

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»
Высшая школа технологии и энергетики
Кафедра материаловедения и технологии машиностроения

ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОКОВОК НА ПРЕССАХ

Выполнение лабораторно-практической работы

Методические указания для студентов всех форм обучения
по направлению подготовки
15.03.02 — Технологические машины и оборудование

Составитель
И. Д. Соколова

Санкт-Петербург
2026

Утверждено
на заседании кафедры МиТ
29.05.2026 г., протокол № 6

Рецензент А. А. Таразанов

Методические указания соответствуют программе и учебному плану дисциплины «Технология конструкционных материалов» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование». Указания содержат краткие сведения о видахковки, применяемом оборудовании, составляющих технологического процесса и методике разработки технологии изготовления поковок на прессах. Методические указания способствуют формированию практических навыков разработки эскизов поковок, определению их размеров и массы, выбора температурного интервалаковки и продолжительности нагрева исходной заготовки, выбора основных технологических операций и рабочего инструмента для изготовления поковки.

Методические указания предназначены для бакалавров очно и заочной форм обучения.

Утверждены Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД
в качестве методических указаний

Режим доступа: http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016, по паролю.
— Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 22.06.2026 г. Рег. № 5011/25

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ	5
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ	5
МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОКОВОК.....	8
Составление чертежа поковки	8
Определение массы и размеров исходной заготовки	11
Режим нагрева и охлаждения.....	14
Определение последовательности кузнечных операций	17
ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	21
ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ	22
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	23
ПРИЛОЖЕНИЕ	24

ВВЕДЕНИЕ

Ковка – вид горячей обработки металлов давлением, при котором металл деформируется последовательными ударами на отдельных участках заготовки с помощью универсального инструмента. Существует два вида ковки: свободная ковка и ковка в штампах.

Свободной ковкой называется процесс, при котором формообразование поковок происходит под ударами молота или нажимом прессы. Течение металла не ограничено поверхностями инструмента в плоскости, перпендикулярной действию силы.

Штамповкой называют ковку в стальных формах-штампах.

Ковкой получают заготовки для последующей механической обработки. Эти заготовки называют поковками. Ковка применяется в индивидуальном и мелкосерийном производстве и разделяется на ручную и машинную.

Ручной ковкой получают мелкие поковки в единичном производстве и при ремонтных работах с помощью наковальни и кувалды.

Машинная ковка осуществляется на молотах и прессах и является пока единственным способом изготовления тяжелых поковок из слитков весом до 350 тонн. Только ковкой можно изготавливать ответственные и тяжело нагруженные детали современных крупных машин, таких как турбины, котлы высокого давления, гидравлические прессы, прокатные станы, экскаваторы. Молотами называются машины ударного действия. Продолжительность деформации на них составляет тысячные доли секунды. Для привода молотов используют пар, сжатый воздух или газ, жидкость под давлением, горючую смесь, взрывчатые вещества, магнитные и гравитационные поля. Основные типы молотов для ковки: пневматические и паровоздушные.

Паровоздушные молоты приводятся в действие соответственно паром или сжатым воздухом, подающимся от котлов или компрессоров. Поступая в рабочий цилиндр, энергоноситель разгоняет поршень и связанные с ним подвижные части молота до скорости 6–7 м/с.

Пневматические молоты используют сжатый воздух, но воздух является пружиной, связывающей два поршня: рабочий и компрессорный. Компрессорный поршень приводится от коленчатого вала двигателя. Компрессор встроен в молот. Характеристикой мощности молота является масса падающих частей (суммарная масса всех частей молота, перемещающихся в его верхней части): чем больше масса падающих частей, тем выше энергия удара верхнего бойка по заготовке. Пневматические молоты изготавливаются с массой падающих частей от 50 кг до 1000 кг, а паровоздушные – от 1000 кг до 8000 кг.

Гидравлические прессы развивают статическое усилие, и продолжительность деформации у них может составлять десятки секунд. В гидравлическом прессе усилие создается с помощью жидкости (водной эмульсии или минерального масла) высокого давления (20–50 МПа), подаваемой в рабочий цилиндр. Характеристикой мощности прессы является

усилие, развиваемое им и передаваемое заготовке. Дляковки используются гидравлические прессы с усилием от 3 МН до 150 МН. Прессы используют дляковки очень крупных, тяжелых изделий – слитков массой до 350 т. На практике при выборе мощности необходимого оборудования для свободнойковки пользуются специальными справочниками, таблицами, формулами.

Кузнечное производство весьма трудоемко. Повышение производительности труда во многом зависит от качества разработанной технологии, которое определяется:

- оптимальной конфигурацией поковки;
- выбором рационального типа заготовки и ковочного оборудования;
- назначением способов нагрева и охлаждения;
- схемой технологического процесса деформирования (выбор и назначение операций, их количество и последовательность);
- оптимальной геометрией рабочей части ковочного инструмента (бойки, осадочные плиты и т. д.).

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы: формирование практических навыков разработки технологии изготовления поволоков на прессах.

Задачи выполняемой работы:

- изучить методику проектирования технологического процесса изготовления поволоков;
- назначить припуски на механическую обработку, допуски и напуски;
- произвести выбор оптимальной исходной заготовки;
- осуществить расчет массы заготовки;
- обосновать режим нагрева и охлаждения;
- определить последовательность технологических операций, позволяющих получить необходимую форму и размеры поволоков.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Технологический процессковки, представленный на рисунке 1, – это сложный процесс, состоящий из нескольких стадий нагрева и подогрева металла в печах; собственной кузнечной операции, при которой формоизменение исходной нагретой заготовки происходит в результате свободного течения металла в стороны, перпендикулярные движению деформирующего инструмента.

Процессковки состоит также из резки исходного металла на мерные заготовки, первичной термической обработки (отжиг, нормализация), правки, контроля геометрии и качества заготовок.

В качестве универсального инструмента применяют плоские или фигурные (вырезные бойки), а также различный прикладной инструмент: обжимки, пережимки, оправки, прошивни, надставки (рис. 2).



Рисунок 1. Схема технологического процессаковки поковок

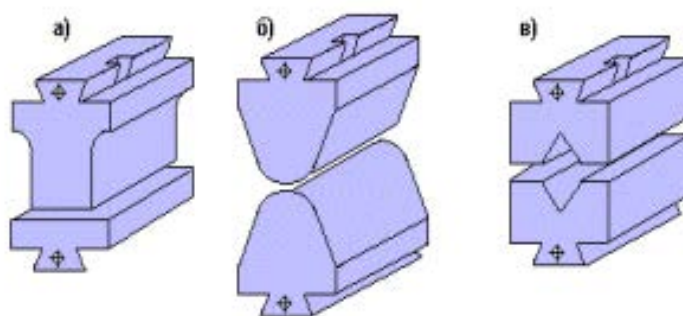


Рисунок 2. Плоские (а) и фигурные (б, в) ковочные бойки

В качестве исходного материала для свободной ковки применяют металлы в виде крупных слитков (рис. 3, а), кованые прутки и сортовой прокат простых поперечных сечений (круглое, квадратное, прямоугольное), прессованные прутки (рис. 3, б). Большие поковки получают из слитков, а поковки средних и маленьких размеров получают из проката и прессованных заготовок.

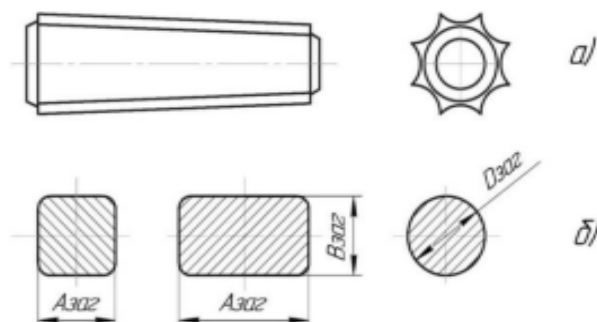


Рисунок 3. Металл, применяемый при ковке в качестве заготовок:
а – слитки; б – сортовой прокат

Ковку применяют для получения поковок упрощенной формы: шатуны, рычаги, крюки, кольца, диски, оси, валы (рис. 4). Ковка – единственный способ получения экзотической продукции (решетки, ворота, калитки и т. п.).

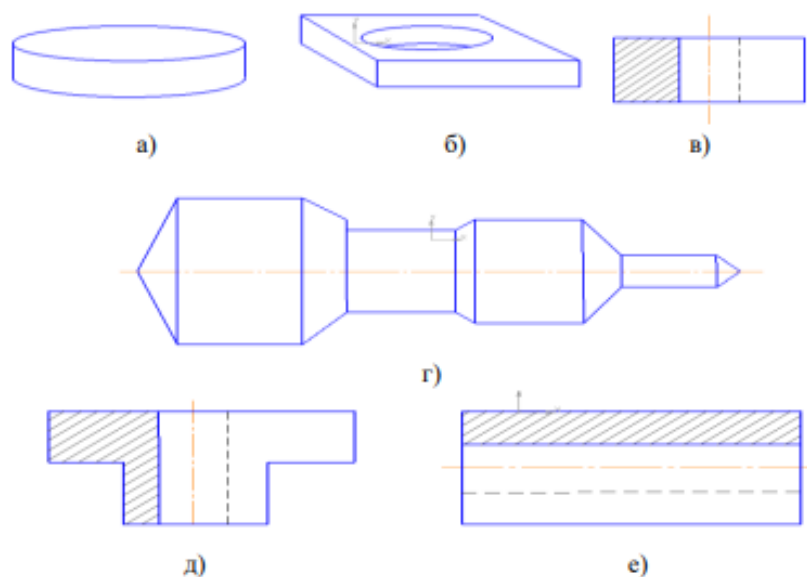


Рисунок 4. Примеры типовых поковок: *а* – диск; *б* – плита с отверстием; *в* – кольцо; *г* – вал; *д* – фланец; *е* – цилиндр с отверстием

Процесс ковки имеет следующие достоинства:

1. Высокое качество металла поковок по сравнению с поковками, полученными методом литья.
2. Возможность получать крупные поковки, масса которых составляет десятки и сотни тонн, а длина – десятки метров. Изготовление таких поковок другими способами невозможно или не целесообразно.
3. Для изготовления поковок используют прессы и молоты сравнительно небольшой мощности, так как поковки куются по частям.
4. Использование универсального оборудования и инструмента позволяет получать поковки заданной формы и размеров с минимальными затратами, что в единичном и мелкосерийном производстве является экономически выгодным.
5. Улучшение структуры, механических свойств и качества металла благодаря турбулентности деформации, разрушающей литую дендритную структуру при обжатиях.

К недостаткам ковки относят:

1. Низкая производительность по сравнению с горячей объемной штамповкой.
2. Большие напуски и припуски на поковках приводят к большому расходу металла и высокой трудоемкости последующей механической обработки резанием.

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОКОВОК

Разработка технологических процессовковки включает следующие основные этапы:

- составление чертежа поковки;
- расчет размеров заготовки;
- разделение исходных материалов на мерные заготовки;
- определение типа оборудования;
- нагрев и охлаждение заготовок;
- выбор температурного интервалаковки.

Составление чертежа поковки

Поковка отличается от готовой детали большими размерами, менее жесткими допусками на размеры, наличием напусков в тех случаях, когда заданную конфигурацию после назначения припусков выполнить на имеющемся ковочном оборудовании и с помощью стандартных инструментов и приспособлений невозможно или экономически не целесообразно.

Припуском δ называется предусмотренное ГОСТ превышение размеров повок по сравнению с номинальными размерами готовой детали, обеспечивающее после обработки резанием требуемые конфигурацию, размеры и качество поверхности.

Допуск $\pm \Delta/2$ – это предельное отклонение действительного размера от номинального, при котором изделие признается годным к эксплуатации.

Напуском называется увеличение припуска (сверх выбранного по ГОСТ) с целью упрощения конфигурации поковки из-за невозможности или нерентабельности ее изготовления по контуру готовой детали.

Для ступенчатых валов различают основной δ и дополнительный δ' припуски. Дополнительный припуск назначается на диаметры всех ступеней поковки, кроме базовой, и служит для компенсации их возможного радиального смещения относительно друг друга (несоосности). В качестве базовой ступени следует принимать ступень с необрабатываемой поверхностью, а при отсутствии таковой – ступень с наибольшим диаметром.

Разработку эскиза поковки рассмотрим на примере ступенчатого вала (рис. 5).

По классификации, представленной в ГОСТ 7062-90, это поковка круглого сечения с уступами. Припуски и допуски следует назначать, используя выдержки из ГОСТа, представленные в таблицах 1 и 2.

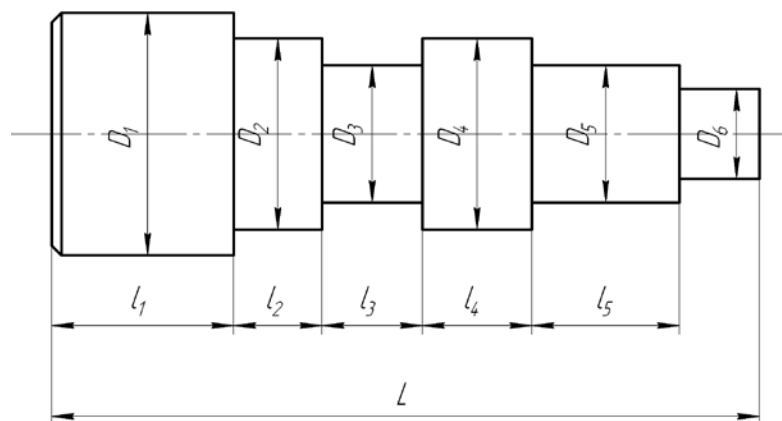


Рисунок 5. Эскиз детали

Таблица 1. Припуски на механическую обработку и предельные отклонения размеров поковок, мм

Длина детали, L , мм	Диаметр детали D (или размер сечения B и H)								
	До 50	50-70	70-90	90-120	120-160	160-200	200-250	250-300	300-360
	Припуск δ на диаметр и предельные отклонения $\pm \frac{\delta}{2}$								
До 250	5±2	6±2	7±2	8±3	9±3	—	—	—	—
250-500	6±2	7±2	8±3	9±3	10±3	11±3	12±4	13±4	14±5
500-800	7±2	8±3	9±3	10±3	11±3	12±4	13±4	14±5	15±5
800-1200	8±3	9±3	10±3	11±3	12±4	13±4	14±5	15±5	16±6
1200-1700	—	10±3	11±3	12±4	13±4	14±5	15±5	16±6	17±6
1700-2300	—	11±3	12±	13±4	14±5	15±5	16±6	17±6	18±6
2300-3000	—	—	13±	14±5	15±5	16±6	17±6	18±6	19±7
3000-4000	—	—	—	15±5	16±6	17±6	18±6	19±7	20±7
4000-5000	—	—	—	16±6	17±6	18±6	19±7	20±7	21±8
5000-6000	—	—	—	—	18±6	19±7	20±7	21±8	22±8

Таблица 2. Дополнительный припуск δ' , мм

Разность диаметров (размеров) наибольшего и рассматриваемого сечений	До 40	40-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	Св. 180
Дополнительный припуск	3	4	5	6	7	8	9	10

Для назначения припусков и допусков (рис. 6) следует составить расчетные выражения.

В приведенном на рисунке 5 эскизе детали диаметры D_2 и D_4 являются равными. Напуск на диаметры D_3 и D_6 необходим, так как он упрощает форму поковки и дает возможность ее отковать из кузнечных слитков.

Поковочные размеры для диаметров D_1 , D_2 и D_5 можно определить, составив расчетные выражения:

$$D'_1 = (D_1 + \delta_1 + \delta'_1) \pm \frac{\Delta_1}{2},$$

$$D'_1 = (D_2 + \delta_2) \pm \frac{\Delta_2}{2},$$

$$D'_3 = (D_3 + \delta_3 + \delta'_3) \pm \frac{\Delta_3}{2}.$$

В качестве основного диаметра в нашем случае выбран диаметр $D_2 = D_4$.

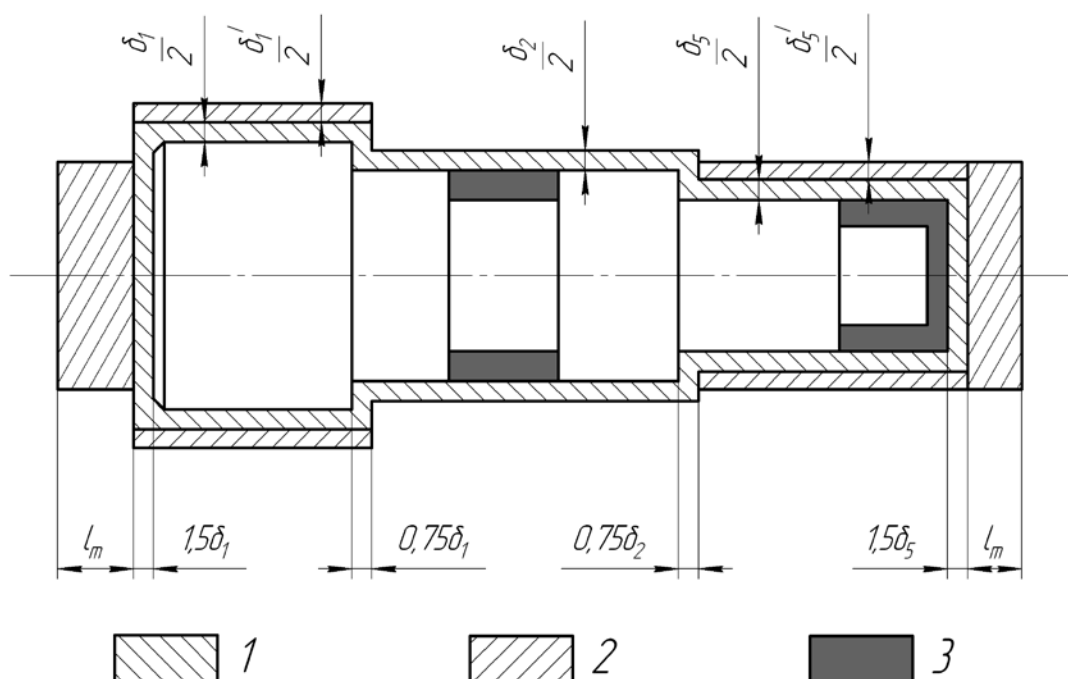


Рисунок 6. Эскиз детали с основными (1), дополнительными (2) припусками и напусками (3)

Припуски и допуски на длины определяются следующим образом. На обрубаемые ступени припуск на длину (на сторону обработки) принимается равным 1,5 припуску на диаметр рассматриваемой ступени. На остальные ступени припуск на длину на сторону обработки принимается равным 0,75 от припуска на рассматриваемый диаметр. Отклонение на длину принимается равным трем отклонениям на диаметр.

Поковочные размеры на длины:

$$l'_1 = l_1 + 2,25\delta_1 \pm \frac{3\Delta_1}{2},$$

$$l'_2 = l_2 + l_3 + l_4 + 0,75\delta_2 - 0,75\delta_1 \pm \frac{3\Delta_2}{2},$$

$$L' = L + 2l_m + 1,5\delta_1 - 1,5\delta_5 \pm \frac{3\Delta_5}{2}.$$

Длина технологических проб l_m и их количество задаются техническими условиями.

Эскиз поковки ступенчатого вала представлен на рисунке 7. На эскизе поковки над размерными линиями указываются размеры готовой поковки с допусками, а под размерной линией в скобках указывают размер готовой детали или детали после предварительной механической обработки.

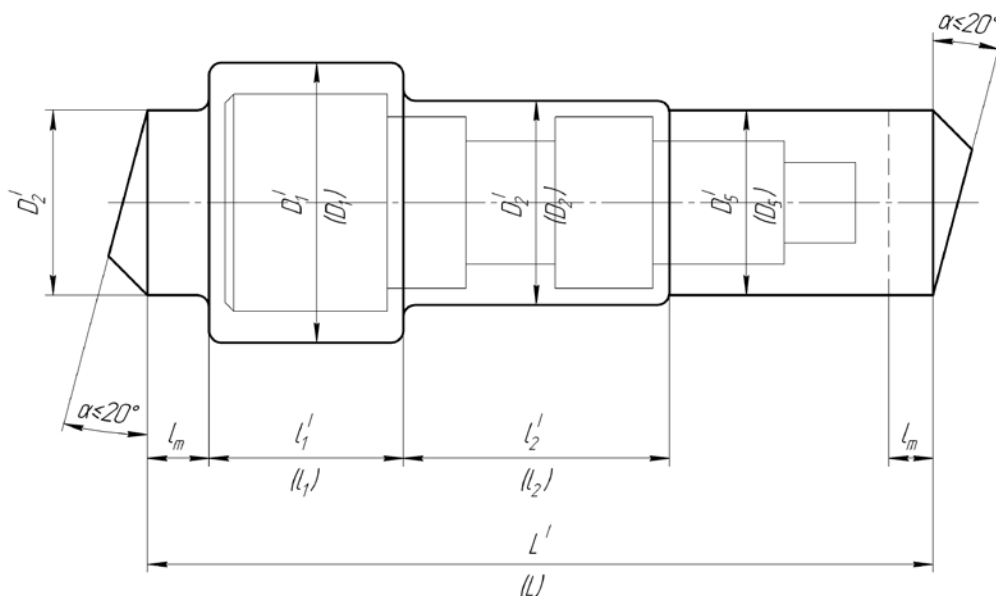


Рисунок 7. Эскиз поковки ступенчатого вала

После разработки эскиза поковки определяется объем и масса поковки.

Объем поковки:

$$V = \sum_{i=1}^n V_i,$$

$$V_i = \frac{\pi}{4} (D'_i)^2 l'_i,$$

где V_i – объем каждой ступени вала; D'_i – диаметр рассматриваемой ступени (поковочный размер); l'_i – длина рассматриваемой ступени (поковочный размер).

Расчетная масса поковки:

$$M_p = V\gamma,$$

где γ – плотность стали.

Окончательная масса поковки (с учетом массы галтелей, скосов, допусков):

$$M_{\text{пок}} = (1,02 \dots 1,03) M_p.$$

Определение массы и размеров исходной заготовки

Исходной заготовкой при ковке средних и крупных поковок на прессах являются кузнечные слитки. Слитки подразделяются по назначению на кузнечные, прокатные и специальные, по конструкции на сплошные и полые,

по конфигурации на укороченные, нормальные и удлиненные, по форме поперечного сечения на круглые, квадратные, прямоугольные, восьмигранные и многогранные (12 граней и более).

У укороченного слитка соотношение высоты тела слитка H к его среднему диаметру D равно $0,8 - 1,2$. У нормальных слитков $H/D = 1,2 - 2,5$. У удлиненных слитков $H/D = 3,3 - 6,6$.

Наибольшее распространение в кузнечно-прессовых цехах получили нормальные и удлиненные слитки с восьмигранным поперечным сечением. Масса таких слитков колеблется от 1,0 до 350 т.

Слиток состоит из трех основных частей. Масса донной части обозначается $M_{\text{дон}}$, масса тела слитка $M_{\text{т}}$, масса прибыльной части $M_{\text{пр}}$. Для нормальных слитков $M_{\text{дон}} = 5 - 7 \%$ и $M_{\text{пр}} = 20 - 25 \%$ от массы всего слитка, для удлиненных слитков $M_{\text{дон}} = 2 - 3 \%$ и $M_{\text{пр}} = 10 - 12 \%$.

Масса слитка, необходимого для изготовления поковки:

$$M_{\text{сл}} = M_{\text{пок}} + M_{\text{уг}} + M_{\text{отх}} + M_{\text{дон}} + M_{\text{пр}},$$

где $M_{\text{уг}}$ – масса металла на угар (окалину) при нагреве; $M_{\text{отх}}$ – масса технологических отходов.

Отход металла на угар при нагреве слитков и заготовок в печах, работающих на жидком и газообразном топливе, составляет примерно 2 % от массы поковки за первый нагрев (вынос) и 1,5 % за каждый последующий нагрев, т. е.

$$M_{\text{уг}} = (0,02 + 0,015m)M_{\text{пок}},$$

где m – число подогревов в соответствии с выбранным технологическим процессом). В электропечах отход металла на угар составляет примерно 1,0 % за каждый вынос.

В технологические отходы входят концевые обрубки (излишки металла, отрубаемые от концевых ступеней поковки), обсеки, получаемые при разрубке заготовок, выдра (металл, удаляемый из заготовки при образовании в ней отверстия) и т. д. Масса технологических отходов зависит от конфигурации и размеров поковки, формы и размеров слитка и других факторов и определяется индивидуально для каждого технологического процесса.

Обычно масса обсечек $M_{\text{об}}$ составляет 0 – 5 %, масса выдры – $M_{\text{в}} = 8 - 12 \%$. При ковке сплошных поволоков масса выдры равна нулю, и в массу отходов входит только масса обсечек, которую определяют по специальным номограммам. Ориентировочно массу обсечек при ковке на прессах можно определить по следующим зависимостям:

- при рубке поволоков круглого сечения диаметром D :

$$M_{\text{об}} = \rho \cdot 0,21D^3,$$

- при рубке поволоков прямоугольного сечения с размерами $B \times H$:

$$M_{\text{об}} = \rho \cdot 0,28B^2H,$$

где ρ – плотность материала слитка.

Зная, что масса тела слитка $M_{\text{т}} \geq M_{\text{пок}} + M_{\text{уг}} + M_{\text{отх}}$, выбираем по таблице 1 или 2 (Приложение) массу исходного слитка.

При выборе кузнечного слитка следует сначала попытаться подобрать удлиненный слиток, так как он имеет меньше отходов в виде прибыльной и донной части, значит, у него больше «выход годного».

В случае, если для изготовления поковки не нашлось подходящего слитка, то необходимо из одного слитка ковать несколько поковок. Для этого количество поковок увеличивают до тех пор, пока не удастся подобрать оптимальный по массе слиток.

Затем определяется разность $M_T - (M_{\text{пок}} + M_{\text{уг}} + M_{\text{отх}})$. Каждая половина этой разности прибавляется к массе донной и прибыльной частей слитка. Делается это для того, чтобы учесть потери металла при отрубке от поковки прибыли и низа слитка. Если эта разность больше 100–150 кг, то получающиеся излишки металла необходимо использовать для изготовления годного остатка, который в дальнейшем может быть применен в качестве исходной заготовки дляковки мелких поковок.

После выбора кузнечного слитка необходима его проверка по величине укова:

$$k = \frac{F_{\text{нач}}}{F_{\text{кон}}} = \frac{D_{\text{ср}}^2}{d^2} > 1,$$

где $F_{\text{нач}}$ – площадь поперечного сечения до протяжки, при ковке из слитка – среднее его сечение; $F_{\text{кон}}$ – площадь поперечного сечения после протяжки; $D_{\text{ср}}$ – средний диаметр тела слитка; d – диаметр поковки.

Величина укова во многом зависит от структурного строения стали: для углеродистых, низко- и среднелегированных конструкционных и инструментальных сталей $k = 2 - 3 \%$ (меньшее значение коэффициента принимают для удлиненных слитков); для высоколегированных и специальных сталей и сплавов $k \geq 3$.

Если получившейся в результате расчета величины k недостаточно, то ее можно увеличить, выбрав больший по сечению слиток или введя в технологический процесс промежуточную дополнительную операцию осадки заготовки.

Для полых заготовок типа втулок, колец и т. п. величина укова не подсчитывается, так как в технологическом процессе их изготовления операция осадки обязательна.

Затем составляется баланс металла кузнечного слитка:

	Масса, кг	Масса, %
Прибыльная часть		
Донная часть		
Угар		
Технологические отходы		

Годный остаток		
Поковка		
Слиток		100

Режим нагрева и охлаждения

Для нагрева слитков и заготовок перед ковкой служат кузнечные мазутные или газовые печи, которые по способу нагрева подразделяются на камерные и методические.

Методические печи имеют переменную по зонам нагрева температуру (две и более зон) и обеспечивают качественный нагрев. Однако такие печи применяются только для нагрева заготовок из проката или мелких кузнечных и прокатных слитков.

Наибольшее распространение в кузнечно-прессовых цехах при изготовлении средних и крупных поковок получили камерные печи со стационарным и подвижным подом. Камерные печи имеют постоянную температуру рабочего пространства, но отличаются значительной неравномерностью ее распределения. Большим недостатком камерных печей (несмотря на простоту их конструкции) являются огромные потери тепла, возникающие при открывании крышки для посадки или выгрузки слитков или заготовок. Особо большие потери тепла происходят при выкатывании подины в печах с выдвижным подом.

График горячей обработки слитка до момента получения заданной по чертежу поковки состоит из нескольких этапов (рис. 8).

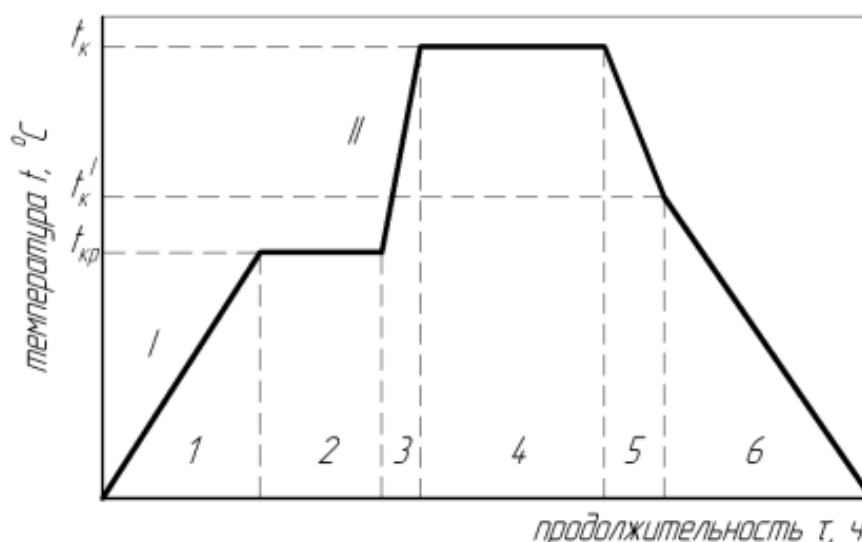


Рисунок 8. График нагрева заготовки и охлаждения поковки:

- 1 — нагрев заготовки до критической температуры; 2 — выдержка;
- 3 — нагрев до температурыковки с максимально возможной скоростью;
- 4 — выдержка; 5 — ковка; 6 — охлаждение поковки

Если поковка куется за несколько нагревов (выносов), то этапы 3, 4 и 5 повторяются на графике соответствующее количество раз.

Если слитки привозят к ковочному прессу нагретыми до температуры 650–700 °С (из сталеплавильного цеха или нагревательных печей предварительного нагрева), этапы 1 и 2 исключаются из графика.

Критическая температура $t_{кр}$ – это температура структурных превращений в стали A_{C_1} .

Ковочная температура t_k – это температура нагрева слитка (или заготовки) перед ковкой. Превышение t_k может привести к перегреву, сопровождающемуся ростом зерен. Это брак, исправляемый термической обработкой. Нагрев до более высокой температуры может привести к окончательному браку, называемому пережогом (оплавление границ зерен).

Температура t'_k – это температура окончанияковки. Ниже этой температуры металл плохо деформируется, так как его пластические характеристики снижаются. Ковка при температуре ниже t'_k сопровождается упрочнением (наклепом) и появлением трещин.

Величины температур t_k и t'_k зависят от химического состава обрабатываемой стали. Температурный интервалковки выбирается по таблице 3.

При нагреве до ковочной температуры особое внимание следует обратить на два основных периода (рис. 8).

I – нагрев до $t_{кр}$, который осуществляется с минимальной скоростью из-за низкой теплопроводности и малой пластичности холодной стали. Большая скорость нагрева может привести к трещинам в теле слитка (внутри заготовки).

II – нагрев до t_k , который производится с максимально возможной для данного нагревательного устройства скоростью.

Общее время нагрева (до t_k) складывается из времени нагрева первого τ_1 и второго τ_2 периодов.

Для углеродистых и низколегированных сталей:

$$\tau_1 = \tau_2 = 5D\sqrt{D},$$

где D – наименьший диаметр или меньшая сторона сечения слитка или заготовки, м.

Для средне- и высоколегированных сталей:

$$\begin{aligned}\tau_1 &= 13,3D\sqrt{D}, \\ \tau_2 &= 6,7D\sqrt{D}, \text{ т. е. } \tau_1 = 2\tau_2.\end{aligned}$$

Продолжительность выдержек при критической и ковочной температурах принимаются в пределах $\tau_1 + \tau_2$ в зависимости от нагреваемой стали. Наличие выдержек при температурах $t_{кр}$ и t_k вызвано необходимостью выравнивания разности температур по сечению слитка или заготовки. Эта разница температур всегда возникает при нагреве стали из-за ее ограниченной теплопроводности. Чем больше сечение нагреваемой заготовки, тем продолжительнее должна быть выдержка.

Таблица 3. Температурные интервалыковки

Марка стали	$A_{C_1}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{к}}, ^\circ\text{C}$	$t'_{\text{к}}, ^\circ\text{C}$
Углеродистые стали			
Ст. 2, 3, 4, 10, 15, 20, 25, 30, 35	730–735	1280	750
40, 45, 50	725–730	1250	780
55, 60	727	1220	800
65, 70, 75	727–730	1200	800
У7А, У8А, У9А, У10А, У12А	727–730	1150	800
Низколегированные стали			
15Х, 20Х, 20Г, 12ХМ, 15ХМ	735	1260	800
35Х, 40Х, 45Х	720–740	1240	800
30Г, 40Г, 50Г, 50Х, 20ХФ, 20ХМА, 30ХМА, 34ХМ, 35ХМ, 40ХМ, 40ХН, 40ХФА, 50ХГ, 60ХГ	735–745	1220	800
65Г, 50С2, 55С2, 60С2, 38ХС, 50ХФ, 50ХН, 60ХН, 75ХМ	735–745	1200	800
Среднелегированные стали			
12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 20ХГС, 38ХЮА, 25Х1М1Ф, 34ХН1М, ЭИ415	715–800	1240	800
12ХН2, 12ХН3, 20ХН3А, 18ХГТ, 25Х2М1Ф, 40ХНМА	715–800	1220	800
30ХГС, 30ХНВ, 35ХГС, 38ХГН	715–800	1200	800
5ХНВ, 5ХНМ, 5ХГМ, 5ХГС, 5ХНТ, 5ХНМ2, 6ХНМ	715–800	1200	800
7Х3, 8Х3, 9Х, 9Х2, 9ХФ, 9ХС	715–800	1180	800
Высоколегированные стали			
20Х3МВФ, 34ХН3М	750–900	1240	800
12Х2Н4А, 18Х2Н4ВА, 1Х13, 2Х13, 3Х13	750–900	1220	850
15Х11МФ, ЭИ268, ЭИ802	750–900	1220	900
35ХН1М2Ф, 35ХН3МФА, 36ХН1МФ, 38ХН3МФА, 38Х2Н3М, 45ХНФА	750–900	1200	800
Х18Н9Т, Х18Н10Т, Х18Н12М2Т, ЭИ572	750–900	1200	950

Важное значение для получения высококачественных поковок имеет правильный выбор режима их охлаждения. Чрезвычайно высокие термические напряжения, возникающие в поковке при неправильном охлаждении, могут привести к появлению трещин.

В зависимости от химического состава стали и размеров сечения, поковки охлаждаются на воздухе, в колодцах, в колодцах с подогревом и в термических печах. Режим охлаждения поковки следует определять по таблице 4.

Определение последовательности кузнечных операций

При разработке последовательности кузнечных операций необходимо определить количество и очередность основных, вспомогательных и отделочных операций, выбрать кузнечный инструмент, необходимый для выполнения операций.

Основные технологические операции (табл. 5) – это операции, связанные с изменением формы и размеров слитка или промежуточной заготовки, с целью получения поковки соответствующей требованиям чертежа. К основным операциям относятся протяжка (вытяжка), осадка, прошивка глухих или сквозных отверстий, рубка, вытяжка на оправке, раскатка на оправке, гибка, разгонка и т. д.

Вспомогательные операции (табл. 6) – это операции, связанные с подготовкой слитка или промежуточной заготовки для выполнения последующих основных операций. К ним относятся заделка цапфы, биллетирование слитка, разметка заготовки, правка, клеймление.

Отделочные операции (табл. 7) – это операции, связанные с получением требуемого по чертежу качества поверхности поковки. Основные отделочные операции: проглаживание, торцовка, обкатка сферы.

Выбор операций определяется конфигурацией и соотношением размеров поковки, величиной укова, техническими условиями на ее изготовление.

Большое значение для успешного выполнения операцийковки имеет конструкция, профиль рабочей части и размеры кузнечного инструмента.

Применяемый в свободной ковке инструмент по назначению может быть объединен в три группы: основной технологический, поддерживающий переносной, мерительный.

Основной технологический инструмент включает технологическую оснастку и подкладной инструмент. В качестве основного технологического инструмента служат верхние и нижние ковочные, правильные, гибочные и разгоночные бойки, осадочные плиты, кольца, оправки и т. д. Подкладным инструментом являются раскатки, угольники, топоры, прошивки, пуансоны и т. п.

Поддерживающий переносной инструмент – клещи, патроны, цепи, кантователи. Мерительный инструмент – линейки, кронциркули, скобы, и т. д., т. е. такой инструмент, с помощью которого контролируются геометрические размеры поковок как в процессековки, так и по ее окончании.

Таблица 4. Режим охлаждения поковок послековки

Марка стали	Диаметр или меньшая сторона сечения поковки, мм						
	До 100	101-200	201-300	301-400	401-500	501-600	Св. 600
Ст.2,3,4							
10, 15, 20, 25							
30, 35							
40, 45							
50, 55, 60							
65, 70, 75							
У7А, У8А							
У9А, У10А, У12А							
15Х, 20Х, 20Г							
12ХМ, 15ХМ, 20ХФ, 20ХМА, 35Х							
40Х, 45Х, 50Х							
30Г, 40Г, 50Г							
30ХМА, 34ХМ, 35ХМ							
38ХС, 40ХМ, 40ХФ, 50ХФ, 50ХГ							
60ХН, 60ХГ, 75ХМ							
65Г, 50С2, 55С2, 60С2							
12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 20ХГС							
25Х1М1Ф, 38ХЮА, 34ХН1М							
12ХН2, 12ХН3							
18ХГТ, 20ХН3А, 30ХН3А							
30ХНВ, 35ХГС, 38ХГН, 40ХНМА							
5ХНВ, 5ХНМ, 5ХНТ, 5ХГМ, 5ХГС, 5ХНМ2, 6ХНМ							
7Х3, 8Х3, 9Х, 9Х2, 9ХФ, 9ХС							
12Х2Н4А, 18Х2Н4ВА, 20Х3МВФ							
1Х13, 2Х13, 3Х13							
15Х11МФ, ЭИ268, ЭИ802							
34ХН3М, 35ХН1М2Ф, 35ХН3МФА, 36ХН1МФ, 38ХН3МФА, 38Х2Н3М, 45ХНФА							
Х18Н9Т, Х18Н10Т, Х18Н12М2Т							
Охлаждение на воздухе							□
Охлаждение в колодце							▨
Охлаждение в термической печи							▩
Поковки не применяются							▧

Таблица 5. Основные кузнечные операции

Наименование операции	Эскиз операции	Применяемый инструмент	Назначение операции
Протяжка (вытяжка) слитка на диаметр D		Бойки: верхний – плоский; нижний – вырезной	Получение ступеней с круглым или прямоугольным сечением за счет уменьшения размеров исходного сечения и увеличения длины
Протяжка (вытяжка) заготовки на размер $A \times B$		Бойки: верхний – плоский; нижний – плоский	
Осадка слитка на кольцо на высоту H или до диаметра D		Осадочная плита; осадочное кольцо	Уменьшение высоты за счет увеличения площади поперечного сечения
Осадка заготовки на высоту h или до диаметра D		Осадочная плита; осадочный стол	Уменьшение высоты за счет увеличения площади поперечного сечения
Прошивка сквозного отверстия диаметром d		Боек верхний плоский, прошивень, осадочное кольцо	Получение сквозного отверстия круглой или прямоугольной формы
Рубка слитка (или заготовки)		Бойки: верхний – плоский; нижний – вырезной (или плоский топор)	Разделение заготовки на части или отделение дефектных частей (прибыль, дно)
Вытяжка заготовки на оправке на диаметр D		Бойки: верхний – плоский, нижний – вырезной, оправка	Увеличение длины заготовки за счет уменьшения ее поперечного сечения
Раскатка заготовки на оправке на диаметр D		Верхний плоский боек, оправка, специальные стойки	Увеличение диаметра полой заготовки за счет уменьшения толщины стенки

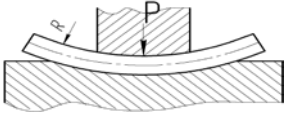
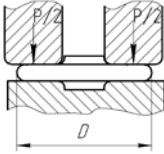
Гибка заготовки на радиус R		Боек верхний – специальный радиусный, нижняя специальная плита	Изгиб заготовки по заданному контуру
Разгонка полотна заготовки на диаметр D		Верхние бойки специальные раздвижные, поворотный стол	Увеличение диаметра заготовки за счет уменьшения ее высоты

Таблица 6. Вспомогательные кузнечные операции

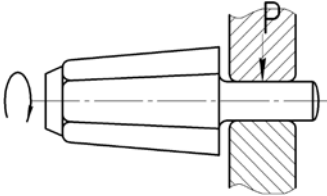
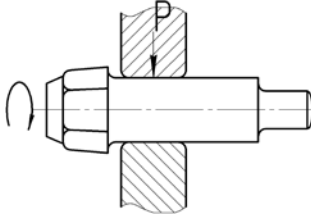
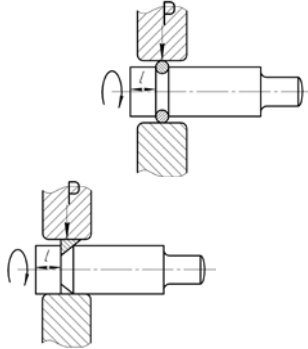
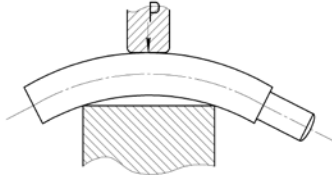
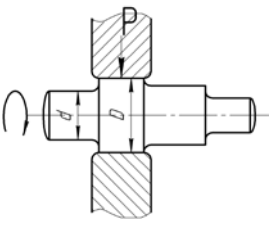
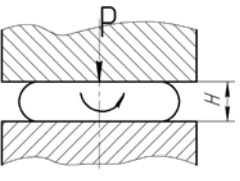
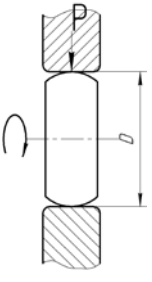
Наименование операции	Эскиз операции	Применяемый инструмент	Назначение операции
Заделка цапфы под патрон или под осадочную плиту		Бойки: верхний – плоский, нижний – вырезной	Для удобства проведения последующей протяжки или осадки
Билетирование слитка		Бойки: верхний – плоский, нижний – вырезной	Скругление граней слитка
Разметка заготовки с круглым или прямоугольным поперечным сечением		Бойки: верхний – плоский, нижний – вырезной (или плоский); раскатка, пережимка	Распределение металла на необходимые объемы и уменьшение утяжки
Правка поковки		Верхний плоский боек, нижняя плоская осадочная плита (или стол)	Устранение кривизны или несоосности ступеней поковки

Таблица 7. Отделочные кузнечные операции

Наименование операции	Эскиз операции	Применяемый инструмент	Назначение операции
Проглаживание (отделка) поковки или отдельных ее частей		Бойки: верхний – плоский, нижний – плоский или вырезной	Получение заданных по чертежу размеров и внешнего вида
Торцовка поковки		Верхний плоский боек; нижняя плоская осадочная плита (или стол)	Получение заданной высоты и внешнего вида торцевых поверхностей
Обкатка поковки по боковой поверхности		Бойки: верхний – плоский, нижний – вырезной или плоский (специальные)	Устранение сферической боковой поверхности (бочкообразности) до получения заданного диаметра

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучите разделы «Теоретические сведения» и «Методика проектирования технологии изготовления поковок» данной работы.
2. Получите индивидуальное задание от преподавателя.
3. Перерисуйте эскиз детали и пронумеруйте обрабатываемые поверхности по примеру рисунка 5.
4. Назначьте по ГОСТ 7062-90 припуски, допуски и напуски.
5. Разработайте структуру технологии изготовления поковок:
 - вычертите эскиз поковки;
 - определите массу поковки;
 - определите массу заготовки (слитка или проката);
 - осуществите выбор типа и размеров кузнечного слитка (если исходной заготовкой является слиток);
 - составьте график нагрева заготовки и охлаждения поковки, произведите расчет продолжительности нагрева, выбор режима охлаждения;
 - определите и изобразите основные, вспомогательные и отделочные операции для получения заданной поковки, последовательность их выполнения.

Работу выполните в последовательности, представленной в разделе «МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОКОВОК».

6. Составьте отчет по работе.

ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- название лабораторной работы;
- цель и задачи работы;
- краткие сведения о производственном и технологическом процессах, составляющих технологического процесса и методике разработки технологии изготовления поковок;
- эскиз детали;
- эскиз поковки с расчетами размеров и массы;
- выбор типа и размеров кузнечного слитка (если исходной заготовкой является слиток);
- график нагрева заготовки и охлаждения поковки, расчет продолжительности нагрева, выбор режима охлаждения;
- изображение основных, вспомогательных и отделочных операций для получения заданной поковки, последовательность их выполнения.

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 8479-90. Поковки из конструкционной углеродистой и легированной стали. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов 1990. – 16 с.
3. Солнцев, Ю. П. Технология конструкционных материалов: учебник для вузов / Ю. П. Солнцев, Б. С. Ермаков, В. Ю. Пирайнен; под редакцией Ю. П. Солнцева. – 5-е изд. – Санкт-Петербург: ХИМИЗДАТ, 2006. – 504 с. – ISBN 078-5-93808-347-0. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/97817.html> (дата обращения: 31.03.2024).
4. Кузнецов, В. А. Технологические процессы автоматизированного производства / В. А. Кузнецов, А. А. Черепяхин и [др.]. – М.: Форум, 2010. – 528 с. – ISBN 978-5-8114-4303-1.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1. Основные параметры обычных кузнечных слитков
(номенклатура НЗЛ)

Шифр изложницы	Масса слитка, кг	Основные размеры слитка, мм						Масса тела слитка		Масса прибыли		Масса низа		Конус- ность тела, %	Конус- ность прибы- ли, %
		d_1	d_2	d_{45}	h	h_1	H	кг	Выход годно- го, %	кг	Выход годно- го, %	кг	Выход годно- го, %		
ПИ-3,5	3750	590	700	645	1060	-	1705	2955	78,8	676	18,0	120	3,2	10,4	20,0
ПИ-4,5	4680	640	760	700	1115	-	1770	3690	78,8	842	18,0	148	3,2	10,4	22,0
ПИ-5,0	5200	660	780	720	1170	-	1795	4110	79,1	936	18,0	164	2,9	10,8	23,0
ПИ-6-7	6000	725	850	787	1170	-	1915	4703	78,4	1080	18,0	217	3,6	10,7	15,0
	7500	725	850	787	1170	264	2225	5933	79,1	1350	18,0	217	2,9	10,7	15,0
ПИ-8-10	8000	815	950	882	1255	-	2050	6270	78,4	1440	18,0	290	3,6	10,7	17,0
	10500	815	950	882	1255	352	2595	8320	79,2	1890	18,0	290	2,8	10,7	17,0
ПИ-12-15	12000	915	1076	995	1480	-	2465	9405	78,4	2160	18,0	435	3,6	10,9	17,0
	15000	915	1076	995	1480	340	3005	11865	79,1	2270	18,0	435	2,9	10,9	17,0
ПИ-16-20	16000	1020	1190	1105	1600	-	2575	12540	78,4	2880	18,0	580	3,6	10,6	18,0
	20000	1020	1190	1105	1600	360	3120	15820	79,1	3600	18,0	580	2,9	10,6	18,0
	21600	1020	1190	1105	1600	510	3345	17100	79,3	3920	18,0	580	2,7	10,6	20,0

Таблица 2. Основные параметры удлиненных кузнечных слитков
(номенклатура НЗЛ)

Шифр изготовитель	Масса слитка, кг	Основные размеры слитка, мм					Масса тела слитка		Масса прибыли		Масса низа		Конус- ность тела, %	Конус- ность прибы- ли, %
		d_1	d_2	$d_{н0}$	h	H	кг	Выход годно- го, %	кг	Выход годно- го, %	кг	Выход годно- го, %		
К-1,16	1160	325	400	362	1200	1560	986	83,5	163	14,0	29	2,5	6,25	6,25
К-1,62	1620	360	445	402	1350	1740	1345	83,6	235	14,0	40	2,4	6,29	6,29
К-2,12	2120	390	484	437	1500	1905	1770	84,0	307	14,0	43	2,0	6,26	6,26
К-2,7	2700	430	530	480	1570	1965	2255	83,5	378	14,0	67	2,5	6,20	6,20
К-3,55	3550	470	580	525	1750	2220	2951	83,6	494	14,0	85	2,4	6,29	6,29
К-4,6	4600	515	635	575	1860	2360	3840	83,5	645	14,0	115	2,5	6,25	6,25
К-5,9	5900	550	690	620	2100	2645	4920	83,4	826	14,0	154	2,6	6,70	6,70
П-7,5	7500	578	760	669	2240	2920	6260	83,5	1050	14,0	190	2,5	8,00	30,0
П-8,75	8750	608	790	699	2400	3120	7300	83,5	1230	14,0	220	2,5	7,50	30,0
П-11,0	11000	678	860	769	2460	3270	9075	82,5	1650	15,0	275	2,5	7,30	31,0