис. 2.2). Наиболее пластичной структурой является структура аустенита. При наличии двухфазной структуры пластичность падает. Для низкоуглеродистых и углеродистых сталей при температурах порядка 1100–1200°С структура чисто аустенитная и, исходя из однофазности и повышенной пластичности, температуру 1200°С можно принять как верхний предел температурного интервалаковки для углеродистой стали. У высокоуглеродистой стали при $t=1100^\circ\text{C}$ структура двухфазная: аустенит и цементит, причем цементит образует хрупкую сетку по границам зерен. С целью повышения пластичности стали необходимо эту цементитную сетку раздробить дефор-

мированием с тем, чтобы цементит образовал отдельные зерна в металле поковки. При этом твердость и прочность металла останутся высокими. Верхний предел температурковки для высокоуглеродистой стали целесообразно принять в 1100°C , а ковку проводить с предосторожностями, учитывая, что пластичность понижена ввиду двухфазной структуры. Температуру нагрева углеродистых сталей можно определить по диаграмме.

Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов (см. рис. 2.2) помогает также выбрать нижний предел температурковки, который должен лежать выше температур фазовых превращений.

Низкоуглеродистые стали можно ковать и при структурах феррит плюс аустенит, ввиду относительно высокой пластичности. Заэвтектоидные стали имеют нижний предел температурковки в зоне аустенит плюс цементит. Эта температура должна быть по возможности более низкой с тем, чтобы не образовалась цементитная сетка.

При установлении нижнего предела температурковки необходимо учитывать массу поковки, наличие или отсутствие последующей термообработки и способ охлаждения. Например, при большой массе поковки и высокой температуре окончания процессаковки или штамповки поковка будет остывать медленно и размельченное деформацией зерно может вырасти снова. При малой массе поковки (до 100 кг) температура концаковки может быть более высокой, но ввиду быстрого охлаждения зерно не успеет вырасти и останется измельченным.

Следует учитывать, что ковка сталей при температурах ниже 723°C приводит к наклепу. У некоторых металлов и сплавов нет фазовых превращений. В этом случае нижний предел температурковки определяется именно наклепом. В справочниках и нормалях приводятся данные о допустимых температурных интервалахковки и горячей штамповки. Эти пределы температур являются рекомендуемыми.

Рекомендуемые оптимальные температурные интервалыковки изделий из распространенных марок сталей и цветных металлов и сплавов приведены в табл. 2.1 и 2.2.

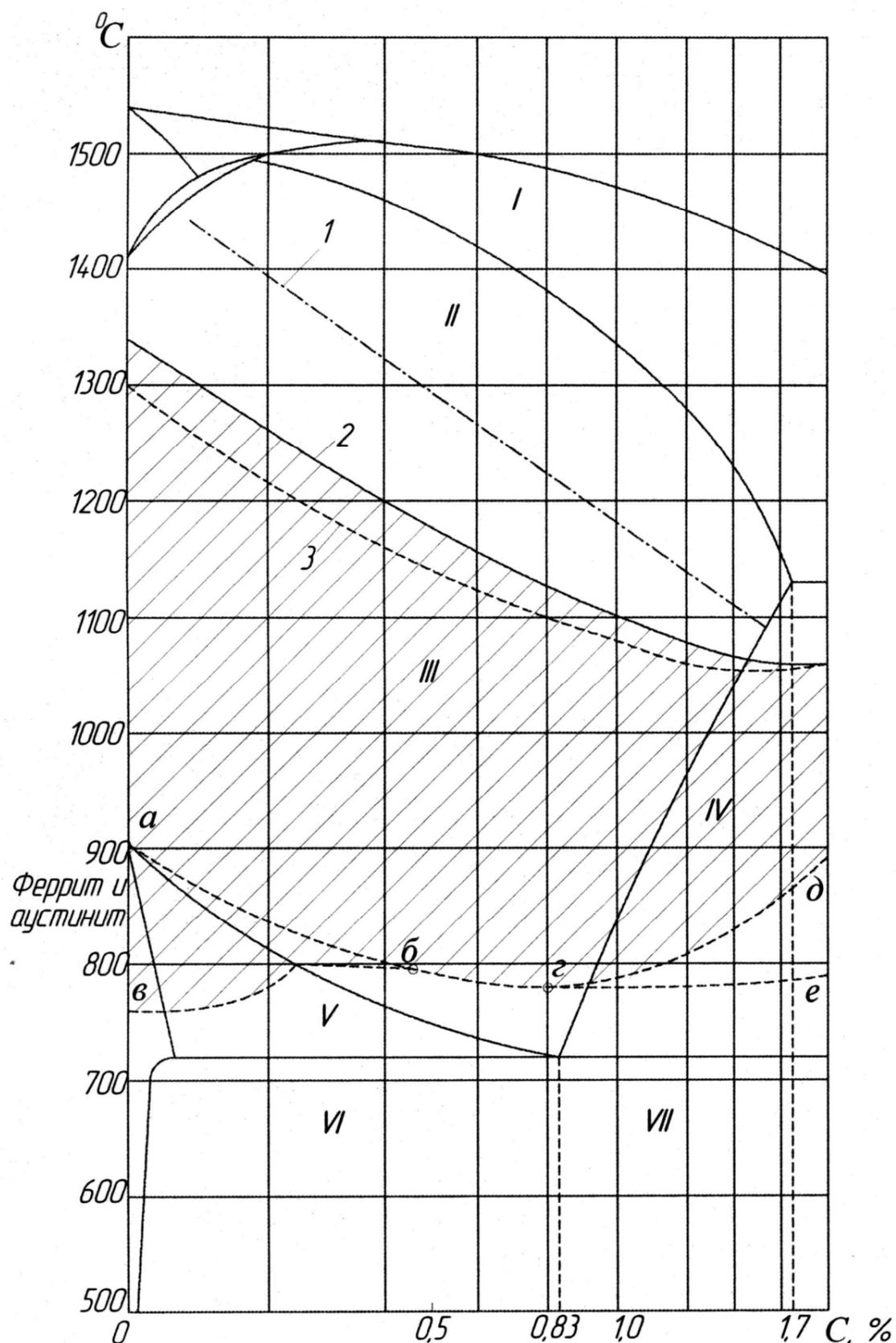


Рис. 2.2. Диаграмма состояния железно-углеродистых сплавов с температурными интерваламиковки:
 I – жидкий сплав и кристаллический аустенит; II – аустенит и твердый δ – раствор; III – аустенит; IV – аустенит и цементит;
 V – феррит и аустенит; VI – феррит и перлит; VII – перлит и цементит;
 1 – верхний предел температурковки для скоростного нагрева; 2 – верхний предел температурковки для слитков; 3 – верхний предел температурковки для крупных прутковых заготовок;
 а, б, г – нижний предел температурковки для доэвтектоидной стали;
 а, б, в – допустимая температурная область концаковки для низкоуглеродистой стали; г, д, е – область концаковки для заэвтектоидной стали

Таблица 2.1

Температура нагрева и температурные интервалы
ковки заготовок из сталей различных марок, °С

Марки стали	Нагрев дляковки		Температурный интервалковки		
	Температура печи $T_{печ}$ при выдержке (± 20), °С	Максимальная температура металла T_H , °С	Началоковки $T_{Н.К.}$	Окончаниековки (не ниже) $T_{П.К.К.}$	
				при интенсивных обжатиях	при проглаживании
Ст0–Ст3, 10–35, 08кп	1300	1280	1250	750	700
Ст4–Ст6, 15Х–40Х, 38ХА, 22К-ЭВ1	1300	1280	1250	800	700
15ХМА, 25Н–35Н, 15ХМ–35ХМ, 25НЗ, 20ХН2, 20ХНВА, 30ХНЗ, 25ХНМА, 30ХНМА, 20Г–30Г, 16ГНМА, ЛР, 22К, 40, 45	1270	1250	1210	800	750
12ХН2А, 12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 15Х2МФА, 25Х1МФ, 1Х2М, 1Х2М1, типа 48ТС, ВК-2, 10ГН2МТА (под осадку)	1270	1250	1210	850	800
10Х1С1М, 12Х2Н4А, 20Х2Н4А, 40НМА	1270	1250	1210	800	700
15ХНМФ, 12Х13, 20Х13, АК, ВК-4	1270	1250	1210	850	800
50–60, 45Х–55Х, 35Г–50Г, 50Г2, 50НТ, 50С2, 09Г2С, 20ХМА–50ХМА, 40ХН–60ХН, 40Н, 14ХГСА–35ХГСА, 08ГДНФ, Р2МА, 34ХН1МА, 34ХН2МА, 34ХН3МА, 25ХСНВФА, 22Х3М, 5ХВС, 5ХНМ, 5ХНМ2, 5ХНВ, 5ХГМ, 5ХНТ, 5ХГС, 18Х2Н4ВА, 20Х2МФА, 20ХН1МФ, 30Х2М1Ф1Н, 20ХН3МФА, 27ХН3М2ФА, 30ХН3М2ФА, 35ХНВ, 15Х2НМФА, 10ГН2МФА, 17СН2МД, 22К-ЭВ2, 38ХМЮА, 08Х18Н10Т (тонкостенные изделия типа «брам»), 00Х12Н3Д, 0Х12НД	1240	1220	1200	800	750
12Х18Н9, 12Х18Н9Т, 12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т, 08Х18Н12Т, 12Х18Н12Т, 10Х17Н13М2Т	1220	1190	1180	900	850
35ХГ2, 38ХГН, Х12М, 60ХГ, 60Г, 4Х5В2ФС, 38ХС, 37ХН3А	1220	1190	1180	850	800

Окончание табл. 2.1

Марки стали	Нагрев дляковки		Температурный интервалковки		
	Температура печи $T_{печ}$ при выдержке (± 20), °C	Максимальная температура металла T_H , °C	Началоковки $T_{Н.К.}$	Окончаниековки (не ниже) $T_{П.К.К.}$	
				при интенсивных обжатиях	при проглаживании
7А–У10А, 34Х2Н3М, 35ХНФА, 35ХМФА, 36ХН1МФА, 35ХН3МФА, 38ХН3МФА, 36ХН1МВА, 38ХН3ВА, 75ХМ, 7Х3, ХВГ, 08Х13, 08Х12НД, 48ХНВ, 60С2	1220	1190	1180	800	750
9Х, 9Х2, 9ХФ, 9Х2МФ, 9Х2С2М, 08ХСМФ, ШХ15, У12	1220	1190	1180	850	750
30Х13, 40Х13	1220	1190	1180	850	800
25Х13Н2, 20Х17Н2	1220	1200	1180	880	830
08Х17Н5М3	1220	1200	1180	950	900
20Х23Н18	1200	1180	1160	900	850

Таблица 2.2

Температурные интервалыковкицветных металлов и сплавов

Марка материала	Температура, °C	
	нагрева	окончанияковки
Магниеые сплавы		
МА1	430	300
МА2	420	350
МА3	370	340
МА5	370	320
Никелевые сплавы		
Н1, Н2, Н4	1175	950
НЖМц28-2, 5-1,5; МН19	1150	950
МНц15-20	900	750
Алюминиевые сплавы		
АМц, АМг	510	380
Д1, Д1П, АВ, АК2	500	380
Д6, Д16, Д16П	460	380
Д18П, АК4-1, АК8	475	380
АК4	500	350

Окончание таблицы 2.2

Марка материала	Температура, °С	
	нагрева	окончания ковки
Титановые сплавы		
BT1	1000	750
BT3, BT4	1050	850
BT5	1150	900
BT6	1000	850
BT8	1100	900
Медь М1	1000	800
Латунь		
Л96	900	650
Л90	900	700
Л80, ЛН 65-5	850	650
Л70, ЛО62-1, ЛО59-1, Л68	800	650
Л62, ЛАН 59-3,2	800	600
ЛМц 58-2	750	550
ЛМц А 57-3-1	700	550
ЛО 90-1	900	650
ЛО 70-1	850	600
ЛС 64-1	850	700
Бронза		
БрОФ5, 6-0,15	900	780
БрОЦ4-3	920	800
БрАМц 9-2	950	850
БрАЖ 9-4	900	700
БрАЖМц 10-3-1,5	900	750
БрАЖН 10-4-4	900	800
БрКМц 3-1	770	600
БрМц5	850	750
БрБ2	750	650
БрКН1-3	950	800

Наиболее ответственным звеном в общем цикле изготовления поковок является режим нагрева слитков, который в значительной мере определяет однородность структуры ковального металла и уровень его механических свойств, возможность интенсификации процесса ковки, а также влияет на технико-экономические показатели процесса изготовления поковок.

«Холодные» слитки и крупные заготовки нагревают за два этапа (рис. 2.3). Первый этап – нагрев до $t = 700^{\circ}\text{C}$ (начало фазовых превращений). При этой температуре сталь обладает пониженной пластичностью, а температурный градиент в этом интер-

вале имеет максимальное значение. Поэтому первый этап должен проходить медленно и тем медленнее, чем более легирована сталь и чем больше размеры заготовки. При $t = 800^{\circ}\text{C}$ делается выдержка для выравнивания температуры по сечению слитка с тем, чтобы фазовые превращения происходили при минимальном температурном градиенте (переход в аустенит).

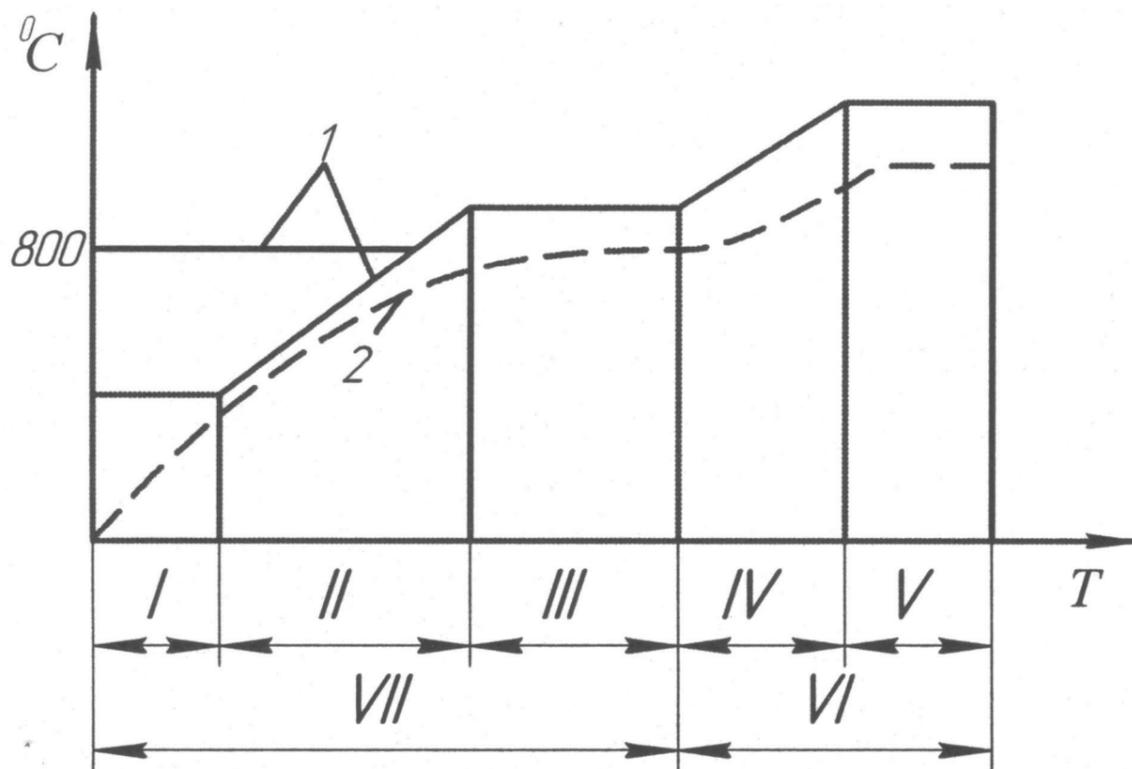


Рис. 2.3. Схема режима нагрева:

- 1 — температура печи; 2 — температура поверхности слитка;
- I — время выдержки при температуре посадки; II — медленный нагрев;
- III — время выдержки при температуре 800°C ; IV — время выдержки для выравнивания температуры слоев перед ковкой;
- V — время выдержки для выравнивания температуры перед ковкой;
- VI — 40 % всего времени нагрева; VII — 60 % всего времени нагрева

На втором этапе трещины не возникнут, так как пластичность высокая, и поэтому нужен нагрев с максимальной скоростью для уменьшения окалинообразования.

«Горячие» и «теплые» слитки и заготовки нагревают с максимальной скоростью. Их нагрев аналогичен нагреву «холодных» слитков на втором этапе. В печи при посадке слитков может быть ковочная температура. В конце нагрева необходима выдержка. Конечный температурный перепад допустим при $50-100^{\circ}\text{C}$ по сечению слитков из углеродистой и легированной стали и $30-40^{\circ}\text{C}$ для слитков из жаропрочной стали.

«Захоложенные» и «холодные» слитки целесообразно помещать в печь для горячей консервации и нагревать до $700-750^{\circ}\text{C}$, после чего перемещать в печь для нагрева и нагревать по режиму «теплых» или «горячих» слитков.

Время нагрева заготовок и слитков небольшого сечения (до диаметра 300–350 мм) до 1200°C при температуре печи 1300°C можно определить по формуле Н.Н. Доброхотова:

$$T = KD_{заг} \sqrt{D_{заг}},$$

где T – время нагрева, ч;

$D_{заг}$ – диаметр или меньшая сторона сечения нагреваемой заготовки, м.

Эмпирический коэффициент K следует принимать для катаной и кованой заготовок: $K = 12,5$ – для углеродистых и низколегированных сталей; $K = 25$ – для высокоуглеродистых инструментальных сталей. Для холодных слитков из углеродистой и низколегированной сталей $K = 20$, из среднелегированной $K = 24$, из высоколегированной $K = 28–30$.

При нагреве за два этапа необходимо провести разбивку общего времени нагрева по двум периодам. Для углеродистой стали время нагрева делится примерно пополам по периодам. При нагреве легированной стали время нагрева первого периода выбирают равным

$$T_1 = (2/3)T,$$

а для второго периода –

$$T_2 = (1/3)T,$$

где T_1 – время нагрева от 0 до 850°C (первый период);

T_2 – время нагрева от 850 до 1200°C (второй период).

Иногда делят время нагрева на три периода. Примерно время нагрева «горячих» и «теплых» слитков можно подсчитать по эмпирической формуле:

$$T = 10D_{сл},$$

где T – время нагрева, ч;

$D_{сл}$ – диаметр слитка, м.

Для низколегированных сталей это время следует увеличить на 10%, а для среднелегированных сталей на 20%.

Приведенные формулы дают минимальное потребное время нагрева. На заводах его определяют по таблицам. Для углероди-

стой инструментальной и среднелегированной сталей время нагрева увеличивают на 25–50 %, для высоколегированной на 50–100 %.

Охлаждение заготовок и поковок

Охлаждение заготовок начинается сразу после выдачи их из печи и продолжается как при транспортировании их к штамповочному или ковочному агрегату, так и в процессе штамповки иликовки.

Режим охлаждения после обработки давлением имеет такое же значение для ее качества, как и режим нагрева. Скорость охлаждения влияет на величину термических напряжений, которые в случае быстрого охлаждения могут приводить к наружным трещинам. При переходе через критический интервал температур (фазовые превращения) возникают структурные напряжения. Кроме этого, в легированных сталях есть опасность поверхностной закалки при быстром охлаждении, результаты которой трудно устранимы даже при необходимом в этом случае отжиге. Чем более легирована сталь и чем больше размеры поковки, тем медленнее должно быть охлаждение. Низкоуглеродистые и низколегированные стали при малых размерах поковок не требуют предосторожностей при охлаждении. Поковки из углеродистой конструкционной стали диаметром до 300 мм охлаждают на воздухе и в штабелях, при больших диаметрах охлаждение проводят более медленно, а поковки из крупных слитков охлаждают вместе с печью. Поковки из легированной стали диаметром свыше 50 мм охлаждают в ящиках с песком или окалиной, а также в неотпливаемых колодцах (в закрытой яме), а поковки диаметром свыше 150 мм нужно охлаждать вместе с печью по специальному режиму.

Режимы охлаждения для различных заготовок из сталей нормализованы.

Время охлаждения поковок при ковке и на воздухе можно определить по эмпирической зависимости:

$$t_{охл} = 0,006\Delta Td ,$$

где $t_{охл}$ – время охлаждения заготовки, с;

ΔT – допустимый интервал охлаждения, °С;

d – диаметр (толщина) заготовки, мм.

3. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛЬНЫХ ПОКОВОК

Термообработка влияет на качество поковок. Ее подразделяют на два вида: предварительную и окончательную.

Предварительная обработка служит для улучшения обрабатываемости металла при изготовлении деталей, для подготовки структуры металла к окончательной термообработке (получение однородной мелкозернистой структуры), для снятия наклепа и улучшения комплекса механических свойств.

Окончательная термообработка придает металлу требуемые механические свойства. Ниже рассмотрены некоторые виды термообработки стальных поковок.

Промежуточный отжиг применяют при ковке крупных поковок диаметром свыше 500 мм , когда ковку выполняют за несколько нагревов. Промежуточный отжиг необходим для предохранения от образования внутренних дефектов (флокенов) и для размельчения зерна.

Отжиг снимает остаточное напряжение в стали. Заготовку вначале охлаждают до 650°C , затем следует выдержка. Отжиг проводят при $t = 850^\circ\text{C}$, затем выдержка и охлаждение до 700°C , далее выдержка с последующим нагревом под ковку.

Гомогенизационный отжиг применяют при нагреве слитков при $t = 1200^\circ\text{C}$ для выравнивания структуры по всему сечению. При этом легирующие элементы диффундируют по всему сечению и распространяются более равномерно.

Отжиг полный проводят путем нагрева поковок до температуры $A_{c3} + (30 \div 50^\circ\text{C})$ или $770 \div 800^\circ\text{C}$, затем дается выдержка и медленное охлаждение вместе с печью.

Послековки и штамповки проводят также отжиг неполный, отжиг изотермический и другие виды термообработки.

После горячей штамповки поковок из углеродистых и низколегированных сталей проводят нормализацию, т.е. нагрев до температуры $750 - 950^\circ\text{C}$ с охлаждением на воздухе, что улучшает обрабатываемость. Поковки из легированных сталей подвергают нормализации и отпуску.

4. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ КОВКИ

Усилие прессы 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	<p>Усилие прессы, МН:</p> $P = \sigma F \left(1 + 0,17 \frac{D}{H} \right),$ <p>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.</p>
	<p>Энергия удара молота, МДж:</p> $A = \frac{A_{OC}}{\eta_{y\delta}} = \frac{\sigma V}{\eta_{y\delta}} \left[\ln \frac{H_0}{H} + \frac{1}{9} \left(\frac{D}{H} - \frac{D_0}{H_0} \right) \right],$ <p>где A_{OC} – работа при осесимметричной осадке, МДж; $\eta_{y\delta}$ – 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.</p>

Технологическая операция	Аналитическая зависимость
2. Протяжка плоскими бойками	<p>Усилие прессы, МН:</p> $P = \sigma \left(1 + 0,17 \frac{l}{h_0} \right) b_0 l,$ <p>где l – величина подачи, м; b_0, h_0 – ширина и высота полосы соответственно, м; σ – сопротивление деформированию металла поковки при температурно-скоростных условиях протяжки на прессе, МПа.</p> <hr/> <p>Энергия удара молота, МДж:</p> $A = \frac{A_{ПР}}{\eta_{уд}} = \frac{1,15\sigma V}{\eta_{уд}} \left[\ln \frac{h_0}{h} + \frac{1}{8} \left(\frac{l}{h} - \frac{l}{h_0} \right) \right],$ <p>где $A_{ПР}$ – работа при протяжке плоскими бойками, МДж; $\eta_{уд}$ – КПД удара молота; V – объем очага деформации при протяжке металла, находящегося под бойками), м³; σ – сопротивление деформированию металла поковки при температурно-скоростных условиях протяжки на молоте, МПа; h_0, h – высота протягиваемой заготовки в начале и конце рассматриваемого обжатия соответственно, м.</p>
3. Протяжка в вырезных бойках	<p>Усилие прессы, МН:</p> $P = 1,15\sigma \left(1 + \frac{2}{3} \mu_s \frac{l}{d} \right) dl,$ <p>где σ – сопротивление деформированию металла поковки при температурно-скоростных условиях протяжки в вырезных бойках на прессе, МПа; μ_s – фактор трения; l – подача, м; d – диаметр заготовки, м.</p> <p>Энергия удара молота, МДж:</p> $A = \frac{A_{ПРВ}}{\eta_{уд}} = \frac{\sigma}{\eta_{уд}} \left(1 + \frac{2}{3} \mu_s \frac{l}{d} \right) \varepsilon \cdot d^2,$ <p>где l, d – подача и диаметр заготовки, соответственно, м;</p>

Технологическая операция	Аналитическая зависимость
	<p>$\varepsilon = 0,06 - 0,1$ – 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.</p>
4. Протяжка на оправке	<p>Усилие прессы, МН:</p> $P = 1,05l\sigma D \left[1 + \mu_s \left(\frac{1}{S} + \frac{1}{D} \right) \frac{l}{3} \right],$ <p>где D – наружный диаметр заготовки, м; l – подача, м; S – толщина стенки, м; μ_s – фактор трения.</p>
5. Открытая прошивка сплошным прошивнем	<p>Усилие прессы, МН:</p> $P = \sigma \left(2 + 1,1 \ln \frac{D}{d} \right) \frac{\pi \cdot d^2}{4},$ <p>где D – диаметр заготовки, м; d – диаметр прошивня, м; σ – сопротивление деформированию при температурно-скоростных условиях прошивки, МПа.</p>
6. Закрытая прошивка сплошным прошивнем	<p>Усилие прессы, МН:</p> $P = 1,1\sigma \left[1,5 + \frac{1}{1 - \frac{d^2}{D^2}} \ln \frac{D}{d} + \frac{2}{\sqrt{3 \frac{d}{D} \left(1 - \frac{d^2}{D^2} \right)}} \right] \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4},$ <p>где D, d – наружный и внутренний диаметры прошиваемой заготовки соответственно, м; σ – сопротивление деформированию при температурно-скоростных условиях прошивки, МПа.</p>

Таблица 4.2

Значения предела текучести сталей
и сплавов σ_T , МПа, в зависимости от температуры

Марка матери- ала	Температура, °С				
	800	900	1000	1100	1200
Углеродистые стали					
У10А	43,6	25,00	13,40	7,84	5,68
Ст6	40,7	23,70	13,20	7,80	5,66
У8	40,2	22,50	12,60	7,70	5,63
45	37,2	22,26	12,26	7,60	5,60
35	29,92	21,25	11,88	7,40	5,50
20	28,64	21,15	11,64	7,20	5,45
Ст3	27,44	22,00	11,55	7,00	5,40
БСт1кп	15,00	16,66	8,60	5,56	4,20
Легированные стали					
5ХВ2С	47,20	30,68	18,64	10,00	7,04
9ХС	44,80	29,86	17,56	9,94	6,92
30ХГСА	42,80	28,24	16,72	9,36	6,80
60С2А	41,68	26,44	15,48	9,14	6,74
55С2	40,88	25,56	15,00	8,80	6,32
12ХН3А	40,80	25,16	14,00	8,30	6,22
ЩХ15	40,77	24,18	14,20	8,00	6,10
15ХСНД	40,65	24,08	13,80	7,88	5,87
14ГН	40,33	23,80	13,78	7,78	5,67
40Х	40,00	23,76	13,38	7,76	5,62
20Х	35,36	21,20	12,40	7,60	5,46
Высоколегированные стали					
P18	—	44,13	27,20	13,40	10,11
X18H12M2T	—	43,33	26,44	13,15	9,88
08X18H10T	55,12	43,12	26,20	13,04	9,58
X18H9T	52,22	41,14	22,00	12,11	9,18
14X17H2	49,20	31,96	18,64	10,96	7,38
40X13	47,92	31,84	17,20	9,84	6,80
OX23Ю5A	46,16	29,64	15,60	9,20	6,70
30X13	45,20	29,60	15,50	9,16	6,64

Окончание табл. 4.2

Марка матери- ала	Температура, °С				
	800	900	1000	1100	1200
Жаростойкие сплавы					
ХН70МВТЮ	—	—	58,32	28,21	18,80
ХН38ВТ	—	—	39,60	23,72	14,72
Х20Н80	—	53,21	32,24	46,72	11,16

После определения расчетного усилия пресса по табл. 4.3 и 4.4 выбирается пресс.

Таблица 4.3

Техническая характеристика ковочных прессов
(ГОСТ 7284-80)

Наименование основных параметров и размеров прессов		Числовые значения						
Номинальное усилие пресса, МН		2	3,15	5	8	12,5	20	31,5
Наибольший ход подвижной траверсы (рамы) h , мм		450	560	710	900	1250	1600	2000
Расстояние между столом и подвижной траверсой (рамой) в ее верхнем положении H , мм		1400	1600	1800	2120	2650	3150	4000
Размер рабочей зоны в свету поперек осиковки A , мм		1060	1180	1250	1500	1900	2240	2650
Размеры выдвижного стола *	ширина B , мм	500	630	800	1000	1250	1600	2000
	длина, не менее, мм	560	710	900	1250	1600	2120	2500
Ход выдвижного стола * относительно оси пресса, не менее	в одну сторону, мм	170	220	280	360	450	600	710
	в другую сторону, мм	710	750	850	1060	1320		1600
Число ходов подвижной траверсы (рамы)	рабочих при усилии до 75 % от номинального	50	40	32	25	22	18	14
	при величине хода	60	100	125	160		200	
	проглаживающих при усилии до 25 % от номинального и величине хода не менее 20 мм		105		100	90	80	70

Окончание табл. 4.3

Наименование основных параметров и размеров прессов		Числовые значения						
в минуту, не более	проглаживающих при усилии до 12 % от номинального и величине хода не менее 20 мм		115		110	100	85	75
Мощность привода**, кВт, не более		250	360	500	800	1250	2000	3350
Масса*** пресса (без бойков, перекрытий, узлов механизации и привода), т, не более		50	70	100	160	250	500	750

*Для прессов с номинальным усилием 2,0 и 3,15 МН вместо выдвигного стола допускается применять поворотный стол, параметры которого согласовываются с потребителем.

**Для прессов с индивидуальным насосным приводом (величина обжатия при рабочих ходах составляет 50 % хода, при проглаживающих ходах 5 мм).

***Уточненное значение массы прессов, определяемое конструктивными особенностями и комплектацией, устанавливается в соответствии с техническими условиями.

Таблица 4.4

Техническая характеристика ковочных прессов, выпускаемых ПО «УРАЛМАШ» (г. Екатеринбург)

Наименование параметров	Численные значения параметров для прессов марок				
	"4000"	"6000"	"8000"	"10000"	"15000"
Номинальное усилие пресса, МН	40	60	80	100	150
Ступени усилия, МН	13,3; 26,6; 40,0	20; 40; 60	27; 54; 80	34; 68; 100	50; 100; 150
Ход подвижной траверсы, мм	2500	2600	3000	3800	4000
Расстояние между столом и траверсой (открытая высота), мм	4150	6000	6500	7500	8500
Расстояние в свету между колоннами, мм	1220×3250	1650×4050	1700×4500	2100×6100	2300×5600

Окончание таблицы 4.4

Наименование параметров	Численные значения параметров для прессов марок				
	"4000"	"6000"	"8000"	"10000"	"15000"
Размеры рабочей поверхности стола, мм	2900×6000	3200×8000	3600×8000	5200×10000	4700×12000
Ход стола в обе стороны, мм	2250 4000	3000 4000	3000 3000	3000 6000	4000 6000
Скорость рабочего хода подвижной траверсы, мм/с	150	80	100	80	80
Скорость холостого хода подвижной траверсы, мм/с	до 300	до 300	до 300	до 300	до 300
Габаритные размеры прессовой установки в плане, мм	6830×28500	28700×47760	21785×36180	38200×55600	37460×52820
Высота над уровнем пола, мм	12300	13670	15400	18300	19860
Заглубление, мм	5245	5680	8000	8000	8000
Допускаемый эксцентриситет при ковке, мм	200	200	300	300	300
Масса установки (без насосно-аккумуляторной станции (НАС) и манипулятора), т	1520	2300	1950	4500	5360

Пример 1. Определить усилие гидравлического ковочного пресса, необходимое для осадки заготовки из стали 45 с размерами $D_0 = 1000$ мм, $H_0 = 2000$ мм из слитка массой 18 т; температура окончания осадки 1100°C .

Принимая степень деформации при осадке $\varepsilon_{OH} = 0,5$, определяем размер поковки:

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

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

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

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: $1200 - 900^0 C$.

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

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

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

Определяем число ударов:

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

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.

5. СХЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КОВКИ ПОКОВОК

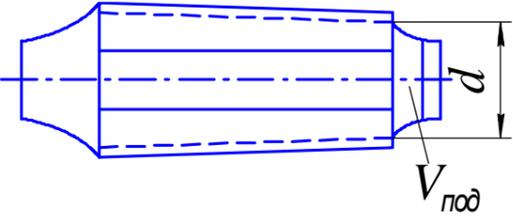
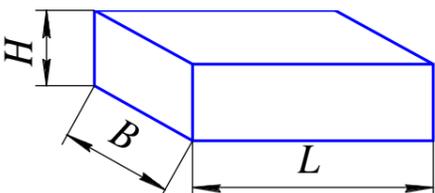
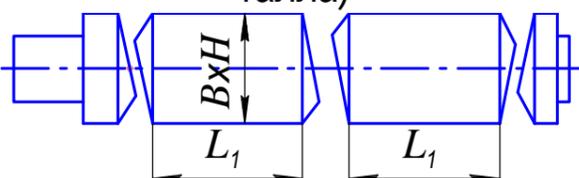
Существуют следующие направления достижения высоких значений коэффициента использования металла и коэффициента весовой точности для поковок, изготавливаемых на гидравлических прессах и молотах:

- использование рациональной конструкции слитков и заготовок (удлиненные, малоприбыльные, бесприбыльные и пустотелые слитки, заготовки непрерывной разливки и т.д.);
- применение специализированной оснастки;
- автоматизация управления ковочными агрегатами;
- использование ковано-сварных конструкций поковок и т.д.

Примерные схемы технологических процессов ковки поковок из слитков приведены в табл. 5.1–5.5.

Таблица 5.1

Технологическая схема ковки штамповых
заготовок с осадкой промежуточной заготовки

Кузнечные операции и эскизы переходов	Соотношения размеров поковки	Примечание
<p style="text-align: center;">Исходный слиток</p> 	<p style="text-align: center;">Эскиз поковки</p> $L/H < 2,5; B > H$ 	<p>d – диаметр круга, вписанного в низ корпуса слитка;</p> <p>$V_{\text{под}}$ – объем поддона;</p> <p>H, B, L – высота, ширина, длина поковки</p>
<p>Ковка цапфы из прибыли слитка; обкатка корпуса слитка; протяжка блока на $B \times H$; отрубка заготовок длиной L_1 (с учетом угара металла)</p> 	<p>Относительная подача</p> $0,5 \leq a/H_1 \leq 1,$ <p>где a – подача заготовки;</p> <p>H_1 – текущий размер</p>	<p>Протяжка на $B \times H$ плоскими бойками</p>

Окончание табл. 5.1

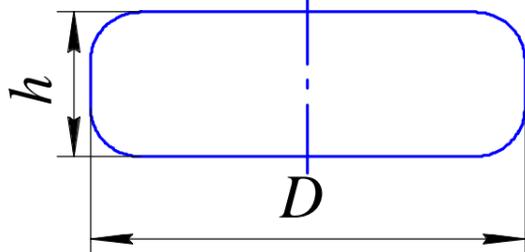
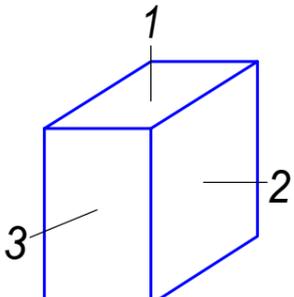
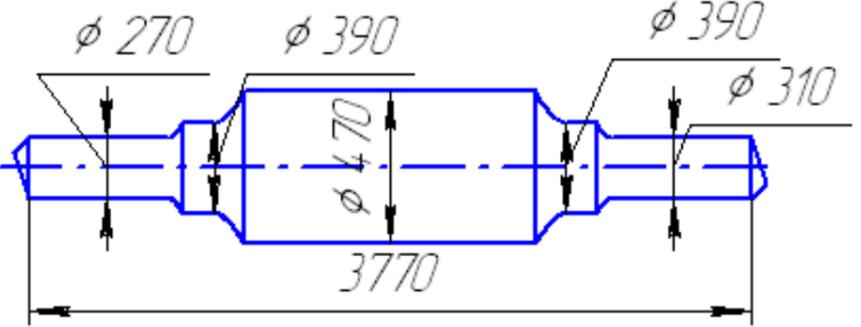
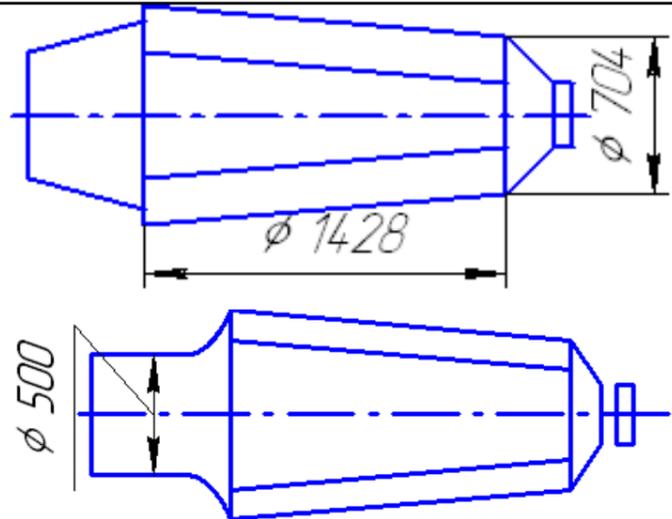
Кузнечные операции и эскизы переходов	Соотношения размеров поковки	Примечание
<p>Осадка заготовок на 50 % ; ковка штамповых заготовок до заданных размеров (см. эскиз поковки)</p> 	<p>$L_1 / h = 2;$ уков при протяжке осаженой заготовки до заданных размеров</p> $Y = \left(\frac{\pi D^2}{4BH} \right) \geq 3$	<p>Осадка плоскими плитами, протяжка плоскими бойками</p>
<p>Осадка по оси 1; протяжка вдоль оси 2; осадка по оси 2; протяжка вдоль оси 3; осадка по оси 3</p> 	<p>$\varepsilon_1 < 0,5, \varepsilon_2 < 0,5, \varepsilon_3 < 0,5,$ где $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ — степени деформации при осадке по каждой оси заготовки соответственно</p>	<p>При изготовлении поковок высшей категории качества добавляется третий нагрев</p>

Таблица 5.2

Пример технологического процессаковки валка при прокатке

Эскиз поковки		Масса слитка – 6500 кг
		Масса поковки – 3500 кг
		Марка стали – 9Х2МФ
		Уков – 4,2
		Температурный интервал ковки - 1180 – 800°C
Номер выноса	Наименование операций	Эскизы перехода
1	Нагрев под ковку. Обжать прибыль. Сбить вкладыш	

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

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	<p>Разметка слитка.</p> <p>Протяжка верхней и нижней части слитка.</p> <p>Заделка цапф.</p> <p>Отрубка прибыли и излишков металла</p>		<p>Пережимка. Комбинированные бойки. Топор</p>	$\frac{L}{D_{CP}} \approx 2,8$

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 процессаковки валка горячей прокатки

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

Окончание табл. 5.4

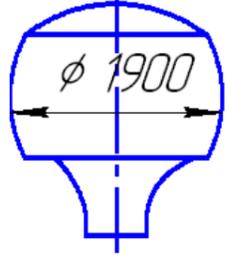
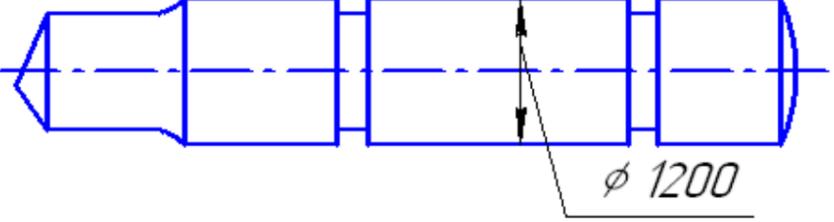
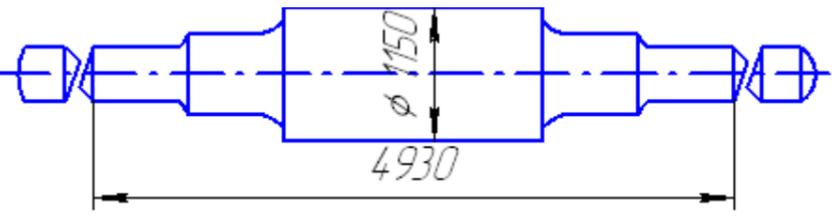
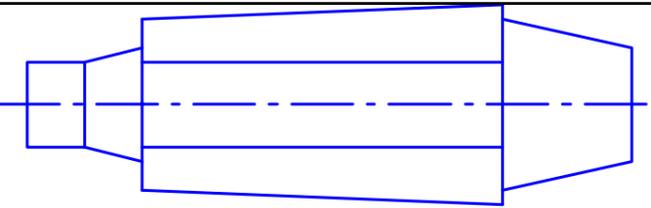
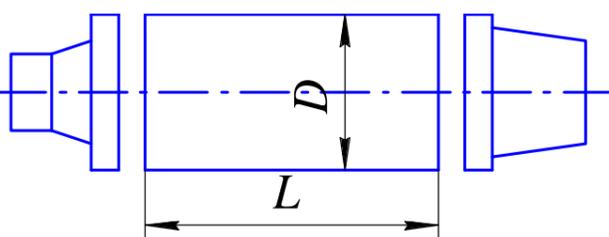
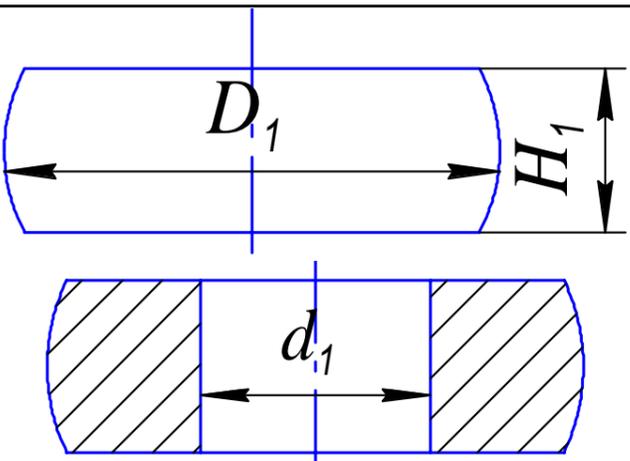
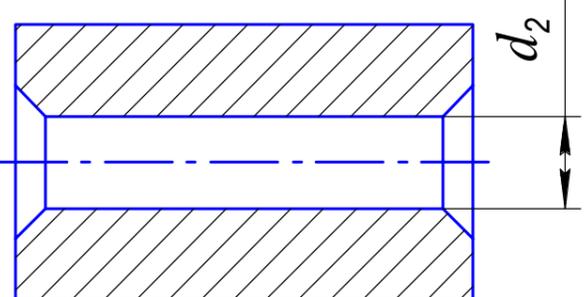
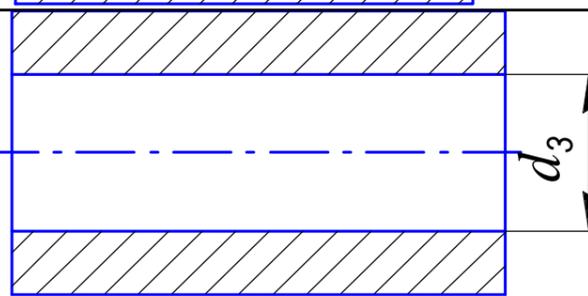
2	Нагрев до ковочной температуры. Осадить до получения \varnothing 1900 мм	
	Протянуть на \varnothing 1200 мм. Разметить и засечь бочку. Обжать шейки до поковочных размеров	
	Отрубить излишек с донной стороны. Прогладить бочку в меру. Отрубить прибыль. Править	

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	$\frac{H_1}{D_1} \approx 1;$ $d_1 \leq \frac{D}{2,6}$

Номер выноса	Операции	Эскизы переходов	Инструмент	Примечание
4	Протяжка на оправке диаметра d_2		Оправка. Плоские бойки	$d_2 > d_3$
5	Протяжка на оправке. Охлаждение		Оправка. Плоские бойки	$K = 1,5$

6. КОМПОНОВКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТДЕЛЕНИЙ КОВКИ ПОКОВОК

Ковочные паровоздушные молоты устанавливаются в одно- и многопролетных зданиях, при этом ширина пролета составляет 24 и 30 м.

Расположение оборудования на участке (линии) паровоздушных ковочных молотов зависит от серийности производства. Так, при единичном и мелкосерийном производствах используют схему, представленную на рис. 6.1, а, при этом нагревательную печь 2 располагают в одну линию с левой стороны по отношению к рабочему фронту молота 1.

При среднесерийном производстве у ковочных молотов с массой падающих частей от 2 т и выше устанавливают по две нагревательные печи и ковочный рельсовый манипулятор 5 (рис. 6.1, б). При этом молот и печи располагают на одной линии с направлением потока вдоль пролета. Промежуточные склады заготовок 3 располагают в зоне действия поворотных кранов 4 так, чтобы они могли обслуживать промежуточные склады заготовок, нагревательную печь, ковочный манипулятор и молот.

При крупносерийном и массовом производствах поковок работа агрегата осуществляется следующим образом (рис. 6.1, в). Заготовки из центрального склада мостовым краном 6 транспортируются на промежуточный склад 3, откуда поворотным краном 4 подаются к толкателю методической печи 2. Работа толкателя и от-

крывание дверцы методической печи синхронизированы и управляются с пульта 7. Нагретая заготовка с помощью толкателя подается на поворотный стол электрической тележки 10, управляемой с пульта 4. Манипулятором 5 с клещевым захватом заготовка зажимается и подается к молоту. Управление молотом – дистанционное, осуществляется с пульта 8, а манипулятором – с пульта 9.

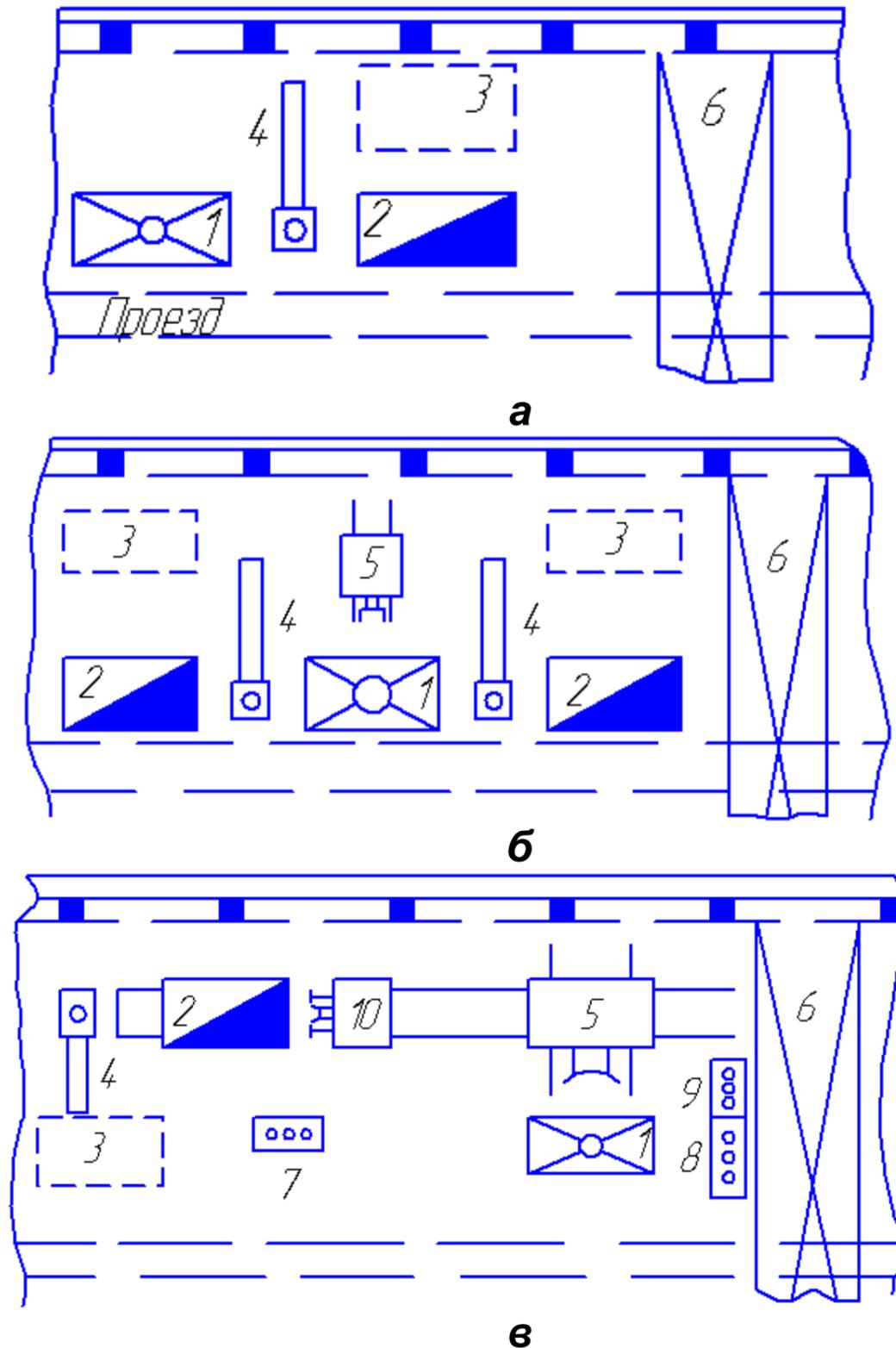


Рис. 6.1. Схема расположения оборудования на участке (линии) ковочных паровоздушных молотов при мелкосерийном (а), среднесерийном (б) и крупносерийном (в) производстве поковок: 1 – молот; 2 – нагревательная печь; 3 – промежуточный склад; 4 – поворотный кран; 5 – манипулятор; 6 – мостовой кран; 7, 8, 9 – пульта управления; 10 – электрическая тележка

Ковочные гидравлические прессы устанавливаются в многопролетных зданиях с шириной пролетов 24, 30 и 36 м. На рис. 6.2, а показана схема установки прессы усилием 20 МН и нагревательных печей, при этом печи лишь незначительно выступают в прессовый пролет. Устанавливать печи в шаге колонн против прессы не рекомендуется, так как в этом случае ухудшаются условия работы.

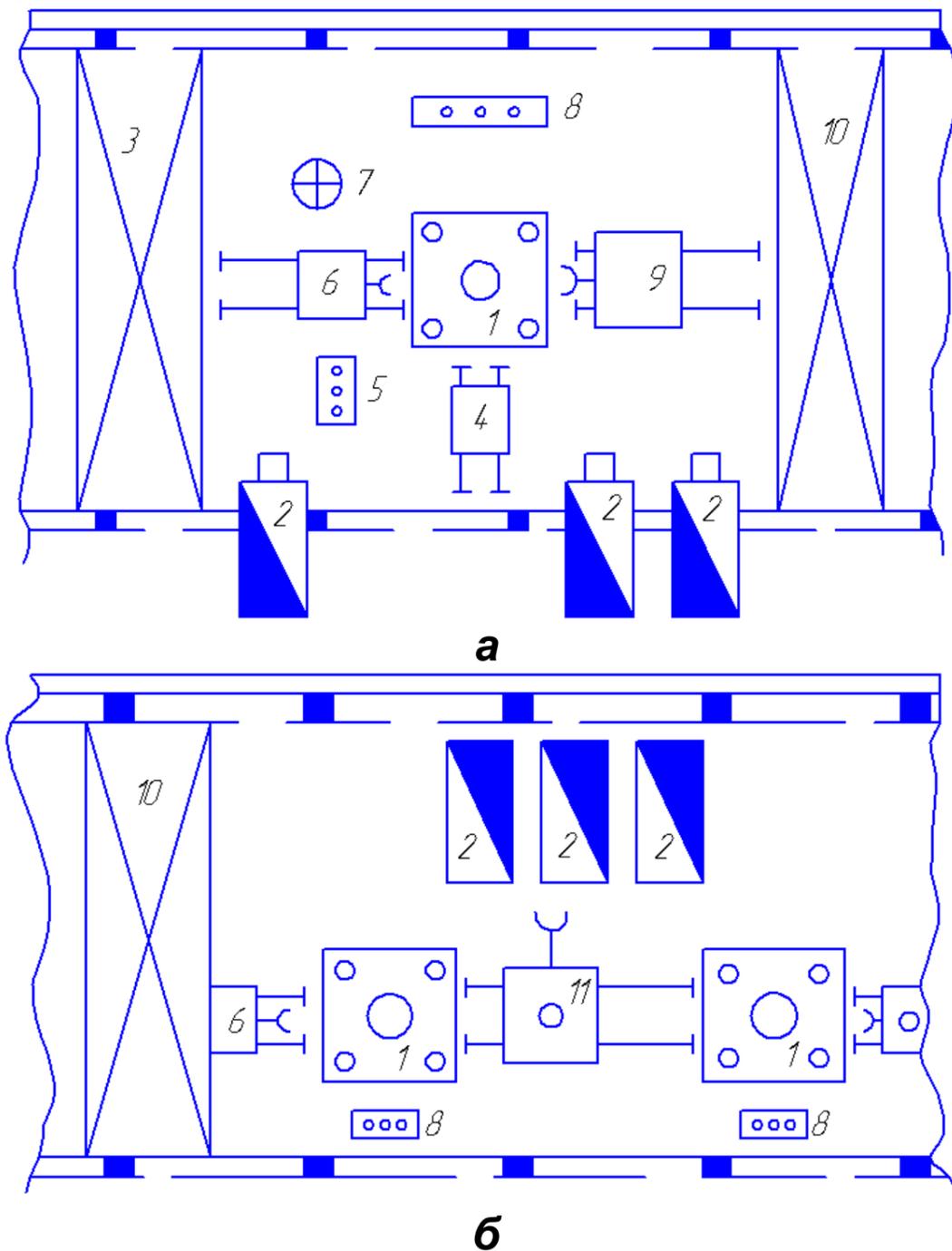


Рис. 6.2. Схема расположения оборудования в агрегате ковочного гидравлического прессы усилием 20 МН (а) и прессов усилием 8–12,5 МН (б), обслуживаемых посадочными машинами:

- 1 – пресс, гидравлический; 2 – нагревательная печь; 3 – кран ковочный, мостовой; 4 – манипулятор для инструмента; 5 – пульт управления; 6 – малый ковочный манипулятор; 7 – поворотный стол; 8 – пульт управления прессом, большим ковочным манипулятором 9 и мостовым краном; 10 – вспомогательный мостовой кран; 11 – шаржир-машина

Загрузка слитков в печь, вынос их к прессу и манипулирование заготовкой в процессековки осуществляются с помощью ковочного мостового крана и манипуляторов.

В агрегатах ковочных прессов усилием 8–12 МН обслуживание нагревательных печей осуществляется с помощью рельсовых посадочных машин (шаржир-машин) 11 (рис. 6.2, б).

Управление посадочными машинами, прессом и ковочными манипуляторами производится при помощи дистанционной системы с пульта 8.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 7062-90. Поковки из углеродистой и легированной стали, изготавливаемые ковкой на прессах. Припуски и допуски. М.: Изд-во стандартов, 1990. 58 с.
2. ГОСТ 7829-90. Поковки из углеродистой и легированной стали, изготавливаемые свободной ковкой на молотах. Припуски и допуски. М.: Изд-во стандартов, 1990. 40 с.
3. ГОСТ 8479-70. Поковки из конструкционной углеродистой и легированной стали. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1970. 16 с.
4. Ковка и штамповка: справочник. Т.1 / под ред. Е.И. Семенова. М.: Машиностроение, 2010.
5. Кальченко А.А., Рузанов В.В. Технологияковки и горячей штамповки: метод. указания к курсовому проектированию: Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008.

Учебное издание

Александр Андреевич КАЛЬЧЕНКО
Владимир Васильевич РУЗАНОВ
Константин Георгиевич ПАЩЕНКО

ТЕХНОЛОГИЯ КОВКИ И ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

Часть 1

Учебное пособие

Редактор Н.П. Боярова
Оператор компьютерной верстки Е.А. Назарова

Подписано в печать 22.06.2015. Рег. №10-15. Формат 60x84/16. Бумага тип. № 1.
Плоская печать. Усл.печ.л. 4,00. Тираж 50 экз. Заказ 466.



Издательский центр ФГБОУ ВПО «МГТУ»
455000, Магнитогорск, пр. Ленина, 38
Полиграфический участок ФГБОУ ВПО «МГТУ»