621.97(1)
С 30

Е. И. СЕМЕНОВ

КОВКА И ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА

Допущено
Министерством
высшего
и среднего
специального
образования
СССР
в качестве
учебника
для студентов
вузов,
обучающихся
по специальности
«Машины
и технология
обработки
металлов
давлением»

БИБЛИОТЕКА
Завода ЛТУЗа
ИНВ. №101213

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ВЫСШАЯ ШКОЛА» МОСКВА — 1972

6П4.2
С30
УДК 621.73 (075)

Семенов Е. И.

С30 Ковка и объемная штамповка. Учебник для вузов. М. «Высшая школа», 1972.

352 с. с илл.

В книге рассматривается технология ковки и объемной штамповки металлов и сплавов, а также конструирование штампов. В начале курса излагаются вопросы об исходных материалах и термомеханическом режиме при ковке и штамповке. В разделе свободной ковки приведены основные кузнечные операции и дана разработка технологического процесса с примерами ковки на молотах и прессах; в разделе объемной штамповки — штамповка в открытых и закрытых штампах, штамповка выдавливанием и прошивкой и на горизонтально-ковочных машинах. Кроме этого, рассматриваются процессы получения поковок и заготовок на специализированных машинах, особенности ковки и штамповки высоколегированной стали и сплавов, отделочные операции, контроль поковок и перспективы развития кузнечно-штамповочного производства.

Книга предназначена для студентов вузов, обучающихся по специальности «Машины и технология обработки металлов давлением» и может быть использована инженерами и научными работниками.

3—12—3
БЗ—19/12—72 г.

6П4.2

Рецензенты: кафедры «Машины и технология обработки металлов давлением» и «Технология металлов» Челябинского политехнического института и докт. техн. наук *М. В. Сторожев.*

Евгений Иванович Семенов

КОВКА
И ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА

Редактор *Н. Н. Ещенко.* Художник *Ю. И. Асафов.* Художественный редактор *Н. К. Гуторов.* Технический редактор *З. В. Нуждина.* Корректор *М. И. Козлова*

Т-07596. Сдано в набор 17/XII-71 г. Подп. к печати 31/V-72 г. Формат 60×90¹/₁₆. Объем 22 печ. л. Уч.-изд. л. 22,81. Изд. № ОТ—128/69. Тираж 16 000 экз. Зак. 97. Цена 1 р. 04 к. БЗ—19/12 от 22/III-72 г.

Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14
Издательство «Высшая школа»

Ордена Трудового Красного Знамени Ленинградская типография № 1 «Печатный Двор» им. А. М. Горького Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР, г. Ленинград, Гатчинская ул., 26.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Накопленный опыт по технологии ковки и объемной штамповки настолько велик, что изложение всех или большинства существующих типовых процессов в одной книге практически невозможно. Здесь излагаются лишь основные принципиальные вопросы технологии и конструирования инструмента при свободной ковке и горячей объемной штамповке.

Книга составлена по программе одноименного курса для машиностроительных и политехнических вузов по специальности «Машины и технология обработки металлов давлением».

В главе I рассматриваются исходные материалы и их разделка на заготовки, в главе II — термомеханический режим ковки и объемной штамповки. Главы III и IV посвящены основным операциям и разработке технологического процесса свободной ковки, глава V — штамповке в подкладных и секционных штампах. В главах VI—XI изложены вопросы объемной штамповки, а в главе XII — специализированные процессы получения поковок и заготовок. В главе XIII рассматриваются отделочные операции, которые выполняются после объемной штамповки. Глава XIV касается особенностей ковки и штамповки высоколегированных сталей и сплавов. Глава XV посвящена вопросам контроля и глава XVI — путям развития свободной ковки и горячей объемной штамповки.

Изложение раздела свободной ковки дается по операциям в связи с особенностями применяемых машин. Объемная штамповка дается с подразделением штамповочных процессов по их принципиальной сущности, что методически более целесообразно и позволяет избежать повторений. Материал соответствующих разделов книги подкреплен примерами ковки и штамповки. Автор стремился избегать справочных данных. Вместе с тем в книге приведены ссылки на наиболее перспективные процессы и штампы, которые ввиду ограниченного объема книги не могли быть в нее включены.

Автор приносит глубокую благодарность докт. техн. наук М. В. Сторожеву, докт. техн. наук, проф. О. А. Ганаго и канд. техн. наук, доц. А. И. Сконечному за ценные указания, сделанные при рецензировании рукописи, и коллективу кафедры «Машины и автоматизация обработки давлением» МВТУ им. Баумана за большую помощь при подготовке книги.

Пожелания по улучшению книги направлять в адрес издательства: Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14.

ВВЕДЕНИЕ

Свободная ковка и объемная горячая штамповка являются видами обработки металлов давлением. К обработке металлов давлением относятся также листовая штамповка, прокатка, прессование и волочение, которые в данном курсе не рассматриваются.

Свободную ковку и объемную горячую штамповку производят в кузнечных и кузнечно-штамповочных цехах машиностроительных заводов, а также на специализированных кузнечно-штамповочных заводах.

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

Свободной ковкой и горячей объемной штамповкой перерабатывают 7 ÷ 8% выплавляемой в стране стали [20].

Детали, полученные ковкой или штамповкой, отличаются высокими прочностью и ударной вязкостью, поэтому ответственные детали машин делают коваными или штампованными.

Объемная штамповка отличается высокой производительностью, ее применяют при массовом и крупносерийном производстве. В связи с тенденцией к увеличению серийности в машиностроении и быстрым ростом выплавки стали в СССР, объемная штамповка в будущем получит еще большее развитие.

В Директивах XXIV съезда КПСС предусматривается в 1971 — 1975 гг. значительно повысить удельный вес обработки металлов давлением, широко применять в промышленности объемную штамповку.

Вместе с тем увеличивается выпуск уникальных машин с крупными высоконагруженными деталями, для получения которых ввиду единичного изготовления или малой серийности применяют свободную ковку. По сравнению с объемной штамповкой процент поковок, изготавливаемых свободной ковкой, снижается, но общая масса поковок, изготавливаемых свободной ковкой, в ближайшее время будет расти.

Основная цель свободной ковки и объемной штамповки, так же как и других разновидностей обработки металлов давлением — изменение формы заготовки, максимальное приближение заготовки к форме готовой детали.

Как известно, формоизменение обусловлено п л а с т и ч н о с т ь ю, т. е. способностью металлов к пластической деформации. Пластическая деформация происходит вследствие внутри- и межкристаллических сдвигов, из которых основными являются внутрикристаллические сдвиги. Внутрикристаллические сдвиги образуются внутри отдельных кристаллитов, из которых состоит металл. Они развиваются в тех плоскостях, в которых имеются бо́льшие нарушения кристаллической решетки, так называемые дислокации.

Начало образования межкристаллических сдвигов обычно означает начало разрушения, так как межкристаллическое вещество является более хрупким.

Пластической деформации всегда сопутствует упругая деформация. Пластическая деформация происходит при постоянном объеме. Объем тела до пластической деформации и после нее практически остается постоянным. Увеличение плотности металла, вследствие заварки внутренних пор, чрезвычайно мало и в технологических расчетах не учитывается. Пластичность не является неизменным, наперед заданным свойством. Металл получает различную пластическую деформацию при различных условиях. Пластичность зависит от химического состава металла (количества примесей), температуры и скорости деформирования и схемы воздействия внешних сил. Создавая соответствующие условия, получают требуемую пластичность.

Наряду с высокой пластичностью при обработке давлением стремятся получить возможно меньшее сопротивление деформированию. Поэтому во многих случаях представляет интерес получение не максимальной пластичности, а максимальной к о в к о с т и, в понятие которой входят как пластичность, так и сопротивление деформированию. Ковкость улучшается с повышением пластичности и уменьшением сопротивления деформированию. Хорошая ковкость облегчает качественное проведение обработки давлением [11]. Для увеличения ковкости, повышения пластичности и снижения сопротивления деформированию производят нагрев металла.

В зависимости от температуры и скорости деформации различают горячую и холодную деформацию.

Горячая деформация происходит при полном разупрочнении, т. е. когда полностью успевают пройти явления возврата и рекристаллизации. Возврат — это снятие остаточных напряжений, а рекристаллизация — превращение деформированных вытянутых зерен в недеформированные равноосные, выросшие из новых центров кристаллизации.

Холодная деформация происходит с упрочнением (наклепом). Зерна металла вытягиваются, появляются дополнительные искажения кристаллической решетки, повышаются прочностные характеристики металла при снижении характеристик пластичности. При этом явлений возврата и рекристаллизации не происходит.

Горячая деформация осуществляется при свободной ковке и горячей объемной штамповке, холодная — при холодной штамповке. В специальных случаях применяется полухолодная или полугорячая деформация.

ГЛАВА I

ИСХОДНЫЙ МАТЕРИАЛ И ЕГО РАЗДЕЛКА ПЕРЕД КОВКОЙ ИЛИ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКОЙ

§ 1. ИСХОДНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ КОВКИ ИЛИ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

Сталь и другие деформируемые материалы. Для ковки и объемной штамповки применяют различные деформируемые металлы и сплавы, такие, как углеродистые и легированные стали, высоколегированные стали, жаропрочные сплавы, алюминий и его сплавы, магний и сплавы на его основе, медь и медные сплавы, титан и его сплавы, а также молибден, вольфрам, ниобий и др.

Деформируемые металлы и сплавы характеризуются относительно высокими пластическими свойствами, которые определяются относительным поперечным сужением, остаточным удлинением при разрыве и ударной вязкостью в интервале ковочных температур.

Для ковки и объемной горячей штамповки применяют в основном сталь. В зависимости от химического состава сталь бывает углеродистая и легированная; от назначения — конструкционная и инструментальная; от способа получения — мартеновская, бессемеровская, томасовская; от способа раскисления — спокойная, полуспокойная, кипящая.

Углеродистые стали содержат примеси: марганец от 0,25 до 0,80%, кремний до 0,35%, серу до 0,07%, фосфор не более 0,09%. К числу легирующих элементов относят кремний при содержании более 0,35%, никель, кобальт, марганец, хром, вольфрам, молибден, ванадий, титан и др.

Углеродистые стали в зависимости от содержания углерода подразделяют на низкоуглеродистые (до 0,25% С), среднеуглеродистые (0,25—0,60% С) и высокоуглеродистые (свыше 0,60% С). Низко- и среднеуглеродистые стали являются конструкционными сталями, а высокоуглеродистые — инструментальными.

Углеродистые стали обыкновенного качества поставляют по механическим свойствам или по химическому составу. Марки сталей, поставляемых по механическим свойствам, — Ст. 0, Ст. 1, Ст. 1 кп, Ст. 2, Ст. 4 кп и т. д. Марки сталей, поставляемых по химическому составу: мартеновских — МСт. 0, МСт. 1кп, МСт. 2кп и т. д.; бессемеровских— БСт. 0, БСт. 3кп, БСт. 3 и т. д. Марки углеродистых качественных конструкционных сталей — Ст. 10, Ст. 15, Ст. 20 и т. д.

Кипящей сталью называют неполностью раскисленную сталь, застывающую в изложницах с видимым выделением газов. Газовые

пузыри компенсируют уменьшение объема металла при затвердевании. Поэтому слиток кипящей стали не имеет сосредоточенной усадочной раковины. В настоящее время кипящую сталь изготовляют с содержанием углерода до 0,27%, а в отдельных случаях до 0,45%. Кипящую сталь применяют для прокатки и в редких случаях для ковки.

Спокойная сталь после раскисления содержит минимальное количество растворенного кислорода, исключающее возможность его взаимодействия с углеродом металла во время разливки и кристаллизации. Спокойную сталь выплавляют в основных и кислых мартеновских печах. Она может быть углеродистой и легированной. Легированная сталь подразделяется на низколегированную — до 2,5% легирующих компонентов, среднелегированную — до 10,0% и высоколегированную — свыше 10,0%. Недостаток этой стали — меньший выход годного из-за увеличенной прибыльной части.

Полуспокойная сталь по степени раскисленности занимает промежуточное положение между спокойной и кипящей сталью. При кристаллизации полуспокойной стали выделяется небольшое количество окиси углерода, достаточное для устранения развитой усадочной раковины. Отсутствие энергичного кипения металла в изложницах уменьшает сегрегацию вредных примесей в слитке. Полуспокойные стали для ковки применяют редко.

Низко- и среднеуглеродистые и низко- и среднелегированные стали не обнаруживают хрупкого состояния в широком интервале температур при осадке со степенью деформации 80%, т. е. они обладают большим запасом пластичности и относятся к высокопластичным металлическим материалам.

Стали высокоуглеродистые и высоколегированные допускают однократную деформацию при осадке примерно до 60%, их относят к материалам средней пластичности.

Пластичность стали зависит не только от содержания углерода или легирующих элементов, но и от металлургической природы металла, которая определяется макроструктурой, степенью химической неоднородности (ликвацией), количеством и формой неметаллических включений и окисных пленок, газонасыщенностью литого металла. Так, чем больше протяженность и величина дендритов в слитке, тем меньше пластичность литого металла и тем больше в деформированном металле образуется грубоволокнистой структуры. Улучшения структуры и металлургической природы слитка можно достигнуть повышением скорости охлаждения слитка, понижением температуры разливаемой стали, применением вибрирующих изложниц (до ультразвуковых колебаний) и другими технологическими мероприятиями.

При наличии химической неоднородности пластичность стали понижается вследствие образования легкоплавких эвтектик на границах зерен, в результате чего ослабляются межкристаллитные связи, а также понижается пластичность самих кристаллитов. Для уменьшения химической неоднородности литого металла необходимо применять наиболее чистые исходные шихтовые материалы, меньшую массу слитка, если возможно, гомогенизацию слитков.

Количество и форма распределения неметаллических включений и газонасыщенность литого металла могут вызывать хрупкое состояние сталей в процессе горячей обработки давлением, если эти включения и газовые поры достигают больших размеров и располагаются цепочкой по границам зерен.

Для значительного повышения качества слитка путем уменьшения неметаллических включений и газонасыщенности стали применяют вакуумирование слитков. В этом случае отливку слитков производят в камерах, из которых откачивают воздух. Давление воздуха в камере к началу заливки стали в изложницу составляет 2 ÷ 3 *мм рт. ст.* Этот способ применяют для получения слитков из легированной стали массой до 120 *т* (*Мг*) [102].

Для получения высококачественных поковок из высоколегированных сталей и сплавов применяют электрошлаковый переплав для слитков массой до 10 *т* (*Мг*). Такие слитки имеют высокую плотность и низкое содержание неметаллических включений и газов. Однако электрошлаковый переплав является дорогостоящим процессом [102].

Кроме различных сталей, для ковки и горячей объемной штамповки применяют жаропрочные сплавы, основными составляющими элементами которых являются железо, хром, никель, вольфрам, молибден, ниобий, ванадий и др.

Для объемной штамповки и свободной ковки широко применяют также алюминиевые и магниевые сплавы.

К алюминиевым сплавам относят пластичные сплавы — АМц, АМг и АВ; сплавы средней пластичности — Д1, Д6, Д16, АК6, АК5; сплавы низкой пластичности — АК8, В95, В96.

К магниевым сплавам относят сплавы МА1, МА2, МА3, МА5, ВМ65-1.

Для объемной штамповки применяют также медные сплавы — латуни и бронзы, такие как Л62, Л59, ЛН65-5, ЛЖМц 59-1-1, БрАМц-9-2, БрАЖ-9-4, БрАЖМц10-3-1,5 и др.

К титановым деформируемым сплавам следует отнести сплавы ВТ1, ВТ3, ВТ3-1, ВТ4 и др.

Цветные металлы и сплавы поставляют для свободной ковки и объемной штамповки в виде прессованных или катаных прутков и слитков [99].

Стальные заготовки для ковки и объемной штамповки. Исходными стальными заготовками для ковки и объемной штамповки являются слитки, обжатые болванки (блюмсы) и сортовой прокат.

Слиток является заготовкой для крупных кованых поковок, масса которых исчисляется в тоннах, а минимальная площадь наибольшего поперечного сечения превышает 1200 *см*² ($\Phi > 390$ *мм*, сторона квадрата > 350 *мм*).

Слитки редко применяют для объемной штамповки.

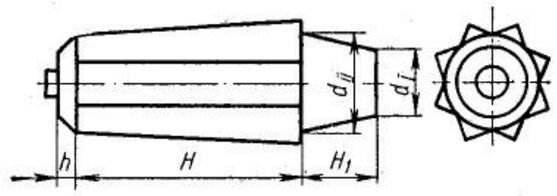
В зависимости от габаритов и конструкции изделий слитки из конструкционной стали можно изготавливать массой от 1200 *кг* до 350 *т* (*Мг*). Слитки из легированной стали отливают меньшей массой. Форма слитков обычно представляет собой усеченную пирамиду с отношением длины к среднему поперечному размеру от 2 до 3.

Поперечное сечение бывает квадратным, многоугольным (6,8,12-угольное) и круглым.

Слитки, предназначенные для ковки, отливают широким концом кверху, чтобы усадочная раковина располагалась в «прибыли» (рис. 1). Снизу слитка имеется донная часть — поддон. Между донной и прибыльной частями находится корпус слитка, который представляет собой металл, пригодный для изготовления поковок.

Таблица 1

Нормаль НКМЗ им. В. И. Ленина



Масса, *кг*				Размеры, *мм*				
слитка	корпуса слитка	поддона	прибыли	*H*	*h*	H_1	d_I	d_{II}
3 000	2 350	130	520	1280	130	435	454	548
5 000	3 870	200	930	1450	170	490	554	655
7 000	5 470	220	1310	1670	170	530	530	740
9 700	7 400	250	2050	1710	170	640	725	858
11 200	8 700	400	2100	1920	190	640	726	858
13 300	10 400	450	2450	2080	190	680	764	904
15 900	12 400	500	3000	2200	190	710	822	968
19 500	15 100	700	3700	2375	240	765	872	1028
23 150	18 100	700	4350	2470	240	780	942	1102
27 600	21 600	800	5200	2635	240	815	1006	1172
31 750	24 700	1050	6000	2750	270	850	1054	1226
35 950	28 400	1150	6400	2775	270	885	1106	1295
42 150	33 200	1200	7750	3040	270	915	1174	1360
52 450	40 900	1950	9600	3210	340	965	1270	1466
62 850	49 400	2150	11 300	3430	340	1020	1352	1560
79 190	60 400	2300	13 490	3675	340	1070	1445	1644
87 600	68 200	3150	16 250	3720	390	1080	1548	1785
119 400	94 300	3500	21 600	4155	390	1220	1712	1958
145 000	113 700	4700	26 600	4440	475	1300	1812	2074
170 600	134 800	5000	30 800	4700	475	1355	1926	2200

По нормали Ново-Краматорского машиностроительного завода им. Ленина на стальные слитки (табл. 1) масса прибыли составляет 18 — 20%, а масса поддона 3 — 5%. Для легированной стали отход на прибыльную и донную части значительно больше и составляет соответственно примерно 30% и 5—8%.

Кроме указанных слитков, в промышленности применяют удлиненные, полые, малоприбыльные слитки, слитки с повышенной конусностью, укороченные с двойной конусностью, трехконусные и др. [42, 102].

По сечению и длине слитки обладают неоднородностью механических характеристик. Это является следствием неоднородности макростроения (см. рис. I, *б*) и химической неоднородности слитка, в частности, неравномерного распределения углерода.

В слитках может быть значительное количество дефектов: усадочная рыхлость, плены, ликвационная зона, трещины, поясные трещины, газовые пузыри и неметаллические включения.

Обжатая болванка (блюмы) (рис. 2, *а*) является заготовкой для средних кованых поковок, площадь наибольшего поперечного сечения которых находится в пределах от 130 до 1200 *см*², или диаметр от 130 до 400 *мм*. Обжатую болванку применяют также для крупных штампованных поковок. Как

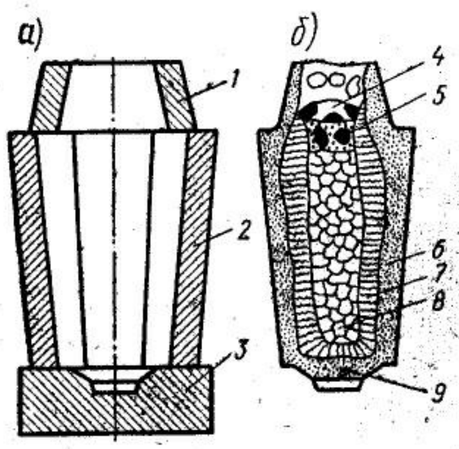


Рис. 1. Изложница (*а*) и строение слитка (*б*):

1 — надставка, *2* — корпус изложницы, *3* — поддон, *4* — усадочная раковина, *5* — усадочная рыхлость, *6* — поверхностный мелкокристаллический слой слитка, *7* — слой столбчатых дендритов, *8* — зона разноосных дендритов, *9* — донная часть слитка

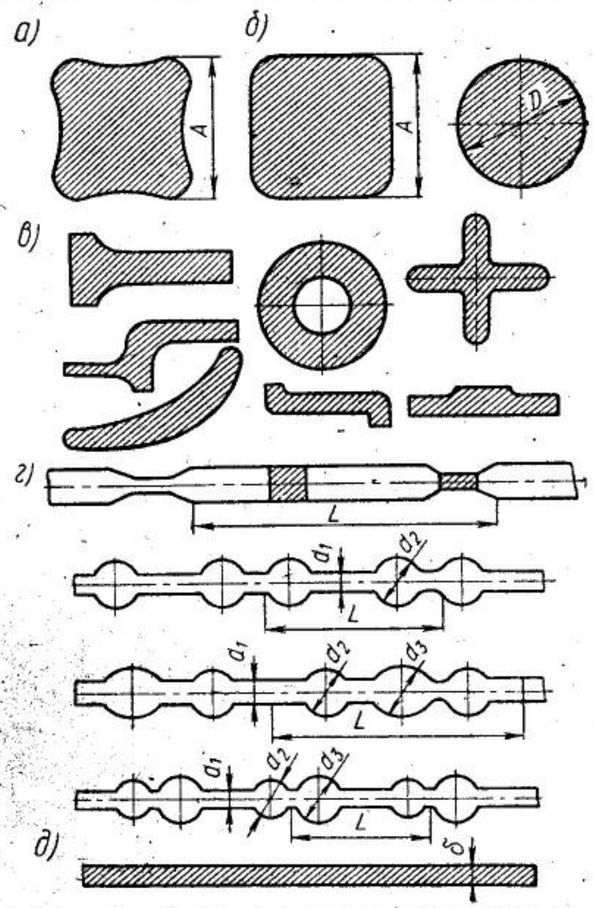


Рис. 2. Катаный металл, применяемый для ковки и штамповки [72]:

A — сторона квадрата, *D* — диаметр заготовки, *L* — длина периода заготовки, *δ* — толщина полосы

видно из рисунка, сечение болванки квадратное с вогнутыми сторонами и закругленными углами. Размеры *A* колеблются от 140 до 450 *мм* (ГОСТ 4692—57), а длина болванки от 1 до 6 *м*.

Сортовой прокат (рис. 2, *б*) является заготовкой для подавляющего большинства штампованных поковок. Сортовой прокат применяют также при изготовлении мелких кованых поковок, площадь наибольшего поперечного сечения которых лежит в пределах от 20 до 130 *см*². Поперечное сечение круглое или квадратное. Круглое

сечение имеет диаметр от 5 до 250 *мм* (ГОСТ 2590—57*), квадратное — от 5 до 250 *мм* (ГОСТ 2591—57*). Квадратное сечение по ГОСТ 2591—57* со стороной квадрата до 100 *мм* делают без закруглений на углах, а свыше 100 *мм* с закруглениями, равными 0,15 от стороны квадрата. Прокат квадратного сечения с размерами от 40 до 250 *мм* с закруглениями по углам регламентируется ГОСТ 4693—57*, по которому устанавливаются менее жесткие допуски, чем по ГОСТ 2591—57*.

Длина сортового проката от 2 до 6 *м*.

Кроме обжатой болванки и сортового проката, для объемной штамповки используют профильный прокат (рис. 2, *в*), прокат периодического профиля (рис. 2, *г*) и полосовую заготовку (рис. 2, *д*) (ГОСТ 103—57*).

§ 2. РАЗДЕЛКА ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ЗАГОТОВКИ



Зачистка и правка исходного материала. На поверхности слитков и проката бывают различные местные дефекты (плены, трещины и т. п.). Кроме этого, прокат может быть изогнутым. Перед разделкой металла местные дефекты удаляют, а изогнутый прокат правят. Дефекты удаляют вырубкой пневматическим зубилом, зачисткой абразивным кругом, огневой зачисткой (выплавкой сварочным электродом) в холодном (углеродистые стали) или подогретом (инструментальные стали) состоянии. При удалении дефектов со слитков наиболее дешевой является огневая зачистка без подогрева. При большом количестве дефектов производят сплошную зачистку всей поверхности металла на обдирочных, строгальных или фрезерных станках.

Правку проката перед разделкой на заготовки производят на кривошипных или гидравлических прессах.

Виды разделки исходного материала на заготовки. Слитки и прокат подготавливают к ковке или штамповке по-разному. Слитки разделывают в процессе самой ковки, когда специальным инструментом (топорами) отрубают донную и прибыльную части. Эти операции рассмотрены в главе III. Слитки из инструментальной и высоколегированной сталей разрезают на пилах. Процесс резки на пилах рассмотрен ниже.

Катаный металл разделывают на заготовки следующими основными способами: резкой на пресс-ножницах и кривошипных прессах; резкой пилами и абразивами; ломкой в хладноломах; газовой резкой.

Существуют также разделки прутков: рубкой на молотах свободной ковки, резкой электросваркой (оплавлением) [62] и электроискровой резкой. Следует указать на новый способ безотходной разделки прутков на заготовки — рубку на установках взрывного действия.

Резка на пресс-ножницах и кривошипных прессах. Резка на пресс-ножницах является основным способом разделки прутков из стали. Пресс-ножницы представляют собой эксцентриковые прессы различной конструкции, на которых режут прутки диаметром от 15 до 300 *мм*

и более. На кривошипных прессах производят резку проката диаметром меньше 40 *мм*.

Схема резки показана на рис. 3. Два ножа *2* и *5* закреплены в гнездах ползуна и станины ножниц. По упору *3* устанавливают длину заготовки *4*, а прижим *1* прижимает пруток к нижнему ножу.

Возникающая пара сил вначале поворачивает пруток на угол $\varphi_з$ от первоначального положения, несмотря на наличие прижима. Отрезаемая часть прутка в процессе резки поворачивается больше, чем остальной пруток, и к моменту окончания резки имеет угол $\varphi_п$ (рис. 4).

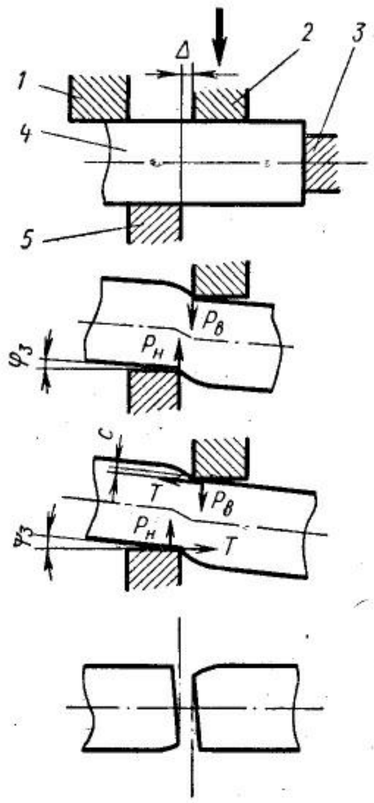


Рис. 3. Схема резки прутка на пресс-ножницах

Повороту прутка препятствует сила прижима Q, поэтому угол $\varphi_з$ невелик. Силы $P_в$ и $P_н$ являются равнодействующими неравномерных напряжений смятия, действующих по торцам ножей.

Кромки ножей сминают металл и срезают его на глубину C, причем образуется блестящий поясок, перпендикулярно которому действует пара сил T. Врезание ножей сопровождается утяжкой соседних участков металла.

На левую часть прутка действует сила $P_н$ и сила прижима Q, которые препятствуют повороту этой части прутка, в то время как на правую часть действует сила $P_в$, поворачивающая отрезаемый конец на угол $\varphi_п$. Поэтому $\varphi_п > \varphi_з$. Эти углы характеризуют бо́льшее смятие металла нижним ножом, чем верхним. С учетом силы Q и массы прутка силы, действующие со стороны верхнего и нижнего ножей, неодинаковы и $P_н > P_в$.

В последний момент среза, ввиду большой концентрации напряжений, от кромок ножей образуются идущие навстречу друг другу трещины, происходит скалывание, и заготовка отделяется от прутка. Трещины сходятся в одну только при определенном оптимальном зазоре между ножами Δ.

При зазоре, меньшем оптимального, трещины заходят друг за друга и образуется новая трещина, соединяющая концы предыдущих, а на поверхности скола образуются так называемые козырьки, которые при дальнейшей штамповке или ковке могут дать зажимы на поверхности поковки. Большой зазор Δ приводит к большой утяжке и заусенцам. То же происходит при затуплении ножей. Практически рекомендуется делать зазор Δ в пределах 2 ÷ 4% от толщины (диаметра) разрезаемого прутка. Фактический зазор в момент среза будет больше, так как ножи распираются силами $T = (0{,}1 \div 0{,}35)\ P_в$.

Для уменьшения косины среза надо увеличить силу прижима или режущие кромки ножей выполнить под углом не 90, а 84°. В последнем случае угол $\varphi_п$ при резке уменьшается вследствие большего смятия заготовки. Поэтому торцы заготовки получаются перпендикулярными к ее оси. При правильной резке максимальная толщина зоны смятия (см. рис. 4) не должна превышать $(0{,}15 \div 0{,}2)\ D$.

Большое значение при резке имеет правильная конструкция ножей. Ножи конструируют следующим образом.

Габаритные размеры ножей устанавливают соответственно размерам ножевого пространства пресс-ножниц или штампа. Ширина

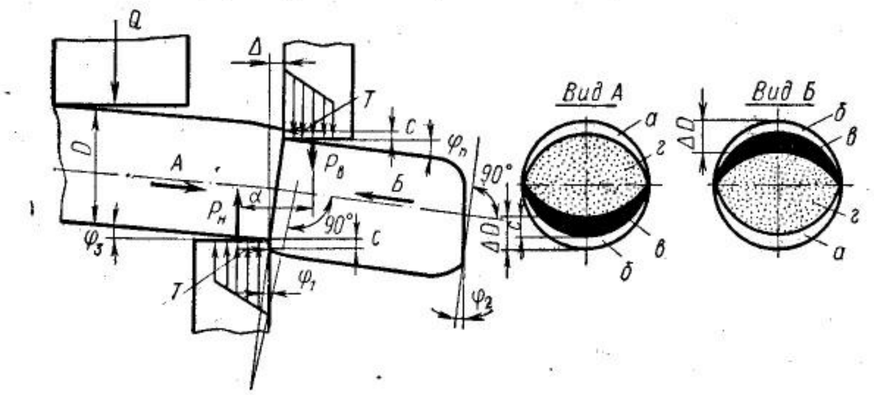


Рис. 4. Окончание процесса резки прутка и торцы среза:
а — зона смятия металла (проекция на диаметральное сечение); *б* — зона утяжки металла; *в* — зона внедрения ножей и среза металла на высоту *C* (блестящий поясок); *г* — зона скола металла от развивающихся трещин

ножей b (рис. 5, *а*, *б*) определяется их конструкцией. Если ножи устанавливают на расстоянии Δ (соответственно z на рис. 5, *а*) один от другого, то

$$b = \frac{E - \Delta}{2},$$

где E — расстояние между плоскостями крепления ножей.

Если ножи скользят один по другому, то они имеют размер $b = \frac{E}{2}$, а для зазора Δ на ножах делают выточки $\frac{\Delta}{2}\left(\frac{z}{2}\right)$. При этом автоматически устанавливается зазор Δ и обеспечивается параллельность движения ножей. Толщина ножей практически равна $(0{,}4 \div 0{,}5)\ D$.

Высота ножей определяется расстоянием между опорными плитами в момент раскрытия ножей и необходимой величиной перекрытия C (рис. 5, *в*), которая предохраняет ножи от соударения в случае неправильной наладки или ослабления крепления ножей ($C = 20 \div 40$ *мм*). Длина ножей l определяется размером гнезда машины.

По габаритам ножей и величине хода ножниц вычерчивают ножи в положении полного раскрытия (H_{max}) и отмечают нижнее положение верхнего ножа (H_{min}). Далее определяют радиус рабочей выемки R (для круглых прутков) (рис. 5, *в*).

Радиус R должен обеспечить свободное расположение прутка диаметром D в рабочей выемке ножа, тогда

$$R = \frac{D + Д}{2},$$

где $Д$ — верхнее отклонение допуска на прокатку прутка. Иногда этот размер увеличивают на 2% для более свободного ввода прутка в рабочую выемку. Рабочие выемки в верхнем и нижнем ножах располагаются на расстоянии $h_д$ по осевым кромкам и образуют овальное

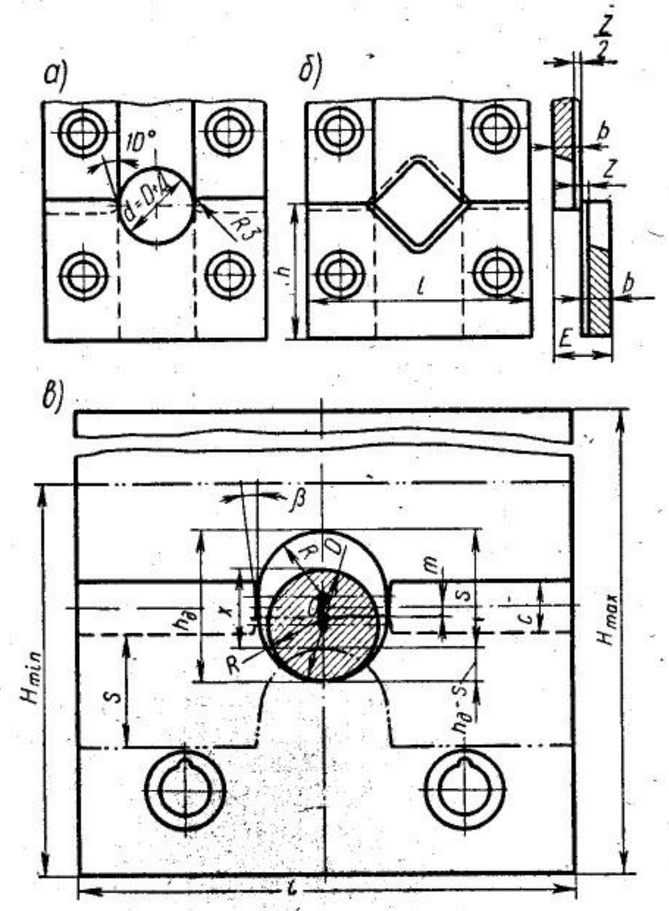


Рис. 5. Ножи для круглых (*а*) и квадратных (*б*) прутков; схема к расчету размеров ручья ножа для резки круглых прутков (по В. Л. Раскинду) (*в*)

отверстие. Расстояние между центрами выемок ножей определяют по формуле

$$2m = 2\,(0{,}05 \div 0{,}2)\,R.$$

От центра системы O откладывают вверх и вниз отрезки и проводят радиусы R, которые к торцам ножей переходят в прямые линии с уклоном $\beta = 8 \div 12°$. Полезная часть рабочего хода верхнего ножа

$$x = D - (h_д - S),$$

где S — полный ход ножа.

Для гарантии резки и проталкивания отрезанной заготовки в тару величина x должна удовлетворять неравенству

$$x \geqslant (0{,}8 \div 0{,}9)\,D.$$

Конструирование других форм рабочих выемок и различные конструкции ножей указаны в справочнике [103].

Резку стальных прутков из низкоуглеродистой или низколегированной стали при $\sigma_в < 60$ *кГ/мм²* (600 *Мн/м²*) и диаметре меньше 150 *мм* производят в холодном состоянии. Среднеуглеродистые и легированные стали перед резкой предварительно подогревают до температуры 450—550° С, так как в противном случае, ввиду пониженной пластичности этих сталей, появляются торцовые трещины. Такой же нагрев применяют и для низкоуглеродистой стали при диаметре больше 80 *мм*, если усилие ножниц недостаточно и желательно снизить усилие среза.

Для получения более чистого среза низкоуглеродистые стали нагревают до 250—300° С. Эти температуры находятся в зоне синеломкости стали, когда сопротивление деформированию увеличивается, а вязкость снижается, в результате чего и получается более чистый срез. Таким подогревом пользуются редко.

Высокоуглеродистые и легированные стали перед резкой иногда нагревают до температуры 700° С для снижения усилия среза и уменьшения возможности образования трещин. Выше 700° С нагрев не производят, так как образуется окалина, сильно искажается плоскость среза и появляются большие вмятины при резке.

Производительность резки очень велика. При холодной резке прутка диаметром 65 *мм* производительность колеблется от 1000 до 200 штук в час при длине заготовок от 100 до 1500 *мм*.

Следует указать на новый вид пресс-ножниц, в которых резка происходит с одновременным скручиванием, что улучшает качество резки [59]. Улучшает качество резки и дает перпендикулярный к оси срез также штамп для резки сдвигом с автоматическим зажимом прутка [120], а также трансляторная резка и др.

В последнее время большое значение придают точности резки заготовок, повышение которой необходимо, в частности, для штамповки в закрытых штампах. Точность резки зависит от точности проката и работы механизмов упора и прижима [103, 72]. Необходимо упомянуть о дозирующих устройствах на ножницах, позволяющих производить резку с точностью до $\pm 0{,}5\%$ по массе [75] и дозаторе СШТ-10, основанном на радиоактивном излучении β-частиц на отрезаемый пруток. Дозатор СШТ-10 управляет механизмом перемещения упора, который перемещается в соответствии с размерами поперечного сечения проката и устанавливает пруток на нужную длину отрезки [62].

Усилие резки P, необходимое для резки ручьевыми ножами, соответствующими профилю проката, рассчитывают по формуле [103]:

$$P = i\sigma_в F,$$

где i — коэффициент, равный для стали 0,6 ÷ 0,9;

$\sigma_в$ — предел прочности при растяжении разрезаемого металла при температуре резки, *кГ/мм²* (*Мн/м²*);

F — площадь сечения разрезаемого металла, *мм²* (*м²*).

Приближенно

$$P = (0{,}7 \div 0{,}8)\,\sigma_в F.$$

В технических характеристиках ножниц обычно указывается максимальное допускаемое сечение разрезаемого проката с пределом прочности при растяжении $\sigma_в = 45$ *кГ/мм²* (450 *Мн/м²*). Допускаемое сечение стали с пределом прочности при растяжении, отличным от 45 *кГ/мм²* (450 *Мн/м²*), подсчитывают по формуле

$$F = \frac{45}{\sigma_в} F_{45},$$

где F_{45} — максимально допускаемая для данных ножниц (по паспорту) площадь сечения в *мм²* проката с пределом прочности при растяжении 45 *кГ/мм²* (450 *Мн/м²*). Линейные размеры сечения для круга или квадрата подсчитывают по формуле

$$a = 6{,}7 \frac{a_{45}}{\sqrt{\sigma_в}},$$

где a — максимально допускаемый для данных ножниц размер профиля (диаметр или сторона квадрата) с пределом прочности при растяжении $\sigma_в$ в *кГ/мм²*, *мм*;

a_{45} — максимально допускаемый для данных ножниц по паспорту размер профиля (диаметр или сторона квадрата) с пределом прочности при растяжении 45 *кГ/мм²*, *мм*.

Резка на пилах. Резкой на пилах производят преимущественно разделку прутков из цветных металлов и сплавов, которые нельзя резать на пресс-ножницах, вследствие получающегося большого смятия и трещин. Резка на пилах применяется также для разделки прутков из высокоуглеродистой или легированной стали и при крупных профилях проката из конструкционной стали. Пилы бывают дисковые и ленточные. Дисковые пилы имеют диаметр диска от 200 до 800 *мм*. При диаметре диска 800 *мм* можно производить резку прутков диаметром до 300 ÷ 350 *мм*. На ленточных пилах можно резать сразу несколько прутков, что увеличивает производительность.

Прутки на пилах разрезают в холодном состоянии с охлаждением эмульсией. Торец получается ровный и перпендикулярный к оси заготовки. Качество резки на пилах самое высокое по сравнению с другими видами резки, за исключением электроискровой резки. Производительность резки на пилах ниже, чем на пресс-ножницах. Например, заготовку из стали с $\sigma_в = 45 \div 60$ *кГ/мм²* (450 ÷ 600 *Мн/м²*) при диаметре 100 *мм* нарезают за 75 *сек*, а при диаметре 200 *мм* за 130 *сек* [42].

При резке на дисковых пилах получается отход металла на пропил толщиной от 3 до 8 *мм*, что соответствует толщине диска.

Кроме пил с режущими зубьями, иногда применяют дисковые пилы трения — беззубые или с тупыми зубьями. Окружная скорость вращения дисков таких пил составляет 125 *м/сек*. При нажатии на металл получается разогрев от трения в месте контакта и оплавление металла, чем достигается его прорезание. Основным недостатком пил трения является резкий шум.

Анодно-механические пилы применяют при резке никелевых сплавов типа нимоник и некоторых других пластичных и прочных сплавов. Эти пилы имеют электроды-диски без зубьев.

К диску подводится электрический ток (дуга), который при резке проходит через контакт — зазор между диском и разрезаемым металлом, и получается быстрое оплавление в месте контакта. Кроме дисковых, анодно-механические пилы бывают также ленточными.

Резку абразивами — вращающимися абразивными дисками — применяют при разделке высоколегированных хрупких сталей и сплавов.

Ломка на штампах-хладноломах. Ломку на штампах-хладноломах применяют для разделки стальных прутков из крупных профилей диаметром 100 ÷ 150 *мм*, в особенности из легированной стали. Штампы-хладноломы устанавливают на кривошипных или гидравлических прессах. Имеются специальные горизонтальные гидравлические прессы-хладноломы.

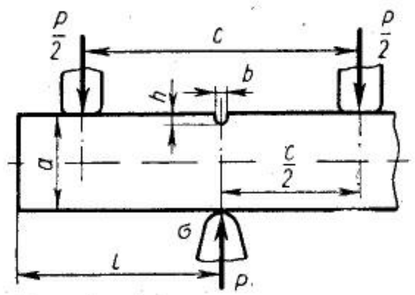


Рис. 6. Схема получения заготовок ломкой

Схема резки на штампах-хладноломах показана на рис. 6. Разделяемый на заготовки пруток обычно укладывают на нож, на который нажимают опоры, прикрепленные к ползуну пресса. Может быть также и обратная схема, с креплением ножа к ползуну. На ломаемом прутке резкой на пилах или газовой резкой делают надрез глубиной $h = 10 \div 15$ *мм*. Ширина надреза b, получаемого пилой или ножовкой, зависит от инструмента (3 ÷ 5 *мм*). Надрез газовым резаком имеет ширину $b = 5 \div 8$ *мм*. Пруток устанавливают на нож таким образом, чтобы надрез находился прямо напротив ножа. При нажатии, вследствие высокой концентрации напряжений, в месте надреза появляется трещина, и происходит хрупкий излом. Торец заготовки при ломке получается довольно ровным, иногда с наклоном. На торце остается ступенька от надреза перед ломкой, что ухудшает установку заготовки в штампе при штамповке осадкой в торец. По виду излома контролируют качество металла. При ломке можно получать относительно короткие заготовки с $\frac{l}{d}$ до 0,8.

Производительность при ломке на штампах-хладноломах высокая и приближается к производительности при резке на пресс-ножницах.

Усилие для ломки в штампах-хладноломах подсчитывают по следующим формулам [103], полученным, исходя из формул для изгиба балки, расположенной на двух опорах:

для круглого сечения

$$P = K \frac{0{,}4 D^3 \sigma_в}{C};$$

для квадратного сечения при ломке по диагонали

$$P = K \frac{0{,}5 A^3 \sigma_в}{C}.$$

БИБЛИОТЕКА
Завода ВТУЗа
ИНВ. № 1022 13

для квадратного сечения при ломке в направлении стороны

$$P = K\frac{0{,}7A^3\sigma_в}{C},$$

где $K = 0{,}7 + 1{,}1$ — коэффициент, учитывающий характер приложения разрушающих усилий (приложение их не в точках, а на контактных площадках), форму сечения проката и другие факторы;

D и A — соответственно диаметр круга или сторона квадрата, *мм*;

C — расстояние между опорами (см. рис. 6), *мм*;

$\sigma_в$ — предел прочности при растяжении, *кГ/мм²* (*Мн/м²*).

Газовая резка. Газовую резку применяют для разделки прутков из стали. Разделке подлежат преимущественно крупные профили со стороной квадрата до 300 *мм*.

Схема газокислородной резки показана на рис. 7. Смесь ацетилена и кислорода подается через подогревающий мундштук. Пламя направляется в первоначальную точку реза и быстро нагревает металл до температуры его горения. Затем через центральное отверстие горелки подается кислород и металл сгорает. Шлаки расплавляются и выдуваются из полости реза.

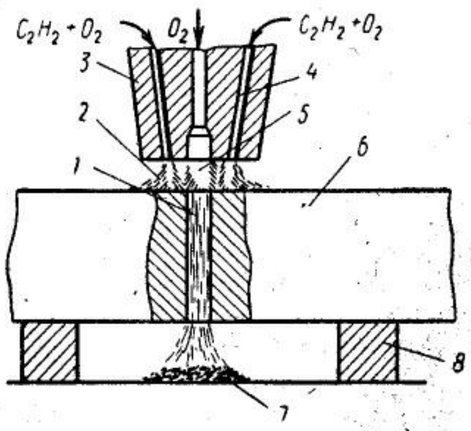


Рис. 7. Схема газовой резки:

1 — полость раздела; *2* — подогревательное пламя; *3* — подогревательный мундштук; *4* — режущий мундштук; *5* — режущий кислород; *6* — разрезаемый материал; *7* — шлак; 8 — подкладка

Для газовой резки необходимы определенные свойства металла, перечисленные ниже.

1. Температура воспламенения металла должна быть ниже температуры плавления (условие возможности осуществления процесса). За температуру воспламенения принимают температуру, при которой металл интенсивно окисляется струей кислорода, действующей на его нагретую поверхность. Высококачественная газовая резка возможна при сгорании металла в твердом состоянии. Сталь, содержащая углерода более 0,7%, при резке одновременно горит и расплавляется, вследствие чего полость раздела получается широкой, а поверхность неровной.

2. Окислы металла должны быть жидкотекучими и обладать более низкой температурой плавления, чем металл (условие, обеспечивающее выдувание шлака из полости раздела в жидком состоянии).

3. Теплота, выделяющаяся при сгорании металла, вместе с теплотой подогревающего пламени должны быть достаточными для поддержания нагрева на уровне температуры воспламенения в течение всего периода резки (условие, необходимое для беспрерывности процесса резки).

4. Теплопроводность металла должна быть возможно ниже (условие, способствующее локализации тепла в зоне реза).

5. В металле должно быть ограниченное содержание элементов, ухудшающих процесс резки.

Этим условиям удовлетворяют только низкоуглеродистые и низколегированные стали.

Высоколегированные хромистые, хромоникелевые, вольфрамовые и другие стали не удовлетворяют перечисленным условиям и поддаются лишь кислородно-флюсовой резке.

Процесс кислородно-флюсовой резки отличается от кислородной тем, что в зону раздела, кроме режущего кислорода, вводят флюс (обычно железный порошок). Флюс, сгорая, повышает температуру в полости раздела, а продукты горения флюса, переходя в шлаки, снижают температуру их плавления, благодаря чему в жидком виде шлаки легко удаляются кислородной струей.

Кроме ацетилена, можно применять бензин, керосин и различные горючие газы с высокой теплотой сгорания топлива.

Производительность ацетиленовой резки сравнительно невелика. Например, квадрат 100×100 *мм* разрезают за 1 *мин*. При других видах топлива производительность еще ниже. При резке сгорает слой металла толщиной от 3 до 10 *мм*, что составляет отход.

Кроме резаков, для ручной резки существуют машины и автоматы [103].

ГЛАВА II

ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИЙ РЕЖИМ КОВКИ И ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

§ 3. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ИНТЕРВАЛ КОВКИ

При определенных температурах сталь и другие пластичные металлы обладают высокой пластичностью и низким сопротивлением деформированию. Эти температуры имеют нижний и верхний пределы, между которыми лежит температурный интервал ковки [99, 103].

Установление температурного интервала ковки связано с именем Д. К. Чернова, который в 1868 г. указал, что сталь следует ковать при определенных температурах, при которых получается хорошее качество металла поковок. При этом нижний предел ковки определяется температурой фазовых превращений.

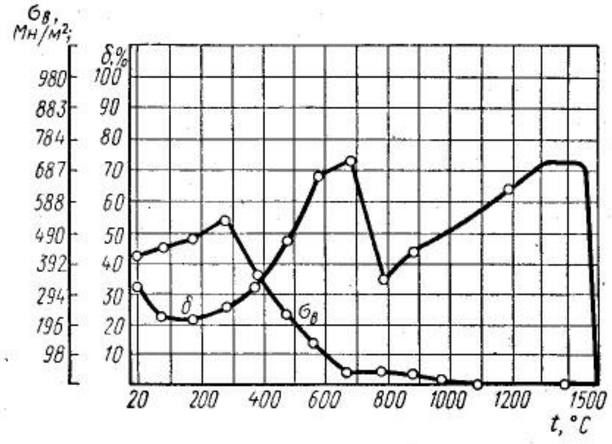


Рис. 8. Изменение $\sigma_в$ и δ стали 15 в зависимости от температуры испытания

Различают оптимальный и технологически необходимый интервалы температур ковки. Оптимальный температурный интервал ковки определяется температурами начала и конца ковки, которые устанавливают на основании конкретных данных о поведении металла при различных температурах. Это максимальный интервал.

Необходимый интервал температур ковки (штамповки) определяется временем, необходимым для выполнения данной операции или ее части. Необходимый интервал температур ковки (штамповки) должен лежать в пределах оптимального интервала.

Оптимальный температурный интервал ковки (штамповки) зависит главным образом от химического состава металла и определяемых этим составом свойств. Оптимальный температурный интервал определяют комплексом испытаний.

Для определения оптимального температурного интервала ковки целесообразно рассмотреть диаграмму изменения механических характеристик в зависимости от температуры (рис. 8).

Диаграмма зависимости $\sigma_в$ и δ от t °С для низкоуглеродистой стали показывает, что с увеличением температуры $\sigma_в$ падает, а δ увеличивается. Однако это происходит до температуры порядка 1470° С, выше которой вблизи температуры плавления находится зона хрупкости металла — зона пережога. Температура пережога для различных сталей различна. Например, для стали 50 температура пережога 1350° С, для стали 70—1280° С.

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 невозможна. Таким образом, верхняя граница температурного интервала ковки должна находиться ниже зоны пережога. Однако при температурах, близких к пережогу, наблюдается большой рост зерна и металл получает крупнозернистое строение. Возникает перегрев металла. Крупнозернистое строение не всегда можно изменить (размельчить зерно) ковкой или штамповкой, что приводит к крупнозернистому строению металла в поковке. Поэтому целесообразно рассмотреть, как изменяется величина зерна различных сталей в зависимости от температуры. В общем случае, с ростом температуры растет и величина зерна. До $t = 1100 \div 1200$° С наблюдается медленный рост зерна, а затем скорость увеличивается, особенно резко у хромоникелевых сталей. Такие стали называются сталями, склонными к перегреву, для них следует устанавливать верхнюю границу температурного интервала ковки ниже температуры, при которой резко увеличивается скорость роста зерна.

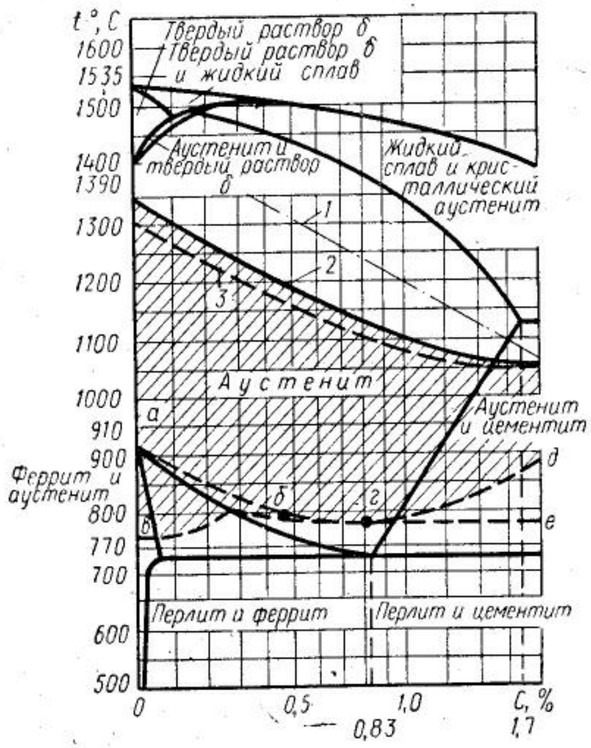


Рис. 9. Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов с температурными интервалами ковки:

1 — верхний предел температур ковки при скоростном нагреве; *2* — верхний предел температур ковки для слитков; *3* — верхний предел температур ковки для крупных прутковых заготовок; *а, б, г* — нижний предел температур ковки для доэвтектоидной стали; *а, б, в* — допустимая температурная область конца ковки для низкоуглеродистой стали; *г, д, е* — область конца ковки для заэвтектоидной стали [106]

Из рис. 8 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. 9). 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 по однофазности структуры и повышенной пластичности температуру в 1200° С можно принять как верхний предел температурного интервала ковки для углеродистой стали. У высокоуглеродистой стали при $t \approx 1100°$ С структура двухфазная — аустенит и цементит, причем цементит образует хрупкую сетку по границам зерен. В целях повышения пластичности стали необходимо эту цементитную сетку раздробить с тем, чтобы цементит образовал отдельные зерна в металле поковки. При этом твердость и прочность металла останутся высокими. Верхний предел температур ковки для высокоуглеродистой стали целесообразно принять в 1100° С, а ковку проводить с предосторожностями, учитывая, что пластичность понижена ввиду двухфазной структуры. Температуру нагрева углеродистых и легированных сталей можно определить по диаграмме.

Диаграмма состояния (см. рис. 9) помогает также выбрать нижний предел температур ковки, который должен лежать выше температур фазовых превращений.

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

При установлении нижнего предела температур ковки необходимо учитывать массу поковки, наличие или отсутствие последующей термической обработки, способ охлаждения и т. п. Например, при большой массе поковки и высокой температуре окончания процесса ковки или штамповки поковка будет остывать медленно и размельченное деформацией зерно может вырасти снова. При малой массе поковки (до 100 *кг*) температура конца ковки может быть более высокой, но ввиду быстрого охлаждения зерно не успеет вырасти и останется измельченным.

Ковка при температурах ниже 723° С приводит к наклепу.

У некоторых металлов и сплавов нет фазовых превращений. В этом случае нижний предел температур ковки определяется наклепом.

Температурный интервал ковки устанавливают по следующим данным:

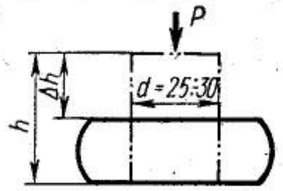
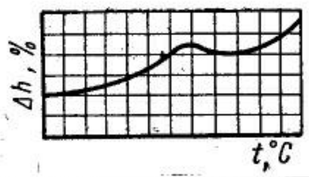
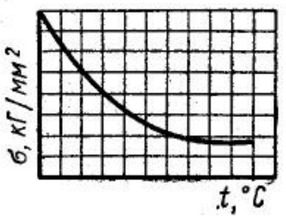
диаграмме состояния (см. рис. 9);

комплексу лабораторных испытаний, связанных с определением свойств металла при повышенных и высоких температурах (табл. 2);

изучению зависимости строения металла от времени пребывания его при повышенных и высоких температурах (величина зерна, склонность к перегреву, пережогу и обезуглероживанию, см. табл. 2).

Таблица 2

Лабораторные испытания для определения температурного интервала ковки и штамповки по Н. И. Корнееву [118]

Вид испытания	Методика испытания	Оценка результата испытания
Испытание на пластичность свободной осадкой 	Замеряют $t°$ С через каждые 25 — 50° в исследуемом интервале температур; $h \leqslant 2{,}5D$; $\Delta h = 30 \div 50\%$	Оценка пластичности производится по появлению первой трещины в деформируемом образце
Испытание на пластичность ударным изгибом 	Замеряют работу деформирования, затраченную на изгиб ударных образцов Менаже при $t°$ С через каждые 25—50° в исследуемом интервале температур	Оценка пластичности производится по максимумам и минимумам кривых, вычерченных в координатах $a_н - t°$ С
Определение относительного сопротивления деформированию свободной осадкой, % 	Замеряют степень деформации Δh через каждые 5% осадки в интервале 0—60% и $t°$ С через каждые 50° в исследуемом интервале температур; D образцов 10—25 *мм*; масса падающих частей молота и высота падения — const	Оценка сопротивления деформированию производится по величине осадки в % при данной температуре на кривой, вычерченной в координатах $\Delta h - t°$ С
Определение удельного сопротивления деформированию, *кГ/мм²* 	Определяется измерением сопротивления деформированию при осадке или других методах обработки, месдозами или другими измерительными приборами Замеряют степень деформации Δh при испытании осадкой через каждые 5% осадки в интервале 0—60% (при других методах испытания 5—70%) и $t°$ С через каждые 50° в исследуемом интервале температур	Оценка сопротивления деформированию производится по его величине при данной температуре на кривой, вычерченной в координатах $\sigma - t°$ С

Продолжение табл. 2

Вид испытания	Методика испытания	Оценка результата испытания
Определение критической температуры роста зерна при нагреве (собирательная рекристаллизация) 	Замеряют $t°$ С через каждые 50° в исследуемом интервале температур; D образца 15—30 *мм*; величину зерна определяют одним из существующих методов	Критическая температура роста зерна при нагреве соответствует началу интенсивного роста зерна на кривой, вычерченной в координатах величина зерна, *мк*² — $t°$ С
Определение интервала критических деформаций при осадке (рекристаллизация обработки) 	Замеряют $t°$ С через каждые 50° в исследуемом интервале температур и степень деформации Δh через каждые 2—5% осадки в интервале 0—60%; D образцов 15—30 *мм*	Критические степени деформации соответствуют началу и концу интенсивного роста зерна при данной температуре на кривой, вычерченной в координатах величина зерна, *мк*² — Δh

§ 4. ТИПЫ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ СВОБОДНОЙ КОВКЕ И ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКЕ

Типы нагревательных устройств и способы нагрева заготовок при свободной ковке и горячей объемной штамповке различны.

При свободной ковке используют обычно камерные печи и печи с выдвижным подом. В камерных печах в зависимости от их размеров и конструкции нагревают мелкие и средние заготовки, а также слитки. В печах с выдвижным подом производят нагрев слитков, их подогрев и повторный нагрев. Слитки из легированной стали нагревают в методических перекатных печах с наклонным подом и в методических печах с толкателем. Подогрев и нагрев слитков и охлаждение крупных поковок по заданному режиму производят в шахтных колодцевых печах.

При горячей объемной штамповке нагревательные устройства и способы нагрева более разнообразны. Преимущественно используют полуметодические печи и индукционный электронагрев токами высокой частоты.

Для нагрева мерных заготовок применяют камерные печи с закрывающимися окнами, а для нагрева прутковых и мерных заготовок камерные щелевые или очковые печи. Печи полуметодические и особенно методические используют для нагрева мерных заготовок из легированной стали. В карусельных и конвейерных печах нагревают мерные и прутковые заготовки. Печи скоростного нагрева служат для нагрева заготовок всех типов.

Индукционный электронагрев токами высокой частоты применяют для заготовок диаметром до 150 ÷ 200 *мм*, а нагрев токами промышленной частоты — для заготовок бóльших поперечных размеров. Применяют также комбинированный индукционный электронагрев.

Контактный нагрев используют для заготовок диаметром до 60 ÷ 70 *мм* при большой их длине.

Мелкие заготовки нагревают иногда в электролите [119]. Мелкие заготовки из высоколегированной стали можно нагревать в расплавленных солях и стекле.

§ 5. НАГРЕВ В ПЛАМЕННЫХ ПЕЧАХ

Нагрев должен обеспечить получение необходимой температуры заготовки без каких-либо пороков, минимальный отход металла на окалину, минимальное обезуглероживание поверхности и требуемую производительность. Нагрев необходимо вести с определенной скоростью, чему соответствует определенное время нагрева.

Различают технически возможные и допустимые скорости нагрева.

Технически возможная скорость нагрева — это максимальная скорость нагрева, которую можно получить на данной печи. Технически возможная скорость нагрева не всегда является допустимой скоростью и может привести к браку и трещинам, ввиду большого перепада температур и термических напряжений по сечению заготовки.

На скорость или время нагрева влияют следующие факторы: температура печи (температурный напор), укладка заготовок в печи, форма и размеры нагреваемых заготовок, коэффициент теплопередачи k, коэффициент теплопроводности λ, коэффициент температуропроводности a, удельная теплоемкость c, плотность заготовки ρ, пластичность материала.

Последние пять факторов являются внутренними факторами, не зависящими от условий нагрева.

Теплоту Q, подводимую к нагреваемой заготовке, можно подсчитать по формуле теплопередачи:

$$Q = k(t_1 - t_2) F T_н,$$

где t_1 — температура печи;
t_2 — температура заготовки;
F — нагреваемая поверхность заготовки;
$T_н$ — время нагрева.

Теплопередача происходит в кузнечных печах главным образом излучением. Теплопередача конвекцией имеет преобладающее значение при температуре печи 600 ÷ 700° С.

Рассмотрим влияние перечисленных факторов.

Температура печи. Чем выше температура печи, тем быстрее нагрев.

Разница между температурой печи $t_п$ и температурой заготовки $t_{заг}$ называется температурным напором.

Превышение $t_п$ над температурой окончания нагрева $t_{о.н}$ называется окончательным температурным напором.

Возможные значения $t_п$ зависят от типа огнеупора кладки печи и обычно не превышают 1450 ÷ 1500° С, причем в большинстве случаев $t_п = 1300 ÷ 1350°$ С.

О влиянии $t_п$ на скорость нагрева говорят следующие опыты.

Если нагревать заготовку ⌀ 50 *мм* до 1100° С, то время нагрева $T_н$ уменьшается с увеличением $t_п$ (табл. 3).

Таблица 3

Зависимость $T_н$ от $t_п$ при нагреве до 1100° С

$t_п$, °С	1400	1300	1200	1100
$T_н$, *мин*	4	7	11	22

Если нагрев заготовки ⌀ 50 *мм* производится до $t_п$, то и тогда, чем выше $t_п$, тем быстрее нагрев (табл. 4).

Таблица 4

Зависимость $T_ц$ от $t_п$ при нагреве до температуры печи

$t_п$, °С	1400	1300	1200	1100
$T_н$, *мин*	12	16	20	22

При нагреве заготовки ⌀ 100 *мм* до $t_п = 1300°$ С температурный градиент в течение нагрева изменяется (табл. 5).

Таблица 5

Зависимость grad t от $T_н$

$T_ц$, *мин*	0	3	7	9	11	28
Температура поверхности заготовки $t_{пов}$, °С	20	550	775	875	1000	1300
Температурный градиент grad t (у центра)	0	200	120	150	90	0

При нагреве заготовки меньшего диаметра ⌀ 25 *мм* температурный градиент значительно меньше (табл. 6).

Таблица 6

Зависимость grad t от $t_п$

Температура печи $t_п$, °С	Температура поверхности заготовки $t_{пов}$, °С						
	20	100	650	800	900	1000	1200
1650	0	35	27,5	42,5	55	27	16
1200	0	14	12	21	9	6,5	0

Как видно из табл. 6, температурный градиент резко увеличивается при увеличении температуры печи.

Таким образом, при увеличении температуры печи растет не только скорость нагрева, но и температурный градиент. С увеличением размеров заготовки также увеличивается температурный градиент.

Максимальный температурный градиент наблюдается в зоне температур фазовых превращений.

Укладка заготовок в печи. Расположение заготовок в печи определяет интенсивность нагрева излучением от стенок печи и возможность для нагрева конвекцией, что определяет степень неравномерности нагрева и время нагрева.

Увеличение времени нагрева можно учесть коэффициентом K, значения которого колеблются от 1 до 3 [55] в зависимости от расстояния между заготовками при нагреве в печи, от формы поперечного сечения заготовки и др.

Форма и размеры нагреваемых заготовок. Чем короче заготовка, тем быстрее она греется — сказывается влияние торцов.

Если $l > 3D$, то длина заготовки на скорость нагрева практически не влияет.

Влияние нагрева заготовки через торцы можно учесть коэффициентом торцов $K_т$.

При $l > 3D$ $K_т = 1$; при $l = 2D$ $K_т = 0{,}98$; при $l = 1{,}5\ D$ $K_т = 0{,}92$; при $l = D$ (или куб) $K_т = 0{,}71$.

Чем больше нагреваемая поверхность F, тем больше в соответствии с формулой теплопередачи теплоты Q пройдет в заготовку и быстрее будет нагрев.

Чем больше размеры заготовки, тем больше время нагрева, ввиду того что площадь поверхности, приходящаяся на единицу объема нагреваемой заготовки, будет меньше. Это легко показать на примере нагрева шаровой заготовки

$$\frac{1}{T_н} = v'_н \equiv \frac{F_{пов} \equiv Q_{проходимая}}{V_{заг} \equiv Q_{требуемая}} \equiv \frac{D^2}{D^3} = \frac{1}{D},$$

где $v'_н$ — скорость нагрева, величина, обратная времени нагрева;

$V_{заг}$ — объем заготовки.

На Сормовском заводе были проведены опыты по определению влияния габаритных размеров заготовки. Заготовки нагревали до 1200° С (при $t_п = 1200°$) (табл. 7).

Таблица 7

Влияние размеров заготовки на время нагрева

Диаметр заготовки, *мм*	25	50	75	100
$T_н$, *мин*	9	20	28	38

Таким образом, для мелких заготовок ($\varnothing < 100$ *мм*) при нагреве до $t_п$ время нагрева растет примерно пропорционально диаметру заготовки. При наличии окончательного температурного напора время нагрева растет интенсивнее, чем происходит увеличение диаметра заготовки.

Коэффициент теплопередачи k. Коэффициент теплопередачи определяется удельным тепловым потоком, отнесенным к разности в один градус между температурами нагревающего и нагреваемого потоков. Тепловой поток определяется количеством теплоты, падающей на поверхность в единицу времени.

Удельный тепловой поток — это тепловой поток, отнесенный к единице площади поверхности. Размерность k *ккал/м²·ч·град* или *вт/м²·град*.

Коэффициент теплопередачи зависит от излучения и поверхности, воспринимающей теплоту. Влиять на теплопередачу затруднительно. При светящем пламени частицы углерода сгорают в камере нагрева и коэффициент теплопередачи больше. Если сгорание еще не завершилось, то такое пламя вызывает большую потерю теплоты с отходящими газами и происходит окисление заготовок кислородом воздуха.

Темная заготовка нагревается быстрее, чем блестящая. Однако очень сильно влияет температура печи и связанное с ней излучение.

Таблица 8

Коэффициент теплопередачи при нагреве в камерной печи *ккал/м²·ч·град* *

Температура металла, °С	Температура печи, °С			
	1300	1200	1100	900
0	380	320	260	200
200	365	305	250	190
400	350	290	240	165
600	340	275	230	155
800	325	260	220	—
1000	315	240	210	—
1200	300	—	—	—

* (1 *ккал/м²·ч·град* = 1,163 *вт/м²·град*)

Коэффициент теплопередачи падает с увеличением температуры металла и увеличивается при увеличении температуры печи (табл. 8).

Коэффициент теплопроводности, теплоемкость и плотность. Коэффициент теплопроводности λ определяется удельным тепловым потоком, передаваемым на единицу длины, при температурном перепаде в 1° С в единицу времени *ккал/м·ч·град* или *вт/м·град*.

Чем больше коэффициент теплопроводности, тем быстрее теплота отводится с поверхности и передается внутрь заготовки. Чем меньше коэффициент теплопроводности, тем больше температурный градиент в заготовке. С целью уменьшения температурного градиента нужно принимать специальные меры для выравнивания температур.

Коэффициент теплопроводности зависит от химического состава и температуры металла.

Коэффициент теплопроводности, например, углеродистой стали зависит от содержания в стали углерода, марганца и кремния [10]. Чем больше в стали углерода, тем она менее теплопроводна. Все легирующие добавки уменьшают коэффициент теплопроводности (отсюда медленнее нагрев).

У подавляющего большинства сталей коэффициент теплопроводности уменьшается с увеличением температуры и при $t \approx 1100°$ С у всех сталей λ становится равной примерно 23 *ккал/м·ч·град* или 26,8 *вт/м·град* (табл. 9).

Таблица 9

Зависимость коэффициента теплопроводности стали от содержания углерода и температуры, *ккал/м·ч·град* **[53]**

t, °С	Содержание углерода в стали, %		
	0,2	0,30	0,45
100	67	65	58,2
900	28	22,6	23

Удельная теплоемкость c — это количество теплоты, необходимое для нагрева единицы массы заготовки на 1° С, *ккал/кг·град* (*дж/кг·град*). Чем больше теплоемкость, тем больше потребное время нагрева. Теплоемкость в зависимости от температуры меняется незначительно — от 0,13 до 0,16 *ккал/кг·град* при изменении температуры от 0 до 1000° С.

Значения теплоемкости для различных металлов в холодном состоянии

	ккал/кг·град
Чистое железо	—0,11
Хромистая сталь	—0,12
Медь	—0,024
Al	—0,22
Mg	—0,25

Плотность заготовки ρ, *кг/дм³* (*кг/м³*). Чем больше плотность заготовки, тем больше теплоты нужно подавать в единицу объема, а поверхность заготовки по отношению к единице массы будет меньше. У сталей плотность изменяется незначительно (углеродистые стали 7,85 *кг/дм³*, никелевые до 8 *кг/дм³*), и влияние ее изменения на нагрев не учитывается. Плотность цветных металлов и сплавов см. [103].

Коэффициент температуропроводности a, *м²/ч* (*м²/сек*). Посредством коэффициента температуропроводности можно оценить скорость нагрева или прогреваемость металлов. Коэффициент температуропроводности определяется формулой

$$a = \frac{\lambda}{\rho c}.$$

Коэффициент температуропроводности зависит от химического состава стали. В холодном состоянии коэффициент температуропроводности низкоуглеродистой стали равен 0,06 *м²/ч*, а хромоникелевой стали с содержанием 24% Cr и 20% Ni — 0,012 *м²/ч*. Для углеродистых сталей коэффициент температуропроводности колеблется от 0,04 до 0,06 *м²/ч*.

Коэффициент температуропроводности зависит от температуры. При повышении температуры до 1200° С коэффициент температуропроводности низкоуглеродистых сталей понижается вдвое и составляет 0,02 ÷ 0,03 *м²/ч*. Наименьший коэффициент температуропроводности углеродистых сталей наблюдается при температуре 800° и составляет только 30% от коэффициента температуропроводности при комнатной температуре [100].

Сущность коэффициентов температуропроводности хорошо выявляется при выводе дифференциального уравнения температуропроводности, устанавливающего связь между температурой, временем и координатами элементарного объема. Вывод далее излагается в соответствии с [100].

Для вывода уравнения используется закон теплопроводности Фурье, который устанавливает зависимость между тепловым потоком и температурным градиентом:

$$q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} = -\lambda \operatorname{grad} t,$$

где $\frac{\partial t}{\partial x} = \operatorname{grad} t$ – температурный градиент или приращение температуры на единицу расстояния в направлении нормали к изотермической поверхности, *град/м*.

Коэффициентом пропорциональности в этом выражении является коэффициент теплопроводности λ.

Если теплота передается через поверхность dF за время dT, то количество передаваемой теплоты

$$dQ = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} dF\, dT.$$

Принимаем следующие условия: 1) тело считаем однородным и изотропным; 2) его физические параметры — коэффициент теплопроводности, теплоемкость и плотность — постоянными и 3) его агрегатное состояние неизменным.

Рассмотрим при этих условиях процессы, происходящие в элементарном параллелепипеде $dV = dx \cdot dy \cdot dz$ (рис. 10).

Вывод дифференциального уравнения теплопроводности основан на законе сохранения энергии, согласно которому разность между количеством теплоты, подводимой в элементарный параллелепипед за время T и отводимой из него за то же время, равна изменению содержания теплоты в нем.

Следовательно, если dQ_1 — количество подводимой теплоты, *дж*; dQ_2 — количество отводимой теплоты, *дж*, то изменение содержания теплоты

$$dQ = dQ_1 - dQ_2.$$

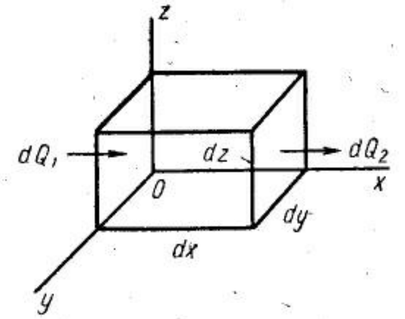


Рис. 10. Распространение теплоты в элементарном параллелепипеде

Рассмотрим распространение теплоты в одном направлении (например, по оси x). Согласно закону теплопроводности, имеем на левой грани параллелепипеда

$$dQ_1 = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} dy \cdot dz \cdot dT.$$

Пространственное изменение температурного градиента в направлении оси x

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial t}{\partial x}\right) \text{ или } \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}.$$

Следовательно, изменение температурного градиента на расстоянии dx составит $\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dx$, а величина его на правой грани параллелепипеда

$$\frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dx.$$

На этом основании количество отводимой теплоты

$$dQ_2 = -\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dx\right) dy \cdot dz \cdot dT.$$

Изменение температуры параллелепипеда за единицу времени составляет $\frac{\partial t}{\partial T}$, а количество теплоты, соответствующее этому изменению температуры за время dT,

$$dQ = c\rho\, dx \cdot dy \cdot dz \frac{\partial t}{\partial T} dT.$$

После подстановки в выражение $dQ = dQ_1 - dQ_2$ соответствующих значений dQ, dQ_1 и dQ_2 имеем

$$c\rho dx \cdot dy \cdot dz \frac{\partial t}{\partial T} dT = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} dy \cdot dz \cdot dT + \lambda \left(\frac{dt}{dx} + \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dx\right) dy \cdot dz \cdot dT$$

или после сокращения

$$c\rho \frac{\partial t}{\partial T} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}$$

Так как $a = \frac{\lambda}{c\rho}$ — коэффициент температуропроводности, то уравнение принимает следующий вид:

$$\frac{\partial t}{\partial T} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}.$$

Это уравнение описывает изменение температуры тела при нестационарном состоянии. Коэффициент a является коэффициентом пропорциональности и таким образом влияет на скорость изменения температуры тела во времени, т. е. на величину $\frac{\partial t}{\partial T}$.

Пластичность нагреваемого металла. При нагреве возникают термические и структурные напряжения, которые могут привести к разрушению металла. Если металл достаточно пластичен при данных температурах, то в местах наибольших термических напряжений происходит пластическая деформация и разрушения не наблюдается.

Наибольшие термические напряжения возникают обычно в начале нагрева, когда поверхностный слой заготовки имеет высокую температуру, а сердцевина заготовки еще холодная и температурный градиент наибольший. При этом поверхностные слои заготовки под влиянием теплового расширения стремятся вытянуться. Внутренние, холодные слои удерживают поверхностные слои от расширения. В результате, в поверхностных слоях возникают напряжения сжатия, а во внутренних слоях напряжения растяжения. Если напряжения растяжения во внутренних слоях достигают предела прочности, то при недостаточной пластичности металла возникают трещины и металл разрушается. Если же пластичность металла высокая, то происходит пластическая деформация, снимающая термические напряжения. При этом пластическая деформация не может быть больше величины теплового линейного расширения, вызвавшего данную пластическую деформацию. Поэтому, если металл имеет пластичность большую, чем величина линейного расширения, то в этом случае не может быть трещин.

Большой температурный градиент может вызвать в середине заготовки растягивающие напряжения, величина которых зависит от разности между удлинением при разрыве и линейным расширением при нагревании этих металлов [39].

Чем выше пластичность металла, тем выше может быть скорость нагрева. Пластичные металлы и сплавы можно нагревать быстро, несмотря на низкую теплопроводность и большой температурный градиент. Пластичность стали увеличивается по мере нагрева, и при температуре выше 600 ÷ 700° С сталь можно греть с высокой скоростью.

Окалинообразование и обезуглероживание при нагреве в пламенных печах. При нагреве стали в пламенных печах происходит окисление или окалинообразование и обезуглероживание поверхности заготовки.

Окисление происходит по реакциям:

$$Fe + \frac{1}{2} O_2 = FeO;$$

$$3\,FeO + \frac{1}{2} O_2 = Fe_3O_4;$$

$$2\,Fe_3O_4 + \frac{1}{2} O_2 = 3\,Fe_2O_3.$$

Окалина состоит из трех слоев. Наружный слой составляет Fe_2O_3, средний — Fe_3O_4 и внутренний (рыхлый) — FeO. Наружный слой более богат кислородом, а внутренний — железом. Окисление происходит путем диффузии окисляющих газов к металлу через окалину и ионов железа через окалину к поверхности.

Интенсивность окисления зависит от атмосферы в печи, которая обычно является окислительной и состоит из газов O_2, CO_2 и H_2O. Если в печи много нейтрального газа N_2 или восстановительных газов CO, H_2 и CH_4, то скорость окисления снижается, и при определенном количестве восстановительных газов окисление вообще может прекратиться.

Окалинообразование увеличивается при наличии серы в атмосфере печи. Сера проникает при этом в поверхностные слои металла и ухудшает его качество. Особенно опасна сера для никелевых сталей, так как никель образует с серой легкоплавкую эвтектику.

На окисление влияет температура нагрева металла. За одно и то же время большее количество окалины образуется при более высокой температуре.

Увеличение времени нагрева также увеличивает количество окалины. Поэтому для уменьшения окалины необходимо увеличивать скорость нагрева, т. е. сокращать время нагрева.

Окисление зависит от химического состава стали и состояния поверхности заготовки. Наличие хрома, никеля, кремния и некоторых других элементов приводит к образованию плотной пленки на поверхности, предохраняющей сталь от окисления.

На количество образующейся окалины оказывает влияние соотношение между нагреваемой поверхностью и массой заготовки. При увеличении этого соотношения количество окалины уменьшается, так как нагрев происходит быстрее.

Наибольшее значение имеет температура. При температуре ниже 650° С окисления практически не происходит.

При повышении температуры до 900° С появляется относительно небольшой слой окалины. При увеличении температуры от 900 до 1100° С интенсивность окисления возрастает в три раза, а при температуре 1300° С в 7 раз.

Величина поверхностного угара a в граммах на 1 $см^2$ поверхности может быть определена по следующей формуле [103] (в пределах температур 600 ÷ 1150° С):

$$a = 6{,}3 \sqrt{T}\, e^{-\frac{9000}{t}},$$

где T — время, *мин*;
t — температура, °К.

При нагреве мелких заготовок угар составляет 1,5 ÷ 2,5% от массы нагреваемого металла. При нагреве слитков угар составляет 3%. При повторном нагреве слитков угар составляет дополнительно 1,5%. Подробные данные о величине угара имеются в литературе [2]. Некоторые сведения об угаре даны ниже.

Обезуглероживание может протекать по следующим реакциям:

$$Fe_3C + H_2O = 3Fe + CO + H_2;$$
$$Fe_3C + CO_2 = 3Fe + 2CO;$$
$$2Fe_3C + O_2 = 6Fe + 2CO;$$
$$Fe_3C + 2H_2 = 3Fe + CH_4.$$

Образующиеся газы CO, H_2 и CH_4 диффундируют к поверхности металла.

Наиболее способствует обезуглероживанию H_2O, затем CO_2. Обезуглероживание увеличивается с повышением содержания углерода в стали и повышением температуры нагрева.

Легирующие элементы Cr и Mn уменьшают обезуглероживание, а Al, CO, W увеличивают.

При нагреве процесс обезуглероживания взаимно связан с процессом окисления. Обычно при нагреве стали под ковку или штамповку, когда температура нагрева превышает 1100° С, процесс окисления происходит интенсивнее, чем процесс обезуглероживания. После удаления окалины на поверхности заготовки обезуглероженного слоя не оказывается. При низкой температуре нагрева (700 ÷ 1000° С), особенно при нагреве высокоуглеродистых сталей, может получиться обезуглероженный слой после удаления окалины, так как окисление здесь идет медленнее, чем обезуглероживание.

Для уменьшения образования окалины применяют:

1) увеличение скорости нагрева, скоростной нагрев или электронагрев;

2) защитный газовый слой в печи;

3) нагрев в защитной атмосфере. Такой атмосферой служит атмосфера с содержанием CO более 16% [54, 49, 17]. Можно указать также на нагрев в атмосфере с добавлением карбоната лития — L_2CO_3 [129];

4) защитные покрытия на заготовках (коллоидные растворы стекла в изопропаноле и др.), которые также являются смазкой.

Если предупредить образование окалины при нагреве невозможно, то нагретые заготовки при необходимости можно очищать от окалины. Очистку производят разными способами. Применяют стальные щетки, скребки, окалиноломатели и гидроочистку. Конструкция установки для гидроочистки описана в [72, 34].

Режим нагрева в пламенных печах. Ранее было указано, что чем меньше коэффициенты тепло- и температуропроводности, тем больше температурный градиент, т. е. больше неравномерность прогрева и термические напряжения. Поэтому сажать в печь с высокой температурой холодные заготовки из металла с низким коэффициентом температуропроводности, а также крупные заготовки (слитки) нельзя; в этом случае их сажают в сравнительно холодную печь и постепенно повышают температуру вместе с печью.

В основном, температурный градиент зависит от температурного напора и температуры печи. Температурный градиент имеет обычно наибольшее значение в зоне критических температур (t фазовых превращений). Большая величина термических напряжений может привести к появлению микро- и макротрещин при нагреве, если пластичность невысокая или слишком велики размеры слитка.

Однако слишком медленный нагрев приводит к большому окалинообразованию и низкой производительности печей. С учетом факторов — снижение температурного градиента и минимальная окалина — были выработаны оптимальные режимы нагрева.

Установлено, что заготовки диаметром менее 100 *мм* из всех сортов конструкционной и низколегированной сталей можно сажать в горячую печь и греть с технически возможной скоростью, которую обеспечивает печь при конечном температурном напоре в 100 ÷ 150° С. Для быстрорежущей и высоколегированных хрупких сталей требуется предварительный подогрев.

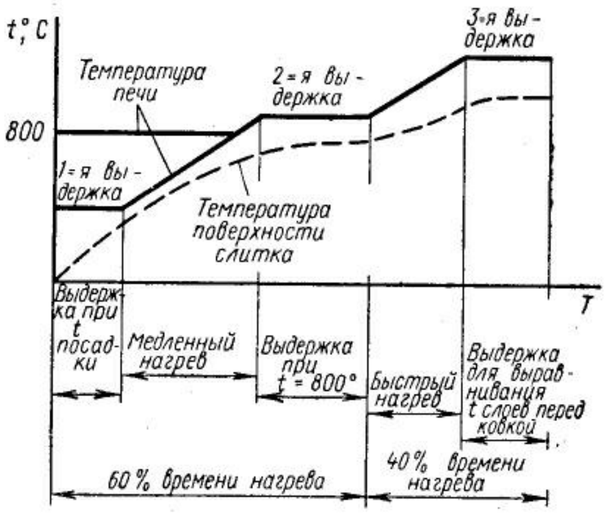


Рис. 11. Схема режима нагрева слитков

Слитки и заготовки, нагреваемые под ковку в кузнечных цехах, поступают на нагрев в холодном или горячем состояниях. Заготовки под горячую штамповку поступают на нагрев в холодном состоянии.

Слитки, поступающие на нагрев с температурой поверхности металла ниже 650° С, считаются холодными: Нагрев их по сравнению с горячими слитками более продолжителен.

Слитки, поступающие на нагрев с температурой не ниже 650° С, а также подогреваемые в процессе ковки заготовки, называются горячими. Горячие слитки поступают в кузнечный цех из сталеплавильного. Вместе с горячими заготовками они составляют основную часть металла, идущего на ковку [102].

Холодные слитки и крупные заготовки нагревают за 2 этапа (рис. 11). *1-й этап* — нагрев до $t = 700°$ С (начало фазовых превращений). При этой температуре сталь обладает пониженной пластичностью, а температурный градиент в этом интервале имеет максимальное значение. Поэтому первый этап должен проходить медленно и тем медленнее, чем более легирована сталь и чем больше размеры заготовки. При $t = 800$ °С делают выдержку для вы-

равнивания температуры по сечению слитка с тем, чтобы фазовые превращения происходили при минимальном температурном градиенте (переход в аустенит). *2-й этап*. Опасаться трещин не приходится, так как пластичность высокая и, наоборот, нужен нагрев с максимальной скоростью для уменьшения образования окалины (окалинообразование интенсивно идет при высоких температурах и зависит от времени).

Когда температура дойдет до ковочной, то быстро нагревать не следует, так как опасна неравномерность прогрева слитка, вредно влияющая на течение металла при ковке. Поэтому при верхней температуре дают выдержку для выравнивания температуры по сечению.

При быстром нагреве после выдержки температурный перепад небольшой, а пластичность высокая.

Горячие 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 в 50 ÷ 100° С по сечению слитков из углеродистой и легированной сталей и в 30 ÷ 40° С для слитков из жаропрочной стали [73, 68].

Определение времени нагрева. Время нагрева холодных заготовок диаметром от 100 до 300 *мм*, а также мелких слитков можно определить по формуле Н. Н. Доброхотова:

$$T \geqslant aD\sqrt{D},$$

где T — время нагрева, *ч*;

D — диаметр нагреваемой заготовки, *м*.

Формула эмпирическая, пригодна для нагрева стали при обычных условиях: $t_п = 1300°$ С и $t_н = 1200°$ С.

Н. Н. Доброхотов дал значения коэффициента a: $a = 10$ для углеродистых сталей и $a = 20$ для легированных сталей при нагреве кованых или прокатанных заготовок; при нагреве слитков a соответственно равно 12,5 и 25.

Рассчитанное по формуле Доброхотова время нагрева оказалось недостаточным и поэтому в дальнейшем коэффициенты a были скорректированы. Для катаной и кованой заготовки из низкоуглеродистой и низколегированной сталей $a = 12{,}5$; из высокоуглеродистой инструментальной стали $a = 25$. Для холодных слитков из углеродистой и низколегированной сталей $a = 20$; из среднелегированной стали $a = 24$; из высоколегированной стали $a = 28 \div 30$.

По формуле Доброхотова определяют общее время нагрева холодных одиночных заготовок и слитков при длине более двух диаметров. В случае необходимости в формуле следует учитывать коэффициент укладки заготовки и коэффициент торцов $K_т$ (при коротких заготовках, см. стр. 27).

В ряде случаев необходимо провести разбивку общего времени нагрева по периодам. Для углеродистой стали время нагрева делят пополам. Для нагрева катаных или кованых заготовок из легированной стали можно пользоваться следующими формулами по определению времени нагрева двух периодов [100]:

$$T_1 = 13{,}3\,D\sqrt{D} \quad \text{и} \quad T_2 = 6{,}7D\sqrt{D}.$$

Здесь T_1 — время нагрева за первый период (от 0 до 850° С);

T_2 — время нагрева за второй период (от 850 до 1200° С);

D — диаметр заготовки, *м*.

Мелкие холодные слитки из углеродистой стали весом $1 \div 2$ *т* сажают в печь при $t_п = 900°$ С, а из легированной стали при $t_п = 600°$ С. Крупные холодные слитки сажают в печь при $t_п = 200 \div 250°$ С.

Холодные слитки греют очень медленно.

При нагреве крупных горячих слитков время нагрева сокращается в 2 раза по сравнению с нагревом холодных слитков.

Примерно время нагрева T (*ч*) горячих слитков можно подсчитать по формуле: $T = 10D$.

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

Приведенные формулы дают минимальное потребное время нагрева.

Время нагрева слитков и заготовок на заводах часто определяют по таблицам (табл. 10) [103].

Подобные таблицы составлены и для других температур печи и нагрева. Для углеродистой инструментальной и среднелегированной сталей цифры увеличиваются на 25 ÷ 50%, для высоколегированной на 50 ÷ 100%.

При определении времени нагрева, кроме табличных параметров, следует учитывать и относительную длину заготовки (нагрев через торцы). При этом время, полученное по таблице, следует умножить на коэффициент $K_т$.

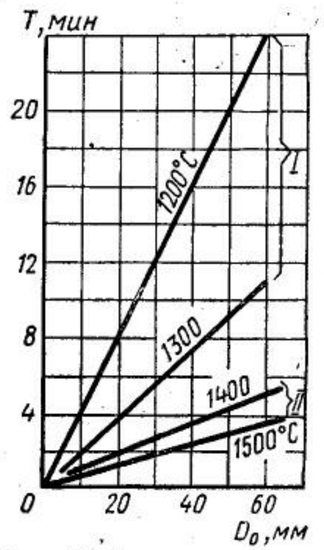


Рис. 12. Зависимость времени нагрева металла до $t = 1200°$ С от диаметра заготовок при различных температурах печи:

I — нагрев в обычных печах; *II* — скоростной нагрев

Скоростной нагрев в пламенных печах. Теоретические расчеты и опытные данные показывают, что величина термических напряжений в мелких по диаметру заготовках оказывается сравнительно небольшой даже при больших скоростях нагрева и высокой температуре печи (1400° С и выше). Это обстоятельство способствовало выдвижению требования о повышении скорости нагрева в целях увеличения производительности. Работы советских ученых Н. Н. Доброхотова, В. Ф. Копытова и др. показали, что скоростной нагрев имеет следующие преимущества: большую производительность; небольшие размеры печи; снижение отхода на окалину. К недостаткам скоростного нагрева относят опасность перегрева заготовок ввиду высокой температуры печи, что требует автоматизации процесса загрузки и выгрузки из печи и наличия автоматического выключателя для выключения печи, если автоматизация выходит из строя, а также необходимость применения огнеупоров высшего качества.

Таблица 10

Время нагрева (*мин*) заготовок из углеродистой конструкционной стали при $t_п = 1300°$ С и $t_н = 1200°$ С при $l > 3D$ по данным В. Ф. Копытова и П. В. Сорокина (ЦНИИТМАШ)

Диаметр D или сторона квадрата A заготовки, *мм*	Круглая заготовка				Квадратная заготовка			
	одиночн.	на расстоянии D	на расстоянии $\frac{D}{2}$	вплотную	одиночн.	на расстоянии A	на расстоянии $\frac{A}{2}$	вплотную
20	3	3,5	5	7	4,5	6	8	13
40	6,5	8	9,5	13	8	11	14	25
60	10	11,5	14	19,5	12,5	17,5	21	38
80	14	15,5	19,5	26	17	23,5	28,5	52
100	18	21,5	27	36	23	32,5	40	72
200	46	55	61	92	60	84	96	184

Время нагрева заготовок до $t = 1200°$ С при скоростном нагреве в зависимости от диаметра можно определить по диаграмме, изображенной на рис. 12, где показаны также зависимости времени нагрева от диаметра заготовки при нагреве в обычных печах.

§ 6. НАГРЕВ ИНДУКЦИОННЫЙ, КОНТАКТНЫЙ И В ПЕЧАХ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ

Индукционный электронагрев. При индукционном нагреве (рис. 13) катушка-индуктор *1* является первичной обмоткой, а вторичной обмоткой служит сам нагреваемый металл, расположенный в индукторе.

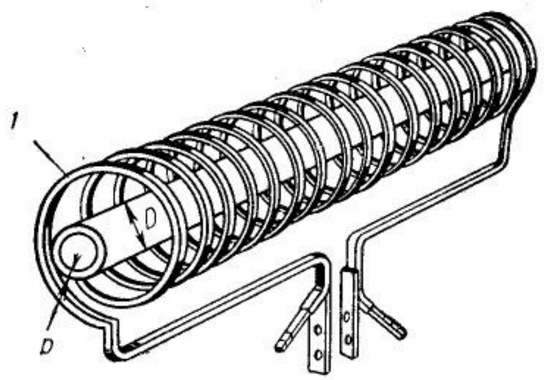


Рис. 13. Расположение нагреваемой заготовки в цилиндрическом индукторе *1*

Электрическая схема индукционной установки показана на рис. 14. Здесь имеется источник тока повышенной частоты — обычно машинный генератор *1*; индуктор *2* с заготовкой; конденсаторная батарея *3*, служащая для увеличения коэффициента мощности ($\cos\varphi$) индукционного устройства; контакт *4* для включения и выключения нагрева; комплект приборов *5* с трансформаторами тока и напряжения.

В высокочастотном индукционном устройстве различные части схемы нагружены различным током. От генератора до конденсаторной батареи течет ток генератора $I_г$, а от конденсаторной батареи и через индуктор течет ток колебательного контура $I_к$. Ток $I_к$ больше тока $I_г$ во столько раз, во сколько раз коэффициент мощности системы индуктор-заготовка меньше коэффициента мощности всего колебательного контура.

Тепло в нагреваемом металле выделяется в основном вследствие действия индуктированных в нем токов Фуко (вихревые токи), а также потерь на гистерезис.

Величина токов Фуко и потерь на гистерезис при индукционном нагреве металлов зависит от применяемой частоты и магнитной индукции, но, учитывая, что в основном электронагрев производится для ферромагнитных металлов, теряющих свои магнитные свойства в точке Кюри (723° С — точка фазовых превращений), можно считать, что индукционный нагрев происходит за счет токов Фуко. Для упрощения индукционный нагрев можно рассматривать как нагрев проводника при прохождении по нему электрического тока и тепло, возникающее в нагреваемом металле, в этом случае пропорционально I^2R, где I — сила тока, протекающего по металлу, а R — его сопротивление. Магнитный поток, индуктирующий электрический ток в металле, больше концентрируется в середине длины индуктора и вблизи его внутренней поверхности. Применению высоких частот для индукционного нагрева металла свойственно явление «поверхностного эффекта», т. е. явления, характеризуемого распределением электрического тока и магнитного потока по поверхности сечения нагреваемого металла. Поверхностный эффект является функцией частоты. С увеличением частоты глубина проникания электрического тока и магнитного потока в металл уменьшается. Эффективная глубина проникания p (*см*) электрического тока в металл (см. рис. 13) может быть определена по формуле Штейнметца:

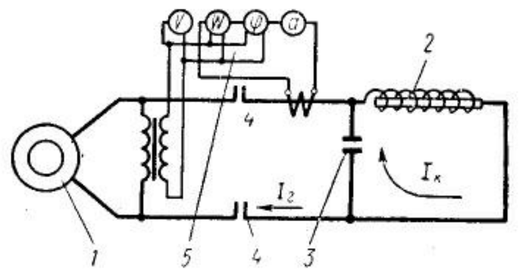


Рис. 14. Электрическая схема индукционной установки

$$p \approx 5030 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}},$$

где ρ — удельное электрическое сопротивление нагреваемого металла, *ом·см* (*ом·м*);

μ — магнитная проницаемость металла, *гс/э* (*гн/м*);

f — частота тока, *гц*.

В процессе нагрева удельное сопротивление ρ возрастает при t от 20 до 1200° С более чем в 10 раз, а магнитная проницаемость, особенно у ферромагнитных материалов, претерпевает значительные изменения. У магнитных сталей при температуре 723° С (точка Кюри) величина μ от значения 1000—100 (в зависимости от сорта стали и интенсивности электромагнитного поля) резко падает до 1; при дальнейшем увеличении температуры магнитная проницаемость не меняется ($\mu \approx 1$). Изменение μ и ρ приводит к увеличению глубины проникания тока в процессе нагрева. Например, для конструкционных сталей при 20° С $p_{20} \approx \frac{20}{\sqrt{f}}$, а при 800° С $p_{800} \approx \frac{600}{\sqrt{f}}$ *мм*.

Для аустенитной стали (немагнитной) $p = \frac{450}{\sqrt{f}}$, а для меди $p \approx \frac{67}{\sqrt{f}}$ *мм*.

При той же мощности установки (и на индукторе) увеличение толщины одновременно прогреваемого слоя приводит к некоторому уменьшению скорости нагрева. Поэтому, в частности, нагрев аустенитных сталей идет медленнее.

Оптимальность нагрева определяется разностью температур и экономичностью нагрева.

С увеличением частоты тока электрическое сопротивление заготовки возрастает, выделяется больше тепла и электрический к. п. д. $\eta_{эл}$ увеличивается. Однако с увеличением частоты тока уменьшается толщина активно нагревающегося слоя, и относительно большая часть заготовки нагревается за счет теплопроводности. Быстрый разогрев наружных слоев заготовки приводит к большим потерям тепла в окружающую среду, и тепловой к. п. д. $\eta_{тепл}$ уменьшается. При этом увеличивается температурный перепад в заготовке, что требует увеличения времени нагрева для его снижения и приводит также к уменьшению $\eta_{тепл}$.

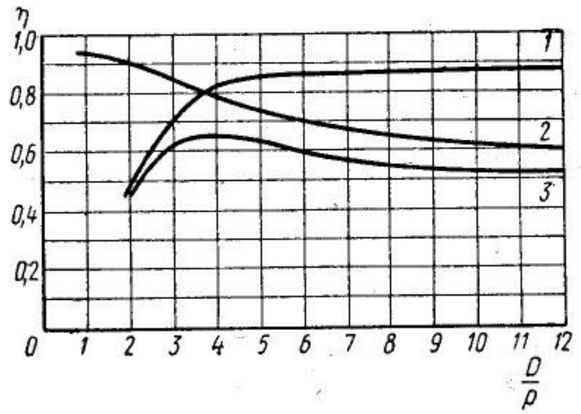


Рис. 15. Зависимость электрического *1*, термического *2* и полного *3* к. п. д. в индукционной установке от отношения диаметра заготовки D к глубине проникания тока p

Если построить зависимость $\eta_{эл}$ и $\eta_{тепл}$ от $\frac{D}{p}$ (рис. 15), то $\eta_{эл}$ будет возрастать, а $\eta_{тепл}$ будет падать с увеличением $\frac{D}{p}$. Общий к. п. д. $\eta_{общ}$ имеет максимум при $\frac{D}{p} = 3{,}5$, что и соответствует оптимальному нагреву. Так как частота и глубина проникания тока связаны между собой формулой Штейнметца, то, подставив оптимальную величину p, получим для углеродистых сталей оптимальную частоту

$$f_{опт} = \frac{34\,000}{D^2},$$

где D — диаметр заготовки, *см*.

По аналогичной формуле построен график зависимости $f_{опт}$ от D для заготовок диаметром от 10 до 200 *мм* из низколегированной конструкционной стали (рис. 16).

На практике применяют следующие стандартные частоты, для которых рекомендуются соответствующие размеры (диаметры) заготовок:

f, *гц*	*D*, *мм*
500	70 ÷ 160
1000	50 ÷ 120
2500	30 ÷ 80
8000	15 ÷ 40

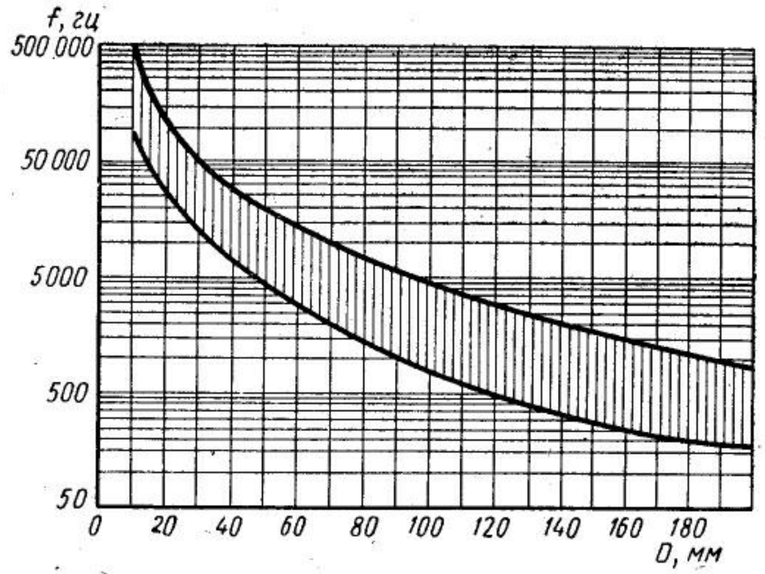


Рис. 16. График для определения частоты тока f при нагреве конструкционной стали от диаметра заготовки D (по М. Г. Лозинскому)

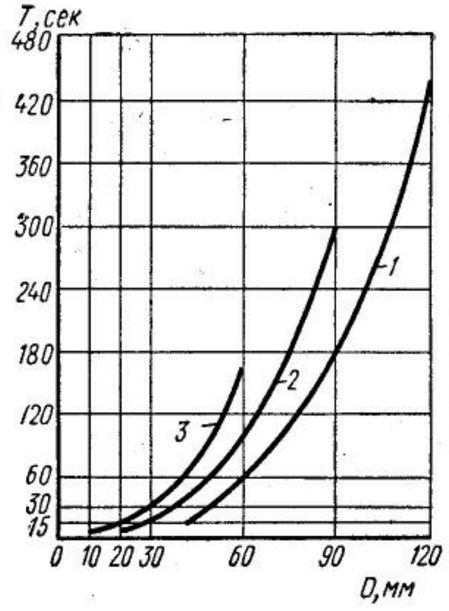


Рис. 17. Зависимость минимально допустимого времени нагрева заготовок индукционным способом от диаметра заготовки:

1 — частота тока 1000 *гц*; *2* — частота тока 2500 *гц*; *3* — частота тока 8000 *гц*

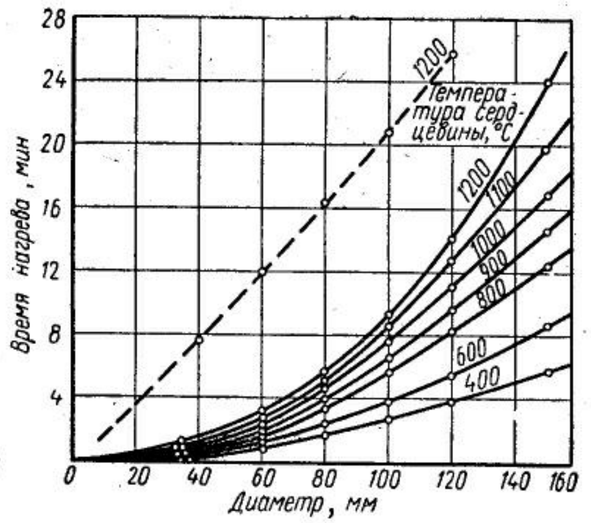


Рис. 18. Зависимость времени нагрева от диаметра заготовки при индукционном нагреве

Промышленную частоту в 50 *гц* применяют при нагреве заготовок диаметром от 150 до 300 *мм* [16].

Мощность высокочастотного генератора и питающей сети зависит от производительности нагревательной установки и ее к. п. д. [42].

Время нагрева заготовок индукционным методом определяют по таблицам в зависимости от диаметра заготовки и применяемой частоты [103, 72].

Можно определить время нагрева по графику на рис. 17 [16].

Следует иметь в виду, что определенное по графику время нагрева заготовок является минимально необходимым временем, которое недостаточно для равномерного прогрева. Разница температуры поверхности и сердцевины составляет 100 ÷ 150° С, а температура поверхности выше необходимой конечной температуры на 30 ÷ 50° С. Эта разница температур считается допустимой, так как не приводит к трещинам при нагреве, а при переносе заготовки к кузнечной машине температура значительно выравнивается.

На рис. 18 показаны зависимости времени нагрева заготовок из углеродистой стали от их диаметра при нагреве до различных температур сердцевины заготовки. Для сравнения на рисунке штриховой линией показана эта же зависимость для газового нагрева при нагреве до $t = 1200°$ С и температуре печи 1300° С [121].

Индукционный нагрев обладает рядом преимуществ: быстрота нагрева; снижение отходов металла на окалину; повышение стойкости штампов вследствие меньшей окалины, оказывающей абразивное действие на штамп; легкость автоматизации работы индукционной установки; улучшение условий труда; повышение качества нагретых заготовок ввиду стабильности режима нагрева; отсутствие необходимости очистки от окалины перед штамповкой; компактность установок и, в особенности, небольшая занимаемая ими площадь.

К недостаткам индукционного нагрева относятся: высокая стоимость установки; большой расход электроэнергии на единицу массы нагреваемого металла (0,4 ÷ 0,5 *квт·ч/кг*); наличие нескольких индукторов для возможности их замены при изменении размеров заготовки (диаметр заготовки должен составлять не менее 0,6 от внутреннего диаметра индуктора); наличие специальных индукторов для нагрева фасонных заготовок (например, с квадратным отверстием для нагрева квадратных заготовок и т. п.).

Контактный электронагрев. Этот вид нагрева заключается в том, что через нагреваемую заготовку пропускают ток большой силы, при прохождении которого ввиду электрического сопротивления заготовки выделяется тепло, разогревающее заготовку.

По закону Джоуля — Ленца количество выделяющегося тепла (*кал*)

$$Q = 0{,}24 I^2 R T,$$

где I — *а*, R — *ом* и T — *сек*.

Схема контактного электронагрева показана на рис. 19.

Установки для контактного электронагрева представляют собой простой трансформатор, вторичной обмоткой которого является один

виток из медной трубы, охлаждаемой изнутри водой. Первичная обмотка состоит из нескольких секций для создания возможности регулирования вторичного напряжения в пределах от 5 до 14 *в*. В линию вторичной обмотки и подключается нагреваемый пруток. Установки работают от сети переменного тока частотой 50 *гц*.

Стоимость затрат на установку примерно в 7 раз меньше, чем для индукционного электронагрева.

Разница диаметра нагреваемой заготовки в 10 ÷ 15 *мм* не требует смены контактов, а при смене контактов размеры заготовок могут резко отличаться по диаметру. Смена контактов простая и быстрая, значительно быстрее, чем смена индуктора.

Процесс можно автоматизировать, хотя и более сложно, чем при индукционном нагреве. При этом управление производится фотопирометром (фотоэлемент с усилителем и реле).

Расход электроэнергии составляет 0,30 ÷ 0,45 *квт·ч/кг* (1,08 ÷ 1,62 · 10^6 *дж/кг*).

Удельный расход энергии зависит от отношения $\frac{l}{D^2}$.

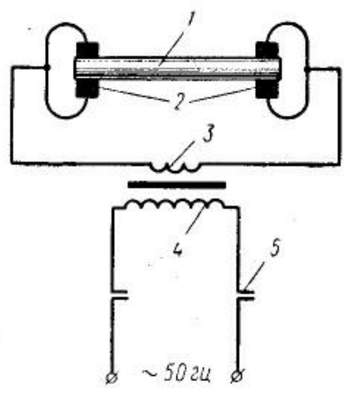


Рис. 19. Схема контактного электронагрева:

1 — нагреваемая заготовка; *2* — контакты (водоохлаждаемые губки); *3* — вторичная обмотка понижающего трансформатора; *4* — первичная обмотка трансформатора; *5* — контактор

Рационально применять контактный электронагрев для удлиненных заготовок с $l > 1{,}5\,D^2$ и, в крайнем случае, с l не ниже D^2 (l и D в *см*). Диаметр заготовки при контактном электронагреве от 20 до 50 *мм*, но может быть и меньше (заготовка для клапана). Можно нагревать профили, давать местный нагрев под высадку и гибку.

При контактном электронагреве достигается очень высокая скорость нагрева, даже несколько большая, чем при индукционном [103].

К достоинствам этого нагрева, так же как и индукционного, следует отнести бесшумность процесса, отсутствие грязи, копоти, дыма и т. д.

Основным недостатком контактного электронагрева являлась низкая стойкость контактов. Контакты из красной меди имеют стойкость до зачистки около 1000 нагревов. Успешно применяют контакты из металлокерамических сплавов. В настоящее время работают над созданием контактов из твердых сплавов.

Недостатком является также неравномерность прогрева заготовки. При нагреве температура заготовки под контактами ввиду интенсивного охлаждения ниже на 100 ÷ 150° (а в некоторых случаях и на 300°), чем температура заготовки между контактами. Для уменьшения неравномерности прогрева один из концов заготовки упирают в торцевой контакт, а другой конец зажимают в обычном контакте.

Иногда применяют оба торцевых контакта. На величину неравномерности прогрева влияет усилие зажима контактов. Для того чтобы

контакты не подгорали, а также для обеспечения нагрева заготовки с неочищенной от окалины поверхностью и с плохим резом усилие зажатия в зависимости от диаметра заготовки должно составлять 1800 ÷ 3000 *кГ*, но после разогрева для уменьшения теплоотдачи и деформации усилие зажатия необходимо уменьшить, что и предусматривается в некоторых конструкциях.

Нагрев в печах электросопротивления. Этот нагрев аналогичен нагреву в пламенных печах. Для стали он является очень дорогим. Поэтому чаще его применяют для нагрева до более низких температур алюминиевых и других цветных сплавов. При нагреве в печах электросопротивления заготовок из стали трудно получить внутри печи высокую температуру ввиду низкой стойкости нагревательных элементов. Поэтому нагрев лучеиспусканием в печах электросопротивления менее интенсивен, общий коэффициент теплопередачи меньше и печи менее экономичны. При нагреве цветных металлов экономичность печей электросопротивления повышается, но и в этом случае она ниже, чем у пламенных печей. Продолжительность нагрева в печах электросопротивления ввиду менее интенсивной теплопередачи лучеиспусканием, а также и конвекцией, на 15 ÷ 20% больше, чем в пламенных печах. Печи отличаются точностью регулировки температуры (до ±5° С). В печах электросопротивления легко создать защитную атмосферу и производить безокислительный нагрев.

§ 7. НАГРЕВ В РАСПЛАВЛЕННЫХ СОЛЯХ И СТЕКЛЕ

Нагрев в расплавленных солях. Нагрев в расплавленных солях при термообработке является давно освоенным процессом. Нагрев под ковку и горячую штамповку применяется сравнительно недавно. На Невском заводе им. В. И. Ленина и на заводе «Красное Сормово» были проведены опыты по нагреву в соляных ваннах [21]. Нагрев производили в соляных ваннах СП-2-35-34 *ква* (номинальная мощность 30 *кг/ч*, средняя — 20 *кг/ч*). Была опробована соль нескольких составов. Соль нагревали до $t = 1000 \div 1300°$ С.

Рекомендуется проводить нагрев в ванне из 100% $BaCl_2$. Рабочей температурой выбрана температура 1200 ÷ 1300° С. При этой температуре среднее значение коэффициента теплопередачи велико и равно $k = 400 \div 500$ *ккал/м²ч·град* (465 ÷ 580 *вт/м²·град*). Поэтому время нагрева заготовок значительно меньше, чем при нагреве в пламенных печах (табл. 11).

При сравнении времени нагрева по данной таблице с временем нагрева в пламенных печах разница составит 3 и более раза.

Нагрев в соляных ваннах можно производить для заготовок из различных сталей, в том числе и из высоколегированных. Опыты по нагреву заготовок под штамповку поковок турбинных лопаток из жаропрочных сталей 2Х13, 15Х11МФ и ЭИ726 показали, что время нагрева заготовок диаметром 60 ÷ 70 *мм* сокращается в 2,5 раза по сравнению с нагревом в камерной печи.

Большим достоинством нагрева является почти полное отсутствие окалины.

Таблица 11

Время нагрева *T*, *сек* заготовок

Температура нагрева, °С	Диаметр заготовки, *мм*		
	30	20	10
1200	160	110	56
1100	90	60	30
1000	70	47	23

Примечание. Подсчитано при разнице температур ванны и центра образца в 50° С.

Пленку соли перед штамповкой легко удаляют, быстро опуская нагретую заготовку в воду. Нагрев применим при единичном и массовом производстве. Расход соли составляет 0,2 *кг* на 1 *кг* заготовок. Затраты в рублях на 70 *т* нагреваемых заготовок в год составляют с учетом потерь на угар в пламенной печи — 1880 руб., в соляной ванне — 1430 руб.

В настоящее время есть установки для нагрева в солях с полной механизацией загрузки и выгрузки заготовок.

Нагрев в расплавленном стекле. Эксперименты по нагреву в расплавленном стекле под прессование, ковку и штамповку проводились в СССР и других странах [26].

В США, Италии и Франции есть печи для нагрева стальных заготовок перед прессованием [127]. Печи газовые, вращающиеся. Заготовки диаметром 100 *мм* нагреваются за 12 ÷ 15 *мин*. Производительность печи 454 *кг/ч*. Планировалось построить аналогичную печь с производительностью 4500 *кг/ч*. Расход битого стекла составляет 4 ÷ 9 *кг* на 1 *т* заготовок. Отмечается высокая стойкость футеровки печи, защищаемой жидким стеклом (2 ÷ 3 года). Печь автоматизирована на 90%. Успешно проводится нагрев жаропрочных сталей до более высокой температуры — 1300° С, что позволяет снизить мощность оборудования. Пленка стекла на заготовках в дальнейшем служит смазкой, защитой от окисления и остывания. Отмечается невысокая себестоимость нагрева.

§ 8. ОХЛАЖДЕНИЕ И ТЕРМООБРАБОТКА ПОКОВОК

Режим охлаждения поковок. Режим охлаждения поковки после обработки давлением имеет такое же значение, как и режим нагрева. Скорость охлаждения влияет на величину термических напряжений, которые в случае быстрого охлаждения приводят обычно к наружным трещинам. При переходе через критический интервал температур 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.

Низкоуглеродистая и низколегированная стали при малых размерах поковок не требуют предосторожностей при охлаждении.

Существуют следующие виды охлаждения: на воздухе одиночные поковки; на воздухе в штабелях; в ящиках с песком, золой или окалиной; в термостатах и неотапливаемых колодцах; в подогреваемых колодцах; вместе с печью.

Поковки из углеродистой конструкционной стали диа́метром до 300 *мм* охлаждаются на воздухе одиночно и в штабелях, при бо́льших диаметрах охлаждение более медленное и для поковок из крупных слитков применяют охлаждение с печью.

Поковки из легированной стали диаметром свыше 50 *мм* охлаждаются в ящиках с песком или окалиной, а также в закрытой яме, а поковки диаметром 150 *мм* и больше — вместе с печью.

Режимы охлаждения для различных сталей и различных заготовок нормализованы [103].

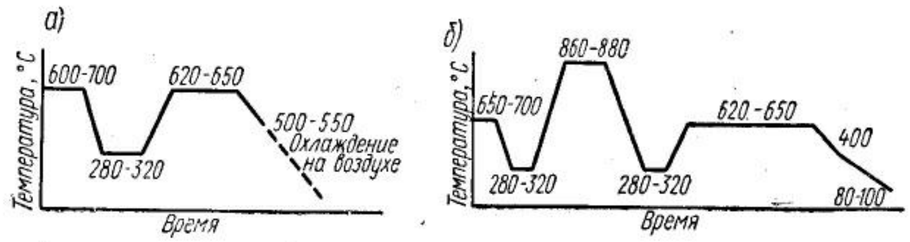


Рис. 20. Режимы охлаждения:

а — поковок из хромоникельмолибденовой стали диаметром до 300 *мм*; *б* — высоколегированных поковок диаметром около 1000 *мм* из крупных слитков

Интересные данные по режиму охлаждения крупных поковок из легированных сталей были получены на Уральском заводе тяжелого машиностроения им. С. Орджоникидзе [44, 90].

В крупных поковках получаются различные дефекты: флокены, белые пятна и т. д. Флокены на изломе имеют вид гладких, серебристо-белых пятен. Они не имеют определенной ориентировки в связи с деформациями и не связаны с ликвационными зонами. Белые пятна похожи на флокены, но располагаются исключительно в ликвационных участках и ориентируются в направлении деформации. Белые пятна — это ликвационные трещины. На появление белых пятен и флокенов значительное влияние оказывает водород, растворенный в металле при выплавке. Для уменьшения флокеночувствительности (борьбы с водородом) применяют соответствующий режим охлаждения [44].

Режимы охлаждения для средних и крупных поковок показаны на рис. 20.

Промежуточная и последующая термообработка при ковке и горячей штамповке. Промежуточный отжиг применяется в том случае, когда крупные поковки диаметром свыше 500 *мм* изготавливают из слитков за несколько нагревов.

Промежуточный отжиг необходим для предохранения от образования флокенов и размельчения зерна.

Отжиг снимает остаточные напряжения в стали. Заготовка предварительно охлаждается до 650° С, затем следует выдержка. Отжиг проводят при $t = 850°$ С, затем следует выдержка и охлаждение до 700° С, далее выдержка с последующим нагревом под ковку.

Гомогенизационный отжиг применяют при нагреве слитков при $t = 1200°$ С для выравнивания структуры по всему сечению. При этом легирующие элементы диффундируют по всему сечению и распространяются более равномерно.

Отжиг полный производят путем нагрева поковок до температуры $A_{c_3} + 30 \div 50°$ С (770 ÷ 800° С), затем дается выдержка и медленное охлаждение.

После ковки и штамповки производят также неполный отжиг, изотермический отжиг, нормализацию, светлый отжиг и другие виды термообработки [103].

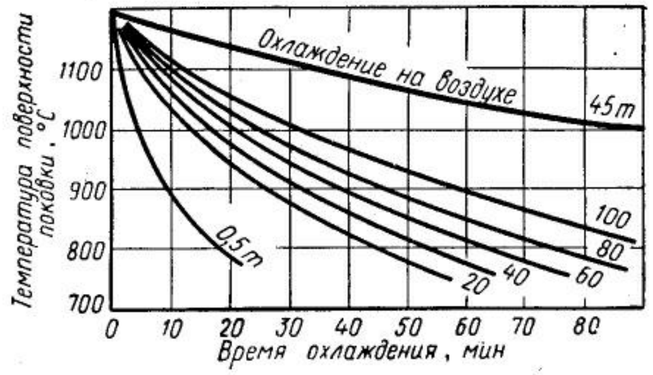


Рис. 21. Изменение температуры поверхности поковок при ковке в зависимости от развеса слитков и заготовок (статистические данные) [55]

Время охлаждения поковок при ковке и на воздухе. Время охлаждения поковок играет большую роль при выборе количества нагревов и подогревов при ковке и корректировке температурного интервала ковки и штамповки. Продолжительность охлаждения определяет возможную длительность процесса ковки в интервале заданных температур. Скорость охлаждения, подобно скорости нагрева, зависит от веса поковки, температуры окружающей среды, теплопередачи в окружающую среду и других факторов. Так как теплопередача при ковке больше, чем при охлаждении на воздухе, ввиду плотного контакта металла заготовки и инструмента, то скорость охлаждения на воздухе значительно меньше.

Изменение температуры поверхности поковок во времени при ковке и на спокойном воздухе показано на рис. 21 [29] и в табл. 12.

Для увеличения производительности при ковке сокращают количество подогревов и увеличивают объем и время ковки за один нагрев. Это достигается путем теплоизоляции частей заготовки, которые отковывают в последнюю очередь. Наиболее эффективной является теплоизоляция при ковке сравнительно длинных поковок. Теплоизоляцию

выполняют в виде стальных кожухов с асбестовой прокладкой внутри. Этим способом удлиняется время охлаждения от 1,5 до 5 раз [29].

Таблица 12

Время естественного остывания слитков при ковке под прессами

Диаметр и масса слитка	650 *мм*, 5 *т*	1050 *мм*, 13 ÷ 18 *т*	1580 *мм*, 48 ÷ 60 *т*
Время остывания с 1200 до 900° С, *мин*	42	75	110

Кроме кожухов с асбестом, известны попытки экранирования металла трубчатыми отражателями из алюминиевого листа (в виде кожуха), которые хорошо сохраняют тепло и замедляют охлаждение заготовок. Применяют также радиационный (инфракрасное излучение) подогрев в процессе ковки.

§ 9. ВЛИЯНИЕ КОВКИ И ШТАМПОВКИ НА СТРУКТУРУ МЕТАЛЛА И МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Влияние ковки и штамповки на макроструктуру металла. Макроструктура, это строение металла, видимое без увеличения или с увеличением в 2,5 ÷ 5 раз. Металл, в частности сталь, состоит из групп зерен, образующих кристаллиты, и расположенного между кристаллитами межкристаллического вещества. Если сделать шлиф и протравить его специальным составом, то межкристаллическое вещество вытравится в большей степени, чем кристаллиты. Видимая при этом структура кристаллитов и называется макроструктурой.

Исходным материалом для обработки давлением является слиток, который имеет так называемую дендритную макроструктуру (см. рис. 1, *б*).

Поверхностный слой слитка из стали представляет собой быстро застывшую структуру мелких кристаллитов. В следующем слое кристаллиты, охлаждавшиеся более медленно, имеют направленность от поверхности к середине слитка. Кристаллиты застывают в виде вытянутых к середине столбиков вначале меньших размеров и затем более крупных.

В середине слитка застывание жидкого металла происходит еще более замедленно и получается крупнодендритное строение с равноосными дендритами.

Вследствие направленного затвердевания слитка химический состав по сечению оказывается неоднородным. В частности, сера и фосфор в большей пропорции находятся в середине слитка, что резко ухудшает его качество. Кроме этого, в середине слитка скапливается некоторое количество микротрещин, переходящих в верхней части слитка в пустоты и рыхлости с располагающейся в прибыльной части усадочной раковиной.

Поэтому наблюдаются неравномерность свойств в разных участках слитка и пониженные механические характеристики в середине слитка, а также общая повышенная хрупкость слитка вследствие крупнодендритной структуры.

Исходный слиток обычно деформируется таким образом, что поперечное сечение его уменьшается, а длина увеличивается. Степень изменения площади поперечного сечения определяется отношением $\frac{F_0}{F_к}$, где F_0 — начальная площадь поперечного сечения до деформации и $F_к$ — площадь поперечного сечения после деформации. Это отношение называется *уковом* или *уковкой* и обозначается y. Сама операция, при которой длина слитка увеличивается, а поперечное сечение уменьшается, называется *протяжкой* (вытяжкой).

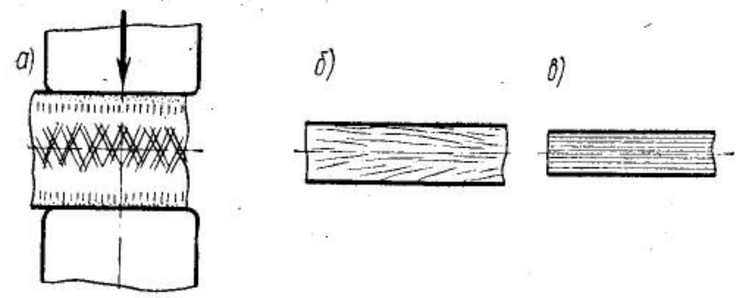


Рис. 22. Схема дробления и вытягивания дендритов при протяжке:

а — литая структура слитка; *б* — структура после протяжки с 4 ÷ 6-кратным уковом; *в* — после 10-кратного укова

По мере увеличения укова дендритная структура слитка разрушается, дендриты дробятся и вытягиваются в длину по направлению главной деформации (рис. 22). В середине слитка начинает образовываться волокнистая направленная макроструктура и распространяется к его периферии. Средняя часть слитка приобретает волокнистое строение уже после 2 ÷ 3-кратного укова, а столбчатые дендриты при этом только начинают заметно отклоняться от первоначального направления. Микротрещины, имеющиеся в середине слитка, при ковке завариваются и металл уплотняется.

4 ÷ 6-кратный уков увеличивает деформацию и наклон столбчатых дендритов, но последние все же остаются наклоненными к направлению вытяжки на заметный угол.

Лишь после 10-кратного укова сталь приобретает волокнистое строение по всему сечению. Полученная волокнистая первичная макроструктура является стойкой. Последующей термообработкой макроструктура не изменяется. Лишь термообработка при температуре, близкой к температуре плавления, может слегка размыть волокнистость.

Последующая ковка только изменяет направление волокон. Кованый металл имеет анизотропное строение и рассматривается в связи с направлением волокна (рис. 23).

Выше говорилось о горячем деформировании стальных слитков. Аналогичное влияние оказывает на макроструктуру и холодное деформирование, т. е. также получается волокнистая первичная макроструктура. Однако на практике холодную деформацию для остальных слитков не применяют, так как обычно очень трудно получить значительный уков ввиду высокого сопротивления деформированию и ограниченной пластичности металла.

Влияние ковки и штамповки на микроструктуру. Влияние горячей обработки на микроструктуру состоит в том, что при ковке микроструктура получается более мелкозернистой. При перегреве структура становится более крупнозернистой. В случае, если после ковки или штамповки дается термообработка, то различий в микроструктуре не наблюдается. Иначе говоря, термообработкой можно получить любую микроструктуру в поковке и в этом смысле ковка на микроструктуру не влияет, в противоположность влиянию на макроструктуру. После горячей деформации в микроструктуре не наблюдается никакой вторичной полосчатости, зерна равноосные.

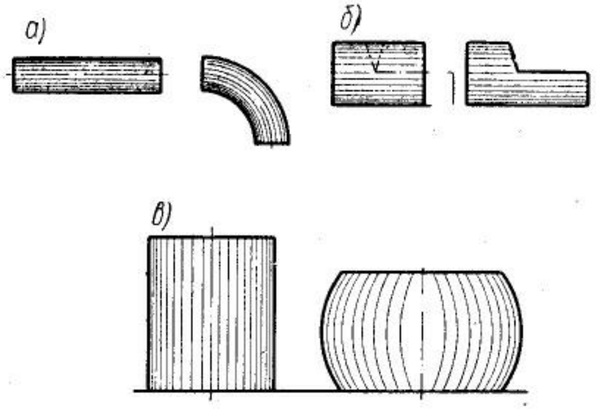


Рис. 23. Волокнистое строение металла:

а — при гибке; *б* — при протяжке с надрубкой для образования уступа; *в* — при осадке

Однако ковка стали, содержащей более 0,9% С (заэвтектоидная сталь), раздробляет цементитную сетку. Образующиеся отдельные зерна цементита способствуют повышению механических характеристик пластичности и изменяют микроструктуру. При этом твердость и прочность стали не снижаются.

Если металл не имеет фазовых превращений, то термообработкой раздробить зерна не удается и приходится тщательно проводить ковку и применять более низкий нагрев и малые выдержки.

При ковке следует учитывать так называемые критические степени деформации. Как видно из диаграммы рекристаллизации стали 50 (рис. 24), критические степени деформации лежат в пределах от 6 до 8% для $t = 800$—$1000°$ С. При этих степенях деформации наблюдается резкий рост зерна.

Величина зерна зависит одновременно от степени деформации и температуры, причем критические степени деформации при увеличении температуры сдвигаются в область меньших значений деформации. Поэтому ковку стали начинают при $t = 1150°$ С и дают большие степени деформации $\varepsilon = 25 \div 30\%$, превышающие критические; при $t = 900 \div 1000°$ С $\varepsilon = 15\%$, при $t = 800 \div 850°$ С ε выбирается менее 6%, так как при ε более 10% потребуется очень мощное оборудование,

например, мощные молоты (в связи с резким ростом сопротивления деформированию при уменьшении температуры).

Влияние холодной обработки на микроструктуру состоит в том, что зерна вытягиваются в направлении течения металла. Получается вторичная полосчатость — строчечная структура, которая уничтожается термообработкой.

Влияние ковки и штамповки на механические характеристики. Механические характеристики подразделяются на характеристики прочности ($\sigma_в$, $\sigma_т$, $\sigma_у$, σ_R) и характеристики пластичности δ, ψ и $a_н$.

При явно выраженной волокнистости механические характеристики стали различны вдоль и поперек волокон. В связи с этим рассматривают продольные, поперечные и наклонные образцы. Поперечные образцы бывают тангенциальными, радиальными и промежуточными.

Степень деформации, или уков, оказывает сравнительно малое влияние на прочностные характеристики стали и большее влияние на характеристики пластичности. Продольные образцы лучше поперечных, а в поперечных тангенциальные лучше радиальных. Различие растет с увеличением уковки и приближением к оси.

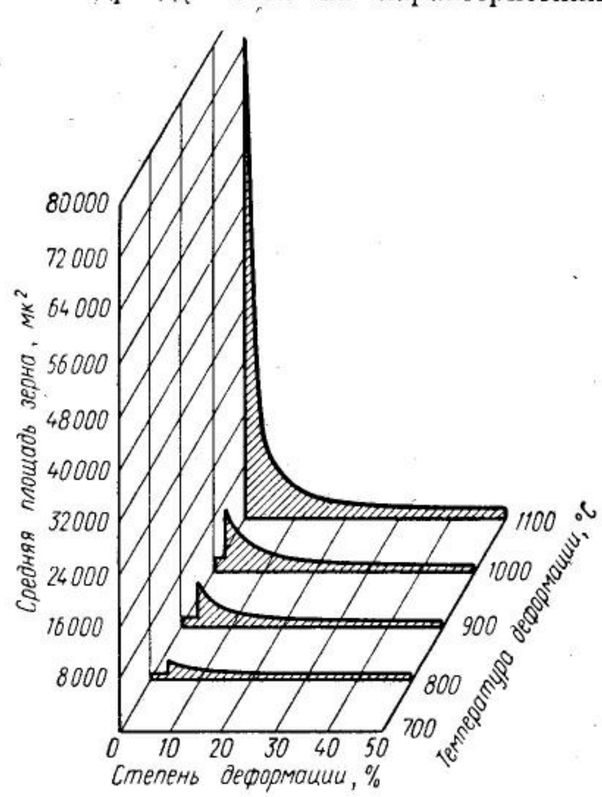


Рис. 24. Диаграмма рекристаллизации стали 50

Характеристики пластичности при 2—6-кратном укове возрастают сравнительно быстро, при 6—10-кратном укове медленнее, а сверх 10-кратного укова почти не изменяются, оставаясь повышенными. Характеристики пластичности продольных образцов при 10-кратном укове в среднем повышаются: δ на 10%, ψ на 15%, $a_н$ на 20%.

Предел выносливости при симметричном цикле σ_{-1} повышается до 7,5% равномерно, по мере увеличения укова до 10.

Критерием оценки качества кованой поковки является снижение механических характеристик у поперечных образцов по сравнению с продольными. Это снижение составляет: при 2 ÷ 6-кратном укове δ — 20%, ψ — 20 ÷ 30%, $a_н$ — 20 ÷ 40% и σ_{-1} — 6%; при 6 ÷ ÷ 10-кратном укове: δ — 30 ÷ 40%, ψ — 40 ÷ 45%, $a_н$ — 50 ÷ 60% и σ_{-1} — 15%.

В поперечных образцах механические характеристики меньше всего снижаются при 3-кратном укове.

Разница между прочностными характеристиками продольных и поперечных образцов колеблется в пределах 3 ÷ 6%.

Вследствие химической неоднородности механические характеристики поперечных образцов в середине поковки ниже, чем у периферии δ на 20%, ψ на 20 ÷ 25% и $a_н$ на 10%.

В тех случаях, когда желательно уменьшить разницу в свойствах продольных и поперечных образцов, дают предварительную деформацию обратного знака — осадку. Чаще всего осадку дают перед протяжкой, что позволяет получить сравнительно дезориентированную макроструктуру. Излишняя предварительная осадка вызывает необходимость увеличения последующей протяжки, которая увеличивает анизотропию свойств.

Оптимальной считают осадку до половины первоначальной высоты, которая обеспечивает наибольшую однородность свойств продольных и поперечных образцов.

Иногда дают двойную осадку на 30 ÷ 50%. В настоящее время в ряде случаев отрицают целесообразность предварительной осадки.

Для устранения неоднородности механических свойств при ковке поковок типа кубиков производят ковку по трем осям координат. Эта ковка дает относительную равномерность механических свойств по трем осям координат с некоторым их улучшением. Но нам нужно получить форму детали и поэтому данная ковка применяется только для деталей, имеющих приблизительно равные стороны измерения.

Механические свойства поковок зависят от многих факторов. Для получения высоких механических свойств необходимо выбрать оптимальные условия ковки, правильной формы инструмент, произвести соответствующий расчет переходов, выбрать температурный режим и т. д. Влияние механического режима ковки на качество поковок подробно изложено в [45, 46].

ГЛАВА III

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СВОБОДНОЙ КОВКЕ

§ 10. РАЗВИТИЕ СВОБОДНОЙ КОВКИ В СССР

Свободная ковка возникла еще в бронзовый век, когда люди отковывали вручную сначала изделия из меди в холодном состоянии, а впоследствии изделия из самородного и метеоритного железа. Свободная ковка получила широкое применение с развитием металлургии бронзы и железа.

В нашей стране ковку применяли скифские племена и сарматы еще в VIII—VII вв. до нашей эры. Древние славяне в IV—VI вв. нашей эры также применяли свободную ковку. Во времена Киевской Руси ковкой изготавливались серпы, косы, холодное оружие, воинские доспехи и украшения. Значительное развитие свободной ковки наблюдалось в XV и XVI вв., а в XVI—XVII вв. свободной ковкой, кроме оружия, изготавливались также оконные решетки, ворота, люстры, башенные часы и другие изделия. В XVI в. начинается специализация кузнецов: в Туле начинают изготавливать в основном огнестрельное оружие, в Вологде — якори и гвозди, в Муроме — гвозди и скобяные изделия, в Холмогорах — замки, в Астрахани — булатное оружие и т. д.

В XVI в. Россия, по свидетельству иностранцев, была для заграницы «живым источником хлеба и металла» [27].

XVII в. характеризуется возникновением первых металлообрабатывающих заводов в России. Если до XVI в. применялась только ручная ковка, то начиная с XVI в. появляются механические молоты с приводом от вододействующих машин, возникает машинная ковка.

Первая механизированная кузница в России была построена на Новом Тульском оружейном заводе в начале XVIII в. В середине XIX в. появляются паровые молоты. В 80-х годах XIX в. на Петербургском, Обуховском и на Пермском заводах применялись молоты с массой падающих частей по 50 *т* [5]. В конце XIX в. появляются гидравлические прессы. В Петербурге и на Урале были построены крупные кузнечные цехи.

Однако к началу XX в. свободная ковка в России была в отсталом состоянии по сравнению со свободной ковкой в Западной Европе и США. После Великой Октябрьской социалистической революции отечественное кузнечное производство постепенно восстанавливается, а в годы первых пятилеток началось бурное строительство заводов и новых цехов свободной ковки. В те годы были построены крупные цехи свободной ковки на УЗТМ, НКМЗ и ряде других заводов.

После Великой Отечественной войны свободная ковка в СССР получила дальнейшее развитие. В последние годы интенсивно проводится механизация в цехах свободной ковки. Ковочные прессы и молоты снабжают ковочными манипуляторами, позволяющими резко увеличить производительность труда и облегчающими условия труда. Свободной ковкой в настоящее время изготавливают огромное количество разнообразных поковок. В 1965 г. свободной ковкой было изготовлено 2,22 млн. *т* поковок [20]. В ближайшие годы выпуск кованых поковок будет увеличен.

§ 11. СУЩНОСТЬ СВОБОДНОЙ КОВКИ И ОБЛАСТЬ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Свободная ковка является одним из видов обработки металлов давлением. Как и для любого вида обработки металлов давлением, целью свободной ковки является формоизменение исходной заготовки, по-

этому характер формоизменения определяет вид обработки металлов давлением. При свободной ковке формоизменение происходит вследствие течения металла в стороны, перпендикулярные к движению деформирующего инструмента — бойка, причем это течение ограничивается лишь касательными напряжениями τ, действующими по контактным поверхностям (рис. 25), и иногда формой инструмента. Основной применяемый при свободной ковке инструмент не создает интенсивного сопротивления течению металла в стороны при деформировании, что и отличает свободную ковку от других видов обработки давлением.

Свободной ковкой получают различные заготовки для последующей механической обработки. Эти заготовки называются поковками или коваными поковками. Поковки чрезвычайно разнообразны по форме и размерам. Крупные поковки имеют массу до 200 *т*. К ним относятся поковки валов гидротурбин, барабанов котлов высокого давления, турбинных дисков, коленчатых валов судовых двигателей, валков прокатных станов, крупных штамповых кубиков и т. п. Средние поковки имеют массу от 50 до 400 *кг*. Это поковки коленчатых валов крупных дизелей, вагонных осей, различных шестерен, маховиков, дисков и т. п.

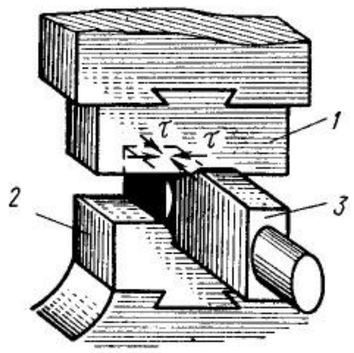


Рис. 25. Схема свободной ковки:
1 — верхний плоский боек;
2 — нижний плоский боек;
3 — заготовка

Мелкие поковки массой менее 50 *кг* очень разнообразны. К ним относятся, например, поковки, изготавливаемые в ремонтных целях.

Ввиду большого разнообразия поковок при свободной ковке используют обычно универсальный инструмент. Определенный набор инструмента обеспечивает изготовление различных поковок. Применяя последовательно различный инструмент и деформируя соответствующим образом заготовку, можно получить необходимую форму поковки.

Свободную ковку применяют в единичном и мелкосерийном производствах мелких и средних поковок и при изготовлении крупных поковок, которые штамповкой изготовить нельзя ввиду больших требующихся усилий деформирования.

При единичном и мелкосерийном производствах свободная ковка оказывается выгоднее штамповки, так как расходы на инструмент значительно ниже. Однако свободная ковка отличается низкой производительностью, большим расходом металла и большой трудоемкостью.

Свободная ковка подразделяется на ручную и машинную. Ручную ковку выполняют с помощью кувалды и наковальни. Ниже рассматривается машинная ковка.

В качестве машин-орудий для свободной ковки применяют главным образом ковочные приводные пневматические молоты, ковочные паровоздушные молоты двойного действия и ковочные гидравлические прессы.

Ковочные приводные пневматические молоты (ГОСТ 712—65) применяют при ковке мелких поковок массой от 0,3 до 20 *кг*. Молоты характеризуются массой падающих частей и энергией удара. Значения массы падающих частей находятся в пределах от 50 до 1000 *кг*, а энергия удара соответственно от 80 до 2800 *кГ·м* (780 ÷ 27500 *дж*).

Ковочные паровоздушные молоты двойного действия (ГОСТ 9752—61) применяют при ковке мелких и средних поковок массой от 20 до 350 *кг* из проката и мелких слитков. Масса падающих частей этих молотов от 1000 до 8000 *кг*, а энергия удара от 2500 до 20 000 *кГ·м* (24,5 ÷ 196 *Кдж*).

Ковочные гидравлические прессы (ГОСТ 7284—54) предназначаются для изготовления поковок массой от 650 *кг* до 62 *т*. Номинальное усилие прессов составляет от 500 до 5000 *Т* (5000—50 000 *кн*). Имеются и более мощные прессы, усилием 10 000 и 15 000 *Т* (100 000 ÷ ÷ 150 000 *кн*), на которых можно отковывать поковки максимальной массой до 200 *т*.

§ 12. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ СВОБОДНОЙ КОВКИ

Широкое использование свободной ковки при производстве заготовок объясняется рядом преимуществ по сравнению с другими видами производства заготовок.

К основным преимуществам свободной ковки относятся следующие:

1) свободная ковка позволяет получать высокое качество металла с повышенными характеристиками пластичности по сравнению с отливками;

2) возможность получать крупные поковки, масса которых исчисляется десятками и даже сотнями тонн, а длина — десятками метров. Получение таких заготовок с высоким качеством металла другими способами невозможно или нецелесообразно;

3) для изготовления крупных по массе и размерам поковок требуются сравнительно небольшие усилия, так как обработка производится обжатием отдельных небольших участков заготовки, а удельные усилия невелики ввиду относительно свободного течения металла в стороны. В результате требуются прессы и молоты сравнительно небольшой мощности;

4) применение универсальных машин и, в особенности, универсального инструмента позволяет резко снизить затраты, связанные с оборудованием и инструментом при изготовлении единичных поковок или небольшого числа одинаковых поковок. В единичном и мелкосерийном производствах свободная ковка в ряде случаев оказывается экономически наиболее выгодной.

Однако свободная ковка имеет также недостатки:

1) низкая производительность по сравнению с горячей штамповкой. В последние годы стремятся механизировать процессы ковки и повысить производительность;

2) большие напуски на поковках, что влечет большую последующую механическую обработку. Сложные поковки делают с большими напусками для упрощения процесса ковки;

3) большие допуски и припуски, исчисляемые десятками миллиметров при крупных поковках, что также приводит к большой последующей механической обработке;

4) большие отходы металла, обусловленные большими технологическими отходами, напусками, допусками и припусками.

В связи с такими крупными недостатками применять свободную ковку нужно только там, где это диктуется экономической или технической целесообразностью.

§ 13. ОСНОВНЫЕ КУЗНЕЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ

Всякий технологический процесс свободной ковки можно подразделить на основные, вспомогательные и отделочные операции.

К основным кузнечным операциям относятся: осадка, протяжка, прошивка, рубка, гибка и закручивание. С помощью основных кузнечных операций производится главное формоизменение при ковке, в то время как вспомогательные и отделочные операции выполняют функции подготовки и доделки перед или после основных операций.

Каждая основная кузнечная операция определяется характером деформирования и применяемым инструментом.

§ 14. ОСАДКА

Осадкой называется основная кузнечная операция, при которой увеличиваются размеры поперечного сечения исходной заготовки за счет уменьшения ее высоты (рис. 26). При осадке заготовку устанавливают вертикально и деформирование происходит вдоль оси заготовки.

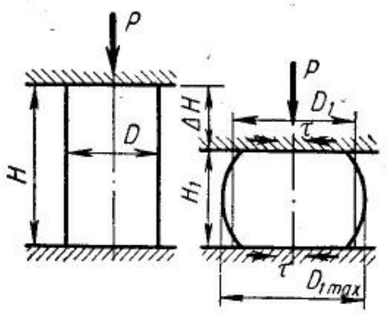


Рис. 26. Схема осадки

Осадку применяют в следующих случаях: для получения поковок с большими поперечными размерами из заготовок меньшего поперечного сечения (поковки фланцев, шестерен, дисков); как предварительную операцию перед прошивкой для выравнивания торцов и увеличения диаметра при изготовлении полых поковок, например, поковок типа колец, барабанов, муфт; как предварительную операцию перед протяжкой для наибольшего разрушения литой дендритной структуры и уменьшения неравномерности свойств в поперечном и продольном направлениях; для повышения укова, если площадь наибольшего поперечного сечения выбранного слитка не обеспечивает требуемого укова; вместе с протяжкой для деталей типа шестерен, дисков и др.; для повышения механических характеристик в тангенциальном и радиальном направлениях в поковках типа шестерен и др.; вместе с протяжкой для равномерного распределения и измельчения карбидов в сталях карбидного класса (быстрорежущие, высокохромистые), что повышает износостойкость.

Формоизменение при осадке. При осадке плоскости бойков обычно должны полностью перекрывать торцы заготовки от начала до конца осадки (см. рис. 26). Цилиндрические заготовки при осадке принимают одну из трех форм: в виде одинарной бочки (см. рис. 26); в виде двойной бочки; в виде рюмки.

Одинарная бочка получается при осадке заготовок при соотношении $\frac{H}{D} \leqslant 2{,}5$, если осадка производится под прессом или достаточно мощным молотом, дающим большую степень деформации за каждый удар.

Двойная бочка образуется при осадке высоких заготовок $\left(\frac{H}{D} > 2{,}5\right)$ под прессом, причем двойная бочкообразность при больших степенях деформации переходит в одинарную.

Рюмкообразная форма при осадке получается при деформировании под молотом с недостаточной массой падающих частей, когда степень деформации за каждый удар незначительна.

Следует указать также на возможность получения при осадке формы в виде гриба, когда со стороны бабы заготовка расплющивается больше, чем со стороны шабота. Такая форма получается при высокой скорости удара (свыше 30 ÷ 50 *м/сек*).

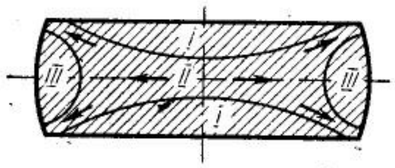


Рис. 27. Зоны деформации в вертикальном сечении при осадке

Если осаживать нецилиндрическую (квадратную) заготовку, то в процессе осадки искажается форма не только вертикальных, но и горизонтальных сечений заготовки.

Искажение формы тем больше, чем больше степень осадки, причем квадрат (и вообще любое по форме поперечное сечение заготовки) стремится перейти в круг.

Основной причиной искажения формы являются силы трения τ на контактных поверхностях (бойка и заготовки) (см. рис. 26). Силы трения вызывают бочкообразность тем в большей степени, чем больше коэффициент трения μ.

При $\mu = 0$ цилиндр должен оставаться цилиндром, а квадратное сечение — квадратным.

При горячей обработке давлением $\mu = 0{,}3 \div 0{,}4$, причем считают, что для молота μ меньше, чем для пресса.

Если торцы заготовки некруглой формы, то металл течет по линии наименьшего сопротивления, стремясь принять круглую форму, чтобы силы трения выравнивались по всем направлениям (закон наименьшего сопротивления (периметра)).

При горячей деформации, кроме сил трения на торцах, на бочкообразность влияет также подхолаживание торцов заготовки ввиду плотного контакта с бойками. Силы трения и подхоложенные торцы создают возможность образования зон затрудненной деформации.

В общем случае различают три зоны [107]. Зоны *I* являются упомянутыми зонами затрудненной деформации (рис. 27), в которых напряженное состояние представляет собой всестороннее сжатие. Эти зоны

как бы расклинивают зону *II*, которая интенсивно деформируется в осевом и радиальном направлениях. Зона *III* деформируется менее интенсивно, чем зона *II*. Здесь наблюдается деформация растяжения кольцевой зоны *III*.

Если расстояние между зонами *I* велико (при $\frac{H}{D} > 2{,}5$), то зона *II* деформируется вначале неоднородно, в большей степени вблизи зон *I*, что и приводит к двойной бочкообразности. При резком уменьшении отношения $\frac{H}{D}$ наблюдается слияние зон *I* и *II* в одну зону — зону затрудненной деформации, причем равномерность деформации увеличивается и бочкообразность уменьшается.

Наконец, при слабых ударах молота и малой массе падающих частей пластическая деформация за короткое время удара успевает произойти только вблизи контактных поверхностей и не распространяется от контактных поверхностей к середине образца. Отсюда получается рюмкообразная форма.

Форма в виде гриба получается при воздействии краткой по времени деформации и существенной инерции массы самой заготовки. Все это имеет место при очень высоких скоростях деформирования.

Однако обычной формой является одинарная бочкообразность.

Расчет диаметра заготовки проводят без учета бочкообразности. Исходя из постоянства объема заготовки до и после осадки, имеем (см. рис. 26):

$$\frac{\pi D^2}{4} H = \frac{\pi D_1^2}{4} H_1; \quad \frac{D_1^2}{D^2} = \frac{H}{H_1};$$

$$D_1 = D\sqrt{\frac{H}{H_1}}.$$

Практически удобнее замерять высоту и определять не D_1, а H_1.

Степень деформации при осадке (степень осадки) определяется выражением

$$\varepsilon = \frac{H - H_1}{H} = \frac{\Delta H}{H}.$$

Степень осадки может меняться от 0 до 1 (в пределе). Средняя степень деформации по диаметру при осадке меньше, чем по высоте.

Величину деформации при осадке определяют также отношением высоты заготовки к высоте поковки. Это отношение называется величиной осадки

$$q = \frac{H}{H_1} = \frac{F_1}{F}.$$

Основные правила осадки. 1. Для снижения усилия нагрев заготовок под осадку всегда производят до максимально допустимой температуры (для конструкционной углеродистой стали — 1200° С, для крупных слитков — 1250° С). Это обусловлено тем, что осадка является одной из самых тяжелых операций (максимальное усилие в конце процесса). Если в технологическом процессе есть осадка, то мощность машины-орудия подбирают по осадке. Нагрев должен быть

равномерным, иначе (особенно для слитков) возможен увод в сторону менее качественной осевой зоны. Нагрев близок к перегреву, но процесс идет быстро, даются большие деформации и происходит быстрое охлаждение. Поэтому рост зерна мал.

2. У исходной заготовки отношение $\frac{H}{D}$ не должно быть больше 3, а лучше не больше 2,5.

При больших отношениях $\frac{H}{D}$ возможен продольный изгиб и такую заготовку трудно осаживать (рис. 28).

Искривление необходимо немедленно выправить. Для этого на заготовку производят нажатие на часть площади торца со стороны выпуклости (рис. 28, *а*), а когда искривление исправлено, то контактную площадь увеличивают до полного перекрытия всего торца. При очень длинных заготовках искривления исправляют вначале по способу, показанному на рис. 28, *б*, а затем окончательное исправление проводят предыдущим способом.

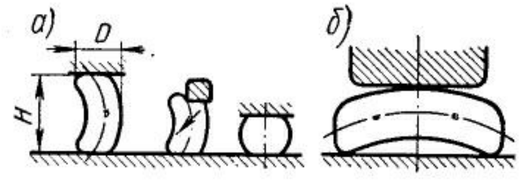


Рис. 28. Исправление перегиба при осадке

3. При осадке под молотом нужно учитывать, что чем выше заготовка, тем меньше рабочий ход молота, отсюда меньше энергия удара. Необходимо, чтобы оставалось по крайней мере больше 1/4 полного хода бабы.

4. Для успешной осадки нужно, чтобы торцы заготовки были возможно более гладкими и перпендикулярными к ее оси. Чем выше заготовка, тем важнее соблюдение этого условия.

Выравнивание торцов производится легкими ударами молота или легкими нажатиями пресса.

5. Заготовку или слиток перед осадкой необходимо подкатать до цилиндрической формы.

6. Для получения возможно меньшей бочкообразности, в частности, можно применять смазку следующего состава:

коллоидальный графит	— 5 ÷ 10%;
жидкое стекло	—15 ÷ 20%;
вода и эмульсия	— остальное.

Для уменьшения бочкообразности можно также применять подогрев бойков (осадочных плит) или специальные прокладки по торцам из пластичной (мягкой) стали.

7. При осадке следует учитывать критические степени деформации, необходимо знать диаграммы рекристаллизации (см. рис. 24).

Выбор пресса и молота для осадки. Выбор пресса или молота для осадки имеет важное значение, так как при осадке требуются большие усилия, являющиеся максимальными за весь технологический процесс ковки.

Если пресс или молот оказывается достаточным для осадки, то тем более он оказывается достаточным для всех других операций технологического процесса ковки.

Выбор пресса производят по усилию осадки

$$P = pF,$$

где p — удельное усилие осадки;

$F = \frac{\pi D_1^2}{4}$ — средняя величина площади поперечного сечения (см. рис. 26).

Удельное усилие осадки по Э. Зибелю

$$p = \sigma_s \left(1 + 0{,}17 \frac{D_1}{H_1}\right) \quad (1)$$

или точнее [107, 97]

$$p = \sigma_s \left(1 + 0{,}17 \frac{D_1}{H_1} - 0{,}33 \frac{H_1^2}{D_1^2}\right), \quad (2)$$

где σ_s — напряжение текучести, т. е. наименьшее напряжение при линейном пластическом напряженном состоянии и температурно-скоростных условиях деформирования.

При горячем деформировании вместо σ_s можно взять предел прочности при растяжении $\sigma_в$ при данной температуре, а скорость деформирования учесть соответствующим коэффициентом. Значения $\sigma_в$ для различных сталей при повышенных температурах даны в [103, 99, 38, 101].

При осадке крупных поковок удельные усилия практически оказываются значительно меньше, чем подсчитанные по вышеприведенным формулам. Это объясняется тем обстоятельством, что внутри крупных поковок температура оказывается выше, чем температура на поверхности, по которой устанавливается величина $\sigma_в$. Это несоответствие скорректировано так называемым масштабным коэффициентом (табл. 13).

Таблица 13

Значения масштабного коэффициента ψ при осадке слитков [67]

Масса слитка, m	0,5	6,0	20	50	100
ψ	0,80	0,70	0,60	0,55	0,50

Учитывая изложенное, рекомендуется определять потребное усилие пресса по следующим формулам:

$$P = \psi \sigma_в \left(1 + 0{,}17 \frac{D_1}{H_1}\right) \frac{\pi D_1^2}{4} \quad (3)$$

или

$$P = \psi \sigma_в \left(1 + 0{,}17 \frac{D_1}{H_1} - 0{,}33 \frac{H_1^2}{D_1^2}\right) \frac{\pi D_1^2}{4}. \quad (4)$$

Пример. Определить усилие гидравлического ковочного пресса, необходимое для осадки стальной заготовки размерами $D = 700$ *мм*, $H = 1400$ *мм*, из слитка массой 7 m ($\sigma_в$ в холодном состоянии равно 70 *кГ/мм²* (685 *Мн/м²*). Осадку произвести до высоты $H_1 = 500$ *мм*. Температура окончания осадки равна 1100° С.

Решение. При $t = 1100°$ С $\sigma_в = 4$ *кГ/мм²* (39 *Мн/м²*) [103].
Из табл. 13 $\psi = 0{,}7$.
Средний диаметр после осадки

$$D_1 = D \sqrt{\frac{H}{H_1}} = 700 \sqrt{\frac{1400}{500}} = 1180 \text{ мм};$$

$$F = \frac{\pi \cdot 1180^2}{4} = 1\,080\,000 \text{ мм}^2.$$

Усилие пресса по формуле (3)

$$P = 0{,}7 \cdot 4 \left(1 + 0{,}17 \frac{1180}{500}\right) 1\,080\,000 = 4230 \text{ Т } (41\,500 \text{ кн}).$$

Усилие пресса по формуле (4)

$$P = 0{,}7 \cdot 4 \left(1 + 0{,}17 \frac{1180}{500} - 0{,}33 \frac{500^2}{1180^2}\right) 1\,080\,000 = 4060 \text{ Т } (40\,000 \text{ кн}).$$

В обоих случаях выбираем пресс усилием 5000 Т (50 000 *кн*).

Выбор молота для осадки производят по необходимой работе деформации за последний удар. При предыдущих ударах контактная площадь и сопротивление деформированию ниже, чем при последнем ударе. Поэтому считается, что для предыдущих ударов масса падающих частей молота будет заведомо достаточна, если она достаточна для последнего удара. Обычно определяют также количество ударов. Для этого необходимо знать полную работу деформации.

Учитывая, что степень деформации за последний удар должна быть большой, выбирают докритические степени деформации ($\varepsilon = 0{,}025 \div 0{,}06$ [103]), так как в противном случае будет слишком велика масса падающих частей молота. Работу деформации за последний удар можно определить по формуле

$$A = p\varepsilon V, \quad (5)$$

где A — работа деформации, *кГ·мм* (*дж*);
p — удельное усилие в конечный момент, *кГ/мм²* (*Мн/м²*);
ε — степень деформации за последний удар;
V — объем заготовки, *мм³*.

Величину p можно определить по формулам (1) или (2), причем необходимо учесть увеличение $\sigma_в$ на величину скоростного коэффициента $W = 3$. Величина A должна соответствовать энергии удара молота L, которую определяют по формуле

$$L = \frac{A}{\eta_{уд}},$$

где $\eta_{уд}$ — коэффициент полезного действия удара, равный примерно 0,8.

Согласно ГОСТ 9752—61 энергия удара молота находится в следующей зависимости от массы падающих частей G

$$L = 2{,}5 \cdot 10^3 G,$$

где L в *кГ·мм* и G в *кг*.

Отсюда согласно формуле (5), заменяя A на G, имеем

$$2{,}5 \cdot 10^3 G\eta_{уд} = p\varepsilon V.$$

Окончательно массу падающих частей молота можно определить по формулам [с учетом формул (1) или (2)]:

$$G = 1{,}5 \cdot 10^{-3}\sigma_в \left(1 + 0{,}17\,\frac{D_1}{H_1}\right)\varepsilon V \qquad (6)$$

или

$$G = 1{,}5 \cdot 10^{-3}\sigma_в \left(1 + 0{,}17\,\frac{D_1}{H_1} - 0{,}33\,\frac{H_1^2}{D_1^2}\right)\varepsilon V. \qquad (7)$$

Для облегчения расчетов по выбору массы падающих частей молота применяют диаграммы (рис. 29), в которых масса падающих частей молота определяется по высоте H_0 и диаметру D_0 осаженной заготовки. Такие диаграммы применимы для углеродистых и малолегированных сталей при обычных температурах осадки.

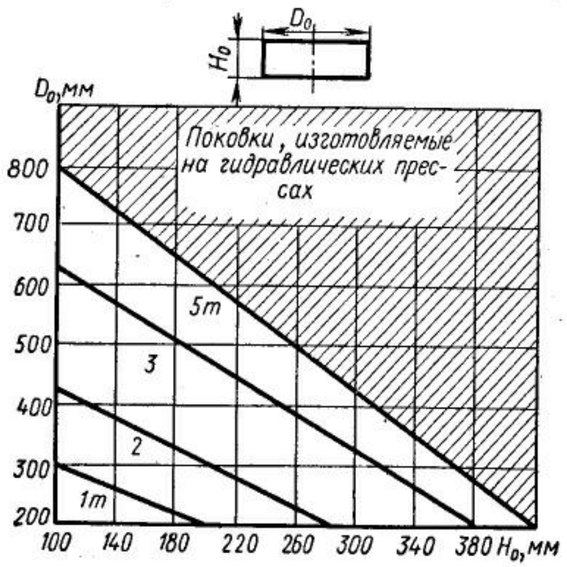


Рис. 29. Диаграмма для выбора массы падающих частей молота для ковки поковок типа шестерен без помощи манипулятора (разработана по данным УЗТМ)

Полная работа деформации $A_п$ в $кГ \cdot м$ определяется по формуле М. В. Сторожева [97]:

$$A_п = \sigma_в \cdot 10^{-3}\left[\ln\frac{H}{H_1} + \frac{1}{9}\left(\frac{D_1}{H_1} - \frac{D}{H}\right)\right]V, \qquad (8)$$

где $\sigma_в$ — предел прочности при растяжении для средней температуры за весь процесс осадки, $кГ/мм^2$; V в $мм^3$.

В формуле (8) при осадке под молотом необходимо также учесть скоростной коэффициент $W = 3$.

Количество ударов

$$n = \frac{A_п}{\eta_{уд} L}. \qquad (9)$$

Пример. Определить массу падающих частей молота и количество ударов для осадки стальной заготовки размерами $D = 110$ *мм* и $H = 180$ *мм* ($\sigma_в$ в холодном состоянии равно 40 $кГ/мм^2$ (400 $Мн/м^2$). Осадку произвести до высоты $H_1 = 90$ *мм*. Температура начала осадки 1200° С, температура окончания осадки 900° С.

Р е ш е н и е. При $t = 1200°$ С $\sigma_в = 2$ $кГ/мм^2$ (20 $Мн/м^2$), а при $t = 900°$ С $\sigma_в = 4{,}5$ $кГ/мм^2$ (45 $Мн/м^2$).

Средний диаметр после осадки

$$D_1 = D\sqrt{\frac{H}{H_1}} = 110\sqrt{\frac{180}{90}} = 155\ мм.$$

Объем заготовки

$$V = \frac{\pi \cdot 110^2 \cdot 180}{4} = 1\,720\,000\ мм^3.$$

Величину ε определяют в пределах от 0,025 до 0,06, причем для мелких поковок берут большие величины, а для крупных — меньшие. Принимаем $\varepsilon = 0{,}06$.

Масса падающих частей по формуле (6)

$$G = 1{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 4{,}5\left(1 + 0{,}17\,\frac{155}{90}\right)0{,}06 \cdot 1\,720\,000 = 880\ кг;$$

по формуле (7)

$$G = 1{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 4{,}5\left(1 + 0{,}17\,\frac{155}{90} - 0{,}33\,\frac{90^2}{155^2}\right)0{,}06 \cdot 1\,720\,000 = 805\ кг.$$

В обоих случаях выбираем молот с массой падающих частей $G = 1000$ *кг* и с энергией удара $L = 2500$ $кГ \cdot м$ (24,5 *кдж*).

Полную работу деформации определяем при средней температуре осадки

$$t = \frac{1200 + 900}{2} = 1050°\ С,$$

При этом

$$\sigma_в = 3\ кГ/мм^2\ (30\ Мн/м^2)$$

Имеем

$$A_п = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 3\left[\ln\frac{180}{90} + \frac{1}{9}\left(\frac{155}{90} - \frac{110}{180}\right)\right]1\,720\,000 = 12\,650\ кГ \cdot м\ (124\ кдж).$$

Количество ударов определяем по формуле (9)

$$n = \frac{12\,650}{0{,}8 \cdot 2500} = 6{,}3,\ \text{т. е. } 7 \text{ ударов}.$$

Различные способы осадки. Основными разновидностями осадки являются: осадка на плоских бойках (плитах); осадка с хвостовиком; осадка в подкладных кольцах; высадка; осадка путем разгонки.

О с а д к у н а п л о с к и х б о й к а х (плитах) без хвостовика (см. рис. 26) применяют для получения поковок типа дисков или заготовок под последующую прошивку. Этот способ осадки рассматривался выше.

О с а д к у с х в о с т о в и к о м применяют преимущественно для слитков, т. е. при изготовлении крупных поковок, в тех случаях, когда после осадки следует протяжка. Такую осадку применяют для улучшения качества металла, увеличения последующего укова. Хвостовик или цапфу (рис. 30) оттягивают при округлении граней слитка — биллетировке и при осадке вставляют в отверстие нижней плиты.

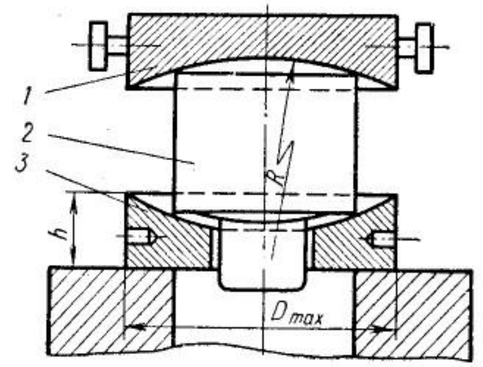


Рис. 30. Осадка с хвостовиком:

1 — верхняя осадочная плита со сферической выемкой; *2* — осаживаемый слиток с хвостовиком (цапфой); *3* — нижняя осадочная плита со сферической выемкой и отверстием под хвостовик

Плиты имеют рабочий торец в виде вогнутой шаровой поверхности радиусом R.

Хвостовик оттягивают со стороны прибыльной части слитка. Он служит впоследствии для захвата заготовки клещами манипуля-

тора (рис. 31, *а*) или для удержания и кантовки слитка патроном при протяжке (рис. 31, *б*).

Выпуклость торцов обеспечивает достаточное течение металла в средней части слитка при протяжке, чем устраняется брак по зажиму -(«голенищу») (рис. 32, *а*, *б*). Такой вид брака получается при ковке крупных слитков, когда обжатия невелики и металл при протяжке течет больше в поверхностных слоях, чем в середине.

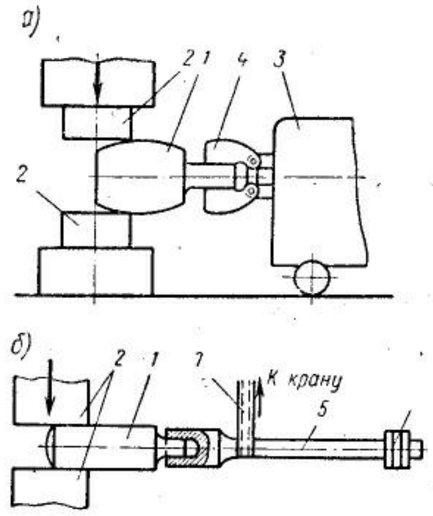


Рис. 31. Протяжка слитка после осадки с хвостовиком:

а — с помощью манипулятора; *б* — с помощью патрона; *1* — слиток; *2* — бойки; *3* — манипулятор; *4* — клещи манипулятора; *5* — патрон; *6* — противовес (груз) к патрону; *7* — цепь кантователя

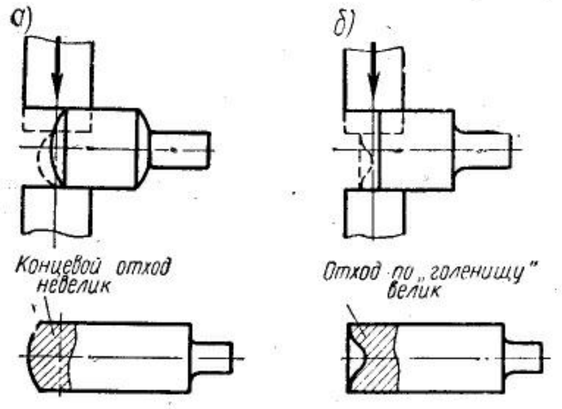


Рис. 32. Протяжка после осадки сферическими (*а*) и плоскими (*б*) плитами

При ковке мелких слитков на мощном оборудовании, когда бойки перекрывают по длине значительную часть корпуса слитка, силы трения по контактным поверхностям и подстуживание металла препятствуют интенсивному течению металла вблизи поверхностей, и металл середины слитка течет более интенсивно. В этом случае, в целях получения менее выпуклого торца после протяжки, предварительно производят осадку с хвостовиком с плоской верхней плитой и с нижней плитой, имеющей кольцевую выпуклость на рабочей части (рис. 33, *а*, *б*).

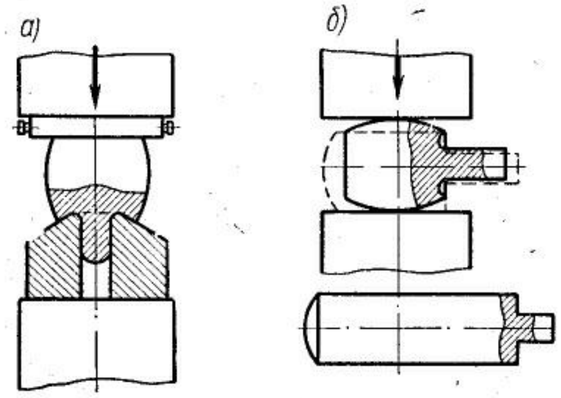


Рис. 33. Осадка с хвостовиком на специальной плите (*а*) и последующая протяжка с большими подачами (*б*)

Осадку в подкладных кольцах (на плитах с отверстиями) (рис. 34) производят по двум вариантам: 1) с предварительной оттяжкой хвостовиков, которые помещаются в отверстиях колец, и 2) с затеканием металла в отверстия колец.

Осадку в кольцах с затеканием металла применяют для получения изделий типа глухих шестерен, фланцев и дисков с бобышками, в тех случаях, когда высота бобышек сравнительно мала, так что оттяжка их затруднительна или нежелательна.

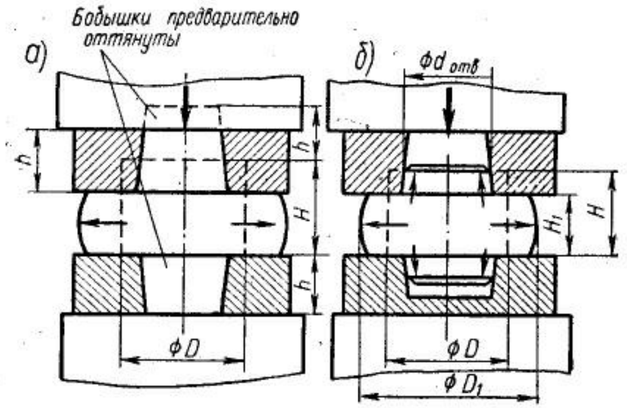


Рис. 34. Осадка в подкладных кольцах:

а — с предварительно протянутыми бобышками; *б* — с затеканием металла в отверстия

При осадке в кольцах высокой заготовки $\left(\frac{H}{D} \geqslant 1\right)$ с изменением соотношения $\frac{d_{отв}}{D}$ формоизменение заготовки происходит по-разному. Так, при $\frac{d_{отв}}{D} \leqslant 0{,}5$ вначале получается двойная бочка, но без зажима (рис. 35, *а*), при $\frac{d_{отв}}{D} \geqslant 0{,}75$ — резкая двойная бочка, переходящая в зажим (рис. 35, *б*).

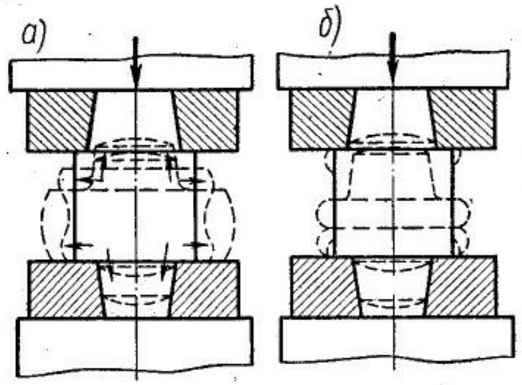


Рис. 35. Осадка в кольцах с затеканием металла в отверстия:

а — без образования зажима; *б* — с образованием зажима

Изменение высоты H таково, что осадка примерно до 50% идет с уменьшением общей высоты заготовки $\left(\frac{d_{отв}}{D} \leqslant 0{,}5\right)$. При $\frac{d_{отв}}{D} \approx 0{,}5$ большая степень осадки (порядка 70%) дает увеличение высоты. Это наглядно видно на рис. 36, где показано изменение высоты H заготовки в зависимости от величины сближения колец H_1 для разных отношений $\frac{d_{отв}}{D}$. Образцы были изготовлены из свинца и имели начальные размеры $H_0 = 53$ *мм* и $D_0 = 35$ *мм* [41].

При осадке в кольцах с затеканием металла в отверстия бобышки получаются именно затеканием. Отверстия в кольцах делают с конической поверхностью, а толщину кольца берут равной высоте бобышки.

Угол конусности (наклон стенок) составляет от 1°30′ до 7°. Размеры заготовки выбирают такими, чтобы полностью произошло оформление бобышек. В процессе осадки в кольцах общая высота заготовки, как правило, уменьшается, поэтому заготовку выбирают с большей высотой.

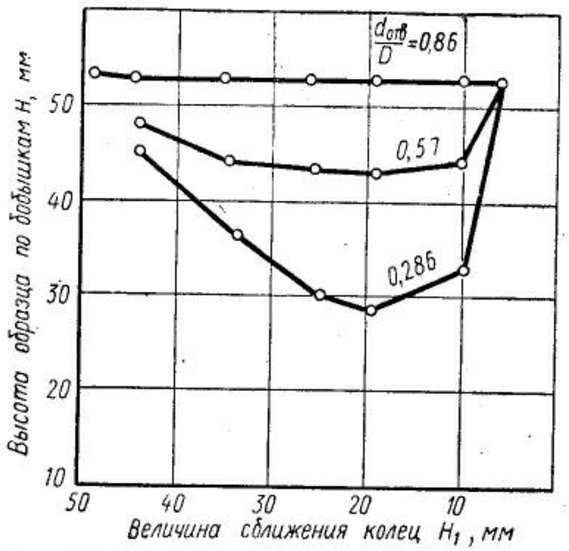


Рис. 36. Изменение высоты H заготовки в зависимости от расстояния H_1 между кольцами при разных отношениях $\frac{d_{отв}}{D}$

Кольца делают со сквозными или с глухими отверстиями. Для фланцев с малой высотой бобышек кольца получаются излишне тонкими, непрочными. В этих случаях делают глухие подкладные кольца. При осадке в кольцах слитков глухие кольца делают, когда высота бобышки меньше 350 ÷ 400 *мм*.

Если необходимо получить одну бобышку, применяют одно подкладное кольцо, глухое или сквозное в зависимости от высоты бобышки.

При осадке в кольцах мелких заготовок из проката диаметр подкладных колец выбирают равным конечному диаметру фланца поковки с тем, чтобы после осадки можно было ликвидировать бочкообразность обкаткой, причем кольца служат ограничительными плитами.

В ы с а д к а (рис. 37) осуществляется почти при тех же рекомендуемых отношениях высоты к диаметру, что и осадка на плоских бойках. Например, рекомендуется соотношение $\frac{H_в}{D} \leqslant 3$ во избежание продольного изгиба.

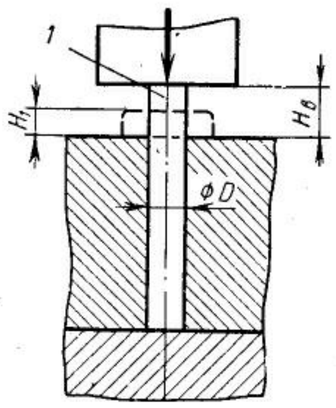


Рис. 37. Схема высадки

Ограничение деформации невысаживаемых участков заготовки осуществляется или при помощи инструмента или применением местного нагрева высаживаемой части *1*.

Высадку производят чаще всего двумя способами: в нижнике и романением.

При высадке в нижнике (в штампе) (см. рис. 37) диаметр заготовки равен диаметру отверстия (диаметру стержня поковки). Если заготовка выбрана большего диаметра, то невысаживаемую часть предварительно протягивают. Последнее обычно делается для поковок с тонким хвостом при толстом фланце, когда длина высаживаемой части больше $3D$. Получается схема, аналогичная осадке в кольце по первому варианту (см. рис. 34, *а*).

Высадку романением (рис. 38) применяют, когда на длинных и тяжелых валах нужно получить фланец, а высадка в нижнике или кольце невозможна. Деформирование заготовки производится с помощью «романа» («сокола»), подвешенного к крану и раскачиваемого вручную. Нагрев заготовки — местный. Процесс не очень удобен и применяется крайне редко.

В настоящее время есть гидравлические ковочные прессы, оборудованные дополнительным горизонтальным цилиндром, с помощью которого можно производить высадку (заменяет «роман»). Имеется также способ высадки машинкой — клиновым инструментом [18].

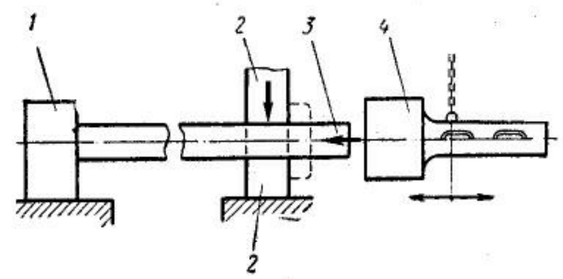


Рис. 38. Высадка романением:

1 — упор; *2* — бойки; *3* — высаживаемый участок; *4* — «роман» («сокол»)

О с а д к у п у т е м р а з г о н к и (рис. 39) применяют для уменьшения высоты и увеличения диаметра уже осаженной заготовки.

Осадка путем разгонки требует небольших усилий, что обеспечивается резким уменьшением контактной поверхности между инструментом и поковкой. Вначале заготовку осаживают на молоте или прессе до определенного диаметра, пока мощность машины оказывается достаточной, а затем производится осадка путем разгонки.

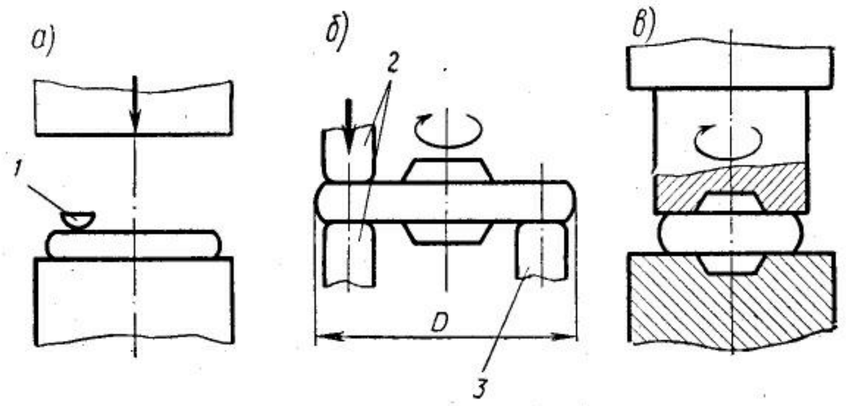


Рис. 39. Осадка путем разгонки:

а — с помощью раскатки; *б* — бойками; *в* — узким бойком с вырезом

На рис. 39, *а* показана осадка путем разгонки сравнительно небольших поковок. Для разгонки применяется полукруглая раскатка *1*, устанавливаемая по диаметру заготовки и поворачиваемая на определенный угол вокруг вертикальной оси после каждого обжатия. Поверхность заготовки получается волнистая и для ее выглаживания пользуются плоскими раскатками, способ применения которых аналогичен полукруглым раскаткам.

На рис. 39, *б* показана осадка путем разгонки полотна диска под молотом. Роль раскатки выполняют бойки *2*. Заготовку укладывают на нижний боек и на подставку *3* и после каждого удара поворачивают вокруг вертикальной оси.

На рис. 39, *в* показана разгонка полотна крупного диска под прессом с помощью узкого бойка с вырезом под бобышку. Заготовку устанавливают в подкладной плите с отверстием под бобышку. После каждого обжатия заготовку с подкладной плитой или узкий верхний боек поворачивают на определенный угол вокруг вертикальной оси.

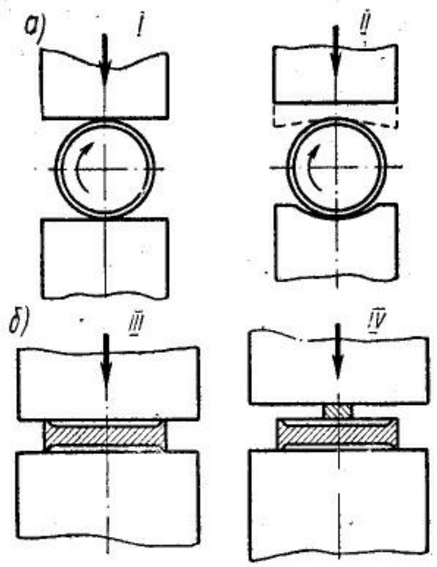


Рис. 40. Отделка после осадки:

а — обкатка по диаметру (*I* — бойками; *II* — с подкладками); *б* — правка торцов (*III* — бойками; *IV* — плоской раскаткой)

Способ осадки путем разгонки по сущности процесса деформирования относится к вытяжке, но по результатам представляет собой осадку.

Отделочные операции после осадки. К ним относятся обкатка по диаметру и правка торцов.

Отделочные операции нужны для уменьшения припусков на механическую обработку. Значительная величина бочкообразности приводит к лишнему расходу металла, так как сама по себе бочкообразность — это избыточный припуск.

Обкатку по диаметру (рис. 40, *а*) применяют для устранения бочкообразности заготовки и придания ей цилиндрической формы.

Обкатку осуществляют легкими ударами или нажатиями, вращая заготовку, установленную на ребре, вокруг оси. Лучшее качество дает обкатка с применением подкладок или обжимок.

Правку торцов (см. рис. 40, *б*) применяют после обкатки по диаметру, так как легкие нажатия при обкатке увеличивают толщину по краю диска, а правка делает ее одинаковой.

Правку торцов бойками (рис. 40, *б*, *III*) применяют также в случае искривления тонкого диска. Правку торцов плоской раскаткой (рис. 40, *б*, *IV*) производят аналогично разгонке раскаткой, путем установки раскатки по диаметру заготовки и поворотов раскатки на определенный угол вокруг вертикальной оси после каждого обжатия.

Инструмент и приспособления для осадки. Основными инструментами для осадки и ее разновидностей являются бойки, осадочные плиты и кольца.

Бойки служат также основным инструментом при протяжке и других операциях и рассматриваются ниже.

Осадочные плиты применяют только на прессах (рис. 41). Верхняя плоская осадочная плита показана на рис. 41, *а*, а нижняя на рис. 41, *б*.

Верхняя и нижняя сферические плиты для осадки с хвостовиком крупных слитков показаны на рис. 41, *в* и *г*.

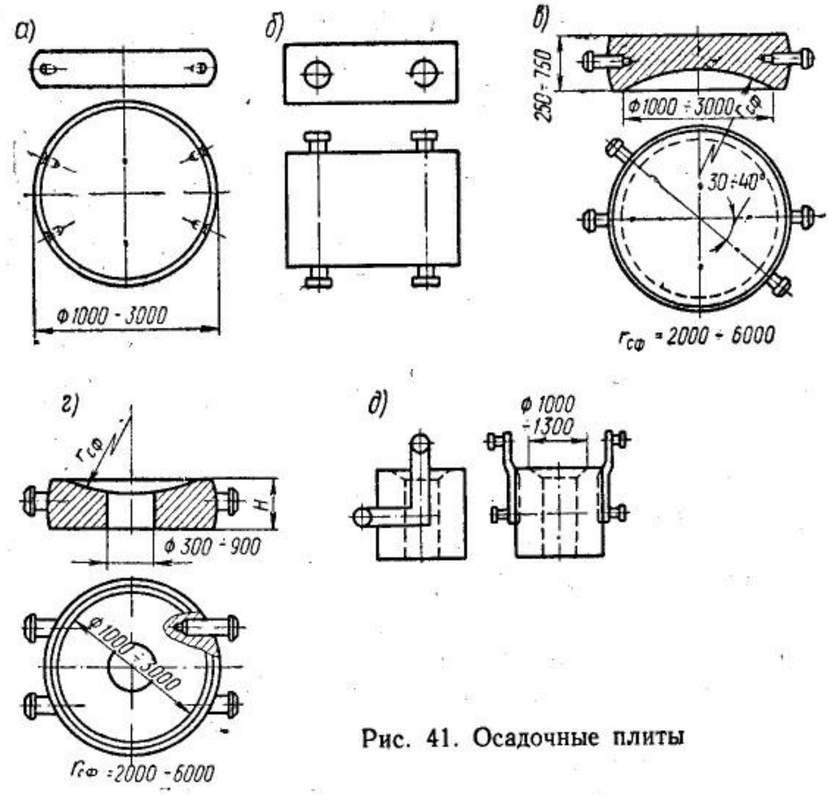


Рис. 41. Осадочные плиты

На рис. 41, *д* представлена нижняя осадочная плита с отверстием для осадки мелких слитков. Плита снабжена рычагами для кантовки на 90°. После биллетировки слиток зажимают между бойками пресса, а на хвостовик одевают осадочную плиту (рис. 42, *а*). При этом плита подвешена за горизонтальные рычаги цепями к крану.

Когда верхний боек пресса поднимается, слиток вместе с плитой опускается краном на стол пресса. Затем цепи надевают на цапфы вертикальных рычагов и, вследствие большого веса плиты, слиток и плита устанавливаются в вертикальное положение (см. рис. 42, *а*). Далее производят осадку слитка и подачу его на протяжку (рис. 42, *б*). Цепи надевают на горизонтальные рычаги и плита вместе со слитком подается в горизонтальном положении под бойки пресса. Слиток зажимают бойками и плиту снимают с хвостовика слитка.

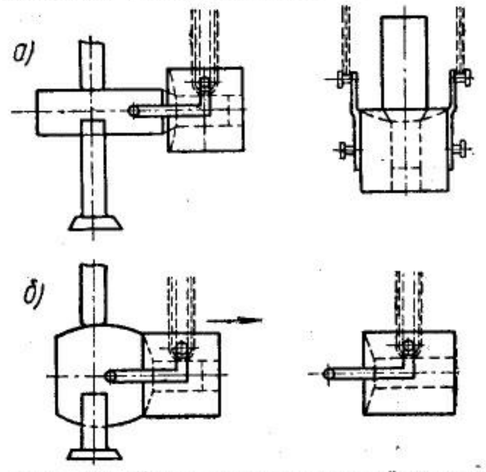


Рис. 42. Применение осадочной плиты при осадке слитка:

а — до осадки; *б* — после осадки

Кольца для осадки применяют при ковке как на молотах (рис. 43, *а*), так и на прессах (рис. 43, *б*).

Из приспособлений для осадки следует указать на поворотную плиту с пневматическим приводом (рис. 44, *а*).

Верхняя часть плиты опирается на подпружиненные шарики, которые при нажиме пресса опускаются в соответствующие гнезда, и усилие через верхнюю часть передается непосредственно на нижнюю. Применение вращающейся плиты представляет большие удобства при разгонке полотен поковок типа турбинных дисков, особенно с использованием раздвижного бойка (рис. 44, *б*).

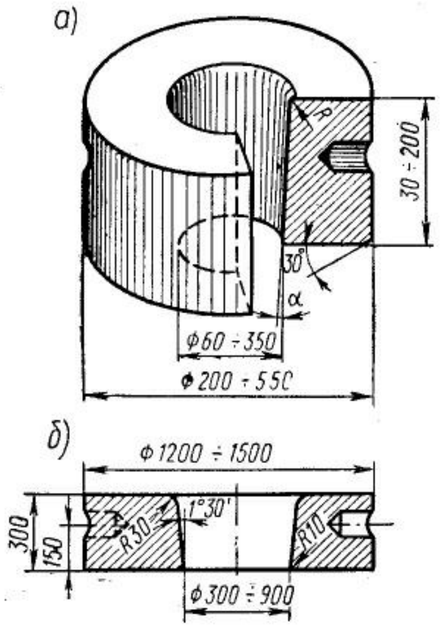


Рис. 43. Кольцо для осадки под молотом (*а*) и под прессом (*б*)

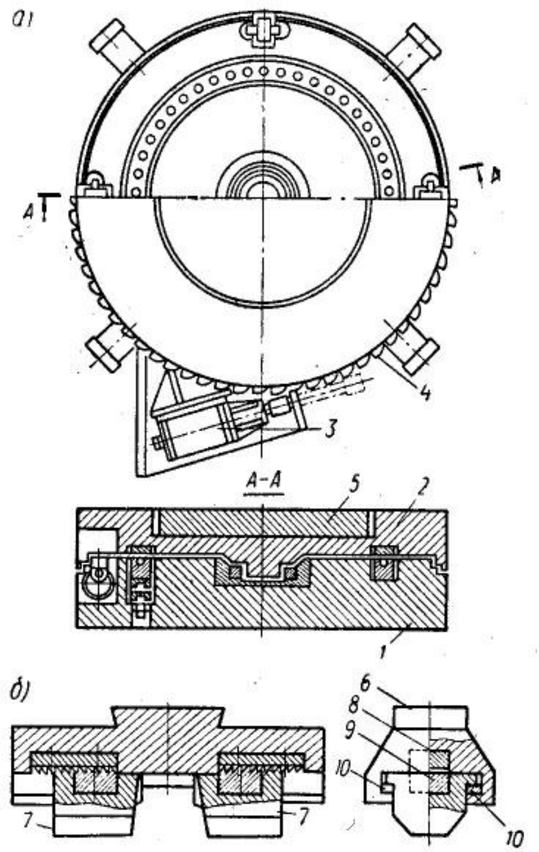


Рис. 44. Нижняя поворотная плита с пневматическим приводом [47] (*а*); раздвижной боек (*б*):

1 — нижняя часть плиты; *2* — ее верхняя часть; *3* — пневматический толкатель; *4* — зубчатка; *5* — вставка; *6* — основание; *7* — бойки; *8* — вкладыш верхний; *9* — вкладыш нижний; *10* — планка

По аналогичному принципу изготовляют и приспособление для поворота верхней плиты, на которой обычно закрепляют раздвижные бойки.

§ 15. ПРОТЯЖКА

Протяжкой (вытяжкой) называется кузнечная операция, при которой увеличивается длина исходной заготовки при одновременном уменьшении площади ее поперечного сечения (рис. 45).

Операция протяжки с ее разнообразными вариантами и вспомогательными операциями является основной формоизменяющей операцией по изготовлению гладких и ступенчатых валов, коленчатых валов, фасонных поковок типа шатунов, дышел и т. п.

Протяжка занимает 60 ÷ 70% всего времени работы при свободной ковке. Она всегда осуществляется по частям, деформируются одновременно только отдельные участки заготовки в определенной последовательности, причем бойки не перекрывают целиком заготовку.

Протяжка на плоских бойках производится двумя способами.

Первый способ — протяжка заготовки с одной стороны на длину участка, затем кантовка на 90° и протяжка с другой стороны (рис. 46, *а*). После этого производится подача, т. е. продольное передвижение и протяжка следующего участка исходной заготовки, или без подачи повторяется вытяжка (обжатие) первого участка. Этот способ широко распространен, особенно при протяжке крупных поковок.

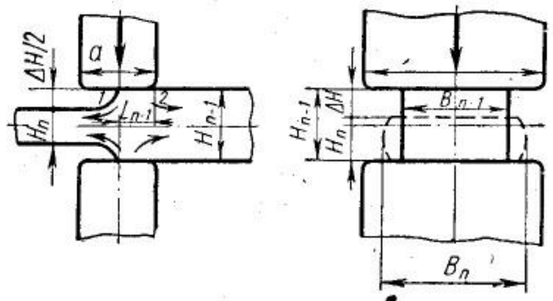


Рис. 45. Схема протяжки на плоских бойках

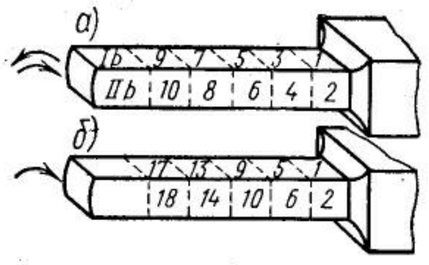


Рис. 46. Протяжка с кантовкой (*а*) и с кантовкой на четыре грани (*б*)

Второй способ (рис. 46, *б*) заключается в обжатии участков на каждой стороне заготовки с кантовкой на 90° после каждого нажатия. После обжатия всех четырех сторон дается подача и обжимается следующий участок заготовки. Второй способ применяют при протяжке заготовок из легированной стали и сплавов с пониженной пластичностью.

Кроме этого, можно производить протяжку с круга на круг с постепенными обжатиями поворотом на малые углы по кругу, затем подача и т. д.

Формоизменение при протяжке на плоских бойках (см. рис. 45). При протяжке за каждое n-ное нажатие происходит уменьшение высоты заготовки на величину $\Delta H = H_{n-1} - H_n$.

Степень деформации по высоте заготовки называют относительным обжатием

$$\varepsilon_h = \frac{H_{n-1} - H_n}{H_{n-1}} = \frac{\Delta H}{H_{n-1}}.$$

Степень деформации по ширине заготовок называют относительным уширением

$$\varepsilon_b = \frac{B_n - B_{n-1}}{B_{n-1}} = \frac{\Delta B}{B_{n-1}}.$$

Относительным удлинением называется степень деформации по длине L заготовки

$$\varepsilon_l = \frac{L_n - L_{n-1}}{L_{n-1}} = \frac{\Delta L}{L_{n-1}}.$$

Здесь L может быть или длиной всей заготовки или любым расстоянием между краями зоны, которая получает пластическую деформацию при данном нажатии.

Деформация удлинения (точки *1* и *2*, рис. 45, 47, *а*) выражается в течении металла в обе стороны. Первоначальная точка касания *2* бойка отходит в точку *2'*. Переход этот плавный, так как отход заготовки от бойка и уменьшение толщины происходит постепенно. Точка *1* перемещается вдоль плоскости бойка вперед, в точку *1'*.

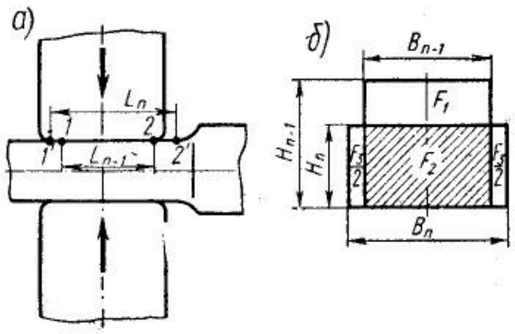


Рис. 47. Удлинение (*а*) и изменение поперечного сечения заготовки (*б*) при протяжке

При каждом нажатии бойком заготовка получает удлинение $\Delta L = L_n - L_{n-1}$.

Объем деформируемого металла остается постоянным. Величинами ΔH обычно задаются, а ΔB и ΔL получаются в зависимости от условий деформирования.

Так как заготовка удлиняется, то площадь поперечного сечения уменьшается.

Обжав один участок, подают для обжима следующий и т. д. В результате заготовка получает одинаковую по всей длине толщину (высоту) H_n при приблизительно одинаковой конечной ширине заготовки B_n и возросшей общей длине L_n.

Общее приращение длины равно сумме приращений длин за каждое нажатие $\Delta L_{общ} = n\Delta L$, где n — число нажатий при постоянной подаче L_{n-1}.

Сумма определенного числа нажатий до определенной толщины заготовки без ее поворота называется *проходом* (пропуском, обжимом). Если заготовку повернуть на 90° вокруг горизонтальной оси (кантовать), то уширение, полученное в предыдущем проходе, снимается, толщина увеличивается, а длина заготовки снова возрастает. Два прохода (обжима) с кантовкой между ними называются *переходом*.

Отношение ширины заготовки к ее высоте после прохода (обжима) называют *коэффициентом перехода* $\varphi = \frac{B_n}{H_n}$.

Коэффициент φ зависит от ε_h. Следует назначать такие величины ε_h, чтобы в случае надобности последующей кантовки коэффициент φ не превышал 2,0 ÷ 2,5 во избежание возможного изгиба сечения.

Исходные размеры заготовки L_0 и F_0 после первого обжима (прохода) получают размеры F_1 и L_1, а после ряда переходов — конечные размеры $L_к$ и $F_к$.

На каждом проходе (обжиме) уков

$$y_n = \frac{F_{n-1}}{F_n}. \tag{10}$$

Общая степень укова (степень вытяжки)

$$y = \frac{F_0}{F_к} = \frac{L_к}{L_0}. \tag{11}$$

За несколько проходов уков равен произведению уковов за каждый проход

$$y = y_1 y_2 \cdots y_к. \tag{12}$$

Это легко доказывается, так как

$$y = \frac{F_0}{F_к} = \frac{F_0}{F_1} \cdot \frac{F_1}{F_2} \cdot \ldots \cdot \frac{F_{к-1}}{F_к}.$$

Таким образом, для того, чтобы знать количество проходов, или переходов, необходимых для заданного уменьшения площади поперечного сечения или заданного увеличения длины заготовки, нужно знать, какой получается уков за каждый проход или переход.

Зная уков на каждом проходе и исходные размеры заготовки для данного перехода, можно определить все размеры заготовки после данного перехода.

Исходные размеры H_{n-1}, B_{n-1}, F_{n-1}, L_{n-1}. Конечные размеры после прохода H_n, B_n, F_n, L_n.

Если известен уков y_n, то $F_n = \frac{F_{n-1}}{y_n}$,

$$B_n = \frac{F_n}{H_n}, \quad L_n = y_n L_{n-1}.$$

Величина укова за данный проход зависит от геометрических размеров заготовки и, в частности, от относительных размеров сечения заготовки $\frac{B_{n-1}}{H_{n-1}}$, относительной подачи $\frac{L_{n-1}}{B_{n-1}}$, величины относительного обжатия $\frac{\Delta H}{H_{n-1}}$ и условий трения.

Уков можно выразить через относительное обжатие, используя коэффициент интенсивности уширения f. Представим, что квадрат превращается в прямоугольник (рис. 47, *б*), тогда F_2 — общая площадь, а F_1 идет частично на образование площади F_3 и частично в длину. Коэффициент

$$f = \frac{F_3}{F_1} \tag{13}$$

показывает, какая часть площади F_1, идущей на уширение и удлинение, идет на уширение заготовки. Имеем

$$(B_n - B_{n-1}) H_n = f (H_{n-1} - H_n) B_{n-1}.$$

Коэффициент f меньше единицы. Если нет удлинения, то $f = 1$, если нет уширения и весь металл идет в длину, то $f = 0$. Коэффициент f может быть определен экспериментально. Через f можно выразить уков. Имеем

$$H_n B_n - B_{n-1} H_n = f H_{n-1} B_{n-1} - f H_n B_{n-1};$$

$$F_n - H_n B_{n-1} = f F_{n-1} - f H_n B_{n-1};$$

$$F_n = H_n B_{n-1} (1-f) + f F_{n-1} = F_{n-1} \left[(1-f) \frac{H_n}{H_{n-1}} + f \right] =$$

$$= F_{n-1} (1 - \varepsilon_h + \varepsilon_h f) = F_{n-1} [1 - \varepsilon_h (1-f)];$$

$$y = \frac{F_{n-1}}{F_n} = \frac{1}{1 - \varepsilon_h (1-f)}. \tag{14}$$

Из формулы (14) следует, что если коэффициент f постоянен в процессе нажатия, то уков увеличивается с ростом относительного обжатия, и, наоборот, при постоянном относительном обжатии уков возрастает с уменьшением f, достигая максимума при $f = 0$, $y = \frac{1}{1-\varepsilon_h}$, когда уширения нет.

Рассмотрим, отчего может зависеть коэффициент f при данном относительном обжатии.

Соотношение между относительным удлинением и относительным уширением определяет величину коэффициента f при заданном относительном обжатии, т. е.

$$f = \frac{\varepsilon_b (1-\varepsilon_h)}{\varepsilon_h}.$$

Коэффициент $f = 0$ при $\varepsilon_b = 0$ (уширения нет, весь избыток металла течет в длину) и максимальное значение имеет коэффициент $f = 1$ при отсутствии удлинения, когда $\varepsilon_b = \frac{\varepsilon_h}{1-\varepsilon_h}$.

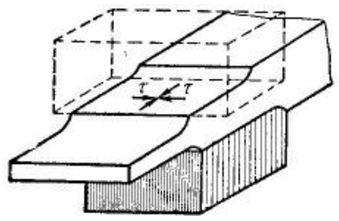


Рис. 48. Силы трения τ, действующие при протяжке

На соотношение между относительным удлинением и относительным уширением влияет, главным образом, величина относительной подачи $\psi = \frac{L_{n-1}}{B_{n-1}}$, так как соотношение подачи и ширины заготовки определяет соотношение сил трения τ, действующих в направлении длины и ширины заготовки (рис. 48).

Кроме сил трения, на соотношение между удлинением и уширением оказывает влияние связь деформируемых участков с недеформируемыми или соотношение размеров поперечного сечения $\frac{H_{n-1}}{B_{n-1}}$. Эта связь, в частности, влияет на форму заготовки в плане при вытяжке, которая после прохода имеет неравномерную, волнистую ширину.

В. Г. Березкин представил значения коэффициента f в виде таблиц (табл. 14) и графиков, но приближенно графики можно представить в виде прямых, описываемых уравнениями:

а) при $\frac{H_{n-1}}{B_{n-1}} = 1$

для $\begin{cases} \psi = 0{,}5 \div 1{,}25; & f = 0{,}2 + 0{,}33\,(\psi - 0{,}5); \quad (15) \\ \psi = 1{,}25 \div 3{,}0; & f = 0{,}45 + 0{,}14\,(\psi - 1{,}25), \quad (16) \end{cases}$

б) при $\frac{H_{n-1}}{B_{n-1}} = 2$

$$\text{для } \psi = 0{,}5 \div 3; \quad f = 0{,}25 + 0{,}14\,(\psi - 0{,}5). \quad (17)$$

Величина укова при заданных относительной подаче и относительном обжатии может быть определена, исходя из табличных значений коэффициента f, непосредственно по формуле (14).

Следует отметить, что использование конкретного постоянного коэффициента f в зависимости только от значения относительной подачи

для всех значений относительного обжатия не совсем верно, так как фактическое соотношение между длиной и шириной контактной площади в процессе деформирования может меняться, вследствие чего может меняться и соотношение между относительным удлинением и относительным уширением, а величина последнего по существу определяет значение коэффициента f, который также будет меняться. Однако для случаев протяжки, когда подача меньше ширины бойка, как это обычно и бывает, а также при сравнительно небольших значениях относительного обжатия, применяемых в практике, можно принимать одинаковые значения f для разных относительных обжатий. При протяжке с подачей, меньшей ширины бойка, параллельно с увеличением ширины контактной площади вследствие удлинения идет увеличение ее длины, что уменьшает различие в соотношении этих размеров в процессе деформирования.

Таблица 14

Значения коэффициента f в зависимости от величины относительной подачи и соотношения размеров исходной заготовки по В. Г. Березкину [13]

$\frac{H_{n-1}}{B_{n-1}}$	$\psi = \frac{L_{n-1}}{B_{n-1}}$					
	0,5	0,7	1,0	1,6	2,0	3,0
1	0,19	0,27	0,37	0,54	0,58	0,7
2	0,22	0,26	0,31	0,41	0,47	0,58

Примечание. Значения f найдены при $\varepsilon_h = 0{,}1 \div 0{,}5$.

Из данных, приведенных в табл. 14, можно установить, что:

1) более интенсивную протяжку, дающую при том же относительном обжатии больший уков и большее уменьшение площади поперечного сечения, обеспечивает протяжка с относительно меньшими подачами;

2) в тех случаях, когда нужно дать большее уширение, нужно давать большую подачу.

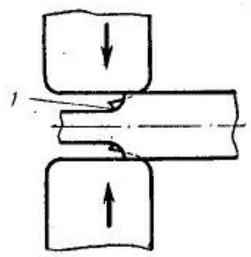


Рис. 49. Зажимы при недостаточной величине подачи

Однако существуют пределы минимальной подачи, определяемые, во-первых, необходимостью обеспечить хорошее качество поковки и, во-вторых, иметь наименьшее суммарное количество нажатий для получения заданного укова, чему соответствует минимальное время на протяжку.

Первое требование обусловлено тем, что при излишне малой подаче (в зависимости от относительного обжатия) могут получиться зажимы I (рис. 49), вследствие чего относительные подачи $\frac{L_{n-1}}{B_{n-1}} < 0{,}5 \div 0{,}7$ для мелких и средних поковок не рекомендуются.

Для крупных поковок, когда желательно проработать поверхность, подача $\psi = 0{,}2 \div 0{,}3$. Второе условие определяется тем, что при подаче, стремящейся к нулю, несмотря на малое уширение, число

нажатий стремится к бесконечности, в то время как при излишне большой подаче удлинение стремится к нулю, что тоже вызывает стремление числа нажатий (кантовок) к бесконечности.

Оптимальные подачи в этом случае $\psi = 1$. При этом f обычно равен 0,3 ÷ 0,4, а коэффициент перехода φ принимается равным 2,0.

Получение квадратного сечения из прямоугольного при протяжке за один проход. Имеем

$$F_n = F_к = B_n^2, \quad F_{n-1} = B_{n-1}H_{n-1},$$

причем предполагаем, что прямоугольное сечение получено предварительным обжатием и произведена кантовка (рис. 50).

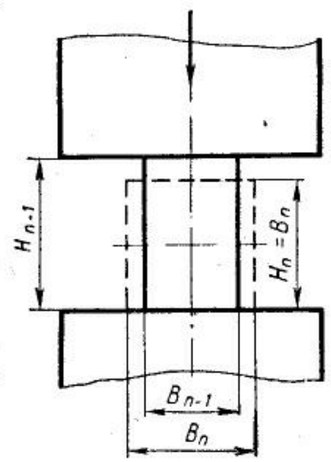


Рис. 50. Получение квадратного поперечного сечения из прямоугольного

Рассмотрим вначале некоторые условия для получения квадратного сечения из прямоугольного.

Очевидно, что так как имеется какой-то уков, то площадь поперечного сечения прямоугольной заготовки должна быть больше площади сечения квадратной заготовки.

Ввиду наличия какого-то уширения меньшая сторона прямоугольника должна быть меньше стороны квадрата.

Коэффициент φ должен быть меньше 2,5, а лучше, когда $\varphi = 2$, чтобы не было продольного изгиба.

Кроме этого, относительное обжатие ε_h не должно быть больше 0,5, а относительная подача ψ меньше 0,5, что необходимо для получения качественной поковки без зажимов.

Нам известно исходное сечение прямоугольника и конечное сечение квадрата, т. е. задан уков

$$y_n = \frac{F_{n-1}}{F_n} = \frac{B_{n-1}H_{n-1}}{B_n^2}.$$

Замечаем, что $\varphi = \frac{B_{n-1}}{H_{n-1}}$ (B_{n-1} и H_{n-1} берут до кантовки) или $B_{n-1} = H_{n-1}\varphi$ и, так как $\varepsilon_h = \frac{B_{n-1} - B_n}{B_{n-1}}$, находим $\frac{B_n}{B_{n-1}} = 1 - \varepsilon_h$, а $\frac{1}{y_n} = \frac{B_n^2}{B_{n-1}H_{n-1}} = \frac{B_n^2\varphi}{B_{n-1}^2}$, таким образом $y = \frac{1}{(1-\varepsilon_h)^2\varphi}$.

С другой стороны, уков определяется через относительное обжатие и коэффициент f согласно формуле (14)

$$y_n = \frac{1}{1 - \varepsilon_h(1-f)}.$$

Если принять $\frac{B_{n-1}}{H_{n-1}} = 2$, то по формуле (17)

$$f = 0{,}25 + 0{,}14(\psi - 0{,}5) = 0{,}18 + 0{,}14\psi.$$

Подставляем значение f в формулу для укова:

$$y_n = \frac{1}{1 - \varepsilon_h(1 - 0{,}18 - 0{,}14\psi)} = \frac{1}{1 - \varepsilon_h(0{,}82 - 0{,}14\psi)}.$$

Приравнивая значения уковов по разным формулам, имеем

$$\frac{1}{1 - \varepsilon_h(0{,}82 - 0{,}14\psi)} = \frac{1}{(1-\varepsilon_h)^2\varphi},$$

откуда

$$1 - \varepsilon_h(0{,}82 - 0{,}14\psi) = \varphi - 2\varphi\varepsilon_h + \varepsilon_h^2\varphi.$$

Произведя алгебраические преобразования, получаем

$$\psi = 7{,}15\left(\frac{\varphi - 1}{\varepsilon_h} - 2\varphi + \varepsilon_h\varphi + 0{,}82\right).$$

Получение квадратного сечения из квадратного большей площади при протяжке за один переход. Имеем $F_n = F_к = B_n^2$ и $F_{n-2} = B_{n-2}^2$ (рис. 51). Процесс получения квадратного сечения из квадратного подразделяется на два этапа. На первом этапе из исходного квадратного сечения получают промежуточное прямоугольное сечение. На втором этапе из прямоугольного сечения получают квадратное сечение, что было рассмотрено выше.

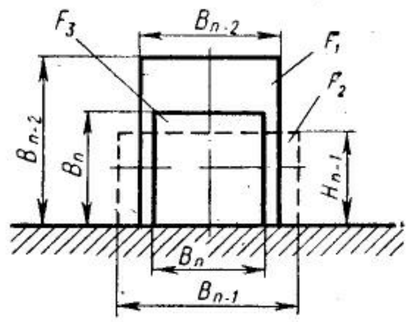


Рис. 51. Получение квадратного поперечного сечения из квадратного

Для получения из прямоугольного сечения квадратного необходимо соблюдать вышеперечисленные условия (см. стр. 76).

Поэтому при получении из исходного квадрата прямоугольника необходимо учитывать, чтобы получаемый прямоугольник удовлетворял этим условиям.

Кроме этого, предполагаем, что за каждый проход получается одинаковый уков, т. е.

$$y = \frac{F_{n-2}}{F_n} = y_1y_2 = \frac{F_{n-2}}{F_{n-1}} \cdot \frac{F_{n-1}}{F_n},$$

причем $y_1 = y_2$ или $y_1 = y_2 = \sqrt{y}$.

Рассмотрим первый этап. Нам известно исходное квадратное сечение и уков. Принимаем $\varphi = 2$. Тогда можно определить размеры прямоугольника. Имеем

$$F_{n-1} = H_{n-1}B_{n-1}, \quad y_1 = \sqrt{y} = \frac{F_{n-2}}{F_{n-1}},$$

$$F_{n-1} = \frac{F_{n-2}}{\sqrt{y}}, \quad \frac{F_{n-2}}{\sqrt{y}} = H_{n-1}B_{n-1}.$$

Учитывая, что $\varphi = \frac{B_{n-1}}{H_{n-1}}$, получаем

$$H_{n-1} = \sqrt{\frac{F_{n-2}}{\varphi\sqrt{y}}} \quad \text{и} \quad B_{n-1} = \sqrt{\frac{F_{n-2}\varphi}{\sqrt{y}}}.$$

Для получения заданного укова $y_1 = \sqrt{y}$ необходимо рассчитать ψ_1, при котором квадрат перейдет в заданный прямоугольник.

Нам известен уков y_1, т. е.

$$y_1 = \frac{F_{n-2}}{F_{n-1}} = \frac{B_{n-2}^2}{H_{n-1}B_{n-1}}.$$

Учитывая, что $\varphi = \frac{B_{n-1}}{H_{n-1}}$, получаем

$$y_1 = \frac{B_{n-2}^2}{H_{n-1}^2 \varphi}.$$

Степень деформации на первом этапе

$$\varepsilon_{h1} = \frac{B_{n-2} - H_{n-1}}{B_{n-2}},$$

откуда

$$\frac{H_{n-1}}{B_{n-2}} = 1 - \varepsilon_{h1},$$

тогда

$$y_1 = \frac{1}{(1-\varepsilon_{h1})^2 \varphi},$$

Вместе с тем по формуле (14)

$$y_1 = \frac{1}{1-\varepsilon_{h1}(1-f_1)},$$

где f_1 — коэффициент f на первом этапе.

Так как соотношение $\frac{H_{n-2}}{B_{n-2}} = 1$, то по формуле (15) получаем (ψ в пределах 0,5 ÷ 1,25) $f_1 = 0{,}2 + 0{,}33(\psi_1 - 0{,}5)$. Подставляем значение f_1 в формулу укова:

$$y_1 = \frac{1}{1-\varepsilon_{h1}(1-0{,}2-0{,}33\psi_1+0{,}165)} = \frac{1}{1-\varepsilon_{h1}(0{,}965-0{,}33\psi_1)}.$$

Приравниваем значения уковов по двум формулам:

$$\frac{1}{1-\varepsilon_{h1}(0{,}965-0{,}33\psi_1)} = \frac{1}{(1-\varepsilon_{h1})^2\varphi},$$

откуда

$$1-\varepsilon_{h1}(0{,}965-0{,}33\psi_1) = (1-\varepsilon_{h1})^2\varphi.$$

Выполнив преобразования, получим

$$\psi_1 = 3\left(\frac{\varphi-1}{\varepsilon_{h1}} - 2\varphi + \varepsilon_{h1}\varphi + 0{,}965\right).$$

Если по формуле получится, что $\psi_1 > 1{,}25$, то для расчета ψ_1 необходимо воспользоваться формулой (16). Однако практически протяжка всегда производится при $\psi_1 < 1{,}25$ и случай при $\psi_1 > 1{,}25$ крайне редкий.

На втором этапе протяжки исходные размеры прямоугольника и квадрата нам известны и расчет ψ_2 следует производить по формуле

$$\psi_2 = 7{,}15\left(\frac{\varphi-1}{\varepsilon_{h2}} - 2\varphi + \varepsilon_{h2}\varphi + 0{,}82\right).$$

Иной вариант расчета протяжки с квадрата на квадрат дан в [91].

Формоизменение при протяжке в вырезных бойках. Пользуясь плоскими бойками (рис. 52, *а*), можно получить заготовки не только квадратного и прямоугольного сечений, но и круглого. Для этого сперва производят протяжку на квадрат приблизительно равновеликий (немного больше) требуемому кругу. Затем, производя обжим по диагонали, закругляют (сбивают) углы. Полученный таким образом восьмигранник закатывают на круг. Однако этот способ применяют лишь для очень пластичных сплавов (например, низкоуглеродистая сталь). Кроме этого, сечение заготовки будет не круглое, а многогранное.

Для быстрого получения поковок круглого сечения из квадратного, а также для протяжки с круга на круг применяют вырезные бойки (рис. 52, *б*).

В вырезных бойках получают более точную цилиндрическую форму заготовки. Их широко применяют при первоначальном обжиме слитков, так как в этом случае обеспечивается лучшее течение металла с меньшими остаточными напряжениями. Силы, направленные с четырех сторон к осевой линии заготовки, способствуют более равномерному течению металла.

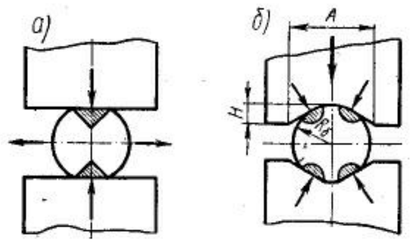


Рис. 52. Зоны застоя (заштрихованы) при протяжке на плоских (*а*) и вырезных (*б*) бойках

Радиус бойков $R_б$ должен быть равным радиусу поковки $\left(R_б = \frac{D_{пок}}{2}\right)$. Для каждого вырезного бойка имеются определенные величины максимального диаметра D исходной начальной заготовки и минимального диаметра $D_{пок}$ поковки (конечного), при котором возможна вытяжка в данных бойках:

$$A = D + 50, \quad H = \frac{D_{пок}}{2},$$

где A и H — ширина и глубина выреза на бойке (рис. 52, *б*).

При большой разнице между D и $D_{пок}$ в одних вырезных бойках нельзя отковать готовое изделие, его приходится ковать в нескольких бойках.

Очень часто применяют протяжку одним плоским и одним вырезным бойком. В этом случае принимают $H = D_{пок}$.

Деформирование на плоских и вырезных бойках существенно различается одно от другого.

В первом случае в центре изделия могут возникнуть (особенно при протяжке с круга на круг) значительные растягивающие напряжения, которые приводят к образованию осевых трещин. Подробно этот вопрос рассмотрен в [45].

Протяжка в вырезных бойках обеспечивает устранение возможности образования осевых трещин, ввиду отсутствия интенсивного течения металла в стороны. Так ведут ковку вагонных осей из проката.

На вырезных бойках можно производить ковку слитков, когда сечение слишком велико для данного пресса или металл недостаточно пластичен вследствие остывания, в то время как на плоских бойках протяжку уже осуществить нельзя.

Протяжка в вырезных бойках проходит более интенсивно, с большими подачами и бóльшим уковом за каждое обжатие, чем протяжка на плоских бойках. Производительность протяжки в вырезных бойках на 20 ÷ 40% выше, чем на плоских бойках.

Основные правила протяжки. 1. При протяжке слитков вначале дают небольшие величины обжатия во избежание образования трещин вследствие поверхностных и подкорковых дефектов слитка.

2. При последующих обжатиях слитков степень деформации по высоте заготовки должна быть больше первоначальных и составлять 15 ÷ 20%, что необходимо для более равномерной деформации по сечению слитка и получения мелкого и однородного зерна в поковке. Для легированных сталей и сплавов при выборе степени деформации следует пользоваться диаграммами рекристаллизации.

3. Во избежание продольного изгиба отношение высоты заготовки к ширине (коэффициент перехода φ) не должно превышать 2 ÷ 2,5.

4. Протяжку длинных заготовок и слитков ведут от середины к концам, что уменьшает брак «по голенищу», а в слитках предотвращает затягивание усадочной прибыльной раковины внутрь поковки.

5. Подачу крупных заготовок ведут «от себя», т. е. по направлению к рабочему месту кузнеца, что облегчает удержание поковки. Подачу мелких и легких заготовок (при работе без крана) ведут «на себя».

6. Для повышения производительности (интенсивности) протяжки при ковке длинных цилиндрических поковок следует применять вырезные бойки.

Выбор пресса и молота для протяжки. Протяжка отличается от осадки, хотя каждое нажатие при протяжке можно рассматривать как местную осадку. Различие заключается в том, что бойки не полностью перекрывают заготовку. Кроме того, при протяжке сечение уменьшается, а контактная площадь по мере обжатия возрастает менее интенсивно, чем при осадке, так как часть металла выплывает из-под бойков. Поэтому усилия в начале и конце обжатия меняются незначительно, а при первом проходе усилие будет максимальным.

Подбор машины для протяжки производят расчетом или по таблицам и диаграммам.

Выбор пресса для протяжки производится по следующей формуле [107]

$$P = \psi \nu \sigma_в \left(1 + 0{,}17 \frac{L_{n-1}}{H_{n-1}}\right) B_{n-1} L_{n-1}. \qquad (18)$$

Здесь ψ — масштабный коэффициент, определяемый по табл. 13;

ν — коэффициент, учитывающий увеличение удельного усилия при изменении формы бойков (для плоских бойков $\nu = 1$, для вырезных $\nu = 1{,}25$);

$\sigma_в$ — предел прочности материала поковки при температуре протяжки [103, 99, 38, 101];

L_{n-1}, H_{n-1} и B_{n-1} — исходные размеры заготовки (см. рис. 45).

При протяжке круглой заготовки в круглых вырезных бойках принимают $H_{n-1} = B_{n-1} = D$, где D — диаметр заготовки в *мм*.

Для облегчения расчетов используются таблицы, в которых усилие пресса определяется в зависимости от диаметра исходного слитка [103].

Имеются также диаграммы по выбору усилия пресса в зависимости от ряда параметров протяжки [103].

Выбор молота для протяжки производится по следующей формуле, полученной аналогично формуле (6) для осадки

$$G = 1{,}5 \cdot 10^{-3} \nu \sigma_в \left(1 + 0{,}17 \frac{L_{n-1}}{H_{n-1}}\right) \varepsilon_h H_{n-1} B_{n-1} L_{n-1}. \qquad (19)$$

Для определения массы падающих частей молота при протяжке пользуются таблицами и диаграммами [42]. Пример диаграммы показан на рис. 53.

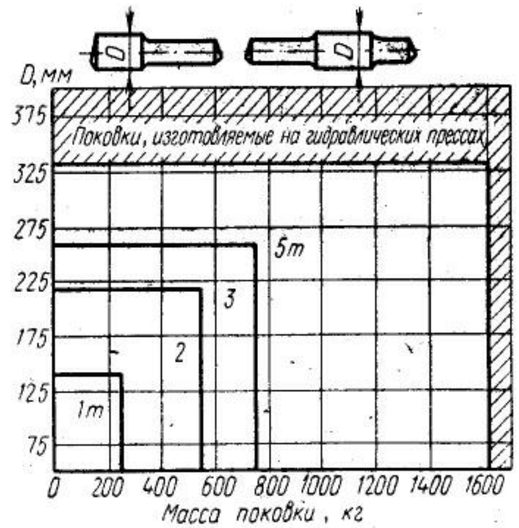


Рис. 53. Диаграмма для выбора массы падающих частей молота при ковке валов с уступами [36]

Различные способы протяжки. Основными способами протяжки являются: протяжка на плоских и вырезных бойках; протяжка с оправкой; раскатка на оправке; разгонка.

Протяжку на плоских и вырезных бойках (см. рис. 45 и 52, *б*) применяют для получения поковок типа гладких и ступенчатых, круглых и квадратных валов и брусков. Выше рассматривался данный способ протяжки. При ковке слитков после оттяжки цапфы под патрон производится первоначальная протяжка многогранного корпуса слитка. Такая протяжка называется *биллетировкой*. Задачей биллетировки является проработка некачественной поверхностной части слитка.

Биллетировка вначале производится путем легких обжатий по ребрам слитка, не допуская выпучивания металла по граням. Затем легкими обжатиями деформируются грани слитка, после чего обжатия можно увеличить. В результате получается более пластичный прокованный поверхностный слой металла, что облегчает последующую обработку слитка.

Протяжку с оправкой (рис. 54) применяют при ковке полых поковок типа цилиндров и труб.

При протяжке с оправкой увеличивается длина полой заготовки за счет уменьшения ее поперечного сечения, причем последнее происходит вследствие уменьшения наружного диаметра заготовки при почти неизменном внутреннем диаметре. Заготовка обязательно должна быть

233—3

со сквозным отверстием вдоль оси (независимо от того, получено ли оно прошивкой или сверлением на станке), в которое вставляется оправка. Оправка представляет собой конический стержень, наружный диаметр которого равен внутреннему диаметру поковки. Внутренний диаметр заготовки берут немного больше диаметра оправки, что необходимо для удобства ввода оправки в отверстие. Протяжку производят обычным способом, не обращая внимания на оправку, которая является как бы жестким недеформируемым стержнем. Нижний боек должен быть вырезным, иначе правильного и точного внутреннего диаметра поковки не получится. При протяжке на плоских бойках (рис. 55) есть две зоны деформирования и нет боковых подпирающих усилий, в результате чего при каждом нажатии заготовка *3* становится овальной, и отверстие получается неправильной формы и большего диаметра, чем диаметр оправки *1* (*2* — направление течения металла). При протяжке в вырезных бойках внутренний диаметр заготовки становится равным диаметру оправки, и заготовка плотно охватывает оправку. При правильном ведении процесса необходимо принудительно стаскивать поковку с оправки.

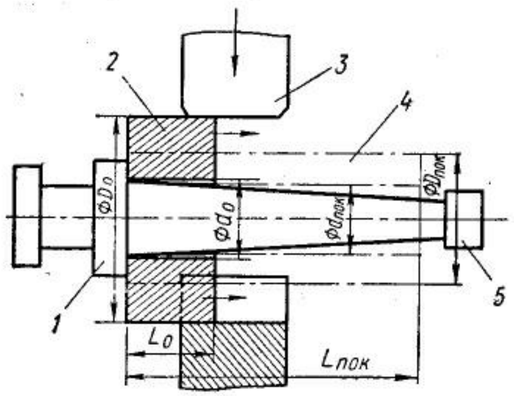


Рис. 54. Схема протяжки с оправкой: *1* — бурт оправки; *2* — заготовка; *3* — боек; *4* — поковка; *5* — оправка

Чтобы облегчить снятие поковки с оправки, на оправке делают бурт, в который упирается один конец заготовки (см. рис. 54, поз. 1), а сам процесс ковки ведут от конца заготовки, противоположного бурту. При первых обжатиях заготовка плотно обжимает оправку. Однако когда обжимаются следующие участки, то бойки по ширине уже не охватывают обжатого концевого участка заготовки, который стаскивается с оправки вправо, так как слева заготовка упирается в бурт и между отверстием этого участка и оправкой ввиду конусности оправки образуется зазор.

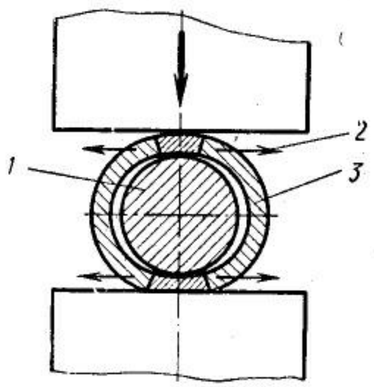


Рис. 55. Протяжка с оправкой на плоских бойках

Таким образом, при большой длине заготовки только незначительная часть ее, прилегающая к бурту, плотно сидит на оправке, а на остальной части имеется зазор, что облегчает выемку оправки из поковки. В процессе ковки необходимо следить за оправкой, не допуская дефектов на ее поверхности и искривления самой оправки. Для охлаждения оправки по ее оси делают отверстие, в которое подается вода. Вынимать оправку необходимо тотчас после ковки.

Начальными размерами являются (см. рис. 54) D, d_0, L_0, а конечными $D_{пок}$, $d_{пок}$, $L_{пок}$, причем диаметр оправки равен $d_{пок}$.

Уков определяют по формуле:

$$y = \frac{F_0}{F_к} = \frac{D^2 - d_0^2}{D_{пок} - d_{пок}^2} = \frac{L_{пок}}{L_0}.$$

Усилие при протяжке с оправкой можно определить по формуле (18), а массу падающих частей молота по формуле (19). При этом $\nu = 1{,}25$, так как вытяжка идет по крайней мере с одним вырезным бойком.

Раскатку на оправке (рис. 56) применяют при ковке относительно коротких полых поковок типа колец и обечаек.

При раскатке на оправке нижний боек отсутствует, его заменяет цилиндрическая оправка, опирающаяся на подставки. Боек делают узким и длинным и располагают длинной стороной параллельно оправке, причем желательно, чтобы длина бойка l перекрывала всю длину поковки (ширину кольца). В ширину кольцо растет тем меньше, чем больше начальная длина. Ковку ведут с вращательной подачей заготовки (в тангенциальном направлении).

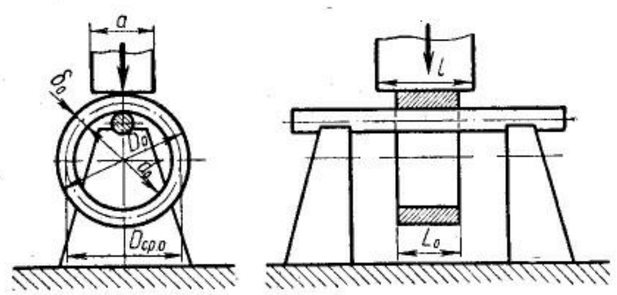


Рис. 56. Схема раскатки на оправке

После каждого обжатия оправка вращается и трением увлекает за собой заготовку. Заданные размеры кольца получают путем ряда оборотов заготовки. Относительное обжатие при каждом обороте составляет часть полного требующегося обжатия

$$\varepsilon_h = \frac{\delta_0 - \delta_{пок}}{\delta_0}.$$

Диаметр оправки подбирают по нормалям с учетом внутренних диаметров поковки и прошитой перед раскаткой заготовки. Кроме этого, учитывают толщину стенки кольца и его ширину, материалы поковки и оправки и т. д.

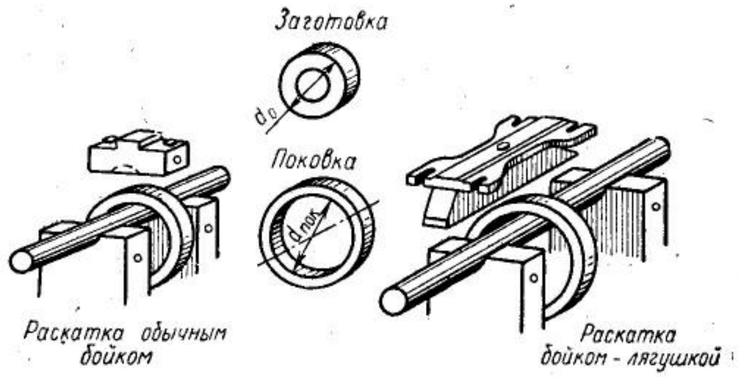
При ковке крупных поковок, с внутренним диаметром поковки до 900 *мм*, применяют оправки диаметром 300 *мм*, для поковок с большим внутренним диаметром, диаметр оправок берут 800 *мм*. Для выбора диаметра оправки пользуются также графиками [42].

При раскатке на оправке важно знать на сколько удлиняется заготовка, чтобы получить нужные размеры. Для крупных поковок при ковке на прессах на УЗТМ опытным путем были установлены величины удлинений и получены диаграммы, где по конечной длине $L_{пок}$ можно найти $\frac{L_0}{L_{пок}}$ и затем L_0 [24].

На НКМЗ им. Ленина и других заводах при разработке технологии раскатки пользуются табл. 15, по которой определяют удлинение $L_0 - L_{пок}$ при раскатке (требуемая осадка ниже поковочных размеров) в зависимости от диаметров заготовки и поковки и конструкций бойка (широкий обычный боек или узкий боек-лягушка).

Таблица 15

Данные для расчета осадки заготовки под раскатку колец и бандажей с учетом уширения при раскатке, *мм* [50]



Размер кольца		Требуемая осадка ниже поковочных размеров		Размер кольца		Требуемая осадка ниже поковочных размеров	
Диаметр $d_{пок}$ внутренний окончательный	Диаметр d_0 предварительный до раскатки отверстия	Для обычного бойка	Для бойка-лягушки	Диаметр $d_{пок}$ внутренний окончательный	Диаметр d_0 предварительный до раскатки отверстия	Для обычного бойка	Для бойка-лягушки
1000	800	20	—	2800	2000	80	20
1200	1000	20	—	2900	2000	80	20
1400	1200	20	—	3000	2200	80	20
1500	1300	30	10	3100	2300	80	20
1800	1400	40	10	3200	2300	90	25
2000	1400	60	20	3300	2300	100	25
2100	1500	60	20	3400	2400	100	25
2200	1500	70	20	3500	2400	110	25
2300	1600	70	20	3600	2500	110	25
2400	1600	80	20	3700	2500	120	30
2500	1800	70	20	3800	2500	130	30
2600	1800	80	20	3900	2500	140	40
2700	2000	70	20	4000	2500	150	40

При ковке на молотах рекомендуется определять высоту кольцевой заготовки перед раскаткой H_0 с учетом коэффициента уширения K (см. диаграмму на рис. 57) и припуска для правки торцов по формуле $H_0 = 1{,}05\ KH_к$.

Для крупных изделий с большим внутренним диаметром операции протяжку с оправкой и раскатку на оправке часто комбинируют, совмещая в одном технологическом процессе. Так, для получения длинных поковок большого диаметра применяют предварительную раскатку на оправке, доводя внутренний диаметр до требуемого размера и уничтожая бочкообразность, а затем протяжкой с оправкой увеличивают длину до заданных размеров, одновременно калибруя внутреннее отверстие по оправке.

Раскатка на оправке совершенно идентична протяжке полосы без кантовки с малой подачей, а следовательно, и с малым уширением.

Уков при раскатке на оправке определяется отношением площадей продольных сечений полой заготовки и поковки, равным отношению среднего диаметра поковки к среднему диаметру заготовки:

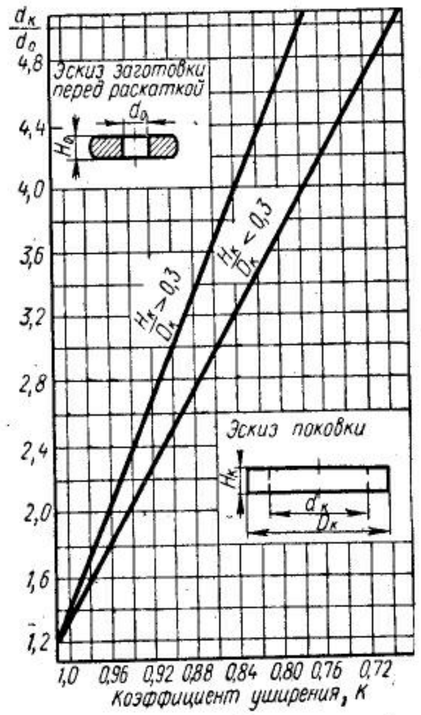


Рис. 57. Диаграмма для определения высоты заготовки перед раскаткой на молотах (УЗТМ)

$$y = \frac{F_0}{F_к} = \frac{\delta_0 L_0}{\delta_{пок} L_{пок}} = \frac{D_{пок\ ср}}{D_{0\ ср}},$$

где F_0, δ_0, L_0 и $D_{0ср}$ — начальные размеры площади продольного сечения, толщины стенки, ширины и среднего диаметра заготовки;

$F_к$, $\delta_{пок}$, $L_{пок}$, $D_{пок\ ср}$ — соответствующие конечные размеры поковки.

Приближенный расчет размеров исходной полой заготовки [99] можно выполнить, используя коэффициент f и приведенное ранее выражение для величины укова

$$y = \frac{1}{1 - \varepsilon_h (1 - f)}.$$

Назначая степень обжатия по толщине ε_h, определяют толщину заготовки

$$\delta_0 = \frac{\delta_{пок}}{1 - \varepsilon_h}.$$

Затем находят величину полного укова y. Коэффициент f за неимением уточненных значений его для данного случая можно принимать равным 0,15. Затем определяют площадь продольного сечения заготовки

$$F_0 = F_к y$$

и ширину заготовки

$$L_0 = \frac{F_0}{\delta_0}.$$

Средний диаметр заготовки

$$D_{0\,ср} = \frac{D_{пок\,ср}}{y}.$$

Наружный и внутренний диаметры соответственно

$$D_0 = D_{0\,ср} + \delta_0,$$
$$d_0 = D_{0\,ср} - \delta_0.$$

Предложены также и другие методы расчета. В частности, расчет деформаций, основанный на экспериментальном моделировании процесса на свинцовых и стальных заготовках, выполнен в работе [9].

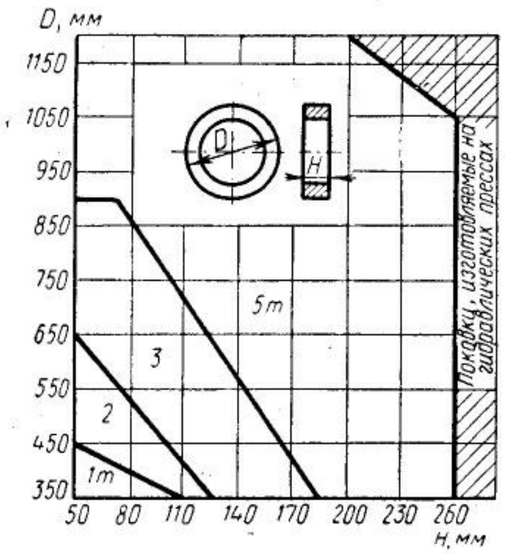


Рис. 58. Диаграмма для выбора массы падающих частей молота для ковки поковок типа колец [36]

Пресс и молот для раскатки обычно выбирают по диаграммам. В качестве примера на рис. 58 показана диаграмма, по которой можно выбрать молот для ковки колец в зависимости от размеров поковки.

Разгонка (рис. 59) имеет целью получить большую площадь поверхности поковки при небольшой ее высоте. При разгонке (расплющивании, уширении) металл раздается в ширину при малом удлинении. Этот процесс обычно ведут широкими бойками с большими подачами.

Для увеличения уширения применяют раскатки. Ось раскатки устанавливают параллельно оси заготовки. Так как удлинение все же имеет место, то площадь поперечного сечения исходной квадратной заготовки должна быть несколько больше площади поперечного сечения полученной поковки прямоугольного сечения.

При разгонке квадратной заготовки бойками примерно 25% смещаемой площади (рис. 60) переходит в площадь получаемого прямоугольника. Зная это, можно определить размеры квадрата по известным размерам прямоугольника по формулам Гатова Б. И.

$$HB = HA + 0{,}25A\,(A - H),$$

откуда

$$A \geqslant \frac{3H}{2}\left(\sqrt{1+1{,}8\,\frac{B}{H}} - 1\right).$$

При разгонке с помощью раскаток, устанавливаемых вдоль оси заготовки, примерно 60% смещаемой площади переходит в площадь

прямоугольника. Учитывая это, сторона исходного квадрата определится по формуле

$$A \geqslant \frac{H}{3}\left(\sqrt{1+15\,\frac{B}{H}} - 1\right).$$

Вспомогательные операции при протяжке. При протяжке поковок валов с уступами и выемками применяют наметку и пережим.

Наметка (засечка) применяется для точного распределения металла между отдельными частями поковки. По предварительно

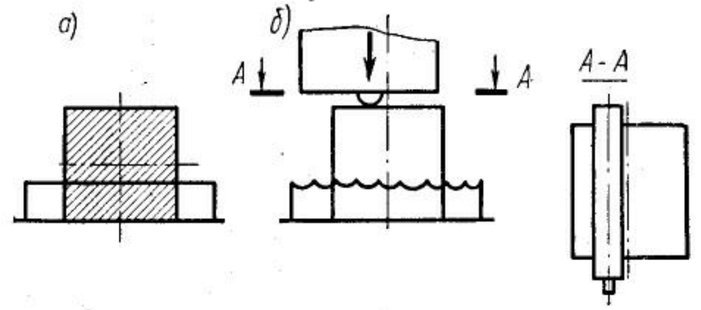


Рис. 59. Схема разгонки (*а*) и разгонка с полукруглой раскаткой (*б*)

размеченным местам устанавливают круглую раскатку небольшого диаметра, по которой слегка ударяют или нажимают бойком. Раскатка вдавливается в металл и образует углубление, называемое наметкой.

Пережим (перебивку) применяют для увеличения наметки до высоты уступа или углубления. Инструментом служат пережимки, профиль которых выбирают в соответствии с формой уступов

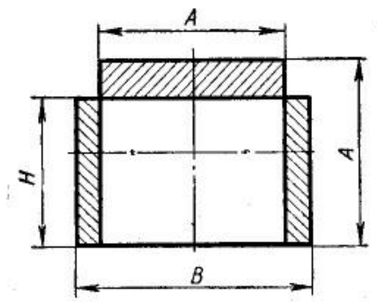


Рис. 60. Схема к расчету размеров заготовки при разгонке

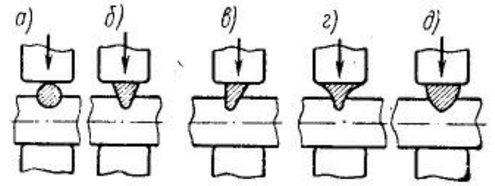


Рис. 61. Схема пережима:

а — круглой раскаткой; *б* — двусторонней; *в* — односторонней треугольной; *г* и *д* — фасонными пережимками

(рис. 61). Схемы получения уступов и выемок показаны на рис. 62, *а*—*г*. Выступ на поковке получают с помощью двух уступов, выполняемых по обе стороны выступа (рис. 62, *д*).

При пережиме в этих местах получается утяжка *1* (рис. 63), которую нужно учитывать при определении размеров поковки (припуск на механическую обработку) или при назначении размера до пережима

с тем, чтобы удалить припуск на утяжку вытяжкой (после протяжки малого размера).

Следует отметить, что при пережиме, особенно треугольными раскатками, происходит перерезывание волокон металла и качество металла в углу уступа оказывается пониженным. Во избежание перерезывания волокон производят пережим круглыми раскатками путем повторных пережимов раскатками с уменьшающимся диаметром [99].

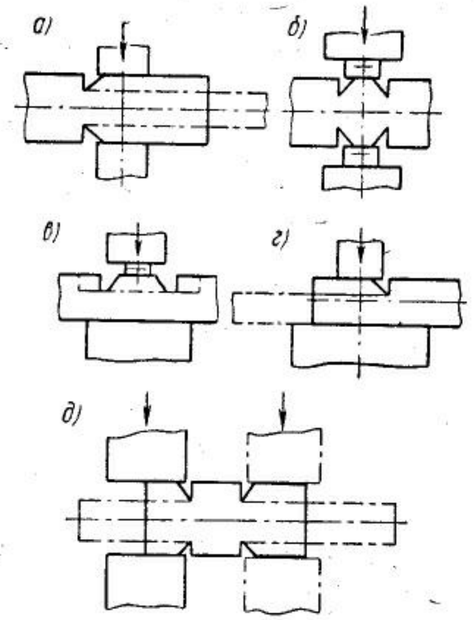


Рис. 62. Схемы получения уступов, выемок и выступов:

а — образование двустороннего уступа бойками; *б* — образование двусторонней выемки плоскими или полукруглыми раскатками; *в* — образование односторонней выемки раскатками; *г* — образование одностороннего уступа бойками; *д* — образование выступа бойками

Передача. При ковке поковок с односторонними выступами, например поковок коленчатых валов, применяется передача (рис. 64).

Передачей одна часть металла заготовки сдвигается относительно другой. При этом металл деформируется только на ограниченном участке.

При передаче происходит утяжка металла в местах предварительного пережима, для компенсации которой приходится увеличивать соответствующую высоту заготовки на 25% от размера поковки. После передачи избыточный металл разгоняется раскаткой, что обеспечивает получение небольшого радиуса закругления в месте утяжки [37].

Существуют различные схемы передачи. Основные схемы показаны на рис. 64 и 65. По схеме, изображенной на рис. 65, *а*, под один конец заготовки ставят подставку во избежание изгиба, а другой конец удерживается в патроне или клещами манипулятора.

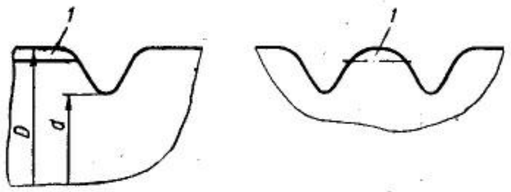


Рис. 63. Утяжка при образовании пережима

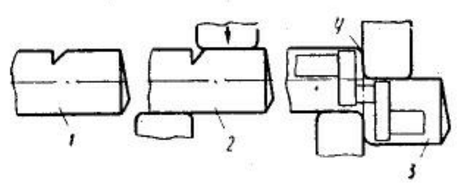


Рис. 64. Схема передачи в одной плоскости:

1 — заготовка с пережимом в месте передачи; *2* — начало передачи; *3* — передача закончена; *4* — утяжка

После передачи обязательна операция правки.

Отделочные операции после протяжки. К ним относятся выглаживание и правка заготовок.

Выглаживание (шлихтовку) производят для придания поковке гладкой поверхности и доведения размеров до пределов, установленных допусками. Оно представляет собой протяжку с небольшой степенью деформации при относительно большой подаче, причем иногда длинные стороны бойков располагаются вдоль оси поковки, т. е. перпендикулярно к тому положению, которое имеет место при обычной протяжке.

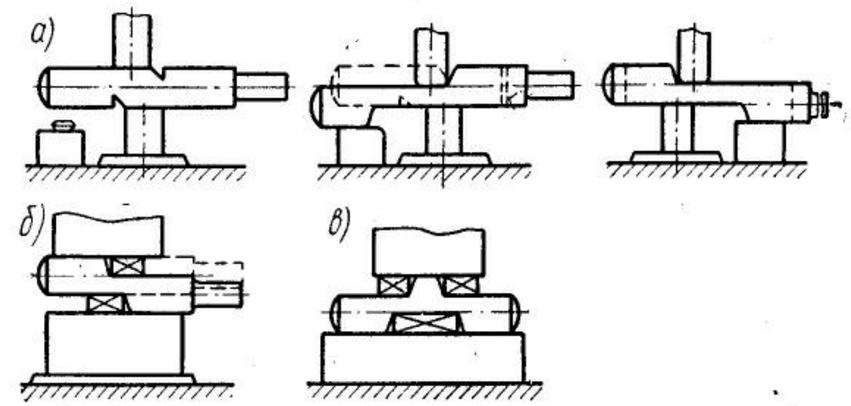


Рис. 65. Схемы передачи:

а — передача на смещенных бойках пресса; *б* — передача на двух подставных квадратных подкладках; *в* — передача с помощью трех квадратных подкладок

Правку (рис. 66) применяют для выпрямления изогнутых поковок. Операция правки по существу является операцией гибки.

Инструмент и приспособления для протяжки. Инструментами для протяжки и ее разновидностей являются бойки, патроны, оправки, стойки, пережимки, обжимки и др.

Бойки для молотов и прессов имеют различную конструкцию. Цельные бойки для паровоздушных молотов (рис. 67) выбирают в зависимости от массы падающих частей молота. Они имеют ширину *а*

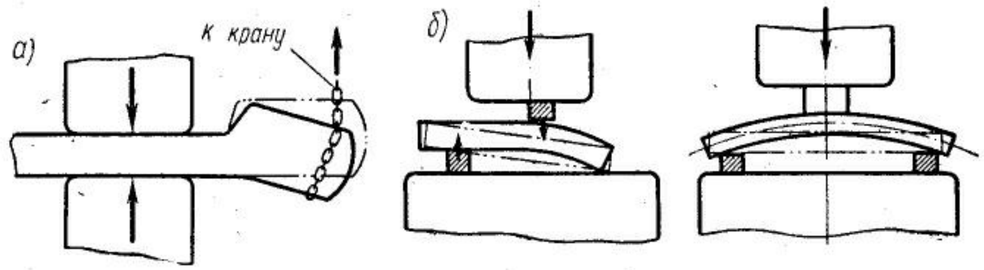


Рис. 66. Правка поковок:

а — с помощью крана; *б* — с подкладками

от 200 до 400 *мм* при длине *l* от 350 до 1000 *мм* (верхний боек несколько меньше). Размеры *b* и h_1 примерно равны 1,5 *а* (нижний боек имеет несколько меньший размер h_1). Радиус скругления рабочей кромки равен 0,1 *а*. Для молотов применяют нижние бойки с быстросъемной рабочей частью, имеющей вырез (по типу вырезного бойка) [47]. Плоские бойки для ковочных прессов показаны на рис. 68. В зависимости от

усилия пресса $a = 220 \div 1150$ *мм* и $l = 650 \div 3500$ *мм*. Радиус скругления рабочей кромки составляет примерно 0,1 от ширины бойка

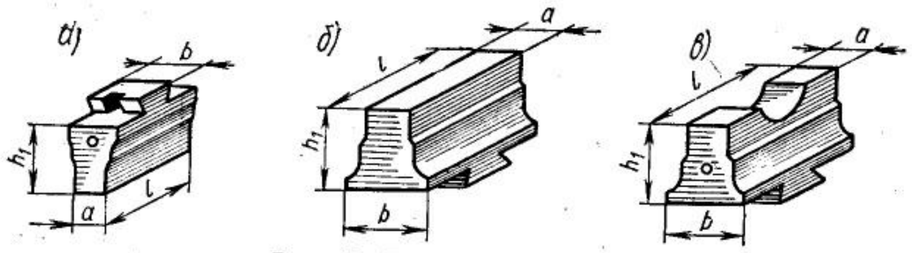


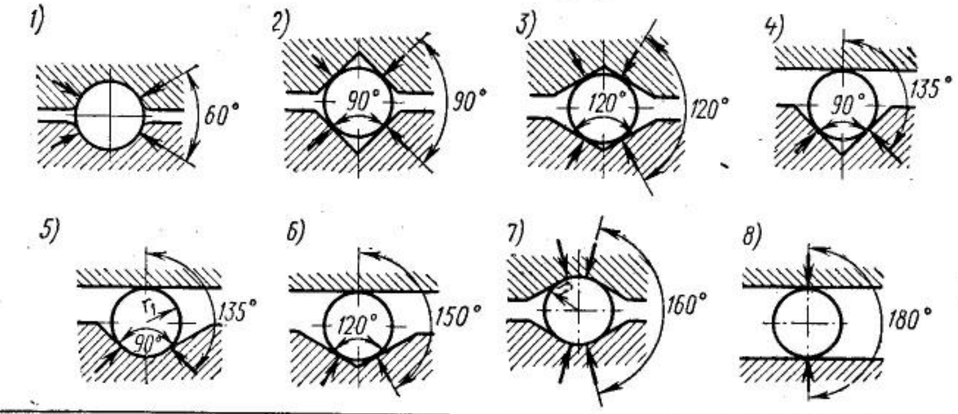
Рис. 67. Бойки для молотов:

а — верхний; *б* — нижний; *в* — нижний вырезной

а. В табл. 16 показаны типы рабочих поверхностей бойков и их эксплуатационные характеристики.

Таблица 16

Типы рабочих поверхностей бойков и их эксплуатационные характеристики [31]



Форма ручья	Тип бойков	Уширение	Пластичность протягиваемого металла	Качество поверхности при одинаковых условиях деформации	Интенсивность протяжки при постоянном обжатии
1	Радиальные	Практически отсутствует	Весьма малая	Весьма высокое	Весьма высокая
2	Ромбические	Незначительное	Малая	Пониженное	Высокая
3	Ромбические	Среднее	»	»	»
4	Плоский и ромбический	»	Средняя	»	Средняя
5	Плоский и радиальный	»	»	Среднее	»
6	Плоский и ромбический	Значительное	»	Пониженное	»
7	Радиальные	Большое	Повышенная	Высокое	Пониженная
8	Плоские	Предельно большое	Высокая	Весьма низкое	Весьма низкая

На рис. 69 показаны корпусы и вкладыши нижних составных бойков, а на рис. 70 — наделки вырезных бойков.

На НКМЗ им. Ленина и других заводах применяется быстросъемное крепление корпусов верхних бойков к рабочей траверзе пресса (рис. 71) [50]. К поперечине пресса прикреплена переходная плита *1* с пневматическими цилиндрами. Эта плита может служить верхней осадочной плитой при осадке высоких заготовок. В корпусе верхнего бойка *3* сделаны штыри *2* с отверстиями, куда заходят клинья *4* и крепят корпус к переходной плите. Клинья приводятся в движение от пневматических цилиндров после того, как штыри *2* войдут в отверстия в верхней переходной плите.

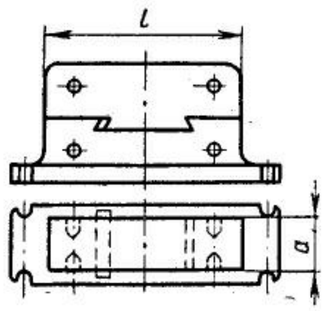


Рис. 68. Боек ковочного пресса

При ковке слитков без манипулятора используют патроны (рис. 72). Рабочий диаметр D патрона выбирают по диаметру хвостовика слитка (цапфы), который должен быть меньше D на $20 \div 40$ *мм*. D колеблется от 320 до 860 *мм*. Диаметр цапфы выбирают в зависимости от массы слитка [103].

Клещевой патрон (рис. 73) не требует оттяжки цапфы.

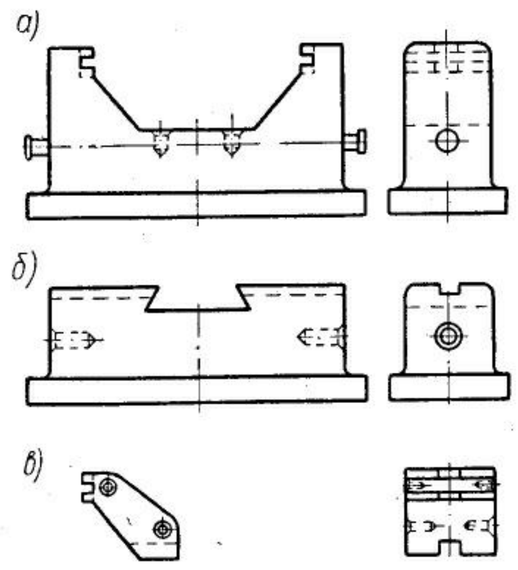


Рис. 69. Нижние составные бойки:

а — корпус для круглых поковок; *б* — корпус для плоской наделки; *в* — вкладыш вырезного бойка

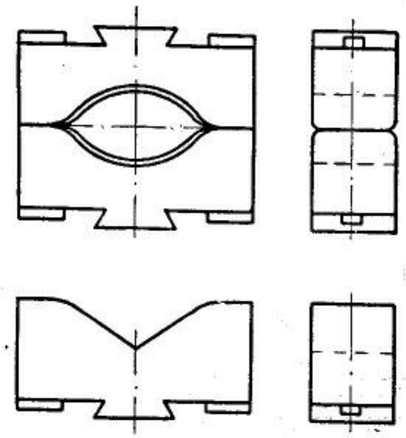


Рис. 70. Наделки вырезных бойков

Захват слитка производится челюстями патрона за прибыльную или донную часть.

При протяжке с оправкой используют удлиненные оправки. Удлиненную оправку (рис. 74, *а*) применяют при ковке с кантователем.

Размеры рабочей части — l_1, D и D_1. D колеблется от 220 до 900 *мм*; $D_1 = D - 40 \div 60$ *мм*, причем чем больше длина l_1, тем больше разница между D_1 и D; l_1 равна 6000, 5000 и 4000 *мм*, причем большие

длины соответствуют меньшим диаметрам D и D_1. Общая длина L примерно равна $1{,}5l_1$.

При раскатке на оправке применяют гладкие (в виде вала) или одноступенчатые оправки. Одноступенчатая оправка показана на рис. 74, *б*.

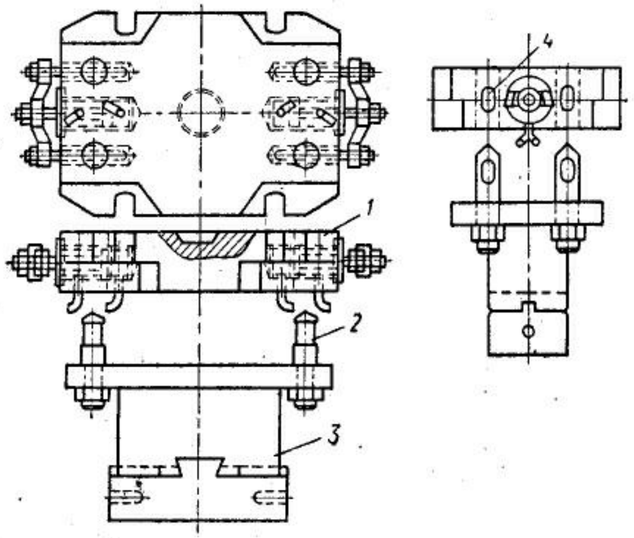


Рис. 71. Быстросъемное крепление верхних бойков

Такую оправку применяют при вращении манипулятором или кантователем. В последнем случае длины L и l увеличивают. Рабочий диаметр оправки d колеблется от 160 до 500 *мм*, а длина l — от 800 до 2000 *мм*. L примерно равна $2l$.

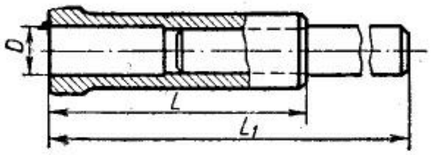


Рис. 72. Патрон

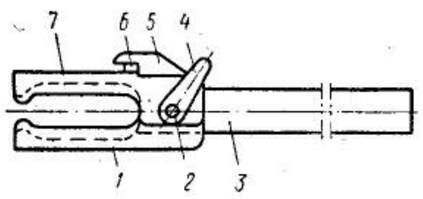


Рис. 73. Клещевой патрон:

1 — нижняя челюсть (неподвижная); *2* — ось подвижной челюсти; *3* — штанга-противовес; *4* — рычаг для открытия патрона; *5* — выступ на штанге, под который закладывается планка; *6* — планка; *7* — подвижная челюсть

Для поддержки оправки при раскатке на оправке служат стойки (рис. 75).

При вспомогательных операциях пользуются различными пережимками. Круглые и треугольные пережимки при ковке на молотах показаны на рис. 76. Диаметр рабочей части круглой пережимки колеблется от 30 до 100 *мм*, а ее длина от 200 до 400 *мм*.

Сторона a рабочей части треугольной пережимки составляет $20 \div 100$ *мм* при длине от 125 до 400 *мм*.

Для ковки на прессах используют круглые пережимки такой же формы, как и для ковки на молотах, однако размеры рабочей части соответственно составляют $d = 55 \div 110$ и $l = 630 \div 1250$ *мм*.

Треугольная пережимка при ковке на прессах аналогична показанной на рис. 76. Есть два варианта ее исполнения: левое и правое. При

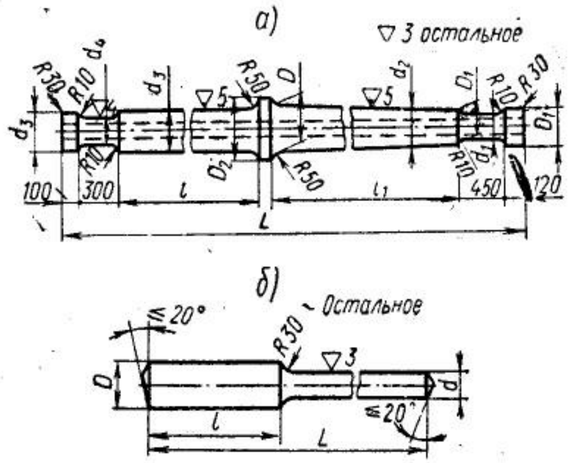


Рис. 74. Удлиненная (*а*) и одноступенчатая (*б*) оправки

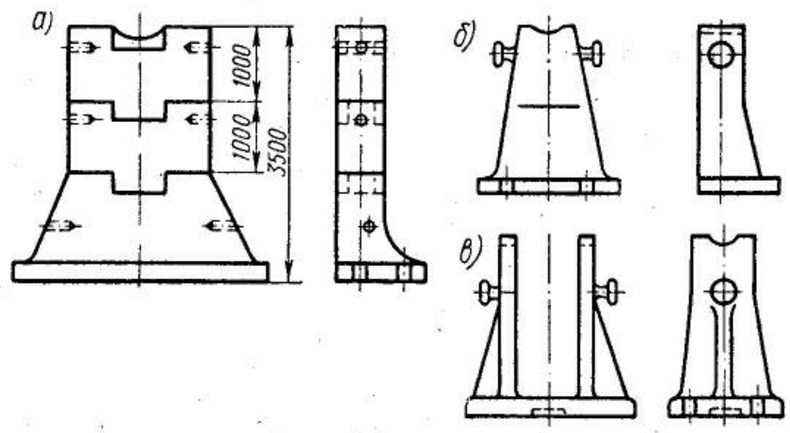


Рис. 75. Стойки для раскатки на оправке:

а — сборные; *б* — литые из двух половин; *в* — спаренные

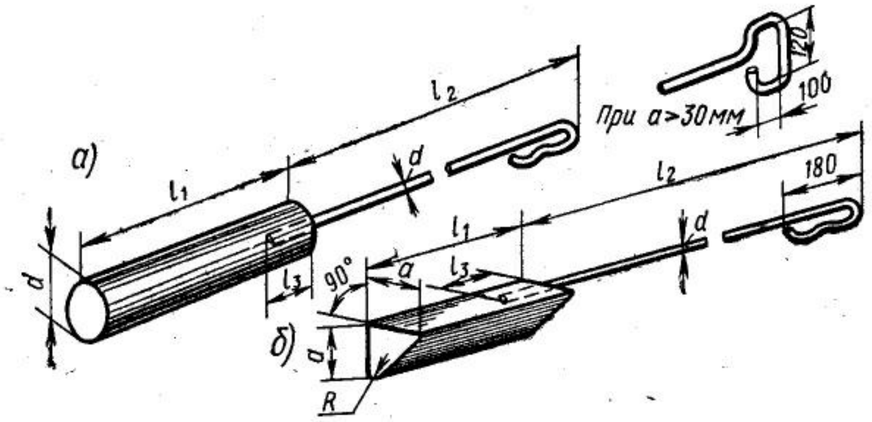


Рис. 76. Круглая (*а*) и треугольная (*б*) пережимки

левом исполнении уступ выполняется слева от рабочего, накладывающего пережимку на заготовку, а при правом исполнении — справа от рабочего.

При ковке мелких круглых поковок на молотах пользуются различными обжимками [42].

§ 16. Прошивка

Прошивкой называется основная кузнечная операция, посредством которой в заготовке получают отверстие (сквозная прошивка) или углубление (несквозная прошивка). Она осуществляется с помощью инструмента — прошивня (или пуансона, дорна).

Форма поперечного сечения прошивня соответствует форме отверстия или углубления, которое необходимо сделать в заготовке. Обычно это круг.

Прошивка сопровождается искажением формы заготовки, а также отходом металла в выдру.

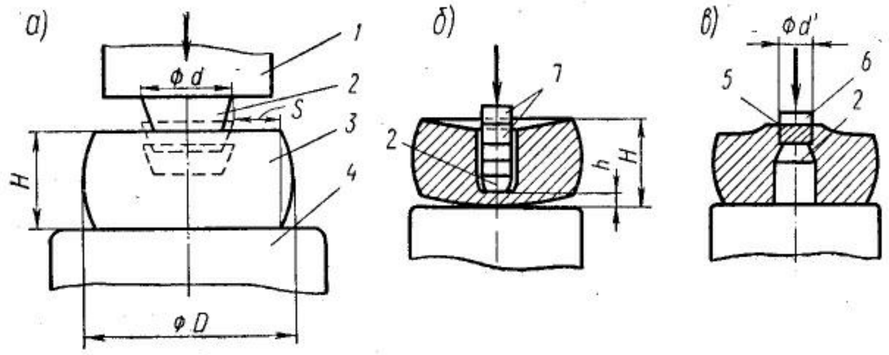


Рис. 77. Схема прошивки сплошным прошивнем:

а — начало прошивки; *б* — конец внедрения прошивня в заготовку; *в* — просечка отверстия; 1, 4 — бойки; 2 — прошивень; 3 — заготовка; 5 — выдра; 6 — просечной прошивень; 7 — надставки

Прошивка (пробивка) сплошным прошивнем показана на рис. 77. Заготовку устанавливают на нижнем бойке или на плите. Перед прошивкой слиток биллетируют, производят обрубку прибыльной и донной частей, после чего заготовку под прошивку обычно предварительно осаживают. Осадка преследует следующие цели: а) получение необходимой толщины стенок прошиваемого цилиндра, обеспечивающей хорошую поковку ($S_{min} = 300 \div 400$ *мм* для слитков, $S_{min} = \left(\frac{1}{3} \div \frac{1}{4}\right) D_0$ для заготовок); б) получение параллельных торцов для лучшей установки прошивня (осадка между плоскими бойками или плитами); в) уменьшение высоты биллетированного слитка, облегчающее последующую прошивку. Более длинная поковка после прошивки подвергается протяжке с оправкой. Прошивень, относительно короткий, устанавливают на заготовку торцом меньшего диаметра по шаблону (в простейшем случае шаблоном является пруток, на котором мелом

отчерчено положение установки прошивня) или по разметке. Для уменьшения трения последующее внедрение прошивня осуществляется с помощью цилиндрических стержней — надставок, диаметр которых меньше диаметра прошивня (рис. 77, *б*). Для уменьшения трения и перегрева прошивни также смазывают графитовой смазкой. Кроме того, при прошивке вначале слегка вдавливают прошивень, затем поднимают его и в углубление засыпают толченый уголь или кокс (лучше всего графит), чем ликвидируют опасности застревания и приваривания. Конечная толщина перемычки для крупных поковок $h = 150 \div 170$ *мм*. Прошивка до получения сквозного отверстия на сплошной опоре производиться не может, так как резко возрастает усилие; но иногда доводят h до $50 \div 60$ *мм*, что меньше высоты прошивня. При этом есть опасность подсадки прошивня. Затем заготовку кантуют на 180°, вынимают надставки и другим прошивнем (прорезным), диаметром, несколько меньшим первого, установленным широким торцом на заготовку, дают сквозную прошивку с отходом — выдрой. Правильную центровку просечного прошивня проверяют по потемнению перемычки и выпучиванию торца. Одновременно удаляют первый прошивень. Удаление прошивня для поковок малой высоты осуществляют до кантовки нажатием кольцом или другими способами (рис. 78). Для того чтобы в выдру удалялась часть заготовки с наихудшими свойствами, при прошивке на сплошной опоре с кантовкой заготовку устанавливают сначала прибыльной частью вниз.

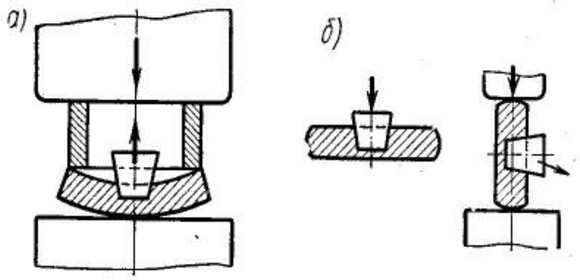


Рис. 78. Удаление прошивня из заготовки:

а — нажатием кольцом; *б* — обкаткой по диаметру

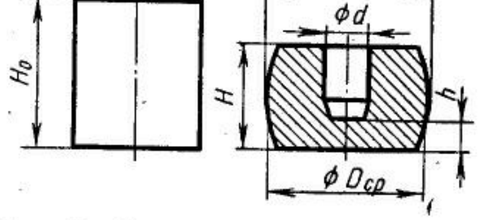


Рис. 79. Схема к расчету формоизменения при прошивке

При прошивке форма заготовки искажается и изменяются ее размеры (рис. 79). Это происходит как вследствие наличия элементов осадки, так и вследствие раздачи в стороны металла из-под прошивня. Диаметры $D_{ср}$ и D_{max} определяют по формулам:

$$D_{ср} = 1{,}13 \sqrt{\frac{1}{H}[V + f(H - h)]},$$

где

$$f = \frac{\pi d^2}{4}; \quad V = \frac{\pi D_0^2}{4} H_0;$$

$$D_{max} = 1{,}13 \sqrt{\frac{1{,}5}{H}[V + f(H - h)] - 0{,}5F_0},$$

где

$$F_0 = \frac{\pi D_0^2}{4}.$$

В процессе осадки изменяется высота H. Отношение $\frac{H}{H_0}$ зависит от $\frac{d}{D_0}$ и $\frac{h}{H_0}$ (табл. 17).

Таблица 17

Значения отношения $\frac{H}{H_0}$

$\frac{h}{H_0}$	$\frac{d}{D_0}$			
	0,2	0,4	0,5	0,6
1	1	1	1	1
0,8	0,98	0,95	0,93	0,91
0,6	0,95	0,92	0,90	0,83
0,4	0,90	0,85	0,82	0,77
0,2	0,90	0,85	0,80	0,73
0,1	0,90	0,85	0,82	0,77

Формоизменение заготовки при прошивке было рассмотрено выше.

Рассмотрим исследование деформированного состояния на отдельных этапах процесса прошивки [130].

По деформированному состоянию можно судить о действительном очаге деформации и на основании его формы и размеров уточнить расчеты, связанные с определением напряжений и необходимых усилий деформирования.

При открытой прошивке отношение диаметра пуансона к наружному диаметру исходной заготовки $\frac{d}{D_0} = 0{,}3 \div 0{,}5$. При увеличении этого отношения до 0,8 и выше процесс видоизменяется. Поэтому исследование деформированного состояния выполнено при отношении $\frac{d}{D_0} = 0{,}5$.

Отношение исходной высоты заготовки к диаметру принято $\frac{H_0}{D_0} = 1$.

Прошивка проводилась на универсальной испытательной машине УИМ-50 в специальном приспособлении, позволяющем центрировать пуансон относительно заготовки и проводить прошивку без увода пуансона в сторону.

Материалом образцов выбран свинец, моделирующий сталь при ковочных температурах. Для обеспечения максимального трения образцы и инструмент перед прошивкой обезжиривались. Скорость деформирования постоянная и равна 30 *мм/сек*.

При разработке методики проведения экспериментов принято, что весь процесс прошивки можно подразделить на три этапа: 1) начало внедрения пуансона в исходную заготовку, 2) пуансон внедрен в заготовку до половины ее исходной высоты, 3) пуансон внедрен в заготовку до толщины донышка под ним, равного $0{,}15 \div 0{,}2\ H_0$ ($0{,}3 \div 0{,}4\ d$), что соответствует практическим данным по прошивке.

Для исследования распределения деформаций по сечению образца использован метод координатной сетки, нанесенной на разрезные спаянные образцы. Предварительно изготавливали цельные прошитые образцы, которые затем разрезали по плоскости, проходящей через ось таким образом, что получалась одна точная половина, а вторая половина отбрасывалась. Две одинаковые половины в дальнейшем спаивали сплавом Вуда и получался разрезной спаянный образец. На плоскости разъема одной из половин перед пайкой наносили координатную сетку, которую измеряли на инструментальном микроскопе. После получения спаянного образца проводили прошивку со степенью деформации около $25 \div 30\%$ относительно толщины заготовки (донышка) под пуансоном $h_н$, что позволяло зафиксировать один этап прошивки в соответствии с исходными и конечными размерами образцов. При этом толщина донышка уменьшалась до $h_к$ (см. рис. 80 и 81). После прошивки образцы распаивали и деформированную координатную сетку измеряли также на инструментальном микроскопе [93]. По изменению вертикальных размеров между горизонтальными линиями сетки были определены вдоль вертикальных линий сетки степени деформации, характеризующие деформированное состояние образцов по всему сечению для каждого из трех этапов прошивки. На рис. 80, *а*, *б* и *в* показаны схемы исходных образцов с координатной сеткой по сечению. Всего испытано по $3 \div 6$ образцов каждого типа. Образцы после деформации показаны на рис. 81. Для третьего этапа использованы образцы двух видов (см. рис. 81, *в* и *г*), в которых отношения всех размеров геометрически подобны, а размеры образцов по рис. 81, *г* значительно больше, чем по рис. 81, *в*, что позволило точнее определить деформированное состояние при важнейшем третьем этапе прошивки. По результатам испытаний для каждого типа образцов построены обобщенные средние диаграммы распределения степеней деформации ε_h вдоль вертикальных линий координатной сетки (см. рис. 80). На диаграммах условно показаны вертикальные линии сетки до деформации и на них ε_{hi} после деформации на $25 \div 30\%$.

Рассмотрение координатной сетки на деформированных образцах и обобщенных диаграмм распределения степеней деформаций показывает на различный характер распределения деформаций и различный вид очага деформации на всех этапах прошивки.

Первый этап (см. рис. 80, *а* и 81, *а*) характеризуется тем, что очаг деформации распространяется не на всю глубину под пуансоном, а ограничен по высоте примерно до размера диаметра прошивня d, причем непосредственно под пуансоном имеется сферическая «жесткая» зона с размером по оси, примерно равным $0{,}33d$. Очаг деформации охватывает всю ширину заготовки.

Второй этап (см. рис. 80, *б* и 81, *б*) характеризуется тем, что очаг деформации распространяется на всю глубину под пуансоном до нижнего основания заготовки, причем толщина металла под пуансоном меньше d. Здесь также имеется сферическая «жесткая» зона с размером по оси примерно $0{,}33h$. Очаг деформации вначале охватывает всю

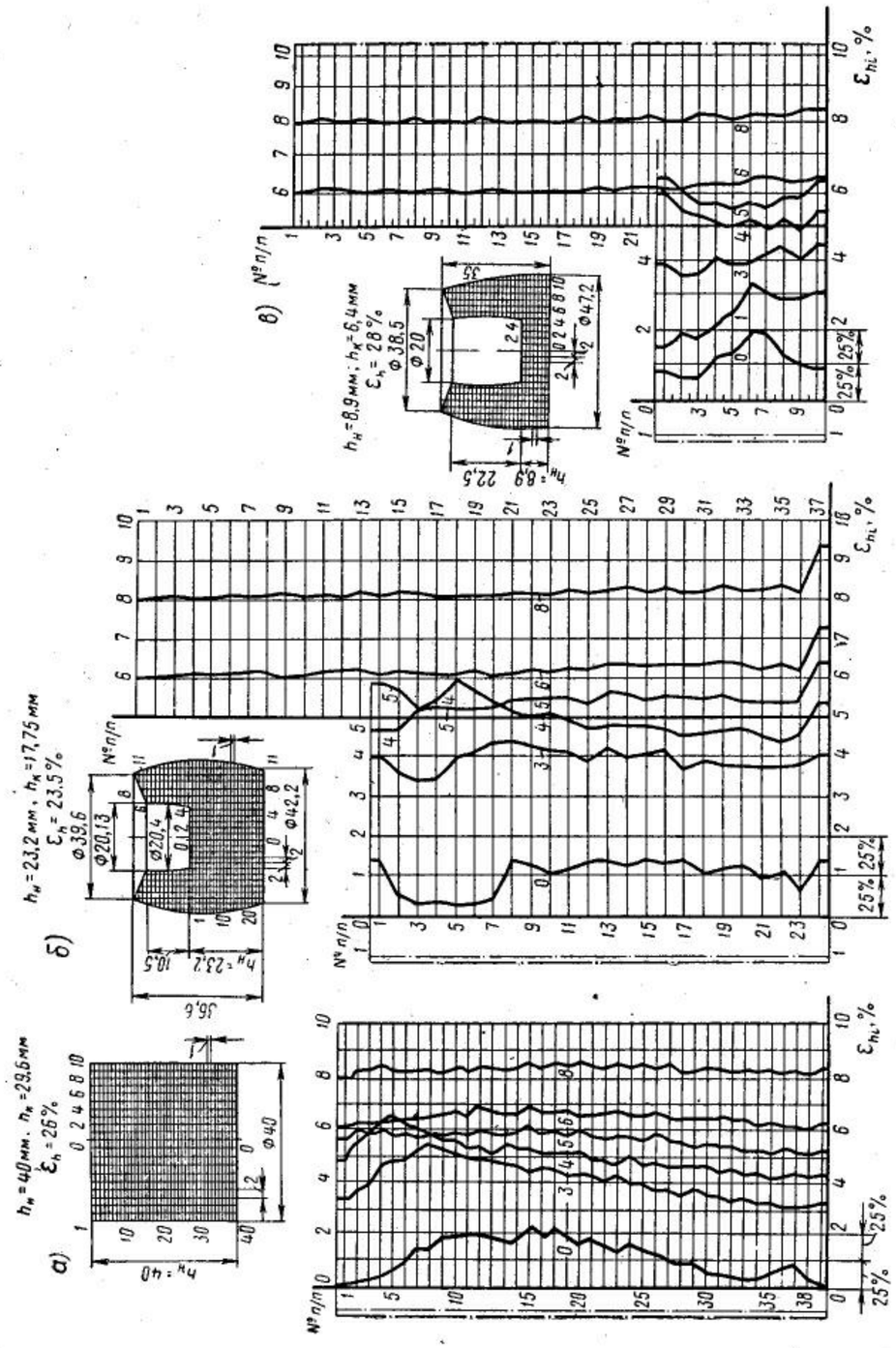


Рис. 80. Типы исходных заготовок с координатной сеткой и диаграммы распределения деформаций по сечению образцов:

а — начало; *б* — середина; *в* — окончание процесса прошивки

ширину заготовки. С уменьшением h до $0{,}7d$ начинается переходный процесс и при $h \leqslant 0{,}35d$ наступает третий этап.

На третьем этапе (см. рис. 80, *в* и 81, *в* и *г*) характерным является относительно малая величина деформированного объема в зоне кольца металла, не находящегося непосредственно под пуансоном. Под пуансоном находится жесткая сферическая зона с размером по оси примерно $0{,}33h$.

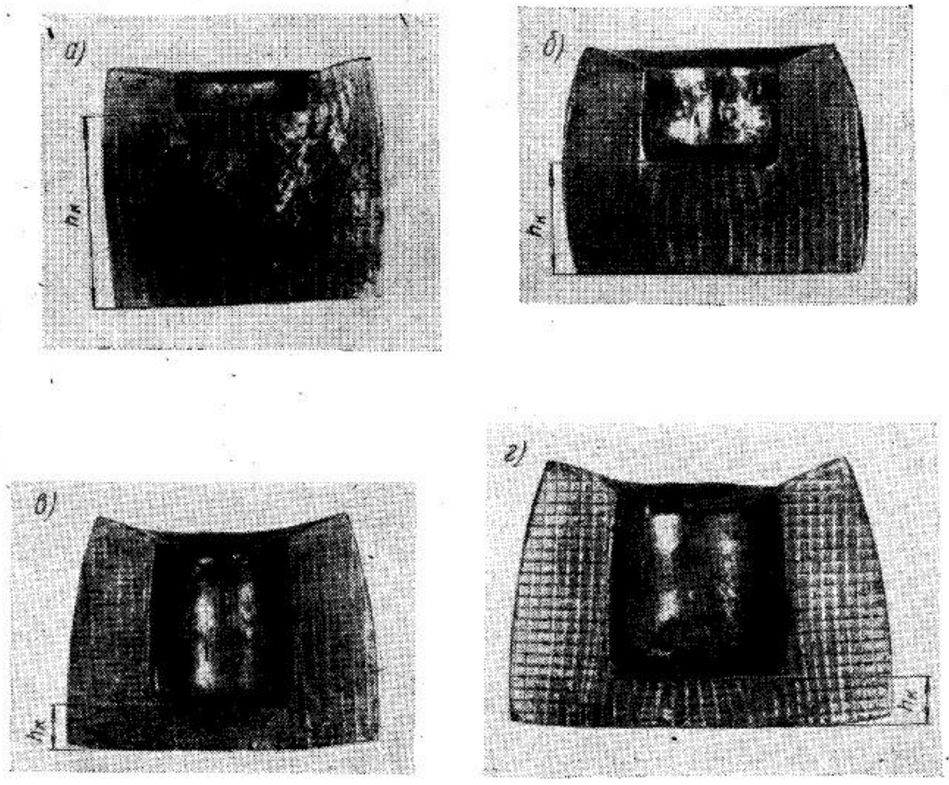


Рис. 81. Координатная сетка после деформации на различных этапах процесса:

а — начало; *б* — середина; *в* и *г* — окончание процесса прошивки

Весь очаг деформации ограничен конической поверхностью с образующей, исходящей из кромки торца пуансона и наклоненной под углом 45° к оси. Внешняя часть заготовки практически не деформируется. Кроме этого, внешняя часть заготовки поднимается над плоскостью нижней плиты (инструмента). Соприкосновение заготовки с нижней плитой происходит только в центральной части и охватывает площадь с диаметром, немного превышающим диаметр прошивня d.

Выбор пресса для прошивки. Как правило, перед прошивкой производится осадка, для которой требуется значительно большее усилие, чем при прошивке. Поэтому если пресс выбран по осадке и используется также при прошивке, то рассчитывать усилие при прошивке не нужно. Однако прошивку не обязательно производить на том же прессе, что и осадку.

Расчет усилия прошивки можно базировать на исследовании деформированного состояния на третьем этапе процесса прошивки, когда обычно усилие является максимальным.

Рассмотрение деформированного состояния на третьем этапе дало основание полагать, что при увеличении диаметра исходной заготовки очаг деформации останется неизменным, а, следовательно, конечное потребное усилие при относительно тонком донышке заготовки ($h \leqslant 0{,}35d$) не зависит от ее диаметра и для разных заготовок определяется лишь диаметром прошивня и толщиной донышка. Для подтверждения этого предположения были поставлены специальные эксперименты по замеру усилий P по пути пуансона (ходу прошивки) ΔH_0 до толщины заготовки под прошивнем $h_к = 5{,}75$ *мм* при различных диаметрах заготовки D_0 и одинаковых других параметрах. Материалом образцов служил свинец с $\sigma_s^* = 1{,}8$ *кГ/мм²* (18 *Мн/м²*). Для получения максимального трения образцы и пуансон обезжиривались. Полученные зависимости $P = f(\Delta H_0)$ показаны на рис. 82, из которого следует, что конечное усилие при прошивке поковок, начиная с отношения диаметра прошивня к диаметру исходной заготовки $\frac{d}{D_0} = 0{,}5$ и ниже (при увеличении D_0), одинаково при одинаковых размерах d и h ($h < 0{,}35d$).

Для отношений $\frac{d}{D_0} = 0{,}25$ и ниже максимальное усилие прошивки оказывается выше, чем конечное усилие при $h = 0{,}3 \div 0{,}35d$. Кривые на рис. 82 имеют характерный вид. Вначале наблюдается резкое повышение усилия, затем оно на некотором участке остается постоянным и на конечном участке начинает возрастать $\left(\text{при } \frac{d}{D_0} > 0{,}25\right)$ или падать и снова возрастать $\left(\text{при } \frac{d}{D_0} < 0{,}25\right)$, причем, начиная с $h = 0{,}35d$ и ниже, усилия для всех заготовок становятся примерно равными. Полученная величина $h = 0{,}35d$ соответствует началу III этапа. Рассмотрение кривых на рис. 82 показало также, что при уменьшении $\frac{d}{D_0}$ (увеличении D_0) возрастают потребные усилия на II этапе. Это увеличение усилий наблюдается также при уменьшении $\frac{d}{D_0}$ до 0,2 и ниже, хотя интенсивность увеличения усилий, начиная с $\frac{d}{D_0} = 0{,}2$, заметно падает. По полученным данным о деформированном состоянии на I и II этапах нетрудно получить уточненные формулы для определения потребных усилий.

Можно также получить уточненную формулу для потребного усилия на III этапе прошивки. По формуле подсчитывают конечное усилие прошивки, которое является также максимальным для большинства случаев прошивки, встречающихся на практике, при $0{,}7 > \frac{d}{D_0} > 0{,}25$.

Вывод формулы основывается на схеме, представленной на рис. 83. Очаг деформации (по диаметральному сечению его половина относительно оси y) подразделяется на два участка — *I* и *II*. На участке *I* (A, C, D', B) принимается, что металл течет от центра к периферии

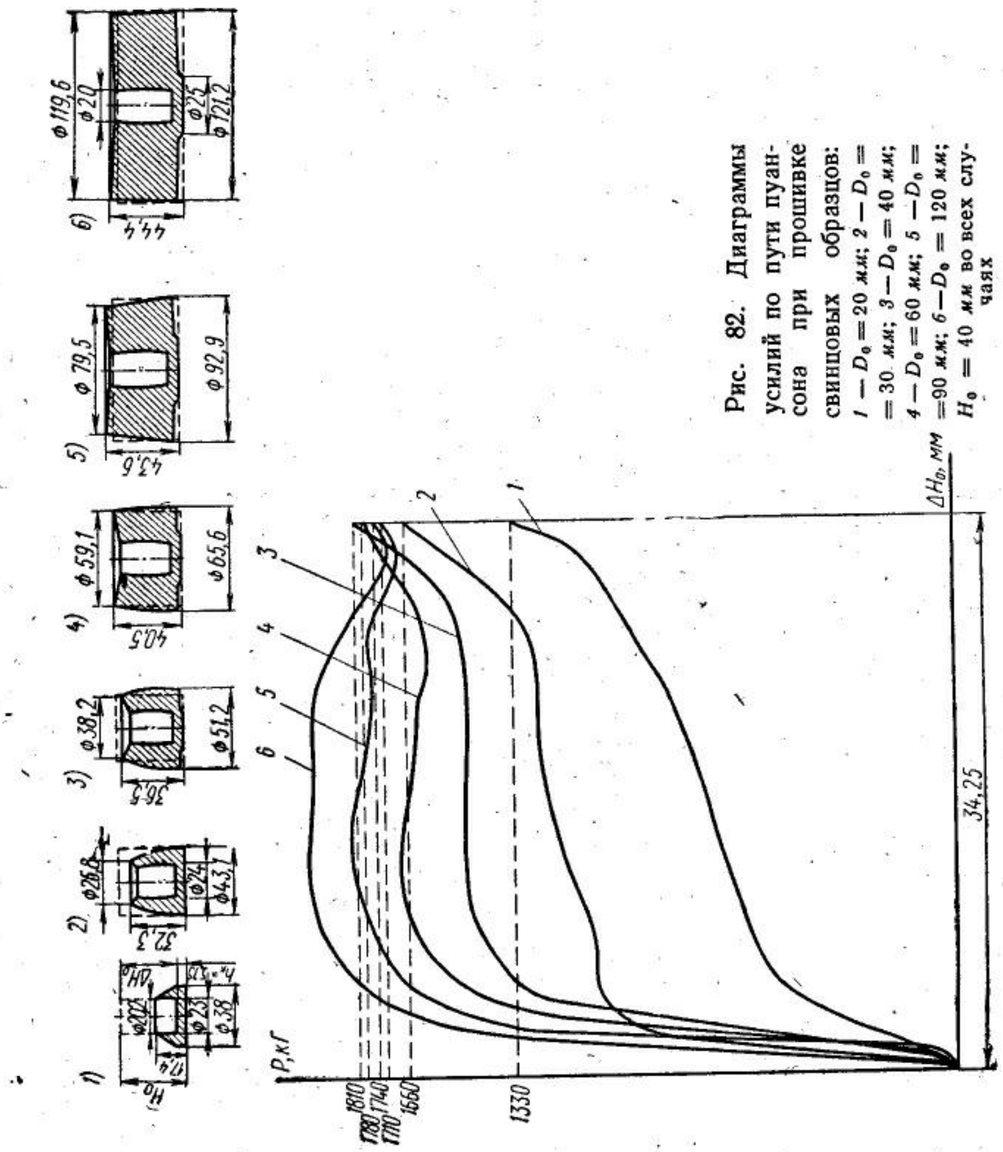


Рис. 82. Диаграммы усилий по пути пуансона при прошивке свинцовых образцов: *1* — $D_0 = 20$ *мм*; *2* — $D_0 = 30$ *мм*; *3* — $D_0 = 40$ *мм*; *4* — $D_0 = 60$ *мм*; *5* — $D_0 = 90$ *мм*; *6* — $D_0 = 120$ *мм*; $H_0 = 40$ *мм* во всех случаях

симметрично относительно оси $O-O'$, а по линиям AB и CD' касательные напряжения постоянны и имеют максимальное значение $\tau = K$.

Участок *II* (ACE) граничит с участком *III*, который принимается жестким. Участки *II* и *III* связаны по линии CE, вдоль которой действуют $\tau = K\left(K = \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}}\right)$.

Для определения усилия прошивки достаточно знать распределение напряжений на линии AB, по которой заготовка касается с нижней плитой.

На рис. 83 внизу показана принятая эпюра распределения напряжений на III этапе (см. кривую *1*). Кривая *2* соответствует более точному решению.

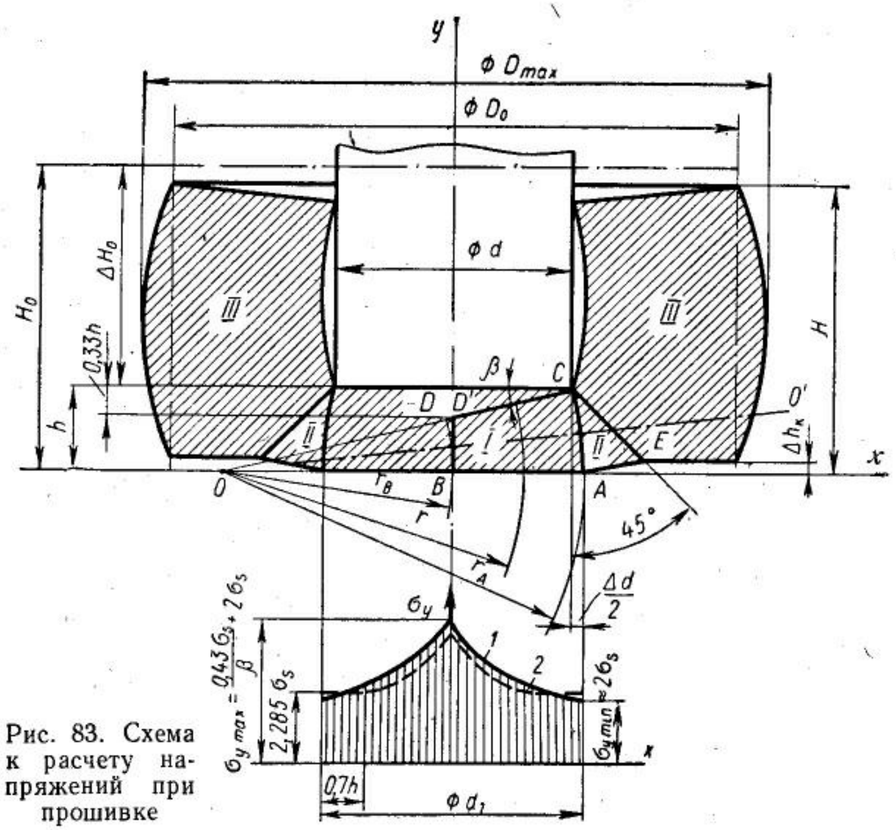


Рис. 83. Схема к расчету напряжений при прошивке

Упрощенная формула для определения конечного максимального усилия при открытой прошивке имеет следующий вид

$$P = \frac{\pi}{4}\left(d + 1{,}32\,\frac{h^2}{d}\right)^2 \sigma_s \left(\frac{0{,}14}{\beta} + 2\right). \qquad (20)$$

Здесь σ_s — напряжение текучести при температурно-скоростных условиях процесса прошивки; β — в радианах $\left(\operatorname{tg}\beta = 0{,}66\,\frac{h}{d}\right)$.

Расчет усилия по формуле (20) для данных рис. 82 дал величину $P = 1880$ *кГ*, что несколько преувеличено по сравнению с экспериментальными данными. Как видим, по предлагаемой формуле усилие на III этапе процесса прошивки не зависит от диаметра D_{max}, что соответствует эксперименту (см. рис. 82).

Полученная формула соответствует действительному (схематизированному) деформированному состоянию на конечном этапе процесса прошивки. Формула применима при $h \leqslant 0{,}35d$ и $0{,}7 > \frac{d}{D_0} > 0{,}25$. При $\frac{d}{D_0} < 0{,}25$ полученное по формуле усилие будет меньше максимального усилия, которое имеет место на втором этапе процесса прошивки.

Расчет усилия прошивки можно производить также по формуле [107]

$$P = \frac{\pi d^2}{4}\sigma_в\left[1 + 0{,}17\,\frac{d}{h} + 1{,}1\ln\frac{D}{d}\right]. \qquad (21)$$

Формула (21) справедлива для $\frac{D}{d} < 5$ и до тех пор, пока увеличивается внешний диаметр заготовки в процессе прошивки [107].

Усилие прошивки заготовок из углеродистых и среднелегированных сталей приближенно можно определять по диаграммам [4].

Различные способы прошивки. Основными способами являются: прошивка прошивки сплошным прошивнем; прошивка на подкладном кольце; прошивка пустотелым прошивнем.

Прошивку сплошным прошивнем (см. рис. 77) применяют при ковке на молотах и прессах, когда необходимо получить отверстие в сравнительно высокой заготовке. При ковке слитков эту прошивку применяют для получения отверстий диаметром до 400 ÷ 500 *мм* при изготовлении деталей, у которых не требуется удаления ликвационной зоны. Данный способ прошивки рассматривался выше.

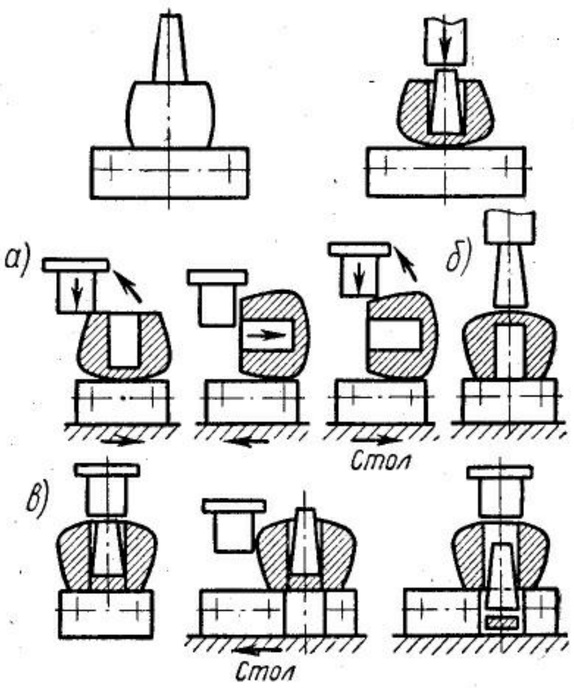


Рис. 84. Схема прошивки блока с равновеликой высотой и диаметром:

а — кантовка заготовки на 90°; *б* — окончательная кантовка заготовки низом вверх; *в* — окончательная прошивка

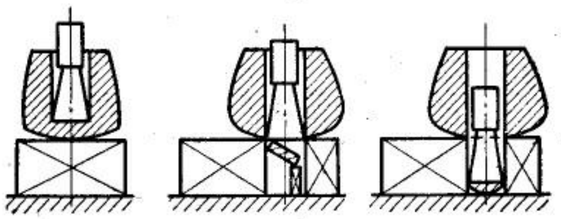


Рис. 85. Схема прошивки сплошным прошивнем на квадратах

Прошивку сплошным прошивнем производят обычно с кантовкой заготовки. Операции с заготовкой при прошивке с кантовкой показаны

на рис. 84. Иногда прошивку производят без кантовки с помощью квадратов (плит) (рис. 85).

Прошивку на подкладном кольце (рис. 86) применяют в основном для сравнительно низких заготовок при $\frac{H}{D} = {}^1/_3 \div {}^1/_4$. Заготовку устанавливают на кольце. На нее ставят прошивень, большим диаметром вниз. Прошивень располагают по оси отверстия подкладного кольца. Диаметр отверстия кольца должен быть несколько больше диаметра прошивня. Верхним бойком вдавливают прошивень до тех пор, пока выдра не провалится в отверстие кольца. Высоту прошивня в этом случае берут обязательно больше толщины заготовки. При этом способе прошивка идет непрерывными ударами молота или нажатиями пресса.

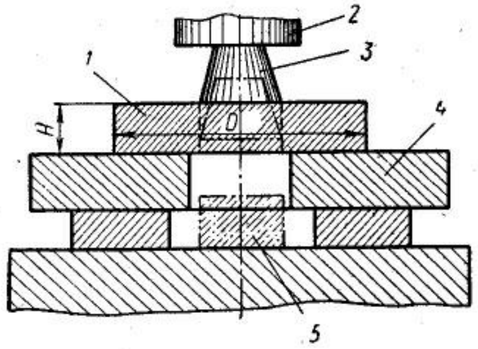


Рис. 86. Прошивка на подкладном кольце:

1 — заготовка; *2* — боек; *3* — прошивень; *4* — кольцо; *5* — выдра

Вначале происходит внедрение прошивня в металл, а затем срез. Отход в выдру больше, чем в первом случае, но искажение размеров меньше. Соосность кольца и прошивня достигается на глаз, по разметке и с помощью приспособления. Усилие прошивки можно приближенно определить по формуле [99]

$$P = (0{,}7 \div 0{,}8)\,\sigma_в \pi D H, \qquad (22)$$

где $\sigma_в$ — предел прочности материала при температуре нагретой заготовки;

H — высота заготовки.

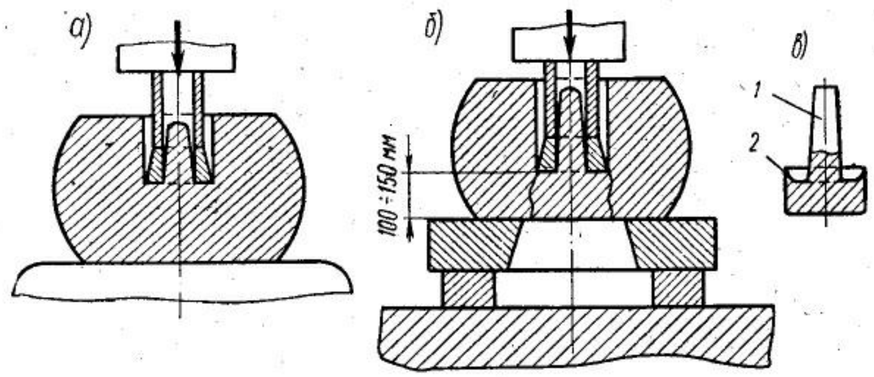


Рис. 87. Прошивка пустотелым прошивнем:

а — процесс прошивки; *б* — окончательная просечка отверстия на кольце; *в* — выдра (*1* — стержень; *2* — заусенец)

Прошивку полым прошивнем (рис. 87) применяют для получения больших по диаметру отверстий (свыше 500 *мм*), а также для удаления средней ликвационной части слитка.

Применение пустотелых прошивней резко снижает усилие прошивки. Глубокая прошивка идет с полыми надставками. Отверстие надставки на 15—30 *мм* больше диаметра отверстия, а наружный диаметр на 10 ÷ 15 *мм* меньше наружного диаметра прошивня.

Прошивка ведется так же, как и сплошным прошивнем, до тех пор, пока не останется донышко толщиной примерно 100 ÷ 150 *мм*. После этого заготовку с прошивнем и надставками переставляют на кольцо (см. рис. 87, *б*).

Диаметр отверстия кольца выбирают на 30 ÷ 40 *мм* больше диаметра прошивня и отход срезается.

После прошивки краном снимают сначала заготовку, затем надставки. Для съема прошивня с отхода вначале зубилом отрубают заусенец, наплывший на прошивень при проходе через кольцо, а затем выбивают отход из прошивня.

Перед прошивкой прошивень необходимо подогреть до 150° С, что предохраняет его от растрескивания. После прошивки рекомендуется укладывать прошивни на подставках для равномерного охлаждения на воздухе.

Прошивку крупных заготовок для удобства манипулирования с ними можно производить на плите с отверстием, в которое вначале вставляют сухарь (рис. 88). Такой способ прошивки применяют на УЗТМ на прессе усилием 10 000 *Т*. После осадки и прошивки заготовки на плите с вкладышем плиту вместе с заготовкой поднимают краном, а вкладыш остается на столе. Далее стол с вкладышем выдвигают из-под заготовки с плитой и плита опускается. Теперь в плите отверстие оказывается открытым и выдра окончательно отделяется от заготовки при нажатии пресса на надставку и пустотелый прошивень.

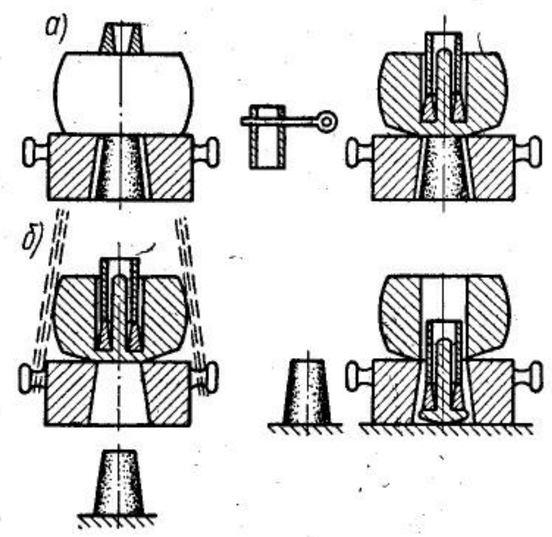


Рис. 88. Схема прошивки крупного блока пустотелым прошивнем на плите с вставным сухарем:

а — вдавливание прошивня; *б* — выемка сухаря и окончательная прошивка

Правка заготовки после прошивки. В процессе прошивки форма заготовки (торцы и боковая поверхность) искажается. Отверстие получается неровным. Поэтому после прошивки заготовку, а также отверстие надо править. Торцы правят на гладких бойках или гладких плитах с помощью легких ударов молота или легких нажатий пресса. Для правки торцов иногда используют плоские раскатки. Боковую поверхность правят со вставленной в отверстие оправкой (рис. 89, *а*). Правку отверстия производят с помощью прошивня бочкообразной формы, который прогоняется насквозь через отверстие

(рис. 89, *б* и рис. 90, *в*). Диаметр прошивня несколько больший, чем диаметр отверстия в заготовке. Таким способом можно получить небольшое увеличение отверстия. Значительное увеличение диаметра после прошивки получают с помощью раскатки на оправке.

Инструмент и приспособление для прошивки. Основными инструментами для прошивки являются различные прошивни.

Сплошной прошивень при ковке под молотом показан на рис. 90, *а*. Его диаметр D колеблется от 40 до 230 *мм*. Диаметр d меньше D на 5 ÷ 10 *мм*. Высота H примерно равна $1{,}5\,D$.

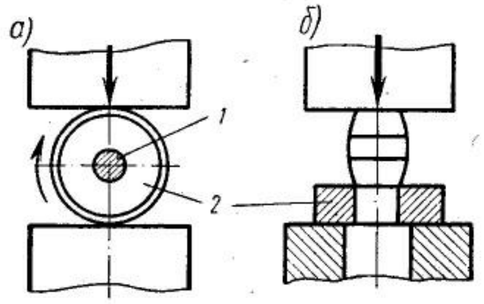


Рис. 89. Правка после прошивки:

а — обкатка по диаметру; *б* — правка отверстия (калибровка); *1* — оправка; *2* — заготовка

Сплошной прошивень при ковке под прессом имеет такой же вид. Диаметр D изменяется от 250 до 500 *мм*, а высота H от 300 до 500 *мм*. Диаметр d меньше D на 30 ÷ 50 *мм*.

Пустотелый прошивень показан на рис. 90, *б*. Диаметр D изменяется от 400 до 710 *мм*, а d от 200 до 360 *мм*. Диаметр D_1 меньше D на 20 *мм*, а d_1 больше d на 10 *мм*. Радиус закругления рабочей кромки r составляет 15 ÷ 30 *мм*.

Бочкообразный прошивень для калибровки отверстия после прошивки при ковке на молотах показан на рис. 90, *в*. Диаметр D колеблется от 50 до 250 *мм*, а высота H от 80 до 275 *мм*. Калибрующий поясок h делается в пределах 20 ÷ 45 *мм*. Диаметр d меньше D на 10 ÷ 30 *мм*.

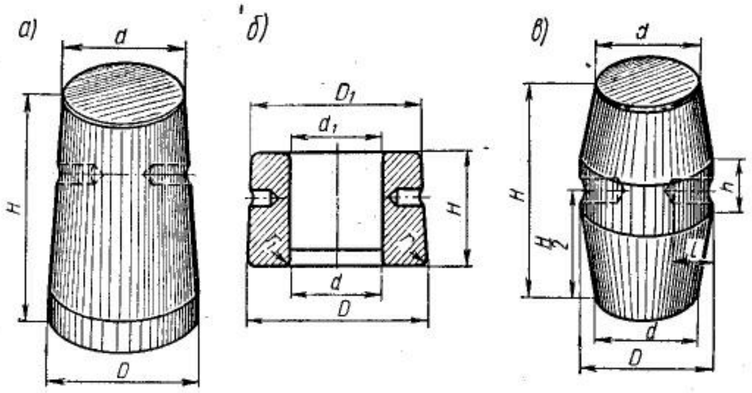


Рис. 90. Прошивни:

а — сплошной; *б* — пустотелый; *в* — бочкообразный

Представляет интерес приспособление для прошивки, схема работы которого показана на рис. 91 [61]. В приспособлении матрица *3*, вставка *2* и прошивень *5* являются сменными деталями, что позволяет получать отверстия разных диаметров. Между прошивнем и матрицей оставляется зазор в 3 *мм* на сторону. Заготовку *4* ставят на кольцо *1* (и матрицу), в отверстие которого вставлена вставка *2*. После осадки

заготовки на нее ставят прошивень *5* (см. рис. 91, *а* и *б*) и производят прошивку до тех пор, пока нижний торец заготовки не поднимется над кольцом, что будет указывать на малую толщину донышка под прошивнем. Затем кольцо с заготовкой поднимают, вынимают вставку *2* и окончательно прошивают отверстие, ставя надставку *6* сверху на прошивень (рис. 91, *в* и *г*). Отход в выдру получается в виде тонкой лепешки. Если в поковке требуется при прошивке удалить осевую часть заготовки, то после осадки вставку *2* вынимают и производят прошивку по схеме прошивки на подкладном кольце (см. рис. 86).

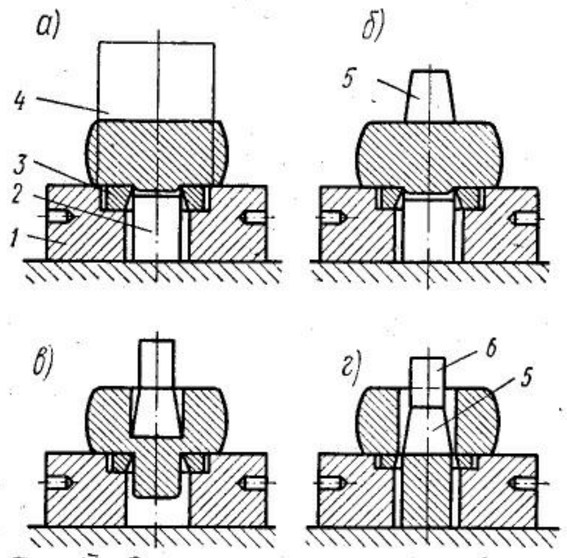


Рис. 91. Схема прошивки на приспособлении

§ 17. РУБКА, ГИБКА И ЗАКРУЧИВАНИЕ

Рубка. Основная кузнечная операция, при помощи которой заготовку разделяют на части (рубка), разделяют частично (разрубка, прорубка *2*, рис. 92) или от заготовки отделяют какую-то часть по наружному (обрубка *1*) или внутреннему (вырубка *3*) контуру.

Почти ни один технологический процесс не проходит без рубки. При рубке часть металла отходит в обсечки. Основным инструментом являются топоры различной формы. Топоры крупных размеров

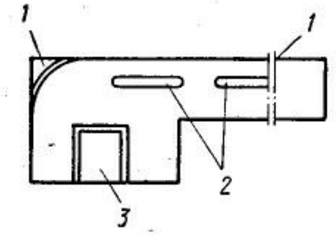


Рис. 92. Различные виды рубки заготовки:

1 — обрубка; *2* — разрубка или прорубка; *3* — вырубка

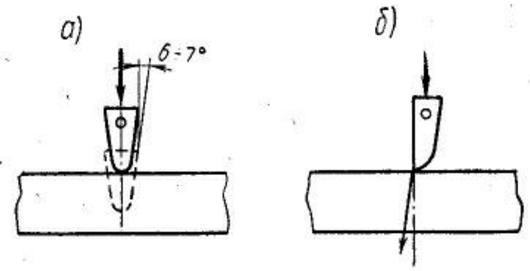


Рис. 93. Схема рубки

подают и устанавливают при помощи кранов. У крупных топоров ручки нужны для установки; у мелких также и для удержания в процессе работы (особенно под молотом). Схема рубки показана на рис. 93. Двусторонний топор (уклон с двух сторон) внедряется в металл вертикально. При этом торцы разрубаемой заготовки никогда не перпендикулярны к оси и составляют угол до 6 ÷ 7°, хотя ось двустороннего топора перемещается вертикально (рис. 93, *а*). Для получения вер-

тикальной стенки используют односторонний топор (уклон с одной стороны), но его может слишком увести при рубке (рис. 93, *б*).

Рубку односторонними топорами на большом расстоянии от концов заготовки не применяют. Односторонний уклон топора может компенсировать пониженное сопротивление со стороны концевого участка заготовки. Поэтому односторонние топоры используют при отрубке концов, благодаря чему угол наклона плоскости разреза к вертикали может быть уменьшен.

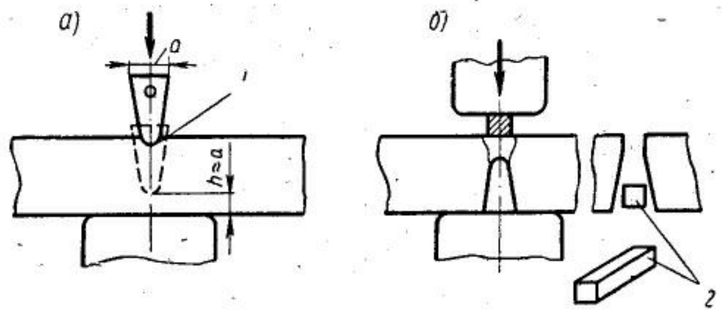


Рис. 94. Рубка с одной стороны:
1 — наметка; *2* — обсечка

Существуют различные способы рубки.

Рубку с одной стороны (рис. 94) применяют при ковке небольших заготовок.

На заготовку ставят топор и слегка вдавливают его в металл слабыми ударами (нажатиями), создавая наметку. Последнюю можно сделать также и круглой раскаткой. Затем ведут рубку до образования перемычки, равной приблизительно ширине *а* обуха топора. При меньшей толщине перемычки можно замять топор. Затем заго-

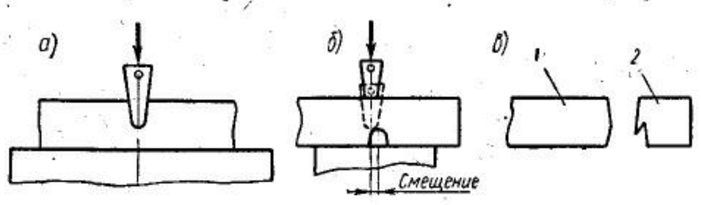


Рис. 95. Рубка с двух сторон:
1 — поковка; *2* — отход

товку кантуют на 180° и над перемычкой ставят квадрат, который отделяет ее от заготовки (рис. 94, *б*).

Рубку с двух (или нескольких) сторон (рис. 95) применяют при ковке крупных заготовок. Топор внедряют, примерно, до половины высоты заготовки, затем заготовку кантуют на 180° и ведут окончательную рубку. Попасть точно в первоначальный надруб трудно, при этом обязательно получаются заусенцы. С тем чтобы заусенцы приходились на отход, после кантовки топор смещают в сторону к поковке от линии первоначальной рубки. Если нужно

получить качественными оба конца, то смещения не делают, а заусенец потом обрубают. Круглую заготовку рубят с трех сторон топорами с выкружкой.

Рубку с четырех (двух) сторон с оставлением перемычки (рис. 96) применяют, когда операцию нужно произвести без образования заусенца или для очень толстой заготовки. С четырех сторон топором делают надрубку. В середине оставляют перемычку, которую затем срезают плоской пластинчатой раскаткой (пластиной) или топором, поставленным обухом вниз.

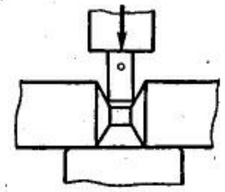


Рис. 96. Рубка с четырех сторон с оставлением перемычки

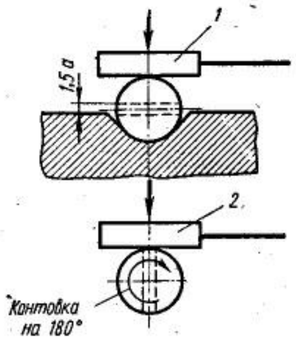


Рис. 97. Рубка круглых заготовок с оставлением перемычки:
1 — топор; *2* — пластина

Круглые заготовки рубят в вырезном бойке с двух сторон с оставлением перемычки, которую затем срезают пластиной (рис. 97).

При вырубке контуров с острыми углами, а также при разрубке желательна предварительная прошивка либо просверливание в углах контура (или в концах прорубаемого участка) во избежание чрезмерного углубления топора в металл и для получения точных размеров контура.

После рубки удаляют заусенцы (рис. 98), для чего используют односторонние топоры *1*. Отсечку заусенцев по краям заготовки производят квадратами *2*. Заусенцы следует удалять тщательно; оставленные заусенцы могут привести к заковке их в последующих операциях с образованием зажима. Конструкции топоров для рубки показаны на рис. 99.

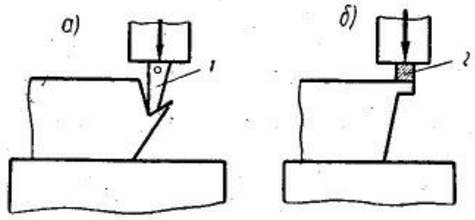


Рис. 98. Удаление заусенцев после рубки:
а — топором; *б* — квадратом

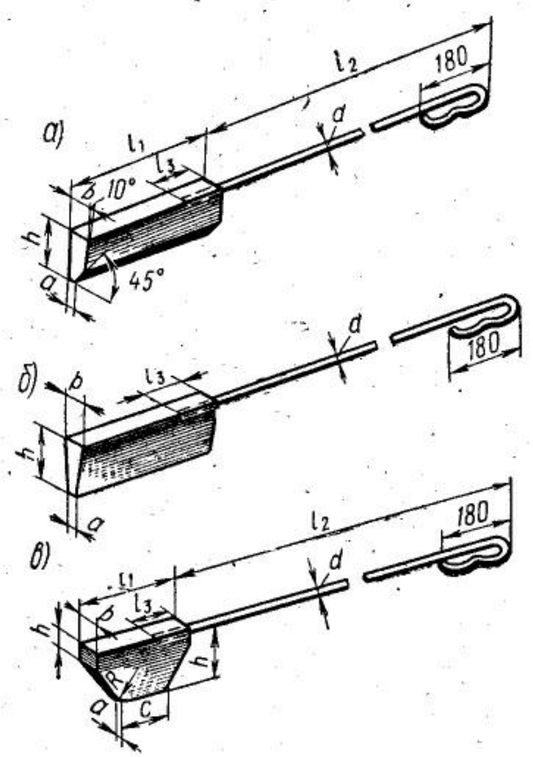


Рис. 99. Топоры для рубки:
а — односторонний; *б* — двусторонний; *в* — к вырезному бойку

Гибка. Основная кузнечная операция, посредством которой исходной заготовке придается изогнутая форма по заданному контуру

(рис. 100). Применяется как самостоятельная операция или в сочетании с другими операциями для получения изделий типа угольников, кронштейнов, крюков, хомутов и др. Гибку выполняют самыми разнообразными способами, как без специальных приспособлений (универсальным инструментом), так и с применением специальных гибочных штампов. Операция гибки сопровождается искажением первоначальной формы поперечного сечения заготовки и уменьшением его площади. Кроме того, возможно образование складки по внутреннему контуру и трещины — по наружному. Чем меньше радиус закругления и чем больше угол загиба, тем сильнее проявляются эти явления.

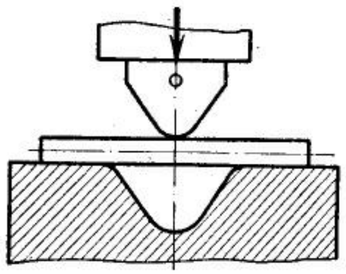


Рис. 100. Схема гибки

Характер изменения формы поперечного сечения заготовки показан на рис. 101.

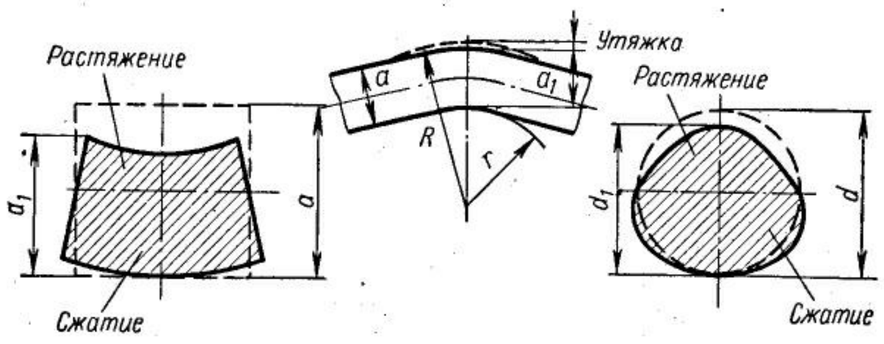


Рис. 101. Искажение поперечного сечения заготовки при гибке

При гибке нейтральная линия смещается в сторону сжатого волокна. Если $r \leqslant (1 \div 1{,}5)\,a$, можно считать, что нейтральная линия проходит от внутренней поверхности угловой части поковки на расстоянии, равном $1/3\,a$ (рис. 102).

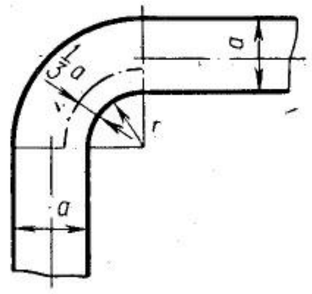


Рис. 102. Схема к расчету длины средней линии

После операции гибки для устранения искажения поперечного сечения обязательна правка. Но правка не исправляет утяжку, которая в том или ином виде остается. Это следует учитывать при проектировании технологии и конструировании деталей. Внутренний радиус r заготовки при гибке получается точно по оправке, а внешний радиус $R > r + a$, причем превышение это неопределенно и зависит от $\frac{r}{a}$, свойств металла, угла гибки и условий гибки. По возможности в детали, получаемой гибкой, следует задавать только внутренний радиус. Если же обязательно нужно выдержать постоянным (особенно малым) наружный радиус поковки, то необходимо строить технологический процесс таким образом, чтобы в месте гибки было предварительно получено утолщение. Гибка может сопровождаться растяжением, особенно многоугловая гибка в приспособлении, когда заготовка во время гибки где-либо зажимается. Если при гибке происходит растяжение, то нужно процесс расчленить на гибку по отдельным элементам, так как иначе может произойти разрыв заготовки.

Различные схемы приемов гибки показаны на рис. 103 [99].

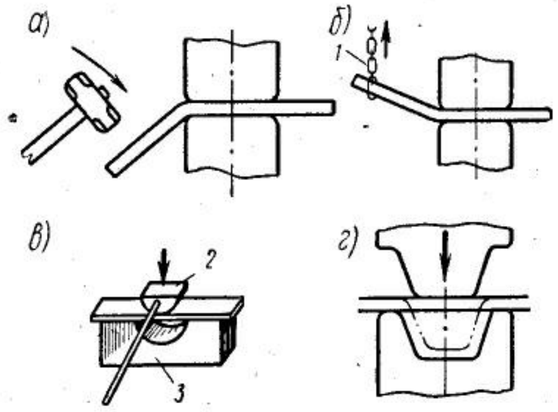


Рис. 103. Схемы приемов гибки:

а — гибка зажатой заготовки кувалдой; *б* — гибка зажатой заготовки краном (цепь к крану *1*); *в* — гибка раскаткой *2* в подкладном штампе *3*; *г* — гибка в штампе

Закручивание. Основная кузнечная операция, с помощью которой одна часть заготовки поворачивается относительно другой при неизменном направлении оси заготовки в процессе деформирования (рис. 104).

Закручивание применяют при ковке многоколенчатых валов, крупных сверл, бурильных инструментов и т. п. В зависимости от размеров заготовки закручивание можно производить при мелких заготовках вручную, зажимая деталь в тисках или между бойками. При ковке крупных поковок прибегают к помощи крана.

При развороте закручиваемая часть может изгибаться. Наиболее простой способ для избежания изгиба — подвеска груза (бойка) или закрепление конца вала на столе пресса (рис. 105, *б*).

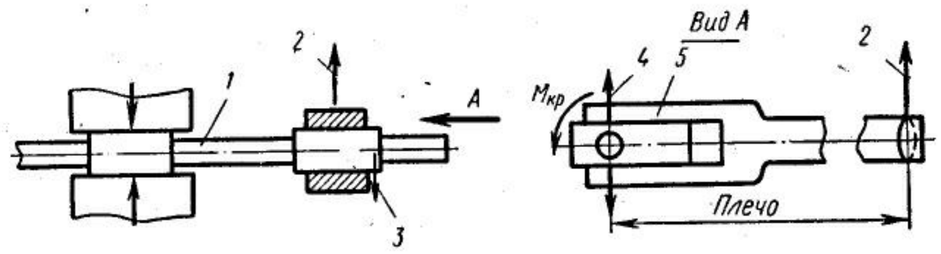


Рис. 104. Схема закручивания:

1 — закручиваемая часть заготовки; *2* — цепь к крану; *3* — дополнительный груз (боек); *4* — изгибающая сила; *5* — вилка

Для избежания изгиба применяют также стойки-люнеты.

При простой вилке с прямой рукояткой угол закручивания небольшой (усилие растет, плечо уменьшается).

При закручивании на большой угол применяют вилки с сектором и пальцами (рис. 105, *а*).

Операция закручивания требует предварительной подготовки, иначе скручивание может сконцентрироваться в одном месте и металл

разорвется. Перед закручиванием необходимо произвести: тщательную отделку скручиваемой шейки, выглаживание или даже обдирку на токарном станке; прогрев шейки с максимальной равномерностью, причем нагрев делается местный, в специальной печи или в закрытом

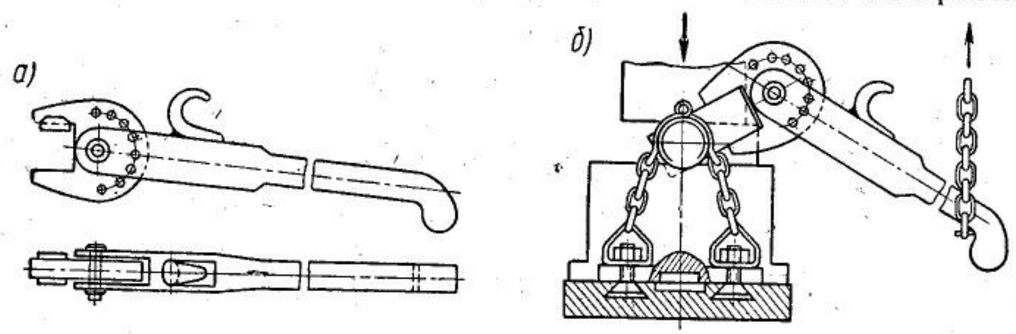


Рис. 105. Разворот шеек коленчатых валов:

а — вилка для разворота с шарниром; *б* — закрепление конца вала во избежание изгиба при развороте

горне (каждую шейку отдельно); уменьшение радиусов закруглений в месте шейки, так как большие радиусы уменьшают длину деформированной зоны.

Стержневая часть при кручении немного укорачивается. Опасно при кручении образование трещин расслоения. Волокна после закручивания располагаются по винтовой линии, что повышает качество поперечных образцов.

§ 18. УКОВ И ВЕЛИЧИНА ОСАДКИ

Из основных кузнечных операций только протяжка и осадка дают значительные формоизменения и деформации по сечению заготовки.

Степень проработки структуры по сечению поковки при протяжке определяется уковом y, который равен отношению первоначальной площади поперечного сечения заготовки к его конечной площади.

Степень проработки структуры по сечению поковки при осадке можно определять величиной осадки q, которая равна отношению конечной площади поперечного сечения заготовки к его начальной площади.

Уков и величина осадки при одинаковых численных значениях не одинаково воздействуют на изменение структуры металла в заготовке, поэтому эти величины должны учитываться отдельно.

Уков подразделяют на следующие виды: уков за операцию или переход; уков за вынос (частный); уков за весь период ковки (общий).

У к о в з а о п е р а ц и ю (п е р е х о д) характеризует степень протяжки за операцию.

У к о в з а в ы н о с (ч а с т н ы й) характеризует степень протяжки, полученную в результате обработки давлением после каждого нагрева, и определяется произведением уковов, т. е.

$$y_{\text{части}} = y_1 y_2 y_3.$$

Если за вынос выполняется одна операция, то величины частного укова и укова за операцию совпадают.

У к о в з а в е с ь п е р и о д к о в к и (о б щ и й) определяется для каждого сечения поковки и составляет произведение частных уковов, т. е.

$$y_{\text{общ}} = y_{1\ \text{части}}\, y_{2\ \text{части}}\, y_{3\ \text{части}}.$$

Аналогично укову величина осадки может подразделяться на следующие виды: величина осадки за операцию или переход; величина осадки за вынос (частная); величина осадки за весь период ковки (общая).

В е л и ч и н а о с а д к и з а в ы н о с (ч а с т н а я) характеризует степень осадки, полученную после каждого нагрева, и определяется произведением величин осадки, т. е.

$$q_{\text{части}} = q_1 q_2 q_3.$$

При осадке за вынос обычно выполняется одна операция и величины осадки за вынос и за операцию совпадают.

В е л и ч и н а о с а д к и з а в е с ь п е р и о д к о в к и (о б щ а я) составляет произведение частных величин осадок [130, 131]

$$q_{\text{общ}} = q_{1\ \text{части}}\, q_{2\ \text{части}}\, q_{3\ \text{части}}.$$

При выполнении операций протяжки и осадки общая величина деформации, определяемая как сумма или произведение укова на величину осадки, не имеет однозначной связи с качеством проработки структуры металла и его конечными свойствами. В этом случае решающее значение имеет последовательность операций и деформации в каждой из них. Поэтому величины деформации для оценки качества поковки должны указываться отдельно для каждой операции в порядке их выполнения [46].

Например, при выполнении протяжки с уковом 1,15, осадки с величиной осадки 2, протяжки с уковом 5 и протяжки с уковом 2, общую величину деформации можно записать в виде:

$$y_{1\ \text{части}} = 1{,}15, \quad q_{1\ \text{части}} = 2, \quad y_{2\ \text{части}} = 5, \quad y_{3\ \text{части}} = 2.$$

Такая запись позволяет судить о том, какая из операций будет определяющей в формировании макроструктуры металла, и тем самым определить направление волокон и предположительное распределение максимальных и минимальных значений механических характеристик материала.

Уков и величину осадки рекомендуется принимать в следующих пределах:

при биллетировке слитков нормальной формы

$$y = 1{,}1 \div 1{,}2;$$

при осадке слитков для улучшения качества металла

$$q = 2 \div 3;$$

при протяжке слитков после улучшающей осадки

$$y > 2;$$

при закове отверстия пустотелого (трепанированного) слитка

$$y = 1{,}8 \div 2;$$

при ковке специальных сталей и сплавов уков и величина осадки определяются пластичностью и скоростью рекристаллизации металла.

В случае применения улучшающих осадок величина осадки должна соответствовать укову при последующей протяжке, что положительно влияет на структуру металла [77].

Важно иметь оптимальные уков и величину осадки при отделочных операциях.

При проведении заготовительных операций стремятся к максимальному формоизменению и большим частным уковам и величинам осадки, которые должны быть следующими:

при ковке по схеме круг — круг — не менее 2,5;

при ковке по схеме круг — квадрат — круг или квадрат — квадрат — не менее 1,8;

при ковке на оправке — не менее 1,5;

при осадке — не менее 1,8.

Оптимальная величина общего укова при протяжке с учетом величины механических характеристик продольных и поперечных образцов зависит от направления наибольших напряжений, возникающих при работе детали, изготавливаемой из данной поковки.

Для ковки легированных сталей рекомендуют следующие оптимальные уковы [52]:

если наибольшие напряжения при работе детали не совпадают с продольным направлением волокон, то $y = 3 \div 4{,}5$;

если наибольшие напряжения почти совпадают с продольным направлением волокон, то $y = 5 \div 6$;

если наибольшие напряжения совпадают полностью с направлением волокон, то $y = 10$.

Проработка структуры слитка при протяжке зависит от его исходного состояния и от укова. В свою очередь, исходная структура слитка зависит от его массы. Установлено, что достаточный уков при ковке слитков из углеродистой и среднелегированной сталей в зависимости от массы слитка колеблется от 2,5 до 3,75 при изменении массы слитка от 1 до 200 *т*. Это относится к обычным слиткам. При ковке удлиненных слитков, вследствие более качественной исходной структуры, достаточный уков равен 2,0 [42].

Если заготовкой при ковке служит прокат, то также необходимы минимальная уковка или величина осадки для измельчения выросших при нагреве зерен металла. Можно принять, что

$$y_{\min} \geqslant 1{,}25 \text{ и } q_{\min} \geqslant 1{,}4.$$

ГЛАВА IV

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА КОВКИ. ПРИМЕРЫ КОВКИ НА МОЛОТАХ И ПРЕССАХ

§ 19. ЭТАПЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ РАЗРАБОТКИ СВОБОДНОЙ КОВКИ

Свободную ковку производят по детально разработанным технологическим процессам.

Результаты разработки технологического процесса фиксируются в технологической карте.

Цех кузнечный	Технологическая карта №	Инструкция №
		Типовой процесс №

Материал			Наименование		№
Марка	Профиль	Объем заготовки	Заказ	—	. . . . .
. . . . .	. . . . .	. . . . . *мм*³	Изделие	. . . . .	. . . . .
ГОСТ	Длина	Масса заготовки	Деталь	. . . . .	. . . . .
. . . . .	. . . . .	. . . . . *кг*	Чертеж	—	. . . . .

Технические условия №	. . . . .	Масса поковки	. . . . . *кг*	Время на 1 поковку	. . . . *мин*
Разряд работы	. . . . .	Обрубки	. . . . . *кг*	Расценка	. . . . . *коп*
Количество штук в партии	. . . . .	Угар	. . . . . *кг*	Цеховая стоимость	. . . . . *коп*
Количество поковок в заготовке	. . . . .	Чистая масса детали	. . . . . *кг*	Обозначение по классификации	. . . . .

Наименование операций и переходов	Оборудование	Инструмент	Норма времени	Расценка
1	2	3	4	5
1. Резка материала	Пила	—	. . . . .	. . . . .
2. Ковка заготовки	Молот . . . *т*	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:

Чертеж поковки и схемы переходов к технологической карте показаны на рис. 106, *а*, *б*.

Основные этапы последовательности разработки технологического процесса ковки следующие.

Разработка чертежа поковки и определение ее массы. Чертеж поковки составляют на основании чертежа готовой детали путем установления припусков на механическую обработку, допусков на ковку и, в случае необходимости, напусков на поковку.

П р и п у с к о м называется слой металла в поковке, подлежащий удалению механической обработкой для получения требуемых размеров по чертежу готовой детали или предварительно ободранной заготовки и заданного качества поверхности.

Припуск при свободной ковке обычно назначается по всей поверхности поковки. В слой припуска при механической обработке должны

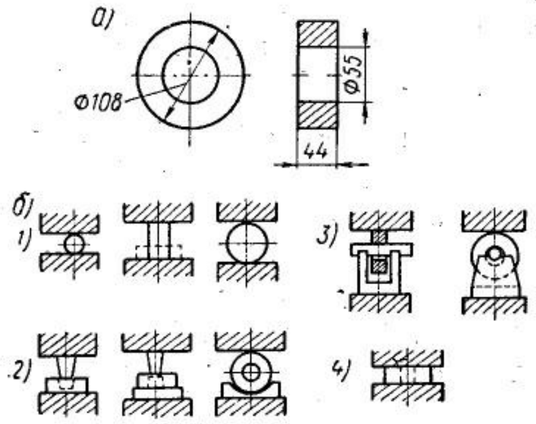


Рис. 106. Поковка кольца (*а*) и схемы переходов (*б*)

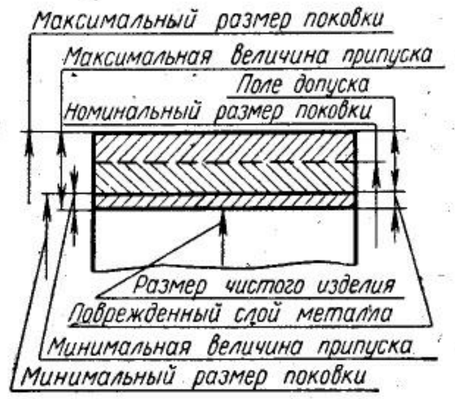


Рис. 107. Схема размеров поковки с припусками и допусками

уйти все дефекты наружного слоя: зажимы, неровности, поверхностные трещины и т. п. Чем выше качество поковки, тем меньше припуск.

Д о п у с к о м называется допустимое отклонение размеров поковки, обусловленное невозможностью изготовления ее с абсолютно точными размерами. Допуск равен разности между наибольшим и наименьшим размерами поковки. Чем выше точность работы, тем меньше допуск.

Н а п у с к о м называется дополнительный объем металла, добавляемый к поковке для упрощения ее формы. Это дает упрощение процесса ковки.

На рис. 107 показана схема расположения припусков и допусков на наружных поверхностях детали.

При подсчете объема заготовки необходимо добавить к минимальному размеру поковки некоторую часть допуска. Чтобы расчет вести по номиналу, последний берется с частью допуска, а допуск ставится в плюс и минус.

На величину припуска влияют многие факторы: вид исходного материала (для поковок, изготовленных из слитков, припуск больше,

чем для поковок из проката); сорт материала (для углеродистых сталей припуск меньше, так как в них обычно меньше поверхностных пороков, чем в легированных); качество поверхности исходного материала (зависит от качества изложниц и т. п.); характер подготовки исходного материала к ковке (при предварительной обдирке слитка припуск может быть меньше); размеры поковки по поперечному сечению и длине (чем больше размеры, тем больше припуск); форма поперечного сечения поковки (для квадратной поковки меньше, так как ее можно отковать более гладко, чем круглую или шестигранную); конфигурация поковки (чем сложнее поковка, тем больше припуск);

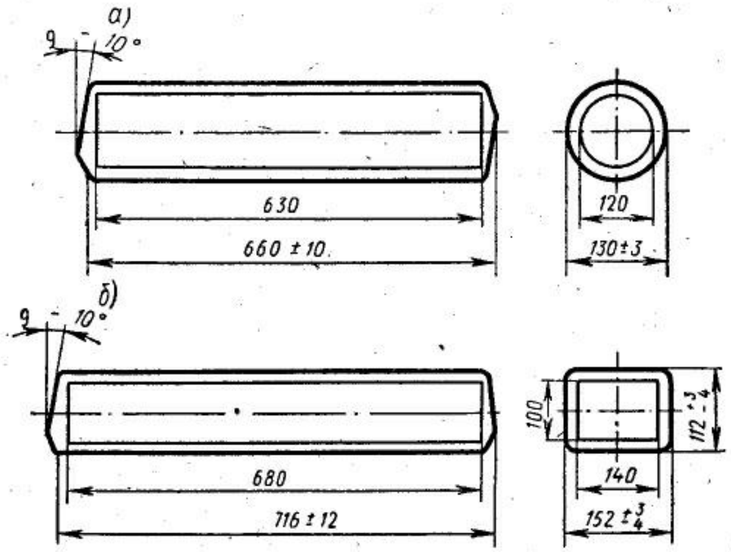


Рис. 108. Примеры назначения припусков и допусков на молотовые поковки по ГОСТ 7829—55:

а — вал; *б* — брусок

качество применяемого инструмента (вырезные бойки для круглого сечения дают более гладкую поверхность); состояние оборудования; квалификация рабочего.

На допуски влияют те же факторы, что и на припуски, за исключением первых четырех.

Существуют таблицы припусков и допусков.

Припуски и допуски в них даются в зависимости от формы и размеров поковки. Поковки делятся на группы, в каждой группе припуски и допуски даются в зависимости от размеров. Иногда учитывают вид исходного материала, а также вид оборудования для ковки.

Для определения припусков и допусков на поковки из углеродистой и легированной сталей, изготовляемые свободной ковкой на молотах, существует ГОСТ 7829—55, в котором все поковки разбиты на 17 групп. Для определенных групп поковок в ГОСТе даны таблицы припусков и допусков. Примеры назначения припусков и допусков по соответствующей таблице ГОСТа на детали круглого и прямоугольного поперечного сечения типа валов и брусков показаны на рис. 108.

Для определения припусков и допусков на поковки из углеродистой и легированной сталей, изготовляемые свободной ковкой на прессах, служит ГОСТ 7062—67. В этом ГОСТе поковки разбиты на 18 групп. Примеры назначения припусков и допусков по ГОСТу на детали круглого и прямоугольного сечений типа валов и брусков показаны на рис. 109.

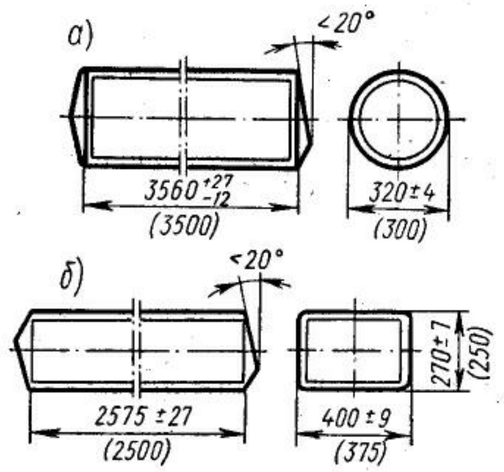


Рис. 109. Примеры назначения припусков и допусков на прессовые поковки по ГОСТ 7062—67:

а — вал (I группа точности); *б* — брусок (II группа точности)

Припуски и допуски на поковки из высоколегированной стали и сплавов предусматриваются различными заводскими и ведомственными нормалями [37].

При конструировании поковок большое значение имеет получение рациональной формы поковок, при которой значительно упрощается технология ковки. Это связано с правильным назначением напусков. Особенно большое практическое значение имеют напуски при конструировании валов с уступами и выемками. Уступ — это участок поковки, имеющий бо́льший диаметр, чем хотя бы один из прилегающих участков, а выемка — участок поковки, диаметр которого меньше обоих прилегающих участков (рис. 110). Напуски регламентируются упомянутыми ГОСТами, в которых есть таблицы на наименьшие размеры выемки, выступа, бурта, фланца и др. Образование уступов при ковке практически возможно только при определенной разнице их диаметров и достаточной длине.

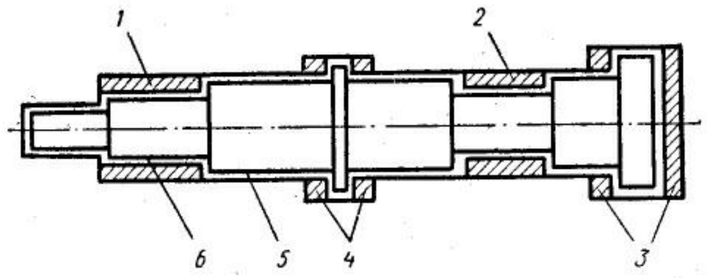


Рис. 110. Схема нанесения напусков на поковку типа вала:

1 — напуск на уступ; *2* — напуск на выемку; *3* — напуск на фланец; *4* — напуск на бурт; *5* — припуск; *6* — контур детали

Уступы и выемки не обжимают, если разность их диаметров и диаметров прилегающих участков меньше определенной величины или когда разность диаметров достаточная, но длина их незначительная. Промежуточные уступы обжимают при меньшей разности их диаметров и диаметров прилегающих участков, а также при меньшей их длине по сравнению с выемками и концевыми уступами.

При малой длине буртов дают напуск по длине; для концевых фланцев этот напуск больше.

С напуском отковывают также детали с отверстием. Прошивают отверстия диаметром более 50 ÷ 60 *мм*. Если диаметр отверстия меньше 50 *мм* или меньше 2/3 толщины детали, то его не прошивают (напуск в отверстии, поз. 1, рис. 111, *а*). Напуски часто делают в изделиях типа вилок (рис. 111, *б*) и т. п.

После нанесения на чертеж изделия установленных размеров припусков, допусков и напусков получают чертеж поковки. Поковку вычерчивают нормальными сплошными линиями, внутри контура поковки тонкими сплошными линиями обозначают контуры готового изделия. Размеры проставляют для поковки, в скобках ниже размера поковки наносят размеры готового изделия. Стрелки выводят на контур поковки. Между тонкими сплошными линиями размеры ставят тогда, когда в поковке есть напуск.

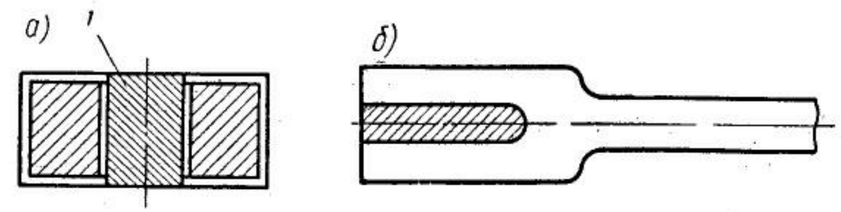


Рис. 111. Напуски на поковках типа кольца (*а*) и вилки (*б*)

При простановке размеров следует указывать общую длину поковки и оставлять участок с непроставленной длиной, получаемой как разность между проставленными размерами. Этот размер обычно относится к участку, отковываемому в последнюю очередь. Размеры ставят от одной или ограниченного числа баз, следует избегать цепочки размеров.

Для поковок типа валов с уступами за базу размеров принимают уступ наибольшего диаметра.

В процессе обработки чертежа приходится определять размеры, необходимые для подсчета объема поковки.

На чертеже поковки проставляют только размеры, необходимые для ее изготовления.

Массу поковки определяют через объем, для чего поковку разбивают на элементарные объемы (положительные и отрицательные). При определении объема крупных поковок размеры берут в дециметрах, более мелких поковок — в сантиметрах. Размеры поковок должны соответствовать номинальным. Для получения массы поковки $G_{пок}$ ее объем умножают на плотность (плотность стали 7,85 *кг/дм*^{3}).

Определение массы и размеров заготовки, установление необходимого укова и выбор слитка или проката на заготовку. Массу заготовки (слитка) $G_{заг}$ определяют по формуле

$$G_{заг} = G_{пок} + G_{приб} + G_{дн} + G_{обс} + G_{уг},$$

где $G_{\text{приб}}$, $G_{\text{дн}}$, $G_{\text{обс}}$ и $G_{\text{уг}}$ — соответственно массы прибыльной и донной частей, обсечек и угара.

Для слитков, отливаемых сверху с утепленной надставкой, масса прибыльной части $G_{\text{приб}}$ составляет 20 ÷ 25% от массы слитка для конструкционной углеродистой стали и 25 ÷ 30% от массы слитка для конструкционной легированной стали.

Для слитков, отливаемых без утепленной надставки, масса прибыльной части $G_{\text{приб}}$ составляет 35 ÷ 40% от массы слитка.

Для инструментальной легированной стали $G_{\text{приб}}$ может достигать 50 ÷ 60% от массы слитка.

Масса донной части слитка $G_{\text{дн}}$ составляет для углеродистой стали 5 ÷ 7% от массы слитка, для легированной стали 7 ÷ 10% от массы слитка.

Масса обсечек $G_{\text{обс}}$ зависит от их характера. Рассчитать отход в обсечки затруднительно, вследствие чего обычно составляют нормали и диаграммы, руководствуясь статистическими данными относительно $G_{\text{обс}}$ для поковок сходной конфигурации [103, 42]. Единственные отходы $G_{\text{обс}}$, которые можно подсчитать, это отход на выдру при прошивке и концевые отходы при отрубке концов.

Объем отхода при прошивке можно подсчитать по формуле

$$V_{\text{в}} = k \frac{\pi d^2}{4} H,$$

где k — коэффициент, учитывающий условия прошивки;
d — диаметр прошиваемого отверстия;
H — высота заготовки перед прошивкой.

При прошивке сплошным прошивнем с кантовкой $k = 0{,}20 \div 0{,}25$; при прошивке с подкладным кольцом $k = 0{,}70 \div 0{,}75$. При прошивке пустотелым прошивнем

$$V_{\text{в}} = (1{,}1 \div 1{,}15) \frac{\pi d_{\text{вн}}^2}{4} H,$$

где $d_{\text{вн}}$ — внутренний диаметр прошивня.

Если при ковке длинных поковок не предусмотреть избыток материала на обрубку концов, то заданная форма изделия может не получиться (не будут выдержаны размеры, плохое качество торца — бочка или «голенище»). Длина l обрубаемой части должна быть достаточной для обеспечения возможности обрубки и хорошего качества торца. Длину на обрубку рекомендуется принимать: при ковке на молоте

$l = 0{,}35D + 15$ (для круглой поковки, D — диаметр поковки)

или

$l = 0{,}25A + 15$ (где A — короткая сторона прямоугольного сечения);

при ковке на прессе

$l = 0{,}25D + 25$ (для круглой поковки) и

$l = 0{,}13A + 50$ (для прямоугольной поковки).

По этим формулам можно также определять длину l для оттяжки тонкого конца (резкий переход сечений).

Для мелких и средних поковок часто дается суммарный отход на обсечки и угар (в таблицах).

Отход на угар берут обычно в процентах от веса нагреваемого металла. При нормальных условиях за каждый нагрев угорает в среднем 3% от массы нагреваемого металла. При каждом подогреве отход на угар составляет 1,5% [42]. При ковке из проката на угар берут 2 ÷ 2,5% от массы поковки, так как в этом случае отходы меньше вследствие отсутствия прибыльной и донной частей. Отход на угар в масштабе завода дает значительные потери.

Расчеты массы заготовки при свободной ковке поковок различных форм значительно упрощаются при применении номограмм [14].

Размеры заготовки при изготовлении поковки из слитка и из проката определяют по-разному.

Основными признаками при выборе проката или слитка для ковки данной поковки являются ее масса и марка материала. Если масса поковки не превышает несколько сот килограммов, а материалом служит углеродистая сталь, то применяют прокат. При массе поковки свыше 700 ÷ 800 *кг* применяют слитки. Если материал поковки легированная сталь или сплав, то слитки применяют иногда для относительно мелких поковок, массой 100 *кг* и выше. Здесь все зависит от марки материала.

Если для ковки выбран слиток, то затем определяют его тип (обычный, удлиненный и т. д.). Тип слитка зависит от назначения поковки. Для ответственных поковок ковка производится из отдельного слитка на одну поковку. При ковке неответственных поковок массу слитка и количество получаемых из него поковок выбирают исходя из удобства ковки и наименьшей себестоимости. После установления характера заготовки (слиток или прокат) уточняют величину потребного укова для получения качественной поковки (см. гл. III, § 18). Затем приступают непосредственно к расчету размеров заготовки.

На выбор размеров заготовки влияет также характер основной формоизменяющей операции при ковке (протяжка или осадка).

Пусть основной операцией является протяжка. Тогда при ковке слитка по известной массе заготовки из сортамента слитков находят слиток с ближайшей большей массой и устанавливают его размеры. Затем по соотношениям поперечных размеров проверяют, обеспечивает ли этот слиток достаточный уков.

Может оказаться, что слиток данной массы не дает нужной степени укова. Тогда выбирают слиток по поперечному сечению с учетом укова, причем масса будет больше. В этом случае приходится ковать или с остатком, пригодным для другой поковки, или из одного слитка изготовлять две или несколько одинаковых поковок или, если допускается по техническим условиям, вначале производить осадку и подсчитывать уков, исходя из площади поперечного сечения осаженной заготовки.

При ковке из проката поперечное сечение заготовки выбирают по сортаменту [103] с учетом того, что

$$F_{\text{заг}} = yF_{\text{пок max}}.$$

Уков здесь дается для того, чтобы вся поковка была хотя бы немного деформирована после нагрева для раздробления выросших зерен. Минимальный уков, как было указано ранее, $y = 1{,}25$.

Зная размеры поперечного сечения и объем заготовки, легко подсчитать ее длину.

Нужно проверить также длину заготовки, чтобы она вошла в печь. Иногда приходится брать заготовку большего сечения, но меньшей длины.

Если поковка изготавливается осадкой, то, зная массу (объем) заготовки, определяют ее размеры так, чтобы $1{,}25 \leqslant \frac{H}{D} \leqslant 2{,}5$.

При ковке слитков обычной формы это соотношение (верхний и нижний пределы) удовлетворяется размерами корпуса слитка. При ковке проката меньший предел обусловлен удобством резки на ножницах или рубки, а больший предел установлен из условий устранения продольного изгиба. При указанном соотношении $D = (0{,}8 \div 1{,}0)\ \sqrt[3]{V_{заг}}$ — для круглой заготовки и $A = (0{,}75 \div 0{,}90)\ \sqrt[3]{V_{заг}}$ — для квадратной заготовки.

Длина заготовки определяется делением $V_{заг}$ на площадь поперечного сечения по окончательному, уточненному в соответствии с сортаментом, диаметру (стороне квадрата заготовки), или же по формуле

$$l = \frac{G_{заг}}{G_1},$$

где G_1 — масса 1 метра длины проката по сортаменту.

Все отходы характеризуются коэффициентами, определяющими экономичность процесса.

Коэффициент выхода годного

$$\eta_{пок} = \frac{G_{пок}}{G_{заг}}\ 100\%;$$

коэффициент расхода металла

$$k_р = \frac{G_{заг}}{G_{пок}}.$$

Данные по выходу годного можно использовать для определения приближенной массы слитка. Так, например, поковка — вал с уступами имеет массу 5 m. При $\eta_{пок} = 60\%$ или $k_р = 1{,}65$

$$G_{заг} = \frac{5 \cdot 100}{60} = 1{,}65 \cdot 5 = 8{,}25\ m.$$

Данные по коэффициентам $\eta_{пок}$ и $k_р$ приведены в литературе [103, 42, 50].

Выбор основных, вспомогательных и отделочных кузнечных операций и их последовательности; выбор основного и вспомогательного инструмента и приспособлений. Выбор операций и их последовательность определяются формой изготовляемой поковки, ее материалом, техническими условиями на поковку и другими факторами. Судить о рациональности проектируемого процесса можно путем сравнения его с существующими технологическими процессами одинаковых или аналогичных поковок. Поэтому прежде чем приступать к разработке технологического процесса ковки, необходимо рассмотреть, как куют аналогичные поковки. Расчет самих операций и выбор инструмента изложены выше (см. гл. III, §§ 14—18).

При выборе операций и их последовательности целесообразно воспользоваться классификацией поковок с указанием основных операций для изготовления отдельных групп поковок. Такая классификация представлена в табл. 18 [42].

В различные группы по классификации (табл. 18) входят следующие виды поковок:

I группа — поковки штоков, осей, валов, колонн, цапф, роторов и т. п.;

II — поковки плит, пластин, штамповых кубиков, вкладышей, шпинделей, дышел, баб и т. п.;

III — поковки коленчатых валов и т. п.;

IV — поковки дисков, фланцев, колес, покрышек, муфт, шестерен и т. д.;

V — поковки бандажей, колец и т. д.;

VI — поковки барабанов, полых валов, цилиндров и т. п.;

VII — поковки крюков, бугелей, скоб, днищ и т. п.

Выбор кузнечного оборудования и установление режимов нагрева и охлаждения поковок. Выбор кузнечной машины производят по наиболее тяжелой операции технологического процесса, т. е. осадке. Иногда бывает целесообразно другие операции проводить на менее мощном оборудовании. К операциям, требующим меньших, чем осадка усилий, при деформировании относятся протяжка и прошивка. Расчеты усилий при осадке, протяжке и прошивке и выбор соответствующего оборудования рассмотрены в гл. III §§ 14—16. После выбора машины по мощности, необходимо проверить ее соответствие по габаритам. Особенно важны размеры машины для операций раздачи на оправке, осадки и высадки, требующих большого рабочего пространства.

Установление режимов нагрева, типов и размеров нагревательных устройств, а также режима термообработки было изложено в гл. II. Расчет нагрева для ковки ведут применительно к печам, приданным кузнечному оборудованию (молоту или прессу). Следует проверить, войдет ли заготовка в печь и если нет, то скорректировать размеры заготовки или предусмотреть нагрев в печах, относящихся к другому прессу или молоту.

Определение состава рабочей силы; мероприятия по организации рабочего места и технике безопасности. Состав рабочей силы зависит от типа выбранного оборудования и его мощности.

Обычно работает бригада рабочих, которая у прессов состоит из 6÷10 человек: прессовщик, помощник прессовщика, подручные прессовщика (наставка раскаток, топоров, операции со слитком и т. п.), машинист на прессе, манипуляторе и т. п., крановщики.

Таблица 18

Классификация поковок

Группы поковок	I						II				III					
Характеристика поковок, входящих в группу	Цилиндрические сплошные гладкие и с уступами						Прямоугольного сечения гладкие и с уступами				Смешанные сечения сплошные с уступами и с расположением отдельных частей в одной, двух, трех и более плоскостях					
Подгруппа поковок	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6
Способ изготовления поковок, входящих в подгруппу	Протяжка	Протяжка и осадка	Протяжка и пережим уступов	Протяжка, осадка и пережим	Протяжка, осадка, пережим уступов и передача	Протяжка и осадка с образов. выступа	Протяжка	Протяжка и осадка	Протяжка, осадка и пережим уступов	Протяжка, осадка и пережим уступов	Протяжка и пережим уступов	Протяжка, осадка, пережим уступов	Протяжка, пережим уступов и передача	Протяжка, осадка, пережим уступов и передача	Протяжка, пережим уступов, передача и закручивание	Вытяжка, торцевая осадка, пережим уступов, передача и закручивание
Условие применения вырезных бойков	Когда обеспечивается необходимая упаковка без осадки, вырез бойков вмещает сечение слитка (заготовки) и не требуется применения разделительного инструмента			—			—				—					
Условие применения плоских бойков или верхнего плоского бойка, а нижнего вырезного	—			Когда требуется применение разделительного инструмента			Когда обеспечивается необходимая уковка без осадки				—					

Продолжение табл. 18

Группа поковок	IV		V		VI			VII
Характеристика поковок, входящих в группу	Цилиндрические полые и гладкие и с малыми уступами		Цилиндрические полые гладкие, с малым отношением длины к размеру сечения		Цилиндрические полые гладкие и с большими уступами при большом отношении длины к размеру сечения			С криволинейной осью
Подгруппа поковок	1	2	1	2	1	2	3	—
Способ изготовления поковок, входящих в подгруппу	Протяжка, осадка и прошивка	Протяжка, осадка с уступом и прошивка	Протяжка, осадка, прошивка и раскатка	Протяжка, осадка, прошивка, протяжка с оправкой, раскатка	Протяжка, осадка, прошивка, раскатка и протяжка с оправкой	Протяжка, осадка, прошивка, раскатка, протяжка с оправкой и пережим уступов	Протяжка, осадка, пережим уступов, прошивка и протяжка с оправкой	Различные способы и гибка
Условие применения вырезных бойков	Когда перед рубкой заготовки дается значительная протяжка и вырез бойков вмещает сечение							В зависимости от операций и условий, указанных для других групп
Условие применения плоских бойков или верхнего плоского бойка, а нижнего вырезного	Когда перед рубкой заготовки производится только обжим ребер и граней							То же

Бригада рабочих у мелких молотов состоит из 2 ÷ 3 человек: кузнец, подручный кузнеца, машинист. У крупных молотов бывает помощник кузнеца, несколько его подручных, крановщик.

Нормы выработки при ковке подсчитывают по «Нормативам времени для кузнечно-штамповочных работ» [103, 42], где приведены нормы времени на разные работы, например, на выемку слитка определенной массы из печи и подачу под молот цепями или на осадку слитка. Все время суммируется.

Организация рабочих мест при ковке построена на основе агрегатирования. Основной машиной в агрегате является ковочный гидравлический пресс или ковочный молот. Прессовый агрегат включает: пресс; комплект печей к нему; манипулирующие устройства: кран с кантователем, манипулятор, загрузочную машину и др. Молотовой агрегат включает: молот; печи; кран поворотный (для крупных молотов); манипулятор (при специализации молотов на протяжке и т. д.).

Кроме того к агрегатам придается определенный набор универсального и специализированного инструмента и приспособлений.

Техника безопасности. Высокая температура при ковке, большая масса заготовок и поковок и применяемое оборудование обусловили особые требования к работе в кузнечных цехах. Малейшая неисправность оборудования недопустима в работе и ее нужно немедленно устранять. В начале смены бригада обязана проверить состояние оборудования, инструмента, чалочных приспособлений, цепей и т. д. В процессе работы каждый член бригады должен четко знать свои обязанности и точно их выполнять. При аварийном и угрожающем положении каждый имеет право и обязан подать команду «стоп» к прекращению работы. Рабочие должны быть хорошо обучены управлению различными механизмами и только в этом случае допускаются к работе. Необходимо каждому рабочему пройти инструктаж по технике безопасности у мастера участка, без чего к работе на участке рабочих допускать нельзя.

Более подробные сведения о технике безопасности при свободной ковке см. в [50, 108].

§ 20. ПРИМЕРЫ ТЕХНОЛОГИИ КОВКИ НА МОЛОТАХ И ПРЕССАХ

Ковка на молотах

Пример 1. Вал-шестерня (рис. 112, *а*). Материал — сталь 40Х. Масса детали 75 *кг*.

Проектируем чертеж поковки. Судя по массе, поковка будет изготавливаться на молоте. Припуски и допуски назначаем по ГОСТ 7829—55.

По табл. 3 ГОСТа назначаем основные припуски и допуски на диаметры ступеней, общую длину и длины выступов и уступов:

на диаметр 105 *мм* $П = 12 \pm {}^{3}_{4}$;
на диаметр 172,64 *мм* $П = 13 \pm 4$;
на диаметр 105 *мм* $П = 12 \pm {}^{3}_{4}$;
на длину 590 *мм* $П = 40 \pm 12$;
на длину 190 *мм* $П = 40 \pm 12$;
на длину 975 *мм* $П = 40 \pm 12$.

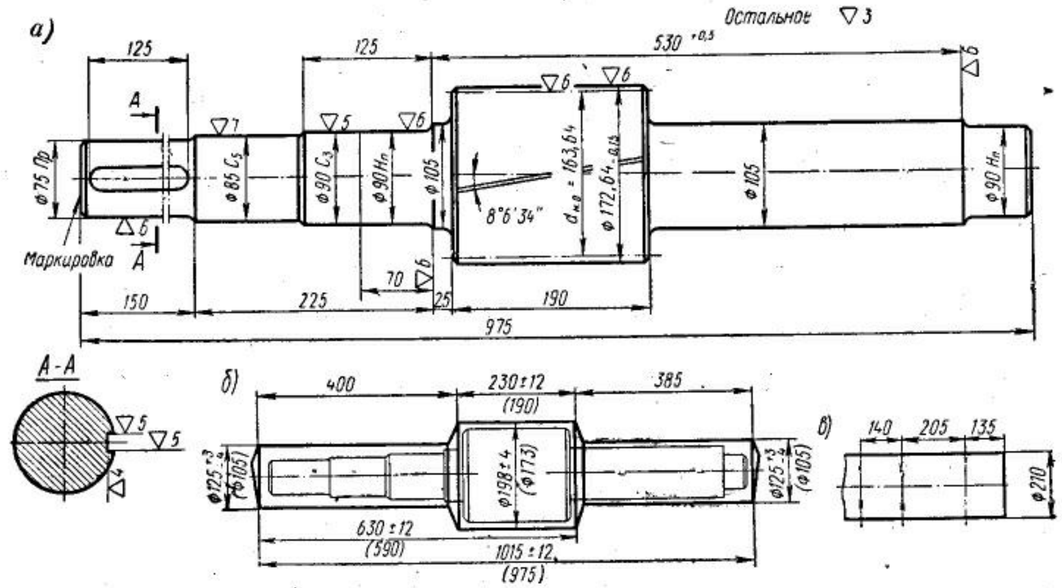
Кроме этого, назначается дополнительный припуск под термообработку 8 *мм* на диаметр, а также некоторый дополнительный припуск S, учитывающий эксцентриситет.

При разности наибольшего (173) и наименьшего (105) диаметров, равной 68 *мм*, дополнительный припуск $S = 4$ *мм* и он назначается на ⌀ 173, так как отношение длины концевого участка $l_1 = 400$ к длине выступа $l = 190$ больше $1{,}6\left(\frac{400}{100} > 1{,}6\right)$.

Таким образом, получаем следующие припуски:
на диаметр 105 $П = 20 \pm {}^{3}_{4}$;
на диаметр 172,64 $П = 25 \pm 4$.

Чертеж поковки показан на рис. 112, *б*.

Технические условия на поковку: допускается пологая вырубка поверхностных дефектов на глубину до 0,5 припуска на механическую обработку.


а)
Остальное ▽3
125
125
530 +0,5
А
▽7
▽5
▽6
▽6
▽6

Итак, масса заготовки

$$G_{заг} = 129 + 3{,}8 + 4{,}2 = 137 \text{ кг}.$$

Выход годного составит:

$$\frac{G_{пок}}{G_{заг}} 100\% = \frac{129}{137} 100\% = 94\%.$$

Определим размеры исходной заготовки.

При ковке из проката необходимо обеспечить величину укова y, равную 1,3 ÷ ÷ 1,8. Примем $y = 1{,}5$.

Имеем

$$y = \frac{F_{заг}}{F_{пок}} = \frac{d^2_{заг}}{d^2_{пок}}; \quad d_{пок} = 198 \text{ мм};$$

$$d^2_{заг} = y d^2_{пок} = 1{,}5 \cdot 19{,}8^2;$$

$$d_{заг} = \sqrt{1{,}5 \cdot 19{,}8^2} = 24 \text{ см};$$

$$l_{заг} = \frac{4V_{заг}}{\pi d^2_{заг}} = \frac{4G_{заг}}{\pi d^2_{заг}\rho} = \frac{4 \cdot 137}{\pi \cdot 24^2 \cdot 7{,}85} = 39 \text{ см}.$$

Итак, размеры исходной заготовки:

$$d_{заг} = 240 \text{ мм};$$
$$l_{заг} = 390 \text{ мм}.$$

Выбор молота производим по диаграмме на рис. 53, так как поковка изготовлена только протяжкой и операция осадки отсутствует. Для $G_{пок} = 129$ кг и $D = 198$ мм по диаграмме выбираем молот с массой падающих частей в 2 т (Мг).

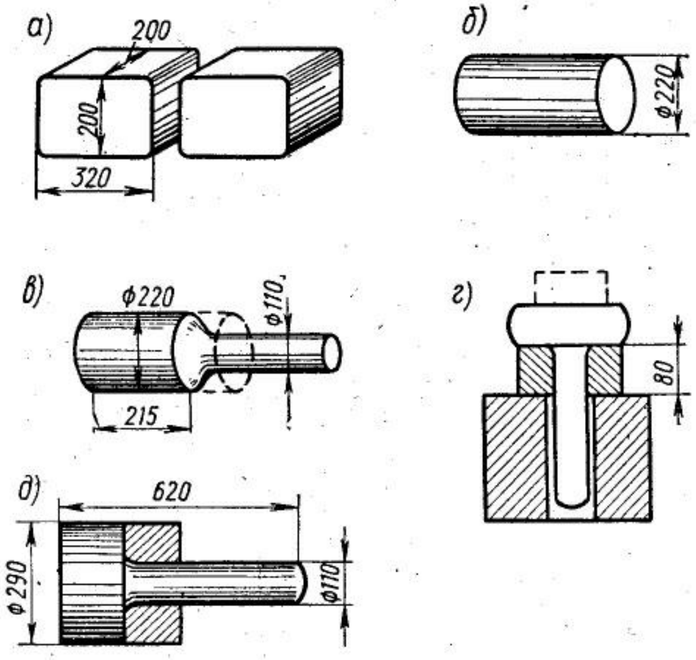


Рис. 113. Переходы ковки цапфы

Поковка относится к группе *I*, подгруппе 3 (см. табл. 18).

Эскизы переходов ковки показаны на рис. 112, *в*. Ковка производится с помощью манипулятора с одного нагрева. Температурный интервал ковки 1200 ÷ 700° С. Вначале производят протяжку на ⌀ 210 *см* и $l = 480$ *мм*, далее делают разметку по эскизу (см. рис. 112, *в*) и затем отковывают вал в соответствии с чертежом поковки (см. рис. 112, *б*).

Пример 2. Ц а п ф а. Поковка относится к *I* группе. Масса поковки 95 *кг*. Ковка ведется на молоте 3 *т*. Эскизы переходов показаны на рис. 113. Квадратную заготовку подают под молот и рубят на заготовки. После подогрева выполняют обкатку по диаметру, осадку и протяжку на ⌀ 220. Затем выполняют протяжку концевого участка на ⌀ 110, высадку фланца в кольце и обкатку по диаметру фланца вместе с кольцом.

Пример 3. Ф а с о н н а я п л а н к а [73]. Поковка относится к группе *II*. Масса поковки 3,5 *кг*. Поковка и переходы показаны на рис. 114. Ковку производят на молоте 0,75 *т*. Для сокращения расхода металла применена специальная накладка — вкладыш *1*. Исходная заготовка имеет размеры 75 × 75 × 85. Вначале заготовку осаживают и протягивают на размер 54 × × 64 × 120 (рис. 114, *б*). Далее с помощью полукруглой подкладки прожимают середину (рис. 114, *в*), затем середину протягивают и производят правку поковки с помощью упомянутого вкладыша *1* (рис. 114, *г*). Таким образом ковку проводят без отрубки концов.

Пример 4. З а г о т о в к а к о р п у с а [71]. Поковка относится к группе *III*. Ковку проводят на молоте 3 *т*. Эскизы переходов показаны на рис. 115. Здесь применяют приспособление в виде нижника с отверстием по размерам, соответствующим размерам хвостовика поковки.

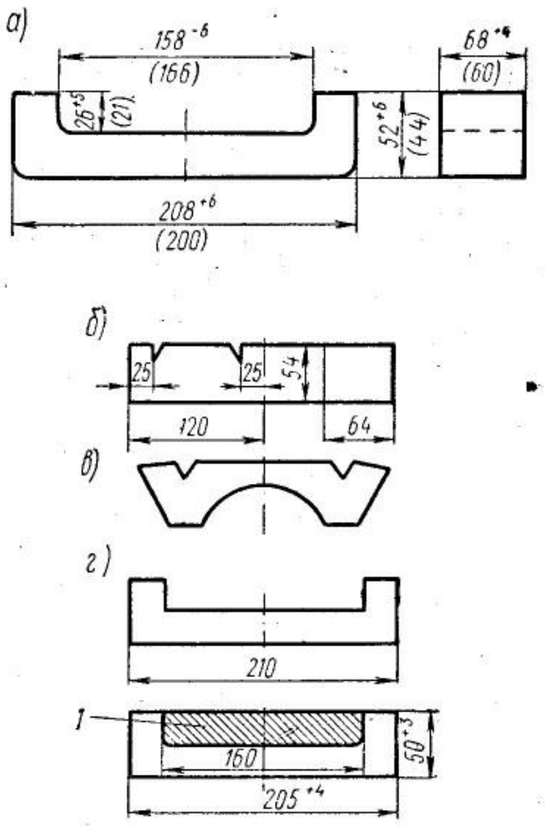


Рис. 114. Поковка (*а*) и переходы ковки (*б—г*) фасонной планки

Пример 5. Т р е х к о л е н ч а т ы й в а л [81]. Поковка относится к группе *III*, подгруппе *5*. Ковку проводят на молоте 3 *т*. Схема ковки и поковка показаны на рис. 116. Материал поковки Ст. 5 или легированная сталь.

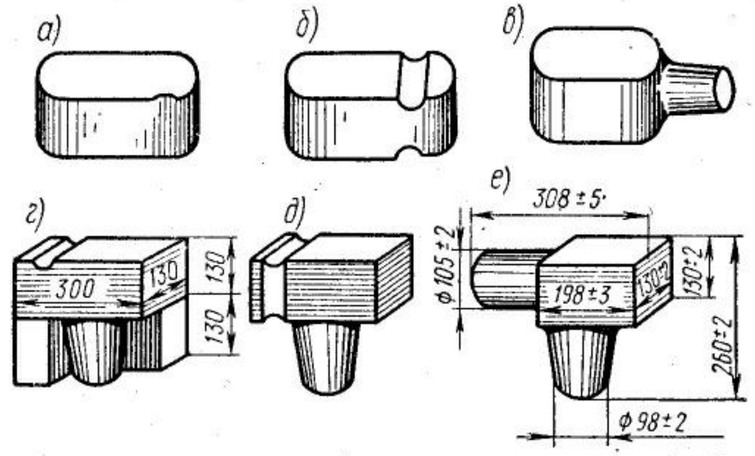


Рис. 115. Поковка корпуса (*е*) и переходы ковки (*а—д*)

Ковку производят из заготовки квадратного или цилиндрического сечения. По схеме (см. рис. 116, *б*) выполняют следующие операции:

1 — ковка части заготовки блюмса в зоне колен до получения прямоугольного сечения;
2 — разметка при помощи шаблона, пережим колен и шеек вала;
3 — передача колена *II* при помощи накладок;
4 — ковка шеек вала *a*, *b*, *c* на цилиндрическое сечение и отделение заготовленного вала от основной заготовки-блюмса;
5 — ковка фланца, пережим шейки у фланца и ковка шейки;
6 — закручивание шейки *в* для поворота колена *I*; и закручивание шейки *с* для поворота колена *III*.

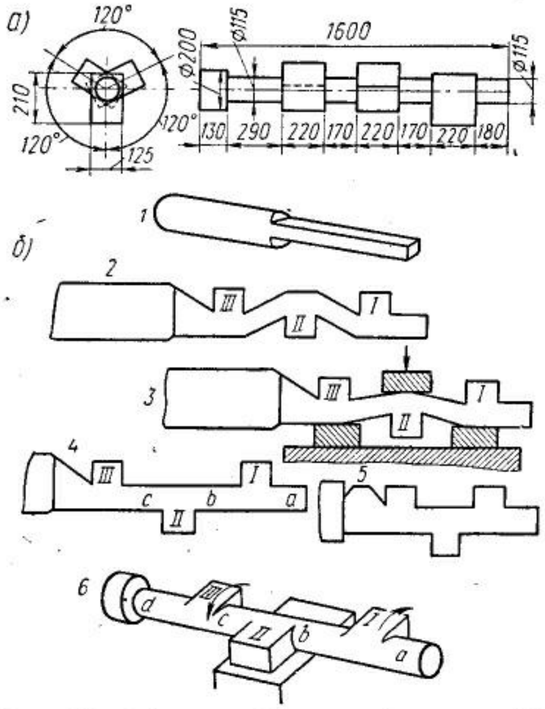


Рис. 116. Поковка (*а*) и схема ковки (*б*) трехколенчатого вала компрессора

Закручивание колен *I* и *III* проводят вилками. В это время колено *II* зажимают бойками молота. Закручивание колен *I* и *III* выполняют в противоположные стороны до тех пор, пока все три колена не будут расположены под углом 120°.

В конце процесса производят правку и маркировку поковки.

Ковка на прессах.

Пример 1. Турбинный диск. Чертеж поковки показан на рис. 117. Масса поковки равна 7600 *кг*. Материал — сталь 34ХМ. Ковку проводят на прессе усилием 3000 *Т* (30 *Мн*). Поковка относится к группе *IV*. Технологию ковки составляют с учетом необходимости получения высоких значений механических характеристик материала. Чертеж поковки составляют по чертежу ободранной заготовки, поступающей на термообработку и затем на последующую механическую обработку.

Технологические расчеты в основном являются расчетами баланса металла. Баланс металла слитка следующий:

слиток	13 300 *кг* — 100%;
поковка	7600 *кг* — 57,5%;
прибыль	3970 *кг* — 29,8%;
донная часть	800 *кг* — 6%;
выдра	130 *кг* — 1%;
угар	800 *кг* — 6%.

Последовательность переходов ковки показана на рис. 118, *а, б, в*.

В первом выносе (рис. 118, *а*) производят протяжку прибыли под патрон, биллетировку на ⌀ 870 *мм*, рубку поддона и отрубку блока в меру (1730 *мм*). Затем блок отправляют на подогрев до $t = 1200°$ С. При этом необходимо заметить прибыльный конец.

Во втором выносе (рис. 118, *б*) производят осадку плитой и бойком до высоты $H = 750$ *мм* и прошивку пустотелым прошивнем ⌀ 250 *мм*. Далее заготовку кантуют на 180° и отправляют в печь на подогрев до 1200° С.

В третьем выносе (рис. 118, *в*) выполняют осадку плитой и бойком до $H = 620$ *мм* (с разворотом на 90°), заготовку кантуют «верх на низ» и еще раз осаживают бойком до $H = 500$ *мм* (с разворотом на 90°) и затем отправляют в печь на подогрев до 1200°С.

В последнем, четвертом выносе разгоняют полотно диска до $H = 240$ *мм* по схеме, показанной на рис. 39, *в*. При этом применяют приспособления, показанные на рис. 44, *а, б*.

Далее выполняют прошивку с двух сторон отверстия ⌀ 250 *мм* и проводят окончательную отделку ступицы, накладывают плиту и ступицу осаживают до поковочных размеров. Затем поковку маркируют и в горячем состоянии отправляют в термическое отделение.

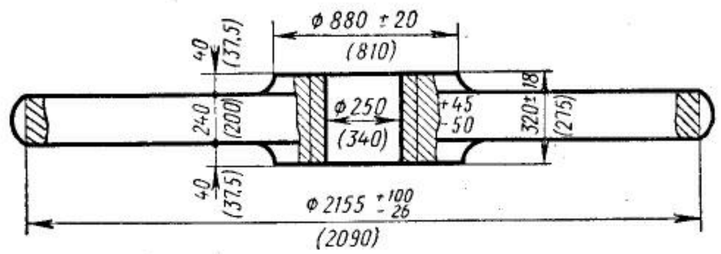


Рис. 117. Поковка турбинного диска

Пример 2. Плита (рис. 119, в) [89]. Масса поковки 41 000 *кг*. Материал — Ст. 3. Ковку проводят на прессе усилием 12 000 *Т* (120 *Мн*). Поковка относится к группе *II*. Технологию ковки составляют с учетом необходимости уменьшения концевых отходов в виде «языков», которые образуются при обычной технологии протяжки плоскими бойками. Переходы ковки показаны на рис. 119, *а*, *б*, *в*.

В первом выносе (рис. 119, *а*) выполняют ковку цапфы под патрон из прибыльной части слитка и биллетировку. После этого заготовка идет на подогрев до 1200° С.

Рис. 118. Переходы ковки турбинного диска

Рис. 119. Переходы ковки плиты

Во втором выносе (рис. 119, *б*) производят разгонку заготовки с помощью продольного разгоночного бойка. Длинную сторону бойка направляют вдоль оси слитка, что позволяет получить максимально возможное уширение и хорошую проковку середины слитка. Так как сталь имеет хорошую пластичность, то каких-либо дефектов при разгонке не получается. Для хорошего последующего оформления углов

плиты заготовке придают фигурное сечение. После разгонки поковку подогревают до 1200° С.

В третьем выносе (рис. 119, *в*) заготовку подвергают протяжке под плоскими бойками на окончательные размеры пластины и затем производят обрубку концевых отходов.

При ковке использовался слиток массой 61200 *кг*. Выход годного составил 67%.

Пример 3. Коленчатый вал (рис. 120, *а*). Масса поковки 2720 *кг*. Материал — сталь 50. Ковка проводится из слитка массой 3850 *кг*. Поковка относится к группе *III*, подгруппе *3*. Переходы ковки показаны на рис. 120, *б*, *в*, *г*.

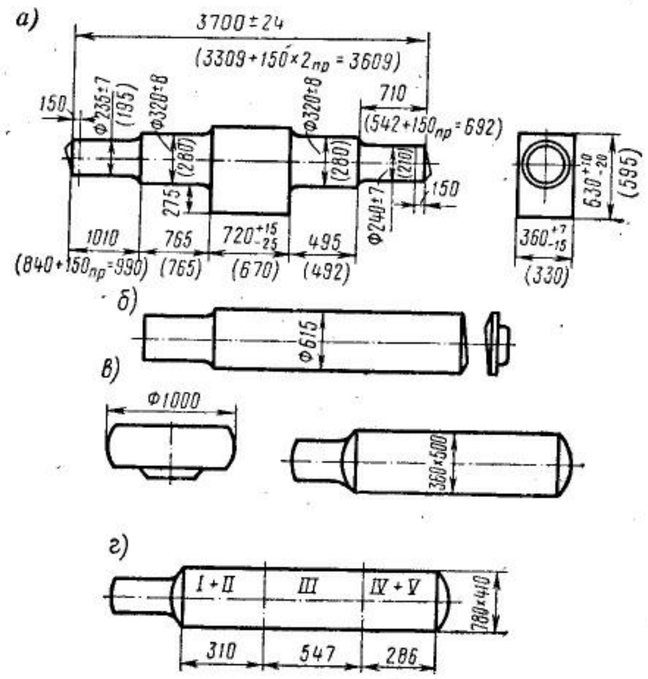


Рис. 120. Поковка (*а*) и переходы ковки (*б*—*г*) коленчатого вала

В первом выносе (рис. 120, *б*) выполняют протяжку цапфы под патрон, обжим граней слитка на ⌀ 615 *мм* и обрубку донной части.

Во втором выносе (рис. 120, *в*) делают осадку слитка до ⌀ 1000 *мм* и протяжку на сечение 960 × 500.

В третьем выносе (рис. 120, *г*) производят протяжку заготовки на сечение 780 × 410 и делают разметку на части *I*, *II*, *III*, *IV*, *V* (по длине поковки). Отковывают и отделывают части *III*, *II*, *I*. Затем делают разметку и присечку металла на части *IV* и *V* и отковывают окончательно части *III*, *IV* и *V*. В конце процесса поковку правят, отрубают концевой остаток от части *V* и отрубают поковку от цапфы (прибыли).

Усилие пресса определяют по операции осадки на ⌀ $D_1 = 1000$ *мм* (рис. 120, *в*). Воспользуемся формулой (4) (см. гл. III, § 14).

Определим высоту осаженной заготовки.

Объем осаженной части $V_{\text{ос.заг}}$ равен ее массе $G_{\text{ос.заг}}$, деленной на плотность (7,85 *кг*/*дм*³),

$$G_{\text{ос. заг}} = G_{\text{пок}} + G_{\text{проб}} + G_{\text{годн. ост}} = 2720 + 106 + 81 = 2907 \text{ кг};$$

$$V_{\text{ос. заг}} = \frac{2907}{7{,}85} = 378 \text{ дм}^3 = 378 \cdot 10^6 \text{ мм}^3;$$

$$H_1 = \frac{378 \cdot 10^6}{0{,}785 \cdot 10^6} \cong 485 \text{ мм}.$$

Предел прочности при растяжении при $t = 1100°$ С для стали 50 примем равным 3,1 *кГ*/*мм*² (30 *Мн*/*м*²) [103]. Коэффициент ψ в соответствии с табл. 13 примем равным 0,7.

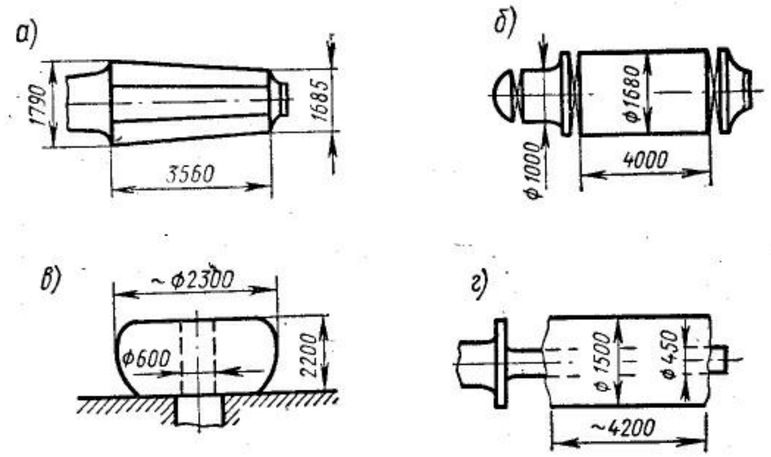
Усилие пресса

$$P = 0{,}70 \cdot 3{,}1 \left(1 + 0{,}17 \frac{1000}{485} - 0{,}33 \frac{485^2}{1000^2}\right) \frac{\pi 1000^2}{4} =$$
$$= 1{,}7 \cdot 1000^2 (1 + 0{,}35 - 0{,}078) = 2170 \text{ } T \text{ (21 300 кн)}.$$

Таким образом для осадки требуется пресс усилием порядка 2000 *Т* (20 *Мн*).

Остальные операции ковки можно проводить на прессе усилием 1250 *Т* (12 500 *кн*) [103].

Выход годного в данном процессе составляет 71%. Отходы на прибыль — 17%; на донную часть — 4,1%; на угар — 3,5%; на пробу — 2,7%. Годный остаток — 1,7%.



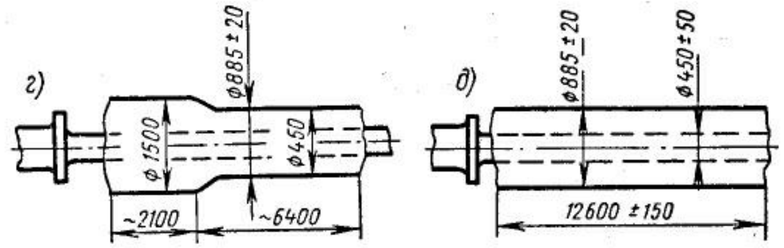


Рис. 121. Переходы ковки пустотелой колонны

Пример 4. Корпус полой колонны (рис. 121, *д*) [88]. Масса поковки 50 000 *кг*. Материал — сталь 22ХЗН. Поковка относится к группе *VI*, подгруппе *1*. Переходы ковки показаны на рис. 121, *б*, *в*, *г*, *д*. Ковку производят за четыре выноса под прессом в 12 000 *Т* (120 *Мн*). В качестве заготовки используют слиток массой 90 000 *кг* (рис. 121, *а*).

В первом выносе (рис. 121, *б*) из прибыльной части отковывают цапфу диаметром 1000 *мм*, отрубают излишек прибыли и выполняют биллетировку слитка на диаметр 1680 *мм*. После этого отрубают донную часть и прибыль и заготовку подогревают до 1250° С.

Во втором выносе (рис. 121, *в*) заготовку осаживают до высоты 2200 *мм* и прошивают прошивнем диаметром 600 *мм*. Далее заготовку снова подогревают до 1250° С.

В третьем выносе (рис. 121, *г*) производят протяжку с оправкой диаметром 450 *мм* до наружного диаметра 1500 *мм*, затем протяжку с оправкой с одного конца заготовки до середины на диаметр 885 *мм*. Далее заготовку подогревают в печи до 1000° С.

В четвертом выносе (рис. 121, *д*) делают протяжку с оправкой второй половины заготовки, и поковка готова. В случае необходимости делают второй подогрев до 1000° С.

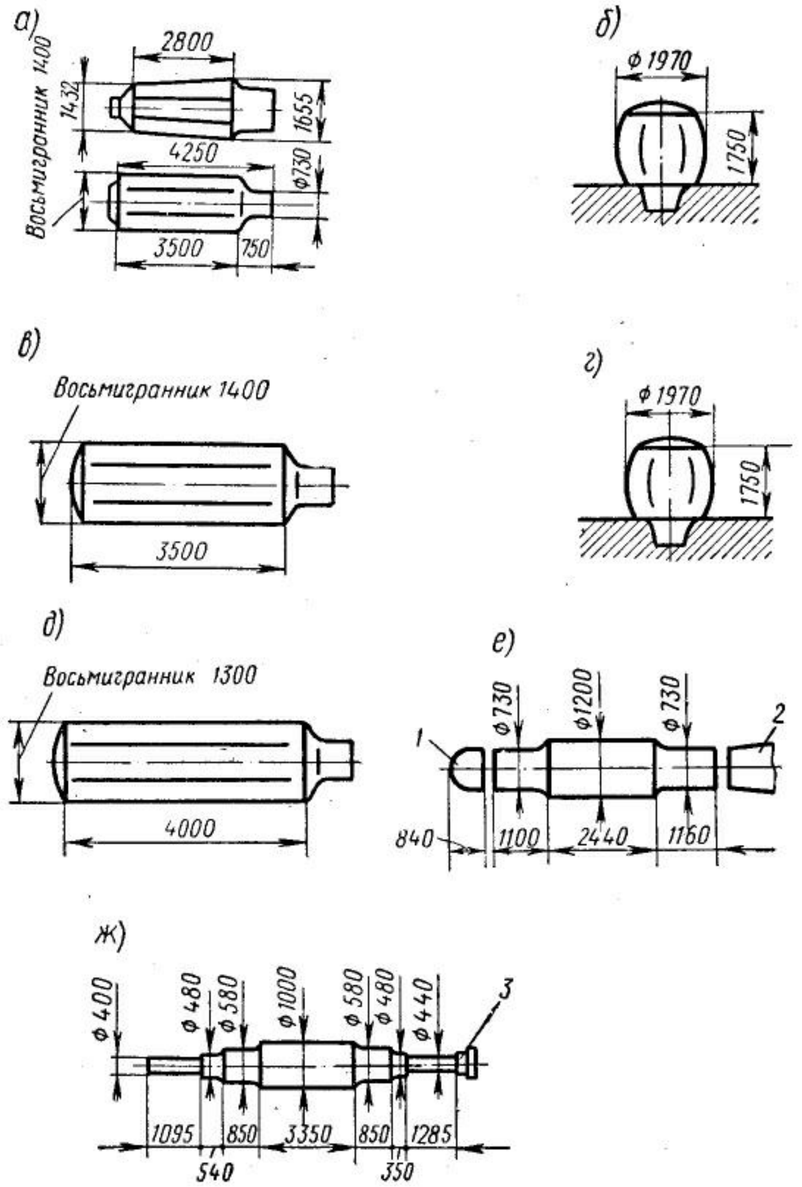


Рис. 122. Переходы ковки ротора турбогенератора:

1 — отходы с донной части; *2* — отходы с прибыльной части; *3* — цапфа

Данная технология ковки отличается от общепринятой применением подогрева заготовки до 1000° С после третьего выноса, так как эта температура является температурой последующей термообработки и не приводит к значительному росту зерна. В этом технологическом процессе нет промежуточной термообработки. Длительность технологического цикла ковки составляет 620 *ч*. Выход годного около 56%.

Пример 5. Ротор турбогенератора (рис. 122, *ж*) [94]. Ковку этой поковки проводят на прессе усилием 5000 *Т* (50 *Мн*) на Пльзеньском заводе им. В. И. Ленина (ЧССР). Материал поковки — никельванадиевая сталь. Переходы ковки показаны на рис. 122. Ковку проводят за девять выносов.

В первом выносе (рис. 122, *а*) проводят протяжку (биллетировку) исходного слитка на восьмигранник 1400 *мм* и изготавливают цапфу из прибыльной части для осадки с хвостовиком.

Во втором выносе (рис. 122, *б*) производят осадку заготовки на диаметр 1970 *мм* и высоту 1750 *мм*.

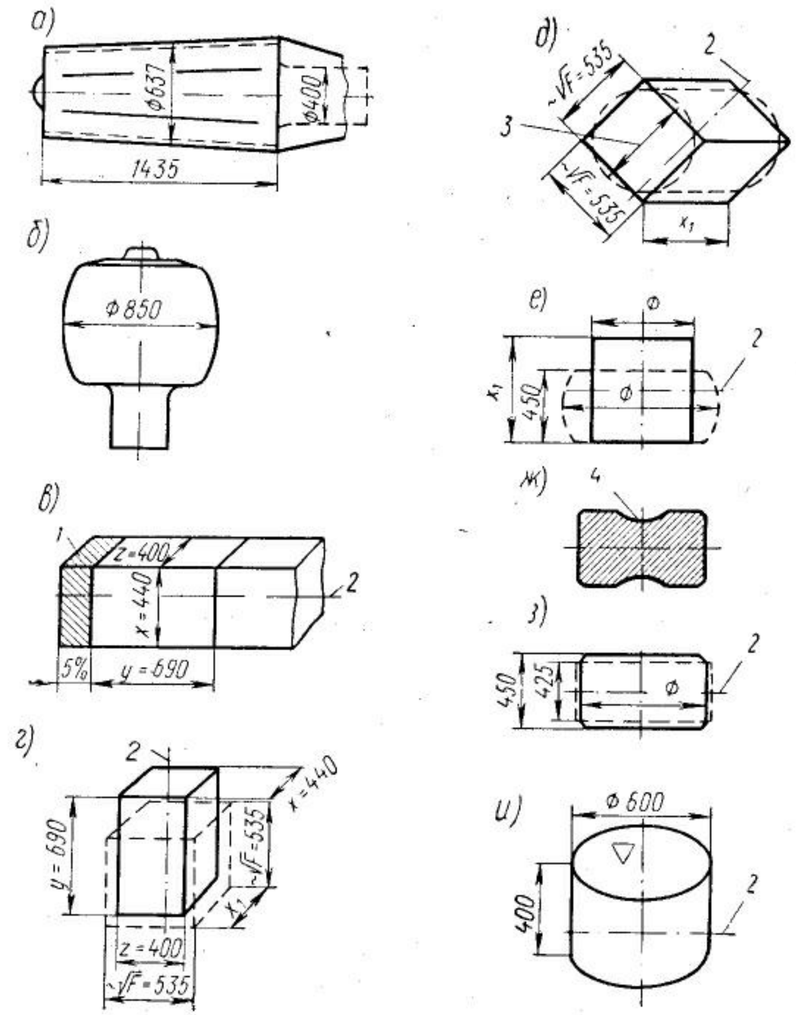


Рис. 123. Переходы ковки круглых штамповых заготовок:

1 — отходы донной части; *2* — направление волокон; *3* — обкатка; *4* — утяжка

В третьем выносе (рис. 122, *в*) дают протяжку на квадрат и далее на восьмигранник высотой 1400 *мм*.

В четвертом выносе (рис. 122, *г*) производят вторую осадку с хвостовиком на ⌀ 1970 *мм* и высоту 1750 *мм*.

В пятом выносе (рис. 122, *д*) выполняют протяжку заготовки на квадрат и далее на восьмигранник высотой 1300 *мм*.

В шестом выносе (рис. 122, *е*) делают протяжку на диаметр 1200 *мм*, ковку шеек на диаметр 730 *мм* и рубку отходов с прибыльной и донной частей слитка.

В седьмом, восьмом и девятом выносах (рис. 122, *ж*) выполняют окончательную ковку по чертежу поковки.

Температурные интервалы ковки:
в 1—5 выносах 1170 (1180) ÷ 850° С,
в 6—9 выносах — 1150 ÷ 850° С.

Пример 6. Штамповые кубики. Ковку обычных крупных штамповых кубиков производят по трем направлениям. Вначале отковывают штангу квадратного сечения, затем производят рубку на заготовки, которые осаживают в направлении

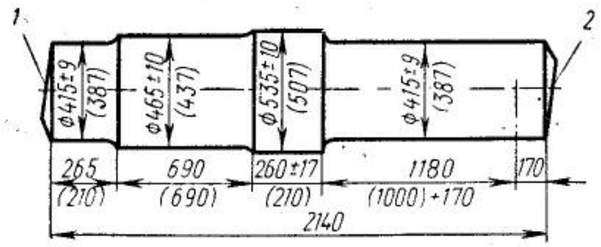


Рис. 124. Поковка вала:

1 — прибыль; *2* — поддон

оси слитка и затем отковывают на окончательные размеры. Иногда вначале осаживают слиток и затем протяжкой, рубкой и окончательной отделкой получают штам-

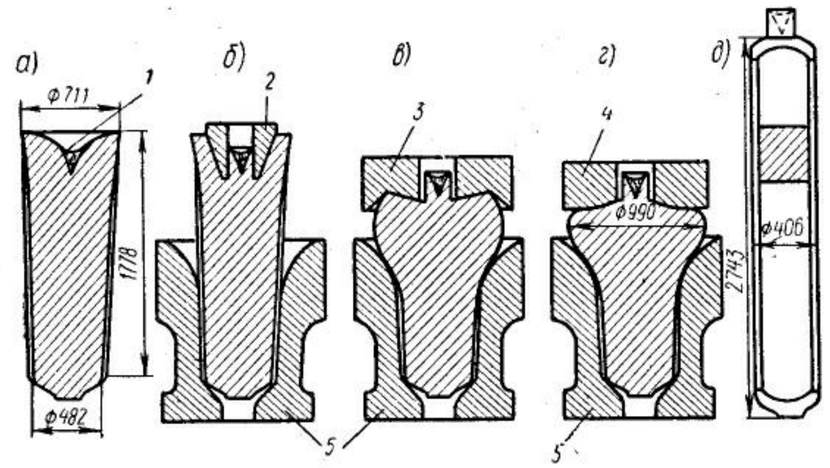


Рис. 125. Схема переходов ковки бесприбыльного слитка:

а — исходный слиток; *б* — прошивка-отделение сегрегационной зоны; *в* — первая осадка; *г* — вторая осадка; *д* — откованный блюмс; *1* — сегрегационная зона; *2* — полый прошивной пуансон; *3* — первая осадочная плита; *4* — вторая осадочная плита; *5* — матрица

повые кубики. Такая ковка широко известна [29, 50], и сам процесс отличается простотой. Существует технология ковки кубиков без применения осадки [46, 102].

Менее известна ковка заготовок для штампов круглых в плане — круглых штамповых заготовок [128]. На рис. 123, *и* показана поковка круглой штамповой заготовки. Процесс ковки такой поковки разработан в ГДР. Масса поковки 950 *кг* (с учетом половины положительных допусков). Материал — хромоникельмолибденованадиевая штамповая сталь типа 5ХНМ. Переходы ковки показаны на рис. 123. Слиток выбран на три поковки и имеет массу 4800 *кг*. Ковку производят по трем направлениям таким образом, чтобы волокна были направлены параллельно торцевым плоскостям. Уков при протяжке должен быть более 3, поэтому слиток предварительно осаживают. Ковку выполняют за пять выносов.

В первом выносе (рис. 123, *а*) делают оттяжку прибыли и биллетировку на диаметр 637 *мм*.

Во втором выносе (рис. 123, *б*) производят осадку с хвостовиком на диаметр 850 *мм*, что обеспечивает последующую уковку, равную 3,2.

В третьем выносе (рис. 123, *в*) выполняют протяжку на прямоугольник 400 × × 440 *мм* и рубку трех заготовок на длину 690 *мм*.

В четвертом выносе (рис. 123, *г*, *д*) заготовку осаживают на высоту 535 *мм*, причем сторона прямоугольника с размером 400 *мм* также получает размер 535 *мм*, что определяется расчетом [128]. Получается кубик размерами 535 × 535 *мм* и длиной $x_1 > 535$ *мм*. В этом же выносе кубик обжимают по граням длиной x_1 и скругляют на диаметр. Получают цилиндр длиной приблизительно x_1.

В пятом выносе (рис. 123, *е*, *ж*, *з*, *и*) заготовку осаживают до высоты, равной окончательной высоте поковки 400 *мм* плюс 50 *мм*, т. е. 450 *мм* (рис. 123, *е*). Затем боковую поверхность обкатывают (рис. 123, *ж*), заготовку осаживают с 450 до 425 *мм* (рис. 123, *з*) и снова обкатывают. В конце процесса заготовку осаживают до окончательной высоты 400 *мм*.

Выход годного составляет около 60%.

Пример 7. Вал (рис. 124). При разработке технологии ковки вала мы основывались на известной схеме процесса ковки блюмсов из бесприбыльных слитков, разработанной Д. А. Дорниным [123].

Схема процесса показана на рис. 125. Исходный слиток специальной конструкции подвергают последовательной прошивке и высадке. При этом отделяется небольшая по объему зона металла с усадочной раковиной. В дальнейшем заготовку подвергают протяжке и получают блюмс. Основное достоинство процесса заключается в высоком качестве материала и высоком коэффициенте выхода годного.

Чтобы установить конкретные размеры инструмента для прошивки и высадки (радиусы, углы и т. д.), были поставлены специальные эксперименты. Основываясь на получен-

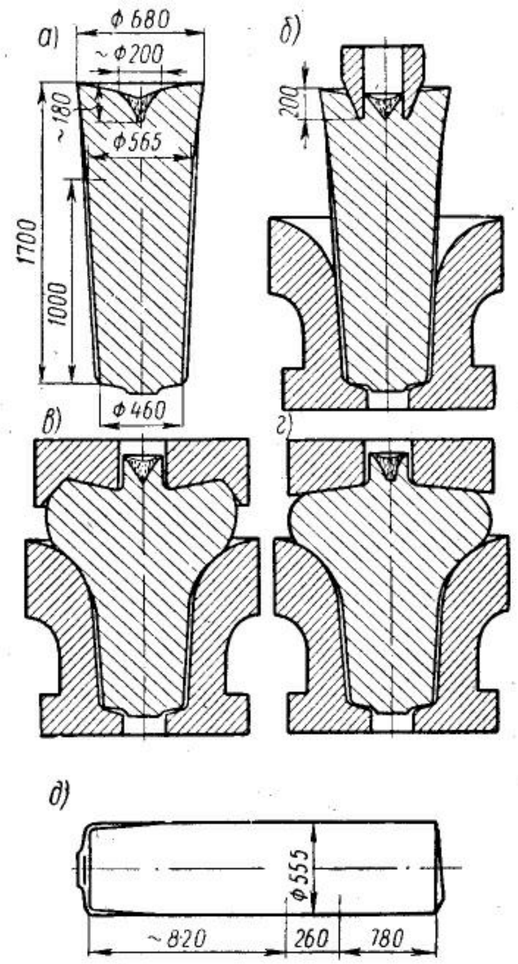


Рис. 126. Переходы ковки вала

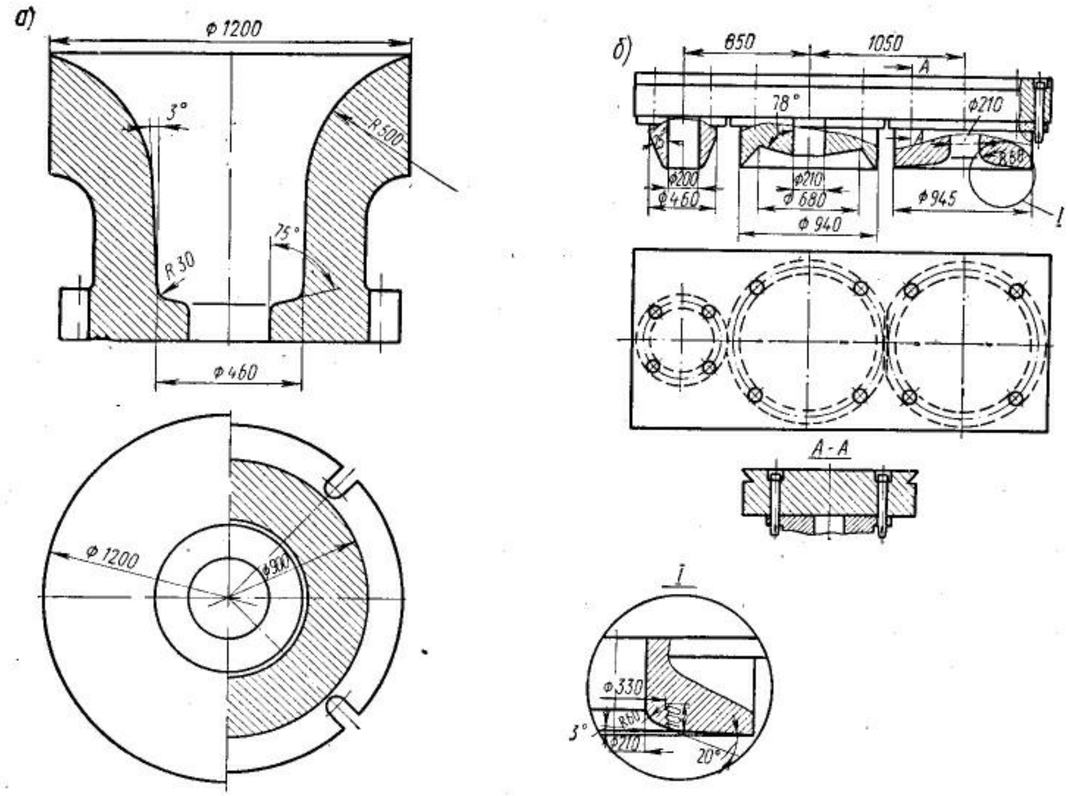


Рис. 127. Инструмент для прошивки и высадки при ковке вала:
а — матрица; *б* — пуансоны на рабочей плите

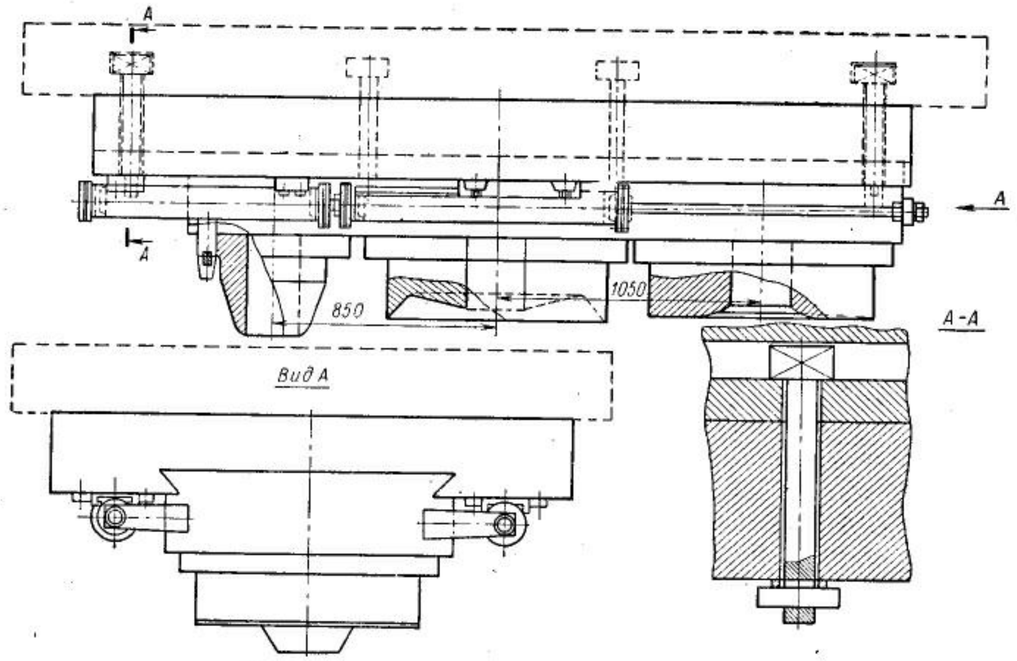


Рис. 128. Приспособление для перемещения рабочей плиты

ных данных, был разработан процесс ковки вала (см. рис. 124). Материал поковки — сталь 40ХН. Переходы ковки показаны на рис. 126. Весь процесс выполняют за один вынос. Температурный интервал ковки 1120—800° С. Слиток массой 3300 *кг* подают в штамп прибыльной стороной вверх (рис. 126, *а*, *б*), где происходит прошивка с отделением зоны с усадочной раковиной. Затем последовательно производят высадку с применением специальных осадочных плит (рис. 126, *в*, *г*), протяжку высаженной и донной частей. Протяжку проводят с помощью манипулятора. Инструмент для прошивки и высадки показан на рис. 127. Процесс прошивки и высадки проходит на прессе мощностью 2500 *Т* (25 *Мн*), а протяжка на прессе мощностью 1500 *Т* (15 *Мн*). Для ускорения работы на прессе 2500 *Т* с тем, чтобы заготовка не успела остынуть и имела бы достаточную температуру для последующей высадки, прошивень и обе осадочные плиты смонтированы в виде специального приспособления (рис. 128), позволяющего с помощью пневмоцилиндров быстро перемещать на ось пресса последовательно прошивень, первую осадочную плиту и вторую осадочную плиту.

Баланс металла для ковки вала следующий: поковка 2970 *кг* — 90%, прибыль 52 *кг* — 1,5%, донная часть 165 *кг* — 5%, угар — 3,5%, слиток — 3300 *кг* (бесприбыльный).

ГЛАВА V

ШТАМПОВКА В ПОДКЛАДНЫХ И СЕКЦИОННЫХ ШТАМПАХ В ЦЕХАХ СВОБОДНОЙ КОВКИ

§ 21. ШТАМПОВКА В ПОДКЛАДНЫХ ШТАМПАХ

Отход металла при ковке очень велик. Для уменьшения отхода металла и повышения точности получаемой поковки применяют подкладные штампы.

Подкладным штампом называется инструмент с полостью, которая представляет собой точную копию поковки или отдельного участка поковки. Подкладные штампы состоят из двух половин — верхней и нижней. Обе половины центрируются одна относительно другой с помощью направляющих колонок или каким-либо другим способом. На рис. 129 показан подкладной штамп в собранном виде. Штамповку поковок производят следующим образом.

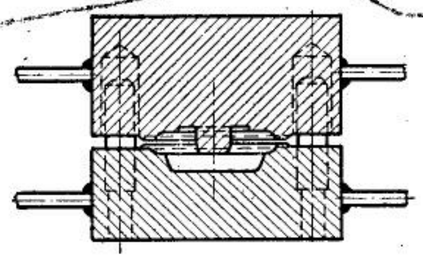


Рис. 129. Изготовление поковки чашки в подкладном штампе

На плоский нижний боек молота или пресса ставят нижнюю половину штампа, в полость которой укладывают нагретую заготовку. Сверху устанавливают по колонкам верхнюю половину и нажатием верхнего плоского бойка пресса или ударами молота деформируют заготовку, которая заполняет полость в верхней и нижней половинах штампа и принимает форму этой полости. Верхнюю половинку штампа снимают, а поковку вынимают из нижней половины штампа.

На рис. 130, *а* показан процесс изготовления подушки [50]. Заготовку ∅ 550 *мм* и длиной 1260 *мм* предварительно отковывают из слитка массой 3500 *кг*, а затем штампуют в подкладном штампе.

На рис. 130, *б* показана поковка шестерни и подкладной штамп. Масса поковки 510 *кг*. Заготовку предварительно осаживают до высоты 350 *мм* на плоских бойках. Затем производят осадку заготовки в нижней половине подкладного штампа с плоским верхним бойком до высоты 300 *мм*, накладывают верхнюю половину штампа и производят штамповку.

Представляет интерес штамповка втулки большого размера под прессом усилием 2000 *Т* (20 *Мн*) [40]. Подкладной штамп показан



на рис. 131. Особенностью процесса является то, что деформирование заготовки происходит по отдельным участкам, последовательно.

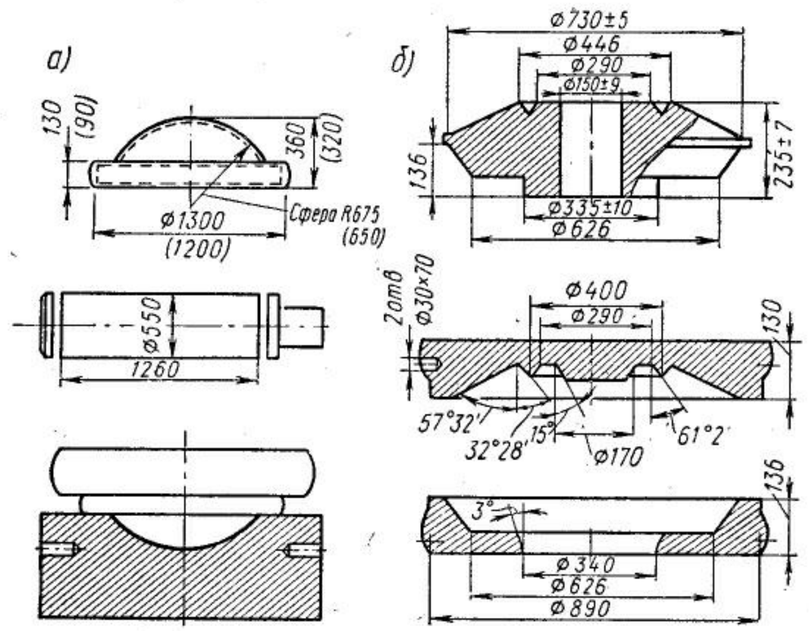


Рис. 130. Процессы штамповки в подкладном штампе подушки (*а*) и конической шестерни (*б*)

Заготовку отковывают из слитка массой 3 *т* в виде полой втулки с односторонним буртом. Далее производят штамповку в подкладном штампе. На поворотную плиту пресса *1* устанавливают вертикальную колонку *3*, на которую надевают заготовку *5*. Сверху укладывают обойму *6* с расположенными в ней двумя полукольцами *2*. Деформирование производится специальным секторным бойком *4*, установленным эксцентрично таким образом, что обжимается секторный участок заготовки. После осадки одного участка заготовку поворачивают вместе с плитой *1*, осаживают второй участок и так до тех пор, пока не будет высажен весь бурт. После этого из втулки *7* выбивают вертикальную колонку *3*. Затем отштампованную втулку *7* вместе с полукольцами-вкладышами *2* выбивают из кольца *6*, а вкладыши *2* снимают с втулки *7*.

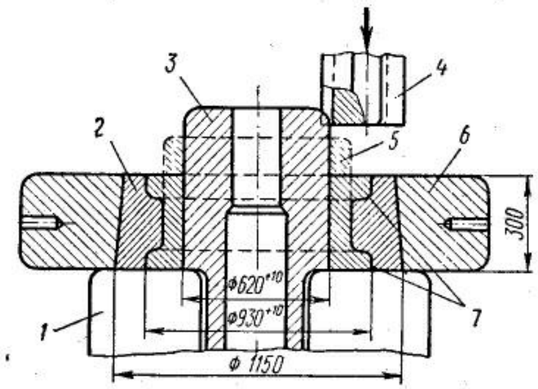


Рис. 131. Секционная штамповка втулки в подкладном штампе

Данный процесс позволяет использовать прессы пониженной мощности.

§ 22. СЕКЦИОННАЯ ШТАМПОВКА ДИСКОВ

Сущность секционной штамповки дисков. В кузнечных цехах свободной ковки изготавливается большое количество поковок турбинных и воздуходувных дисков (см. гл. IV, § 20).

Выпуск турбин и воздуходувных машин в Советском Союзе постоянно увеличивается. Это требует увеличения производства поковок турбинных и воздуходувных дисков. Достигнутый в настоящее время уровень производства поковок дисков не удовлетворяет потребностям промышленности. Обычная технология ковки дисков приводит к большим трудозатратам и большому расходу металла. Поэтому все более внедряется в производство такой прогрессивный технологический процесс, как горячая штамповка. Однако для получения поковок

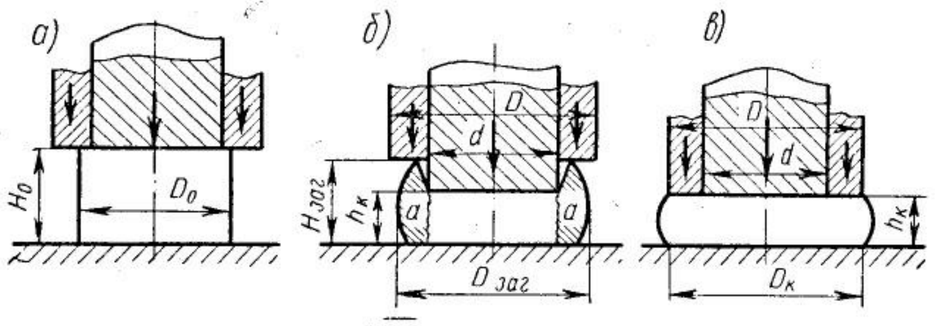


Рис. 132. Схема секционной осадки (штамповки) в двухсекционном штампе: *а* — заготовка; *б* — деформирование центральной секцией; *в* — деформирование наружной секцией

крупных дисков обычной горячей штамповкой требуются уникальные прессы с усилиями, исчисляющимися десятками тысяч тонн.

В последнее время в промышленности применяется секционная штамповка. Секционная штамповка дисков [2] наряду с преимуществами обычной штамповки позволяет получать крупные диски при значительно меньших усилиях.

Сущность способа заключается в том, что заготовку деформируют последовательно по отдельным кольцевым участкам за несколько ходов поперечины пресса. В зависимости от размеров заготовки и сопротивления деформированию металла, а также от усилия пресса секционный штамп может состоять из двух, трех и более секций — пуансонов (наиболее простые двухсекционные штампы). Штампы с количеством секций больше трех получаются сложными.

Здесь рассматривается штамповка (осадка) в двухсекционном штампе (рис. 132). Этот вид секционной штамповки наиболее перспективный и принципиально не отличается от штамповки в трехсекционном штампе. Рассматривается процесс получения плоских поковок дисков. Однако выводы можно применить и к секционной штамповке дисков со сложной конфигурацией. При этом необходимо учитывать особенности течения металла при той или иной форме поверхности диска.

Формоизменение при секционной штамповке дисков и определение рациональных размеров исходных заготовок. Расчет размеров исходных заготовок является одним из важных вопросов при разработке технологии. Если заготовки подбирают опытным путем, то это приводит в некоторых случаях к появлению дефектов на поковках в виде зажимов на верхней торцевой поверхности.

Во избежание появления зажимов необходимо использовать относительно большие по диаметру исходные заготовки, для получения которых требуются большие усилия деформирования. Задача сводится к выбору заготовки с таким минимальным диаметром, при котором можно получить поковки без зажимов.

Эксперименты проводили на гидравлическом прессе [92]. Отношение размеров пуансонов в штампе принято равным $\frac{D}{d} = 1{,}55$, где D и d — соответственно диаметры наружного и центрального пуансонов (см. рис. 132). При этом отношении получаются примерно одинаковые и минимальные потребные усилия деформирования при работе каждой секции штампа [1]. В дальнейшем однако оказалось, что это отношение требует корректировки, о чем сказано ниже.

Заготовки из алюминиевого сплава АД1 деформировали при температуре 400—420° С последовательными нажатиями секций — пуансонов. Вначале действовал центральный пуансон, а затем наружный. Для увеличения производительности заготовку деформировали сразу до конечной высоты поковки.

Весь процесс подразделяется на деформирование центральным и наружным пуансонами. При деформировании центральным пуансоном производится, по существу, открытая прошивка.

Однако при секционной штамповке дисков исходные заготовки отличаются по соотношению размеров от заготовок, применяющихся при открытой прошивке. Для секционной штамповки дисков используют относительно низкие заготовки с отношением $\frac{D_0}{H_0} \geqslant 2$ (см. рис. 132). Кроме этого, диаметр исходной заготовки только немного больше (на $10 \div 20\%$) диаметра центрального пуансона.

Формоизменение заготовки при деформировании центральной и наружной секциями показано на рис. 133.

На рис. 133, *а* показано формоизменение более высокой заготовки, которая соответствует более высокой поковке диска, а на рис. 133, *б* — менее высокой заготовки.

При внедрении пуансона в заготовку металл начинает вытекать в стороны. Так как разница между диаметрами пуансона и исходной заготовки невелика, то на верхней торцевой поверхности остается только узкая свободная кольцевая поверхность. Эта поверхность в процессе деформирования выгибается внутрь, образуя воронку сверху. Затем полученная поверхность воронки увеличивается за счет вытекающего из-под центрального пуансона металла. При больших степенях деформации (60% и более) металл в верхней кольцевой части заготовки (зона *1*) начинает оказывать значительное сопротивление течению в стороны металла нижней кольцевой части заготовки (зона *2*),

что приводит к изгибу всей кольцевой части и отходу нижней торцевой поверхности кольцевой части заготовки от инструмента. В результате получается своеобразная форма заготовки с углом при вершине в верхней поверхности кольцевой части (зона *1*) и выгнутой кольцевой частью (зоны *1* и *2*).

Для относительно высоких исходных заготовок в зоне *1* на внутренней боковой поверхности наблюдается дополнительная вогнутость вблизи вершины угла.

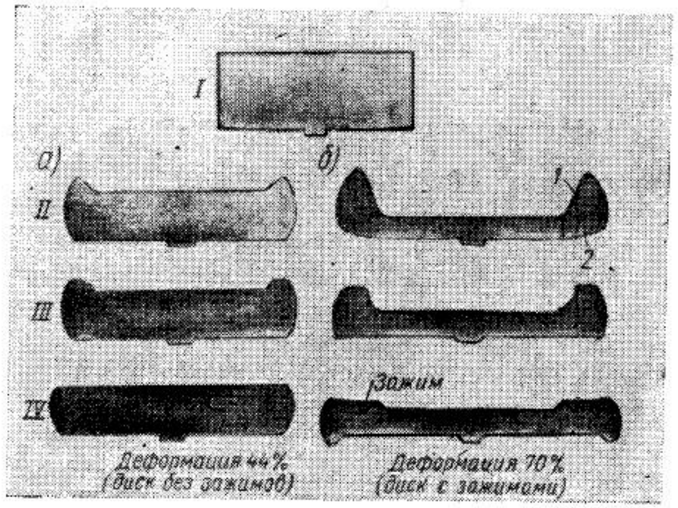


Рис. 133. Формоизменение заготовки при секционной штамповке:

I — исходная заготовка для диска с $\frac{D_к}{H_к}=6$; *II*—заготовка после штамповки центральным пуансоном; *III* — заготовка в начале штамповки наружным пуансоном; *IV* — готовый диск

При деформировании наружным пуансоном заостренная верхняя часть зоны *1* сминается, вначале образуется поднутрение, а затем зажим (рис. 133, *б*, *IV*). Зажимы получаются только при определенных, больших степенях деформации, чему соответствуют относительно высокие заготовки. При меньших степенях деформации угол заострения в зоне *1* получается значительно большим и при последующем деформировании наружным пуансоном смятие верхней части зоны *1* не приводит к поднутрению и зажиму.

Деформация зоны *1* получается более равномерной и происходит одновременно с деформацией зоны *2*.

При деформировании заготовки наружным пуансоном металл из-под пуансона течет только в радиальном направлении, в стороны от центра. При обычных отношениях размеров поковок $\left(\frac{D_к}{H_к}\leqslant 18\right)$ в центральную часть металл не течет.

Таким образом, зажимы получаются лишь при определенных, критических степенях деформации — $\varepsilon_{кр}$. Эти критические степени

деформации для различных отношений поковок дисков оказываются не одинаковыми. Для определения $\varepsilon_{кр}$ были проведены эксперименты с поковками дисков, имеющими отношения $\frac{D_к}{H_к}=6\div 18$ и частично $\frac{D_к}{H_к}=5$ [92].

Результаты экспериментов по установлению $\varepsilon_{кр}$ представлены на рис. 134 (кривая 1). $\varepsilon_{кр}$ здесь дается в зависимости от исходных отношений размеров заготовки, соответствующих конечным отношениям

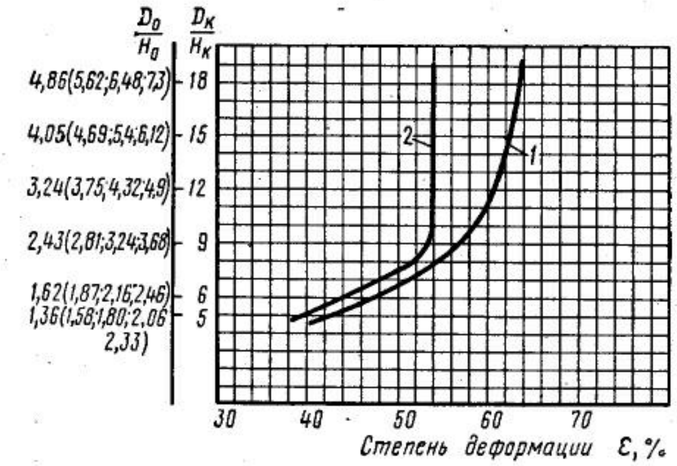


Рис. 134. Кривые критических *1* и оптимальных *2* степеней деформации

размеров поковок. Конечные размеры поковок, как и размеры заготовок, находятся в следующей линейной зависимости

$$\frac{D_0}{H_0}=\frac{1}{1{,}55^3}\cdot\frac{D_к}{H_к},$$

которая действительна при условии $D_0 = d$. Кроме отношений $\frac{D_0}{H_0}$, которые соответствуют этому условию, на рис. 134 в скобках даны также другие отношения начальных размеров заготовок. В этих случаях $D_0 > d$.

При анализе экспериментальных данных по секционной штамповке заготовок (при $V_{заг}$ = const) было установлено, что зажимы появляются при одной и той же относительной степени деформации (для одного и того же диаметра центрального пуансона). Поэтому для каждого отношения $\frac{D_0}{H_0}$ даются в скобках еще три соотношения $\frac{D_0}{H_0}$, а при $\frac{D_к}{H_к}=5$ — четыре отношения. Всем им соответствует одна и та же критическая степень деформации. Однако при увеличении отношения $\frac{D_0}{H_0}$ уменьшается потребная степень деформации ε_{max} для получения конечных размеров поковки.

Величина ε_{max} является одинаковой для всех исследуемых отношений поковок при одном и том же начальном диаметре заготовки. Если сопоставить потребную величину ε_{max} с $\varepsilon_{кр}$ для различных отношений конечных размеров поковок $\frac{D_к}{H_к}$, то оказывается, что для отношений, равных 9 ÷ 18, ε_{max} будет значительно меньше, чем $\varepsilon_{кр}$. Поэтому для данных отношений размеров поковок при любых значениях $\frac{D_0}{H_0}$ никаких зажимов произойти не может и заготовки можно выбирать исходя из других технологических требований. Для меньших отношений $\frac{D_к}{H_к}$, т. е. для $\frac{D_к}{H_к}=5$; 6 и до 8, $\varepsilon_{кр}$ оказывается меньше ε_{max} при принятых в экспериментах размерах заготовок с диаметрами D_0, близкими к d. Для уменьшения величины ε_{max} необходимо уменьшить высоту исходной заготовки и, следовательно, увеличить отношение $\frac{D_0}{H_0}$. Причем очевидно, что ε_{max} должно быть меньше $\varepsilon_{кр}$.

Для иллюстрации кривой критических степеней деформаций на рис. 133, *а*, *б* показаны фотографии макрошлифов заготовок, характеризующих отсутствие зажимов (*IV* слева), начало образования зажимов (*III* справа) и наличие зажимов (*IV* справа).

В соответствии с кривой критических степеней деформации (рис. 134, кривая *1*) можно провести расчет оптимальных размеров заготовок, при которых получаются конечные размеры поковок без появления зажимов. Для удобства расчетов заготовок построим кривую так называемых оптимальных степеней деформации (кривая *2* на рис. 134). Эту кривую целесообразно представить в виде двух участков. Первый участок соответствует заготовкам для поковок с $\frac{D_к}{H_к}=9$, 12, 15 и 18 и второй участок для поковок с $\frac{D_к}{H_к}=5$, 6 и 8.

Первый участок кривой совпадает со значением ε_{max} для заготовок, имеющих диаметр на 5% больше, чем диаметр центрального пуансона. Превышение диаметра заготовки на 5% взято в качестве технологического запаса для удобства центровки ее в штампе. В этом случае оптимальная степень деформации $\varepsilon_{опт}=\varepsilon_{max}=58{,}9\%$. По сравнению с $\varepsilon_{кр}$ имеется запас 9% для поковок с $\frac{D_к}{H_к}=18$ и 3% — для поковок с $\frac{D_к}{H_к}=9$.

Второй участок кривой $\varepsilon_{опт}$ строится эквидистантно к соответствующему участку кривой $\varepsilon_{кр}$ с запасом 3%.

Оптимальные размеры исходных заготовок можно определить, исходя из оптимальной степени деформации $\varepsilon_{опт}$ по формулам

$$H_{0\,заг.\,опт}=\frac{H_к}{1-\frac{\varepsilon_{опт}}{100}}$$

и

$$D_{0\,заг.\,опт}=\sqrt{\frac{4V_{пок}}{\pi H_{0\,заг.\,опт}}}.$$

Может быть также предложена формула, по которой, зная оптимальную степень деформации для каждого отношения размеров поковок, можно легко определить оптимальные отношения размеров заготовок. Из равенства объемов

$$V_{0\,заг.\,опт}=\frac{\pi D_{0\,заг.\,опт}^2}{4}H_{0\,заг.\,опт}=\frac{\pi D_к^2}{4}H_к;$$

$$\frac{H_{0\,заг.\,опт}}{H_к}=\frac{D_к^2}{D_{0\,заг.\,опт}^2},$$

тогда

$$D_{0\,заг.\,опт}=\sqrt{\frac{H_к D_к^2}{H_{0\,заг.\,опт}}},$$

или, используя формулу

$$H_{0\,заг.\,опт}=\frac{H_к}{1-\frac{\varepsilon_{опт}}{100}},$$

получаем

$$\frac{D_{0\,заг.\,опт}}{H_{0\,заг.\,опт}}=\frac{D_к}{H_к}\left(1-\frac{\varepsilon_{опт}}{100}\right)\sqrt{1-\frac{\varepsilon_{опт}}{100}}.$$

На рис. 135 кривая *1* представляет зависимость $\frac{D_{0\,заг}}{H_{0\,заг}}$ от $\frac{D_к}{H_к}$, построенную по последней формуле. По этой кривой легко определить оптимальные отношения размеров исходных заготовок для каждого конечного отношения поковок дисков.

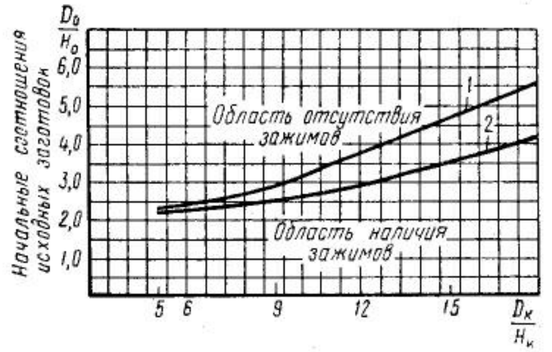


Рис. 135. График для определения размеров исходных заготовок

Кривая *2* соответствует кривой критических степеней деформаций (см. рис. 134, кривая *1*).

Деформированное и напряженное состояние при секционной штамповке дисков и определение потребных усилий. Для исследования качества материала поковок дисков с точки зрения определения величины зерна (макро- и микроструктуры) необходимо располагать данными о численном значении фактической степени деформации по сечению поковки в том месте объема диска, где изучается макро- и микроструктура. Зная распределение деформаций в поковках, а также основные термомеханические параметры процесса (температуру, время выдержки и деформации), можно судить о величине зерна, о разнозернистости макро- и микроструктуры [93]. Деформированное состояние изучалось с помощью координатной сетки. Координатную сетку до и после деформации измеряли на инструментальном микроскопе и фотографировали. По изменению координатной сетки определяли фактическую степень деформации в различных местах диаметрального

сечения поковок. Одновременно с секционной штамповкой на такие же степени деформации производили и обычную осадку исходных заготовок на плоско-параллельных плитах. По изменению координатных сеток на сопоставимых осаженных заготовках установлено, что деформированное состояние заготовок, полученных секционной штамповкой и обычной осадкой, примерно одинаковое. Следует отметить, что в верхней части поковок, полученных секционной штамповкой в области стыка центрального и наружного пуансонов, наблюдается несколько повышенная неравномерность деформированного состояния по сравнению с поковками, полученными простой осадкой.

Из рассмотрения макроструктуры сечений заготовок можно заметить также, что более неравномерное деформированное состояние наблюдается у высоких заготовок, т. е. при меньшем отношении размеров заготовок $\frac{D_0}{H_0}$ и поковок $\frac{D_к}{H_к}$ (при одинаковой средней степени деформации). Это относится как к секционной штамповке, так и к простой осадке.

Кроме неравномерности деформированного состояния, на качество материала дисков и его микроструктуру влияют такие технологические факторы, как количество нагревов, время выдержки и деформации за последний вынос. Как правило, секционная штамповка проходит за один вынос и время для деформирования поковки диска при этом требуется значительно меньше, чем при изготовлении такой же поковки свободной ковкой (осадкой с разгонкой). Сокращение количества выносов способствует получению лучшего качества материала поковок дисков (микроструктуры) при секционной штамповке. Это подтверждается исследованиями характеристик прочности и пластичности дисков, изготовленных секционной штамповкой и свободной ковкой.

Одним из важных моментов при разработке технологии секционной штамповки является определение необходимых усилий деформирования.

С этой целью проведено исследование напряженного состояния и выявлены эпюры контактных напряжений [86].

Эпюры контактных напряжений показали, что усилия деформирования, возникающие при действии центрального и наружного пуансонов, не равны между собой при принятом отношении диаметров пуансонов $\frac{D}{d}=1{,}55$ [1]. Усилие от действия центрального пуансона превышает усилие от наружного пуансона для поковок с $\frac{D_к}{H_к}=6$ в 1,2 раза; для поковок с $\frac{D_к}{H_к}=12$ в 1,3 раза; для поковок с $\frac{D_к}{H_к}=18$ в 1,31 раза. Эти данные подтверждаются и непосредственными измерениями усилий в центральном и наружном пуансонах.

Решение задачи по определению теоретического распределения напряжений основано на знании деформированного состояния [93]. Экспериментальным путем были выявлены деформируемые объемы (очаги деформации) под площадью действия каждого пуансона. Деформируемые объемы исходя из характера течения металла были разделены

на участки. Действительные отдельные участки несколько упростили и получили расчетные участки, близкие к фактическим.

Для каждого из этих расчетных участков предложены теоретические формулы по определению нормальных напряжений на нижней контактной плоскости.

Необходимое усилие деформирования для центрального пуансона

$$P_ц=\sigma_s\left[0{,}785\left(1+1{,}1\ln\frac{D_к}{d+0{,}82H_к}\right)(d+0{,}82H_к)^2+\right.$$
$$\left.+\left(0{,}59+0{,}13\frac{d}{H_к}\right)(d-0{,}59H_к)^2\right]. \quad (23)$$

Необходимое усилие деформирования при работе наружным пуансоном

$$P_н=\sigma_s\pi\left\{0{,}92H_к(D_к-0{,}685H_к)+\right.$$
$$\left.+\left[\left(\frac{D_к-d}{4H_к}+1{,}09\right)\left(\frac{D_к^2-d^2}{4}-0{,}685D_кH_к+0{,}47H_к^2\right)\right]\right\}. \quad (24)$$

Сравнение экспериментальных эпюр нормальных напряжений с принятыми в работе [1] и с предложенными приближенными эпюрами показало, что при деформировании центральным пуансоном объем, полученный по предложенным эпюрам, больше получаемого по экспериментальным на 2,5 ÷ 11,0%. Объемы эпюр, принятых в работе [1], меньше экспериментальных на 7 ÷ 22,5%. При деформировании наружным пуансоном объемы принятых приближенных эпюр отличаются от экспериментальных не более, чем на 16%. Объемы эпюр, принятые в работе [1], получились бо́льшими на 2 ÷ 24%. Изложенное подтверждается также замерами усилий деформирования. Все это объяснило причину неравенства усилий, действующих по центральному и наружному пуансонам при принятом отношении $\frac{D}{d}=1{,}55$.

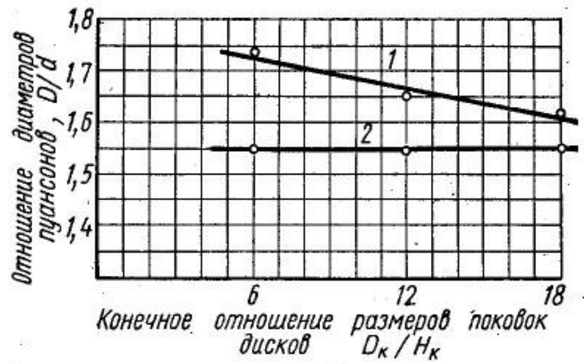


Рис. 136. Графики для определения отношений диаметров пуансонов $\frac{D}{d}$:

1 — по данным [86]; *2* — по данным [1]

Равенство расчетных усилий, определенное по формулам (23) и (24) и представленное в виде зависимости $\frac{D}{d}$ от $\frac{D_к}{H_к}$ на рис. 136, наступает для поковок с $\frac{D_к}{H_к}=6$ при $\frac{D}{d}=1{,}737$; для поковок с $\frac{D_к}{H_к}=12$ при $\frac{D}{d}=1{,}657$ и для поковок с $\frac{D_к}{H_к}=18$ при $\frac{D}{d}=1{,}619$.

Таким образом, отношение диаметров наружного и центрального пуансонов должно приниматься по рис. 136 в зависимости от отношения диаметра поковки к ее высоте.

Типовая конструкция секционного штампа (рис. 137). Нагретую заготовку укладывают на матрицу *1* и за первый ход поперечины производят осадку как в обычном штампе. Величину осадки регламентируют предельным усилием пресса. Затем поперечину поднимают и с помощью рукоятки *4* диск управления *5* устанавливают так, чтобы

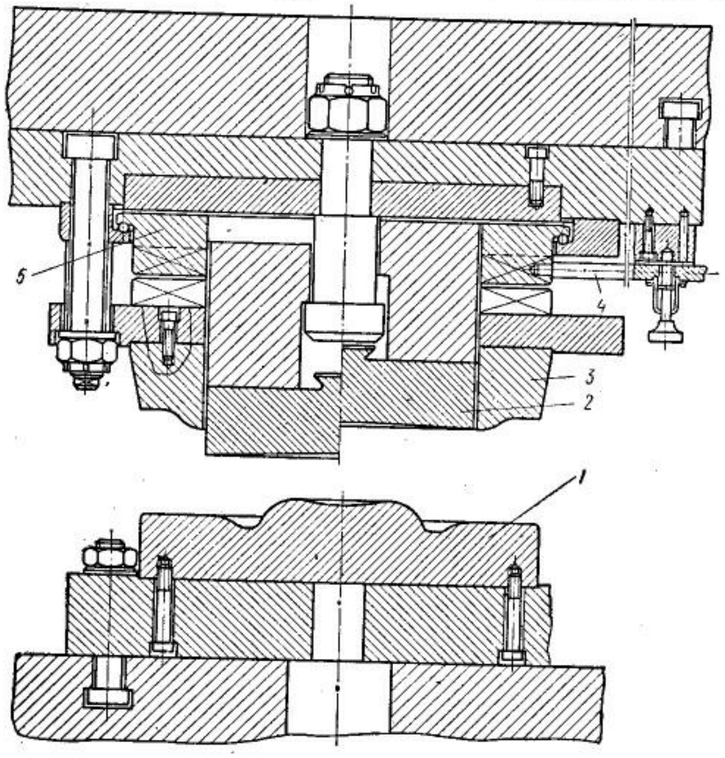


Рис. 137. Двухсекционный штамп для штамповки диска

его выступы в виде зубьев находились против соответствующих впадин на пуансоне *3*. После чего производят второй ход траверсы пресса. При этом на заготовку воздействует только центральный пуансон *2*, а пуансон *3* может свободно перемещаться вверх на высоту зуба, не передавая усилия пресса на заготовку. После подъема траверсы диск управления *5* снова поворачивают и его выступы устанавливают против соответствующих выступов на пуансоне *3*. Затем происходит третий ход поперечины, при котором деформируется только наружная кольцевая часть заготовки.

§ 23. СЕКЦИОННАЯ ШТАМПОВКА КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ

Штамповка в трехсекционном штампе. Сущность метода штамповки коленчатых валов, разработанного в ВПТИ тяжелого машиностроения И. В. Замбурским, заключается в том, что штамп делают из трех секций, действующих поочередно [35].

На рис. 138 показана схема работы окончательного секционного штампа. Вначале заготовке дают предварительную деформацию одно-

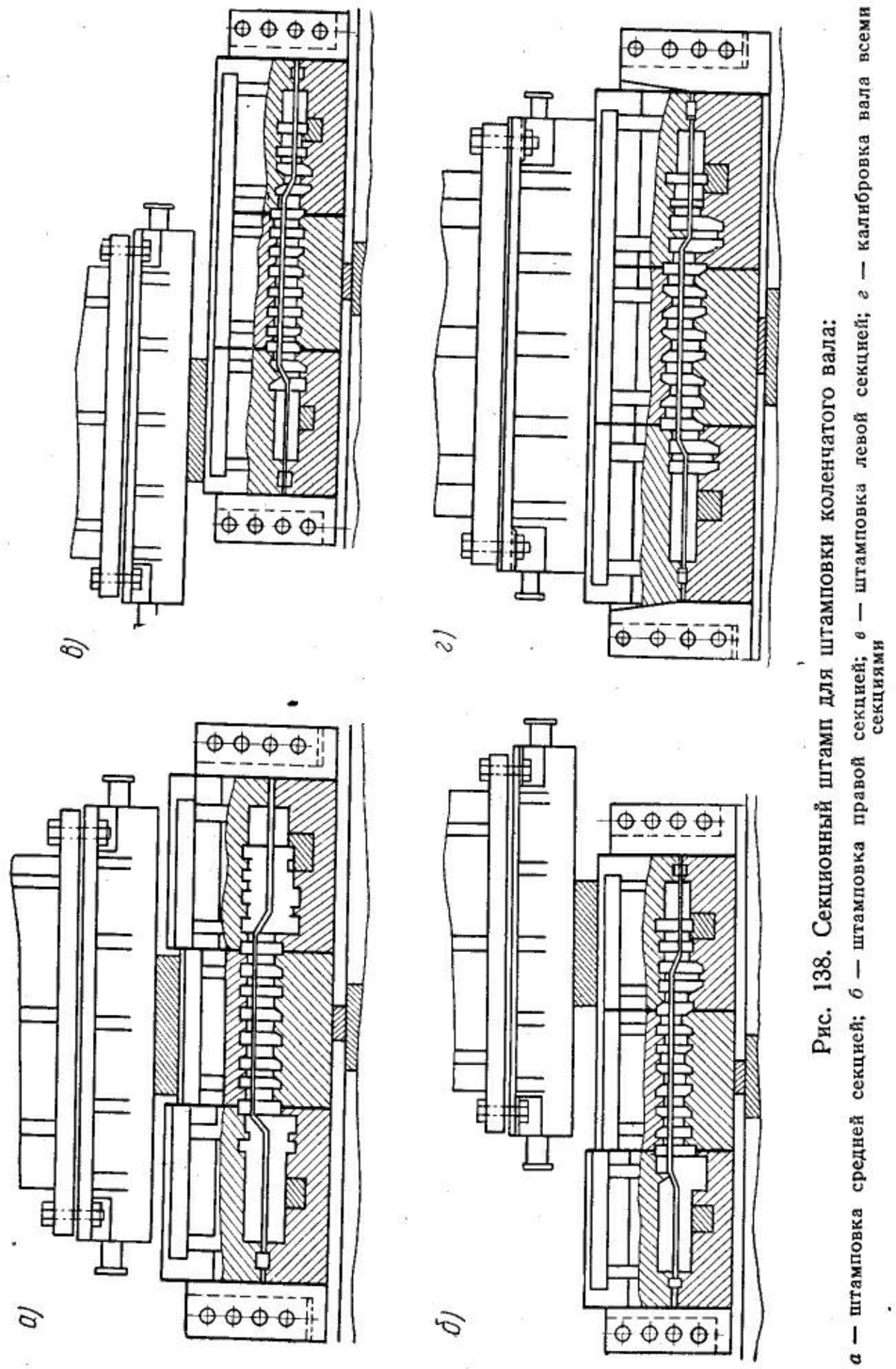


Рис. 138. Секционный штамп для штамповки коленчатого вала:
а — штамповка средней секцией; *б* — штамповка правой секцией; *в* — штамповка левой секцией; *г* — калибровка вала всеми секциями

временно всеми секциями. Затем поперечину пресса поднимают, между верхним бойком и средней секцией устанавливают специальную накладку (рис. 138, *а*) и производят деформирование одной секцией полным усилием пресса. После работы средней секции аналогично поступают с крайними секциями (рис. 138, *б* и *в*), после чего накладку убирают, а штамп ставят по центру верхнего бойка и производят калибровку вала сразу всеми секциями (рис. 138, *г*).

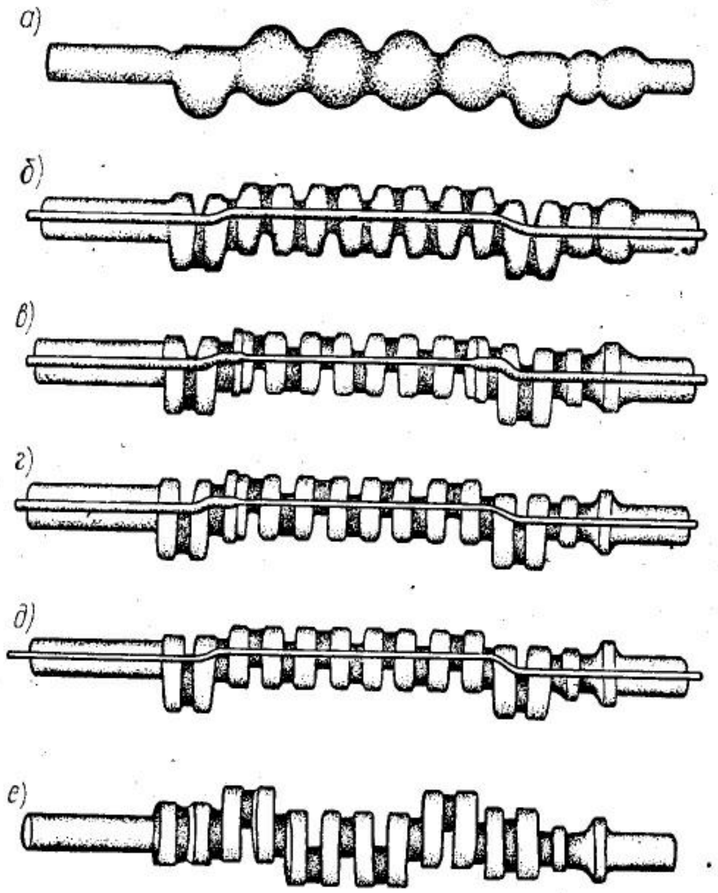


Рис. 139. Переходы штамповки коленчатого вала:

а — штамповка в заготовительном штампе; *б, в, г, д* — штамповка в секционном штампе; *е* — обрезка заусенца в обрезном штампе

На рис. 139 показаны переходы штамповки коленчатого вала, отштампованного на УЗТМ на прессе усилием 10 000 *Т* (100 *Мн*). В качестве заготовки для ковки данного вала ранее применялся слиток массой 9 *т*, а при секционной штамповке слиток имеет массу 2,5 *т*. Штампованная поковка вала имеет массу 1,1 *т*, в то время как кованая поковка — 4,8 *т*. Перед штамповкой по переходам слиток отковывают на заготовку с пережатыми участками под каждое колено вала. Нагретую заготовку деформируют в заготовительном штампе (рис. 139, *а*). Далее производят штамповку в окончательном штампе (см. рис. 138) по переходам (рис. 139, *б, в, г, д*).

Так штампуют партию коленчатых валов. После штамповки валы подогревают до температуры 950° С, после чего производят обрезку заусенца (рис. 139, *е*) в специальном обрезном штампе.

При секционной штамповке данного вала в каждой секции требуется усилие, равное примерно 10 000 *Т* (100 *Мн*), а при обычной штамповке вала потребовалось бы усилие 30 000 *Т* (300 *Мн*).

Штамповка в высадочном раздвижном штампе [40, 126]. Схема процесса по способу французской фирмы Шнейдер — Крезо показана на рис. 140. Заготовку зажимают на участке коренных и шатунной шейки одного колена вала (рис. 140, *а*), после чего производят высадку (рис. 149, *б*) и затем высадку с одновременной гибкой (рис. 140, *в*). После получения одного колена заготовку перемещают вдоль оси для изготовления второго колена, причем одновременно разворачивают вокруг оси на требуемый угол разворота колен, производят штамповку второго колена и т. д. На заготовке можно получить также фланец или одновременно два фланца. Для достижения этого процесс высадки не должен сопровождаться гибкой (гибка по схеме рис. 140, *в* — отсутствует).

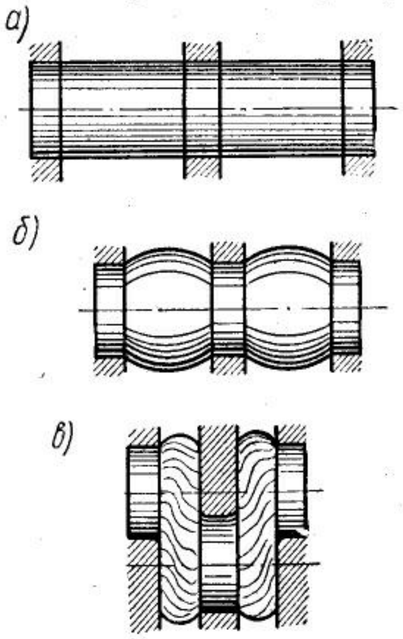


Рис. 140. Схема штамповки коленчатых валов в высадочном раздвижном штампе

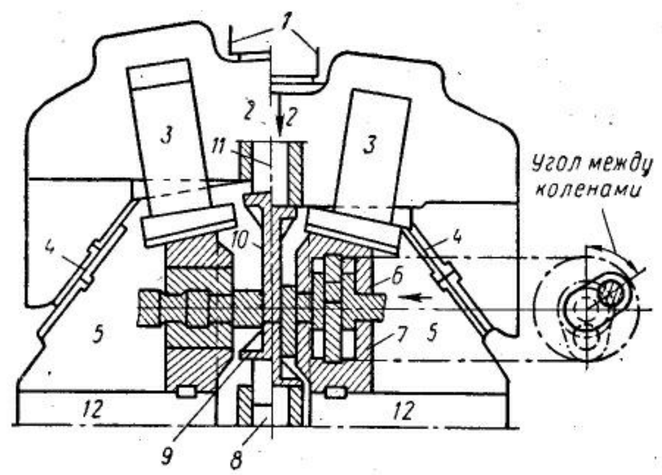


Рис. 141. Схема высадочного раздвижного штампа для секционной штамповки коленчатых валов

Схема штампа, на котором можно осуществить данный процесс, показана на рис. 141. Плита *12* располагается на столе пресса. Верхняя плоскость плиты *12* является направляющей для боковых ползунов *5*,

с помощью которых высаживаются щеки колена вала. В ползунах *5* установлены нижние вставки *7* для зажатия коренных шеек колена. Головка *2* соединяется с поперечиной пресса *1* и имеет угловые выступы, которые снабжены наклонными клиновыми плоскостями *4*, соприкасающимися с боковыми наклонными плоскостями ползунов *5*. В головке *2* установлены вспомогательные, наклоненные к вертикальной оси, цилиндры *3*, к ползунам которых крепятся верхние вставки *6* для зажатия коренных шеек колена. При их зажатии верхние вставки *6* останавливаются, а головка *2* продолжает двигаться вниз. Боковые ползуны *5* двигаются навстречу друг другу, и происходит высадка щек колена вала.

В центре плиты *12* помещен гидравлический цилиндр *8*, на котором расположена нижняя вставка *9*, служащая для зажатия шатунной шейки колена. Сверху шатунная шейка зажимается вставкой *10*, которую крепят либо непосредственно к голове *2*, либо к плунжеру гидроцилиндра *11*, установленного в головке *2*. При закреплении вставки *10* непосредственно к головке *2* работу производят без высадки. В случае работы с высадкой применяют гидроцилиндр с плунжером *11*, ход которого во время процесса можно регулировать. Когда верхняя головка *2* опускается вниз, плунжер *11* будет оставаться неподвижным или перемещаться вниз с определенной скоростью.

ГЛАВА VI

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКЕ

§ 24. РАЗВИТИЕ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ В СССР

Объемная горячая штамповка возникла из свободной ковки, в которой имелись отдельные признаки штамповки, например, при применении фигурных обжимок, штамповке в подкладных штампах отдельных частей поковки, а также целых поковок. Последняя, по существу, является настоящей штамповкой и только производится на оборудовании для свободной ковки.

Объемная штамповка появилась намного позже свободной ковки. В России процесс горячей штамповки впервые был применен на Тульском оружейном заводе, основанном в 1712 г. по указу Петра I. Здесь кузнец-оружейник В. А. Пастухов в 1817 г. отштамповал первую партию курков в подкладных штампах на винтовом вертикальном прессе с маховым рычагом массой более 2 *т*. На Сестрорецком заводе (под Ленинградом) примерно в то же время применялся процесс калибровки-выглаживания откованных вручную железных деталей, а также производилась вальцовка сабельных клинков и штыков.

В 1819 г. на Тульском оружейном заводе уже существовала одноручьевая штамповка ряда железных оружейных деталей, причем для некоторых деталей применяли штамповку с последующей правкой после обрезки заусенца. Производили даже повторную штамповку со вторичной обрезкой заусенца. Штамповку производили под молотами простого действия, а обрезку и прошивку отверстий осуществляли на винтовых прессах [27].

В начале второй половины XIX в. появились паровые молоты, что привело к коренному усовершенствованию объемной штамповки. В начале XX в. появляются горизонтально-ковочные машины, и область объемной штамповки еще более расширяется.

До Великой Октябрьской социалистической революции горячая штамповка в России, как и многие другие виды обработки, была в отсталом состоянии.

Бурно развивалась штамповка в годы Советской власти и особенно в годы первых пятилеток. В 1928 г. начал работать первый кузнечный цех горячей штамповки на Кировском заводе в Ленинграде. Еще большее развитие штамповка получила после Великой Отечественной войны. За эти годы у нас в стране получают распространение новые виды штамповки: штамповка на кривошипных горячештамповочных прессах, штамповка на мощных гидравлических прессах, штамповка на молотах в закрытых штампах, точная объемная штамповка и т. д.

Сейчас в СССР существуют большие заводы массового и крупносерийного производства, такие, как Волгоградский, Челябинский и Харьковский тракторные заводы, Московский, Волжский и Горьковский автозаводы и другие, на которых под объемную штамповку отведены крупные специальные цехи, оснащенные современным штамповочным оборудованием.

Есть также целые кузнечно-штамповочные заводы, которые поставляют поковки другим заводам. Объемной штамповкой изготавливают разнообразные поковки, номенклатура которых составляет десятки тысяч наименований, а общая масса несколько миллионов тонн в год,

Ввиду значительного увеличения выплавки стали в СССР и тенденции к увеличению серийности производства объемная штамповка должна получить еще большее распространение.

§ 25. СУЩНОСТЬ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ И ОБЛАСТЬ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Объемная штамповка — одна из основных разновидностей обработки металлов давлением. Объемной штамповкой изготавливают заготовки для ответственных деталей автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных машин, железнодорожных вагонов, самолетов, станков, швейных машин, а также слесарного и медицинского инструмента и многих других деталей.

Объемная штамповка заключается в формоизменении заготовки в штампах под действием внешних сил. Штамп представляет собой специальный инструмент с полостью, которая называется ручьем (рис. 142). В полость нижней части штампа (нижнего штампа) устанавливают исходную заготовку, которая деформируется при движении верхнего штампа вниз. Течение металла заготовки в ручье штампа встречает сопротивление стенок и сил трения, в результате чего металл заполняет объем ручья. Излишек металла вытекает в разъем между штампами и образуется заусенец. Отштампованная заготовка называется штампованной поковкой или просто поковкой. Поковка представляет собой точную копию ручья штампа.

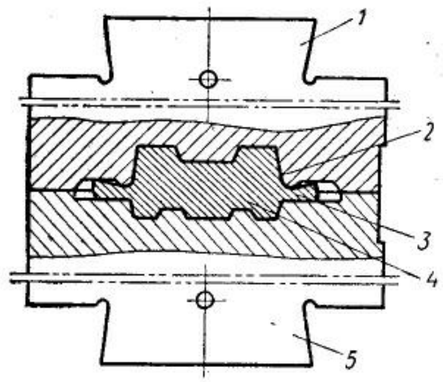


Рис. 142. Открытый молотовой штамп:

1 — верхний штамп; *2* — стенка ручья (полости) штампа; *3* — заусенец; *4* — поковка; *5* — нижний штамп

Если исходная заготовка нагрета до ковочной температуры, то происходит объемная горячая штамповка. Если заготовка не нагрета, то имеет место объемная холодная штамповка. Далее излагается объемная горячая штамповка или просто горячая штамповка.

В качестве машин-орудий для объемной горячей штамповки применяют главным образом штамповочные молоты и прессы различной конструкции.

Последовательность технологического процесса изготовления штампованной поковки следующая: резка исходного металла на заготовки, нагрев заготовок, штамповка, обрезка заусенца, термообработка поковок, очистка от окалины, правка и контроль поковок.

Исходным материалом для объемной штамповки, как уже указывалось, служат прокатанные или прессованные прутки, обычно диаметром более 20 *мм*. Для объемной штамповки чаще всего используют углеродистую или низколегированную сталь, но штампуют также цветные металлы и сплавы.

В книге рассматривается в основном объемная штамповка стали, изложены наиболее существенные вопросы технологии штамповки на различных машинах, а также операции холодной обработки давлением (например, калибровка), которым подвергают поковки, полученные штамповкой. Кроме того, рассмотрены завершающие операции, которые производятся в кузнечных цехах. К ним относятся обрезка заусенца (облоя), очистка поковок от окалины, правка поковок, контроль поковок и т. п.

§ 26. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

Преимущества объемной штамповки:

1. Более высокая производительность, которая составляет десятки и сотни поковок в час, т. е. в несколько раз выше, чем производительность свободной ковки.

2. Объемной штамповкой можно получать без напусков поковки сложной конфигурации, которые нельзя без напусков изготовить свободной ковкой.

3. Объемная штамповка позволяет получать поковки со значительно меньшими допусками, чем свободная ковка. При точной объемной штамповке допуски можно довести до долей миллиметра и подвести под классы точности. Припуски также уменьшены. Поковки, получаемые штамповкой, подвергают механической обработке лишь по поверхностям сопряжения со смежными деталями. Остальные поверхности имеют достаточную чистоту.

4. При объемной штамповке получают экономию металла по сравнению со свободной ковкой и литьем.

Обычно при объемной штамповке имеется дополнительный отход металла в заусенец, масса которого составляет от 10 до 30% и более от массы поковки. Несмотря на это достигается экономия металла по сравнению со свободной ковкой, так как напуски, припуски и допуски при штамповке значительно меньше, чем при свободной ковке.

5. Поковки, получаемые объемной штамповкой, обладают высокой ударной вязкостью (более высокой, чем у отливок). Поэтому ответственные детали машин изготавливают из поковок.

6. Работа штамповщика более проста по сравнению с работой кузнеца свободной ковки. Обучение работе производится быстрее.

Но существуют следующие недостатки:

1. Объемной штамповкой в настоящее время изготавливают в основном сравнительно небольшие, ограниченные по массе от 0,5 до 20—30 *кг* и размерам поковки. Поковки массой в 100 *кг* для объемной штамповки считаются крупными. Но в последнее время на гидравлических прессах стали штамповать поковки массой более одной тонны, а на бесшаботных молотах (энергия удара 100 000 *кГ · м* (1000 *кдж*) поковки массой до 3,5 *т* (*Мг*).

2. Для объемной штамповки требуются гораздо большие усилия деформирования, чем для свободной ковки, так как при штамповке одновременно деформируется не часть поковки, а вся поковка, и течение металла затрудняется сопротивлением стенок полости штампа Возникают большие давления и потребные усилия. Ограниченность поковок по весу и габаритам при штамповке как раз и объясняется необходимостью больших потребных усилий.

3. Для горячей штамповки необходим специальный инструмент — штамп, пригодный для изготовления только одинаковых конкретных поковок. Штамп, сделанный из специальной стали, является более сложным и дорогим, чем универсальный инструмент, применяемый при свободной ковке. Расходы на инструмент входят в стоимость поковок и поэтому чем больше поковок изготавливают на одном штампе, тем они дешевле. При массовом и крупносерийном производстве объемная штамповка является безусловно более рентабельной, чем свободная ковка. В серийном производстве при подсчете рентабельности надо учитывать стоимость изготовления поковки объемной штамповкой и свободной ковкой, а также стоимость последующей механической обработки штампованной и кованой поковок.

В мелкосерийном и единичном производстве объемная штамповка не рентабельна.

§ 27. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ И ШТАМПОВ

Объемная штамповка подразделяется на различные виды в зависимости от оборудования, на котором она производится, типа штампа, типа заготовки, способа установки заготовки в штампе и других факторов.

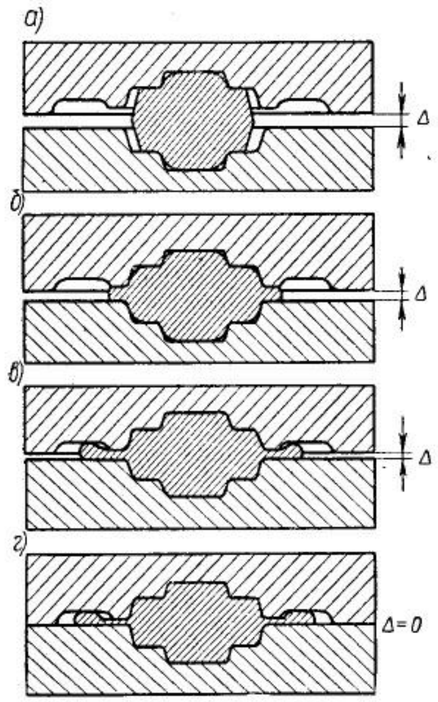


Рис. 143. Схема штамповки в открытом штампе:

а, б, в, г — этапы штамповки

В зависимости от оборудования объемная штамповка подразделяется на следующие виды: штамповка на молотах; штамповка на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ); штамповка на кривошипных горячештамповочных прессах (КГШП); штамповка на фрикционных прессах; штамповка на гидравлических прессах; штамповка на специальных машинах (ковочные вальцы, горизонтально-гибочные машины, вертикально-ковочные машины, ротационно-обжимные и радиально-обжимные машины, электровысадочные машины и раскаточные машины).

В зависимости от типа штампа штамповка подразделяется на штамповку в открытых штампах; штамповку в закрытых штампах; штамповку в штампах для выдавливания.

Тип штампа определяет течение металла и в этом смысле данное подразделение штамповки на виды следует считать основным.

Штамповка в открытых штампах характеризуется тем, что штамп в процессе деформирования остается открытым (рис. 143). Зазор Δ между подвижной и неподвижной частями открытого штампа является переменным. В этот зазор вытекает заусенец, высота которого в процессе деформирования меняется. Вытекающий заусенец при деформировании закрывает выход из полости штампа и заставляет металл целиком заполнять всю полость. Кроме этого, в конце деформирования в заусенец выжимаются все излишки металла, находящиеся в полости. Поэтому заготовку можно нарезать неточно, с избытком металла.

Штамповка в открытых штампах наиболее распространена и производится на различных машинах: молотах, кривошипных горячештамповочных прессах, гидравлических прессах, фрикционных прессах и т. д.

Штамповка в закрытых штампах характеризуется тем, что штамп в процессе деформирования остается закрытым (рис. 144). Зазор Δ между подвижной и неподвижной частями штампа в процессе деформирования постоянный и очень небольшой. Он служит только для создания подвижности одной части штампа относительно другой и предохраняет штампы от заклинивания. Через него в конце штамповки металл может вытекать в торцевой заусенец, что указывает на избыток металла в заготовке и вызывает большие напряжения в полости и излишний износ ее.

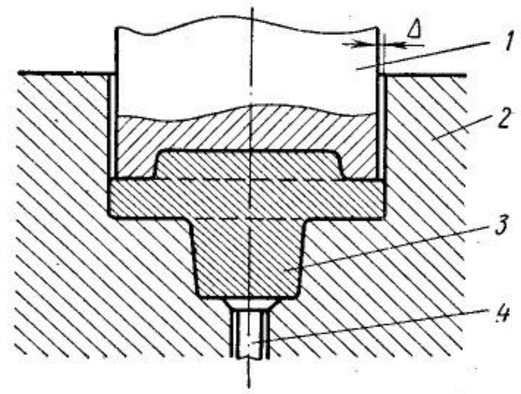


Рис. 144. Закрытый штамп:

1 — подвижная часть штампа (пуансон); *2* — неподвижная часть штампа (матрица); *3* — поковка; *4* — выталкиватель

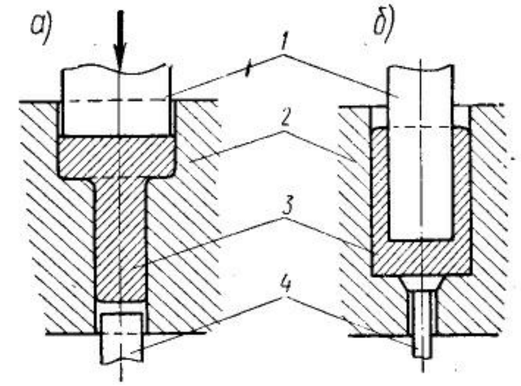


Рис. 145. Схема штамповки в штампах для выдавливания:

а — штамповка прямым выдавливанием; *б* — штамповка прошивкой; *1* — пуансон; *2* — матрица; *3* — поковка; *4* — выталкиватель

Штамповка в закрытых штампах производится главным образом на ГКМ. В последнее время получает распространение молотовая штамповка в закрытых штампах, которую иначе называют безоблойной штамповкой. Закрытые штампы применяют также на кривошипных горячештамповочных прессах.

Штамповка в штампах для выдавливания (рис. 145) характеризуется тем, что штамп имеет глубокие полости, которые заполняются выдавливанием. Штамповка выдавливанием производится преимущественно на гидравлических прессах, кривошипных горячештамповочных прессах и горизонтально-ковочных машинах.

В зависимости от количества ручьев в штампе различают штамповку в одноручьевых штампах и штамповку в многоручьевых штампах.

При многоручьевой штамповке штамп имеет несколько ручьев, в которых заготовка постепенно приобретает форму поковки.

В зависимости от типа заготовки различают штамповку от штучной заготовки; штамповку от кратной заготовки; штамповку от прутка.

При штамповке от штучной заготовки из заготовки получают только одну поковку.

При штамповке от кратной заготовки из заготовки получают последовательно определенное число поковок (2—4 шт.).

При штамповке от прутка получают несколько штук поковок (5—7 и более), после чего конец прутка снова нагревается и штамповка продолжается.

В зависимости от установки заготовки в штампе штамповка подразделяется на штамповку с направлением деформирующего усилия перпендикулярно к оси заготовки (штамповка плашмя) и штамповку осадкой в торец (или высадкой).

При штамповке плашмя ось заготовки располагают перпендикулярно к движению деформирующего инструмента, а при штамповке осадкой в торец ось заготовки устанавливают по направлению движения деформирующего инструмента.

Кроме перечисленных видов штамповки существуют расчлененная штамповка, одноштучная штамповка, многоштучная штамповка и др.

При расчлененной штамповке процесс штамповки разделяется и штамповка производится в нескольких штампах, устанавливаемых на отдельных машинах.

При одноштучной штамповке в штампе существует один окончательный ручей, в котором одновременно получают одну поковку. Обычно штамповка является одноштучной.

При многоштучной штамповке в штампе выполняют несколько окончательных ручьев, расположенных в ряд и используемых для получения сразу нескольких поковок. Многоштучную штамповку применяют при коротких мелких поковках.

§ 28. ОСНОВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ И ДРУГИХ ОПЕРАЦИЙ В ЦЕХАХ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

Для объемной штамповки и последующей отделки штампованных поковок применяют различное оборудование. Схемы основного оборудования показаны на рис. 146.

Паровоздушные штамповочные молоты (рис. 146, *а*) согласно ГОСТ 7024—65 имеют массу падающих частей от 630 *кг* до 25 *т* с соответствующей энергией удара от 1600 до 63 000 *кГ · м* (16 ÷ 630 *кдж*). Расстояние между направляющими в свету *В* составляет от 400 до 1320 *мм*, а наименьшее расстояние *Н* от бабы (в крайнем нижнем положении) до штамподержателя — от 180 до 600 *мм*. Расстояние *Н* определяет минимальную высоту штампов.

Штамповочные фрикционные молоты с доской (рис. 146, *б*) имеют массу падающих частей от 500 до 1500 *кг* при максимальном ходе

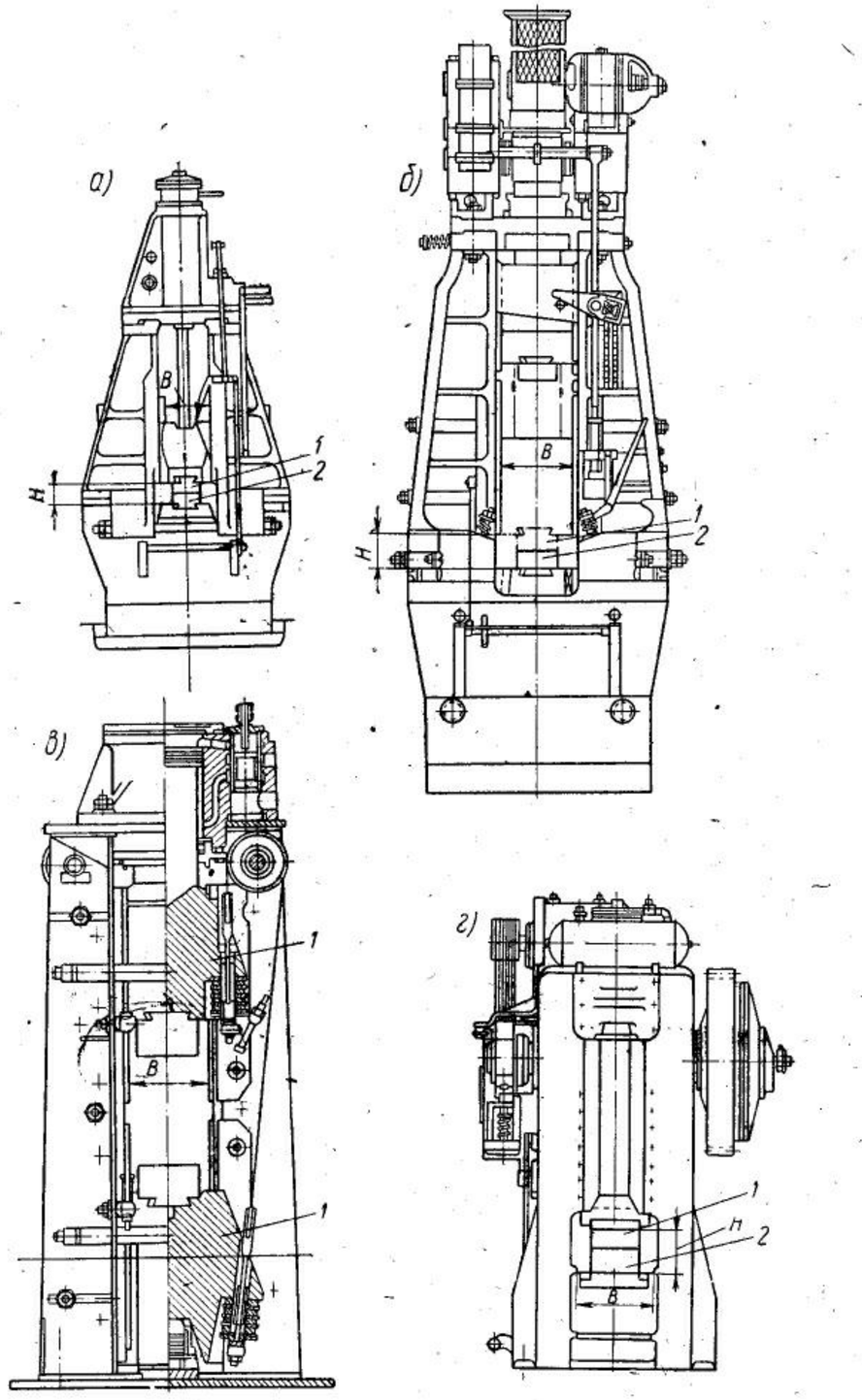


Рис. 146. Основное оборудование кузнечно-штамповочных цехов:

а — молот паровоздушный; *б* — молот с доской; *в* — молот с двусторонним ударом; *г* — кривошипный горячештамповочный пресс

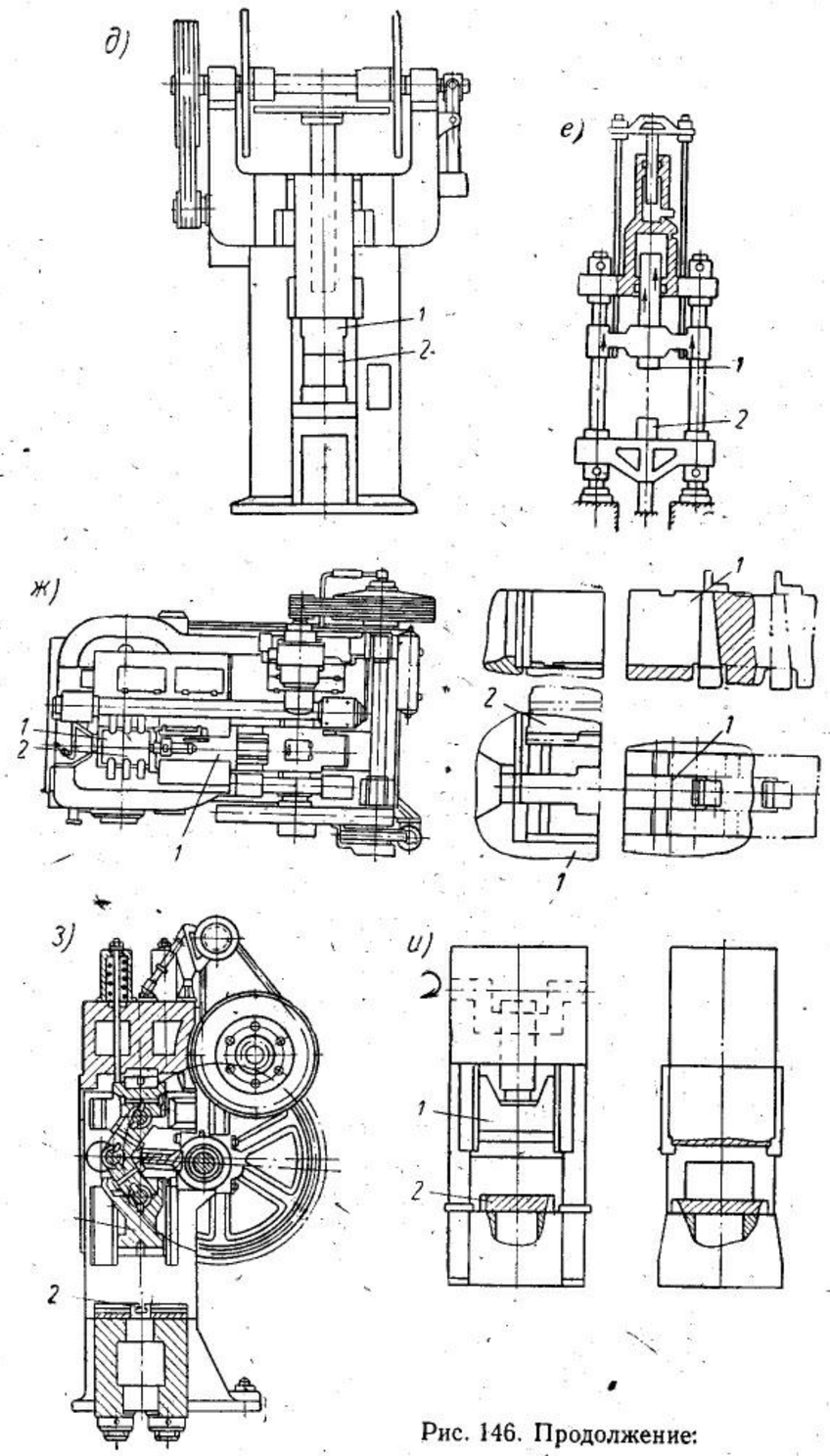


Рис. 146. Продолжение:

д — винтовой фрикционный пресс; *е* — гидравлический пресс; *ж* — горизонтально-ковочная машина в плане и ее штамповое пространство; *з* — чеканочный пресс (боковой разрез); *и* — кривошипный обрезной пресс; *1* — подвижные части штампов и машин и *2* — неподвижные части

падающих частей от 1400 до 1500 *мм* [42], причем ход можно регулировать, уменьшая его до 900 *мм*. Расстояние *B* составляет от 450 до 660 *мм*, а наименьшая высота штампов $H = 180 \div 260$ *мм*.

Штамповочные молоты с двусторонним ударом или, как их часто называют, бесшаботные молоты имеют различную конструкцию. Чаще встречается конструкция с ленточной связью (рис. 146, *в*).

Эти молоты характеризуются энергией удара, которая колеблется от 1000 до 45 000 *кГ · м* (10 ÷ 450 *кдж*). Расстояние *B* у этих молотов равно 750 ÷ 1200 *мм*, а наименьшая высота штампа без хвостовиков — 350 ÷ 575 *мм*. Если разделить энергию удара бесшаботного молота пополам, то примерно получится масса падающих частей эквивалентного паровоздушного штамповочного молота, так как энергия удара последнего численно в два, два с половиной раза больше массы падающих частей.

Кривошипные горячештамповочные прессы (рис. 146, *г*) согласно ГОСТ 6809—53 имеют номинальное усилие от 630 до 8000 *Т* (6,3 ÷ ÷ 80 *Мн*) и ход ползуна от 200 до 500 *мм*. Штамповая высота *H* при нижнем положении ползуна и верхнем положении клиновой подушки колеблется от 560 до 1240 *мм*. Размеры стола следующие: ширина *B* — от 640 до 2100 *мм* и длина *L* — от 820 до 2150 *мм*. Для штамповки выдавливанием эти же прессы имеют усилие от 400 до 4000 *Т* (4 ÷ ÷ 40 *Мн*) и повышенную величину хода ползуна.

Винтовые фрикционные прессы (рис. 146, *д*) по ГОСТ 713—49 имеют номинальное усилие от 40 до 630 *Т* (400 ÷ 6300 *кн*) и энергию удара от 125 до 8000 *кГ · м* (1,25 ÷ 80 *кдж*). Наибольший ход ползуна составляет 240 ÷ 600 *мм*. Расстояние *B* колеблется от 310 до 740 *мм*, а наименьшее расстояние *H* между столом и ползуном пресса в крайнем нижнем положении от 170 до 430 *мм*. Расстояние *H* определяет минимальную высоту штампов.

Гидравлические прессы (рис. 146, *е*) обычно имеют четырехколонную или рамную станину. Номинальные усилия прессов колеблются от 100 до 10 000 *Т* (1 ÷ 100 *Мн*), но имеются прессы с усилиями 15 000, 20 000, 30 000, 50 000 и даже 70 000 *Т*.

Горизонтально-ковочные машины (рис. 146, *ж*, показана в плане) согласно ГОСТ 7023—56 имеют номинальное усилие от 100 до 3150 *Т* (1 ÷ 31,5 *Мн*).

Чеканочные (калибровочные) кривошипно-коленные прессы (рис. 146, *з*) по ГОСТ 5384—64 имеют номинальное усилие от 100 до 4000 *Т* (1 ÷ 40 *Мн*) при ходе ползуна от 95 до 200 *мм*.

Для обрезки заусенца после штамповки применяют кривошипные и гидравлические обрезные прессы. Кривошипные прессы закрытые простого действия по ГОСТ 10026—62 имеют номинальное усилие от 100 до 2500 *Т* (1 ÷ 25 *Мн*) (рис. 146, *и*).

ГЛАВА VII

ШТАМПОВКА В ОТКРЫТЫХ ШТАМПАХ НА МОЛОТАХ

§ 29. СПОСОБЫ ШТАМПОВКИ

Штамповка в открытых штампах на молотах широко распространена. Для штамповки в основном используют паровоздушные штамповочные молоты. Молотовой открытый штамп показан на рис. 142. Верхний штамп *1* крепится к бабе, а нижний — к штамподержателю, закрепленному на шаботе. Ход у молота нежесткий, поэтому штамп конструируют так, чтобы при последнем ударе его половинки сомкнулись по плоскости соударения. Практически кузнец старается, чтобы соударения не было, так как частые соударения могут привести к разрушению штампа. Между штампами остается небольшой зазор, в результате чего поковка получает несколько большую массу, чем номинальная.

Объемную штамповку на молотах производят из катаной и кованой заготовок. Кроме этого, существует расчлененная штамповка.

Штамповку катаной заготовки делают в многоручьевом штампе. В нем выполняют заготовительные ручьи для придания заготовке переходных форм перед штамповкой в окончательном ручье. В заготовительных ручьях, располагаемых на краях штампа, заготовка получает форму, необходимую для успешной штамповки в окончательном ручье. Штамповку производят быстро, с одного нагрева. Заготовка последовательно деформируется в ручьях штампа. Производительность при этом способе очень высокая, вследствие чего он находит в СССР наибольшее применение. Однако штамповка из катаной заготовки имеет ряд недостатков, среди которых следует упомянуть большую сложность и высокую стоимость штампа, так как в штампе имеется несколько ручьев, а также эксцентричную нагрузку на молот при штамповке заготовки в эксцентрично расположенных заготовительных ручьях.

Штамповка кованой заготовки заключается в том, что в штампе делают один окончательный ручей, а заготовку предварительно отковывают на другом оборудовании. Чаще всего этим другим оборудованием является один или два ковочных пневматических молота, которые располагают рядом со штамповочным молотом. На ковочном молоте устанавливают специальные бойки по типу вырезных, в которых отковывают заготовку и с того же нагрева передают ее на штамповку. Согласовать работу ковочного и штамповочного оборудования очень сложно и поэтому неизбежна потеря производительности. Кроме этого, необходимы один или два дополнительных кузнеца для работы на

ковочных молотах. Все это снижает производительность труда. Однако штамп получается очень простым и дешевым.

Расчлененную штамповку производят в штампах, которые устанавливают на рядом стоящих молотах. Штамповка идет с одного нагрева с передачей заготовки последовательно со штампа на штамп. Этот способ применим только в массовом стабильном производстве, так как частая переналадка всей линии молотов с одной поковки на другую практически невозможна.

Объемную штамповку на молотах в зависимости от способа расположения заготовки в окончательном ручье подразделяют на *штамповку осадкой в торец* и *штамповку плашмя*. Выбор способа штамповки осадкой в торец или плашмя определяется формой поковки. В свою очередь, способ штамповки определяет течение металла при штамповке.

§ 30. ТЕЧЕНИЕ МЕТАЛЛА ПРИ ШТАМПОВКЕ НА МОЛОТАХ

Как видно из схемы штамповки (см. рис. 143, *а, б, в, г*), металл заготовки затекает в углубления в ручье штампа, заполняя их. Для разработки технологии штамповки важно знать, как заполняет металл углубления в полости штампа и каковы особенности его течения при штамповке на молотах.

При штамповке на молоте деформирование происходит за несколько ударов. После каждого удара баба молота уходит вверх и в процессе деформирования наступает перерыв. Деформирование происходит с большой скоростью. В начале удара скорость бабы более 6 *м/сек*.

Еще исследованиями Гофмейстера Г. было установлено, что металл лучше заполняет полости верхнего штампа, чем нижнего. Опыты показали, что в центральную цилиндрическую полость верхнего штампа металл затекает на глубину, в два раза превышающую глубину втекания в такую же полость нижнего штампа. Причина лучшего течения металла вверх усматривалась в том, что металл более длительное время соприкасается с нижним штампом, и нижняя поверхность заготовки сильно охлаждается. Было высказано предположение, что причина заключается также в характере удара. Впоследствии ряд авторов ошибочно утверждали, что лучшее течение металла вверх заключается в действии инерционных сил при ударе, помогающих течению металла вверх. Однако эксперименты и теоретические расчеты напряжений, возникающих от действия инерционных сил, показали, что влияние сил инерции при обычных условиях незначительно [131].

Как было указано, деформирование заготовки происходит за несколько ударов. Интенсивное охлаждение контактной поверхности заготовки происходит в момент удара при плотном контакте между заготовкой и стенками ручья. Когда баба молота уходит вверх и затем падает вниз, охлажденные поверхности заготовки прогреваются теплотой внутренних слоев заготовки. Этот прогрев происходит неравномерно. Верхняя часть поковки прогревается быстрее, так как омывается воздухом, плохим проводником тепла, а нижняя часть поковки лежит в ручье и, хотя ее контакт с нижним штампом неплотный, все же охлаждение поверхности заготовки происходит более интенсивно, чем в слу-

чае омывания заготовки воздухом. При следующем ударе молота верхние слои заготовки, как более прогретые, деформируются лучше, чем нижние. Однако и нижние слои перед последующим ударом имеют более высокую температуру, чем в конце предыдущего. Поэтому металл хорошо заполняет как верхнюю, так и нижнюю полости при лучшем течении в верхнюю полость.

Существенное значение для хорошего течения металла при штамповке под молотом имеет крайне малое время удара, т. е. самого процесса деформирования, в течение которого как раз и наблюдается интенсивное охлаждение поверхности заготовки. Время удара обычно не превышает 0,01 *сек*, при этом охлаждение заготовки незначительно.

Облегчает течение металла при штамповке на молоте также то обстоятельство, что после каждого удара окалина отваливается от поверхности заготовки и выдувается из штампа. Наличие окалины увеличивает коэффициент трения металла заготовки по стенкам штампа.

Хорошее заполнение полостей при штамповке под молотом, по-видимому, объясняется также тем обстоятельством, что распространение пластической деформации при ударе начинается с контактных поверхностей и за короткое время удара не успевает проникать во внутренние слои заготовки, а при деформировании только контактных слоев как раз и возникают благоприятные условия для заполнения полостей. Металл стремится течь вверх и вниз и менее интенсивно в ширину.

§ 31. РАЗРАБОТКА ЧЕРТЕЖА МОЛОТОВОЙ ПОКОВКИ

При разработке технологического процесса объемной штамповки отправным пунктом является деталь, которую нужно получить. Конфигурация и размеры детали в основном определяют схему технологического процесса штамповки. По чертежу детали составляют чертеж поковки. От правильной разработки чертежа поковки зависит сложность, а иногда и возможность ее рационального изготовления.

Разработку чертежа поковки выполняют в следующей последовательности:

выбирают поверхность разъема;
назначают припуски, допуски и напуски;
определяют штамповочные уклоны и строят линию разъема;
определяют радиусы закруглений;
в поковках с отверстиями конструируют наметки под прошивку и определяют размеры пленки под прошивку;
решают вопросы конструирования, связанные с расположением волокон в поковке, приемами и удобствами штамповки, с расположением баз последующей механической обработки, мест клеймения, мест испытания на твердость и т. п.

Выбор поверхности разъема. Поверхностью разъема называется поверхность, по которой штампы соприкасаются между собой. Ее следует выбирать в виде плоскости или сочетания плоскостей и воздерживаться от выбора криволинейной поверхности.

Обычно поверхность разъема является плоскостью и в дальнейшем мы будем употреблять также термин плоскость разъема.

Линией разъема называется замкнутая линия (и ее проекция), образуемая по поверхности разъема в стыке двух частей полости окончательного ручья. Линия разъема проходит по наружному контуру поковки.

При выборе плоскости разъема прежде всего нужно учитывать требование свободной выемки поковки из верхнего и нижнего штампов. Желательно, чтобы плоскость разъема совпадала с плоскостью двух наибольших габаритных размеров детали. Тогда третий наименьший габаритный размер будет высотой детали. При этом полости штампа будут иметь наименьшую возможную глубину и наибольшую ширину и длину, что обеспечивает прочность штампа, легкость его изготовления и хороший выем отштампованной поковки из неглубокой полости.

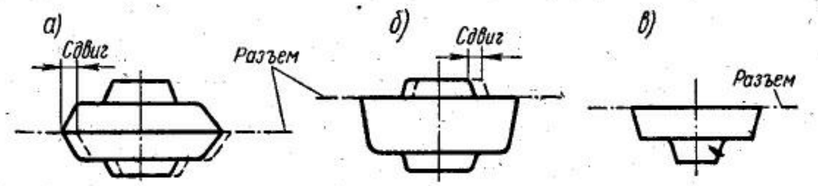


Рис. 147. Плоскость разъема штампов:

а — назначена правильно, сдвиг обнаруживается при обрезке заусенца; *б* — назначена неправильно, сдвиг при обрезке заусенца не обнаруживается; *в* — возможное расположение при односторонней бобышке

Если поковка несимметричная, то глубокие полости должны располагаться в верхнем штампе, так как металл течет вверх лучше.

При выборе поверхности разъема следует учитывать: возможность контролирования сдвига между верхним и нижним штампами по внешнему виду поковки после обрезки заусенца и возможность получения наиболее простой формы линии разъема, что упрощает и удешевляет обрезной штамп.

Для возможности контроля сдвига между верхним и нижним штампами необходимо, чтобы плоскость разъема пересекала вертикальную поверхность поковки (рис. 147). Тогда линия разъема в верхнем и нижнем штампах будет одинаковой и при обрезке заусенца сдвиг немедленно обнаружится, так как при сдвиге будет срезаться часть сдвинутой верхней вертикальной поверхности поковки. Если на детали только одна бобышка, то поверхность верхнего штампа можно выбрать гладкой, а поковку расположить только в нижнем штампе (рис. 147, *в*). Но в этом случае при удалении заусенца возникают затруднения, так как остаются острые кромки и получается некачественный срез.

При выборе плоскости разъема следует учитывать и другие факторы, например удобство и качество последующей обрезки заусенца, необходимость уравновешивания сдвигающих усилий, возникающих при штамповке изогнутых поковок и др.

Установление припусков, допусков и напусков. Штамповкой нельзя получить абсолютно точные поковки. Поэтому назначают допуски.

Допуски учитывают недоштамповку поковки по высоте, износ ручья штампов, сдвиг штампов и другие факторы. Если шероховатость поверхности и точность поковки, обусловленные допусками, удовлетворяют требованиям, предъявляемым к готовой детали, то больше никаких припусков не назначают. Если допуски или шероховатость поверхности оказываются неудовлетворительными, то рассматривают возможность получения более точных поковок с применением калибровки (чеканки), улучшения самого процесса штамповки и нагрева и т. д. Если этого недостаточно, то назначают припуски на последующую механическую обработку. В припуски входят дефектный слой металла, вмятины от окалины, искривление поковки, обезуглероженный слой и т. д. Этот дефектный слой удаляется при механической обработке. При требуемой более высокой точности назначается дополнительный припуск на дополнительную механическую обработку, например на шлифовку. Кузнечный припуск на сторону включает также и отрицательный допуск на сторону. Поэтому припуск и допуск взаимно связаны и зависят друг от друга. Припуски назначают только на отдельные поверхности поковки, в большей части поверхности сопряжения с другими деталями.

Припуски и допуски при объемной штамповке из стали назначают по ГОСТ 7505—55, который предусматривает припуски и допуски на четыре группы точности в зависимости от требуемой точности детали и серийности ее изготовления. Припуски и допуски по ГОСТ зависят от массы и размеров поковки, а также от применяемого оборудования.

Особое значение имеет допуск на недоштамповку, который определяет положительное отклонение допуска на вертикальные размеры поковки. Это отклонение почти в два раза больше отрицательного отклонения на вертикальные размеры. Обусловливается большая недоштамповка опасностью поломки штампов в случае сильного их соударения, поэтому процесс стараются вести с недоштамповкой, без соударения штампов, но в пределах положительного допуска по высоте.

Следует упомянуть также и о возможности применения допусков на массу поковки, что имеет особое значение в деталях, требующих балансировки в машинах, например в шатунах. В этом случае дают определенные отклонения от номинальной массы поковки. В хорошо отлаженном массовом производстве допуск по массе дает комплексную характеристику точности отштампованных поковок.

По ГОСТ 7505—55 регламентируют также кузнечные напуски. В частности, устанавливается напуск на отверстия при диаметре менее 30 *мм*, так как стойкость выступа для получения выемки в поковке диаметром менее 30 *мм* будет очень мала.

К кузнечным напускам относятся также напуски от штамповочных уклонов.

Установление штамповочных уклонов. На все вертикальные поверхности поковки назначают штамповочные уклоны, которые необходимы для того, чтобы поковку можно было легко и быстро вынуть из штампа после штамповки. Штамповочные уклоны, в частности, облегчают заполнение полости штампа при осаживании.

Различают наружные и внутренние штамповочные уклоны (рис. 148, *а*).

Наружным штамповочным уклоном $\gamma_{нар}$ называется уклон, расположенный на поверхности поковки, которая в процессе остывания поковки отходит от поверхности ручья штампа (рис. 148, *б*).

Внутренний штамповочный уклон $\gamma_{вн}$ располагается на поверхности поковки, которая при остывании прижимается к поверхности штампа (рис. 148, *в*). При этом металл плотно охватывает выступ ручья и снять его с этого выступа весьма затруднительно, если уклон $\gamma_{вн}$

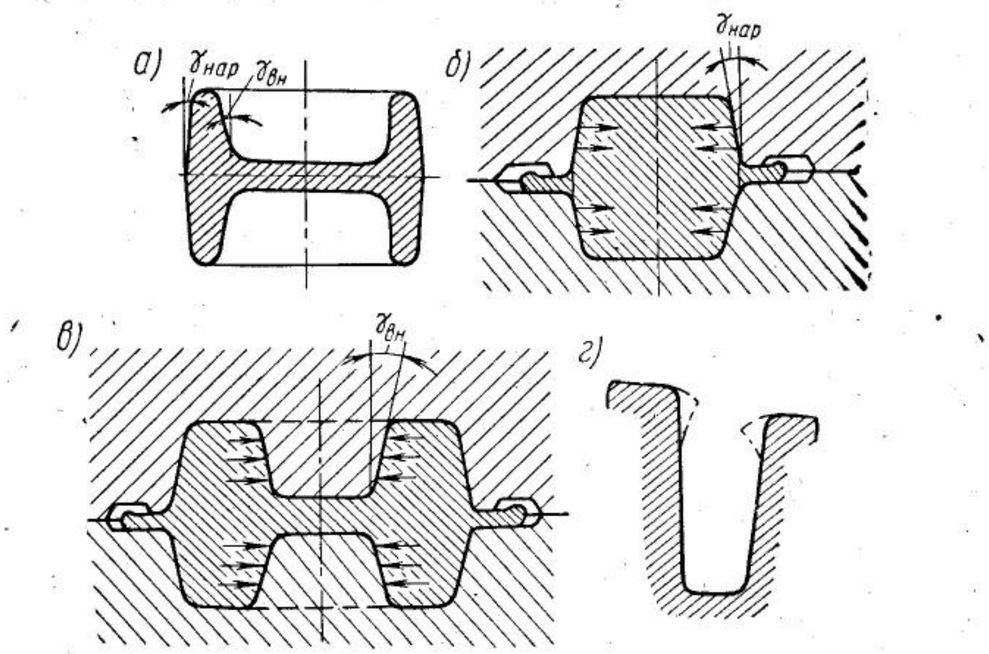


Рис. 148. Наружный $\gamma_{нар}$ и внутренний $\gamma_{вн}$ штамповочные уклоны (*а*); остывание поковки с наружными (*б*) и внутренними (*в*) штамповочными уклонами; осадка кромок полости ручья при недостаточных штамповочных уклонах или радиусах (*г*)

имеет недостаточную величину. При плохом выеме поковки из штампа выступ сильно разогревается, и торцевая часть его при следующей штамповке может подсаживаться, образуя форму в виде гриба. В этом случае снять поковку с выступа еще труднее.

При недостаточном наружном штамповочном уклоне или недостаточных радиусах на входе в полость ручья, кромки полости ручья могут подсаживаться и выемка поковок будет затруднена (рис. 148, *г*).

ГОСТ 7505—55 установлено, что внутренние штамповочные уклоны должны быть больше наружных на $2 \div 3°$, а для наружных штамповочных уклонов в большинстве случаев достаточна величина в $5 \div 7°$.

Величина наружного штамповочного уклона зависит от отношения глубины соответствующей полости к ее ширине. Кроме этого, наружный штамповочный уклон зависит от формы полости в плане, от отношения длины к ширине. Чем больше это соотношение, тем меньше влияние

торцевых стенок полости и меньше может быть выбран штамповочный уклон.

Внутренний штамповочный уклон зависит от тех же факторов, что и наружный, только вместо полости следует рассматривать выступ в штампе.

На величину штамповочного уклона влияют материал поковки, смазка штампов, наличие выталкивателя и другие факторы. Материал поковки и смазка штампов определяют коэффициент трения и силы трения, препятствующие выемке поковки из полости. Чем ниже коэффициент трения, тем меньше можно взять штамповочные уклоны.

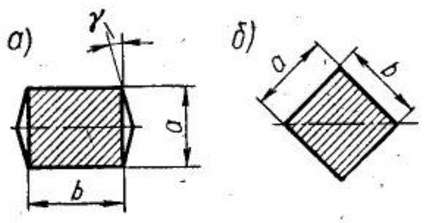


Рис. 149. Поковка прямоугольного сечения, удлиненная в плане:

а — расположение с необходимыми штамповочными уклонами; *б* — штамповочные уклоны, образованные гранями поковки

Чем больше величина штамповочного уклона, тем больше получается напуск металла на поковке. Поэтому уклон стремятся брать меньше. Кроме этого, стремятся унифицировать уклоны, выбирают для одной поковки не более двух-трех штамповочных уклонов.

Так как при изготовлении штампов применяют стандартный набор фрез для нарезания штамповочных уклонов, то применяемые штамповочные уклоны имеют стандартные значения: 3, 5, 7, 10, 12 и 15°. Уклоны больше 15° не применяют, так как в этом нет необходимости. Выбор штамповочных уклонов производят по таблицам [42].

При назначении штамповочных уклонов проверяют, нельзя ли повернуть поковку таким образом, чтобы уклоны были естественными, образованными стенками поковки без дополнительных штамповочных уклонов (рис. 149).

После назначения штамповочных уклонов проводят их корректировку с тем, чтобы линия разъема в верхнем и нижнем штампах была одинаковой. Этого требует обрезка заусенца. Например, если глубина полостей в верхнем и нижнем штампах не одинакова, то линии от штамповочных уклонов вполне могут не сходиться в одну точку на плоскости разъема (рис. 150). В этом случае необходимо соединить точки O и a, получив при этом скорректированный штамповочный уклон $\gamma'_{нар} > \gamma_{нар}$. Если скорректированный уклон $\gamma'_{нар}$ равен стандартному, то никакой дальнейшей корректировки не требуется, а если не равен, то его уменьшают до ближайшего стандартного и проводят его вниз из точки O до пересечения с плоскостью дна полости.

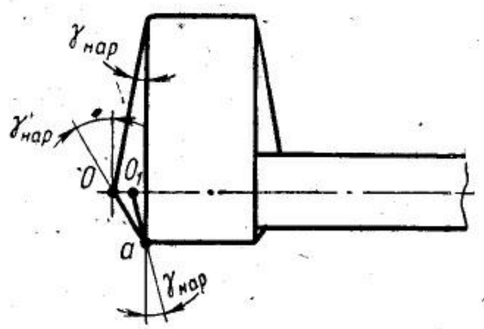


Рис. 150. Корректировка штамповочных уклонов для получения одинаковой линии разъема в верхнем и нижнем штампах

Определение радиусов закруглений. Все пересекающиеся поверхности поковки сопрягаются по радиусам. Радиусы закруглений подразделяют на наружные и внутренние (рис. 151, *а*). Наружные радиусы закруглений r назначают на выступающие части поковки и углы полости штампа. Металл заполняет эти углы полости втеканием. Внутренние радиусы закруглений R назначают на впадины поковки и выступы в полости штампа. При штамповке эти выступы полости обтекаются металлом. Наружные и внутренние радиусы необходимы по ряду причин.

Если не назначать радиусы r или делать их недостаточно большими, то в местах их расположения в штампе возникает большая концентрация напряжений уже при термообработке штампа и в дальнейшем при штамповке, что приводит к быстрому разрушению штампа. Кроме этого, заполнение полости металлом значительно затрудняется и требуются очень высокие удельные усилия для получения качественной поковки

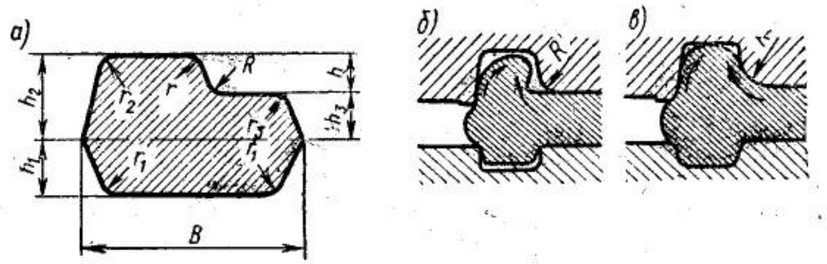


Рис. 151. Радиусы закруглений на поковках

с выполненными малыми радиусами r, что в свою очередь также снижает стойкость штампа. При малых радиусах r появляются разгарные трещины, разрушающие штамп.

Если внутренние радиусы R малы или совсем не сделаны, то уже при термообработке угол выкрошится от концентрации напряжений или он выкрошится и быстро сотрется при штамповке, так как в этом месте происходит интенсивное течение металла. При малом R угол быстро нагревается и может «подсесть», аналогично тому, как это было указано для малых штамповочных уклонов (см. рис. 148, *г*). При этом резко затрудняется выемка поковки из штампа после штамповки, что приводит к застреванию поковки, сильному разогреву штампа и резкому снижению его стойкости. При малом R волокна металла заготовки могут перерезаться и макроструктура детали ухудшится. В некоторых случаях ввиду недостаточной величины R' может получиться зажим (рис. 151, *б*), которого не будет при достаточном R' (рис. 151, *в*).

Наружные радиусы закруглений назначают по ГОСТ 7505—55 в зависимости от массы поковки. Это рекомендуемые радиусы. В принципе радиусы закруглений должны зависеть от тех же факторов, что и штамповочные уклоны. Радиусы выбирают по таблицам в зависимости от отношения глубины h прилегающей полости к ее ширине B и дополнительно от глубины полости, например, r_1 зависит от отношения $\frac{h_1}{B}$ и h_1 (рис. 151, *а*). Внутренние радиусы закруглений примерно в три раза больше соответствующих наружных радиусов, $R \approx 3r$ (рис. 151, *а*)

После этого, как радиусы закруглений выбраны, их надо согласовать с припусками. В наружных и внутренних углах поковки должны остаться припуски, не меньшие, чем на прилегающих участках поковки.

Рассмотрим, как согласуется величина наружного радиуса r с величиной припуска (рис. 152). Если в углу детали не сделан радиус закругления, то очевидно, что для получения нормального $П_н$ или большего припуска в углу поковки достаточно, чтобы $r \leqslant П_н$ (рис. 152, *а*). Уменьшение радиуса r приводит к увеличению припуска в углу поковки.

Если центры радиусов детали $r_д$ и поковки r совпадают, то $r = r_д + П_н$ (рис. 152, *б*) и для получения нормального или увеличенного припуска в углу поковки достаточно, чтобы $r \leqslant r_д + П_н$.

В случае, когда $r_д$ сравнительно мало, а радиус поковки r сравнительно велик, для получения нормального или увеличенного припуска

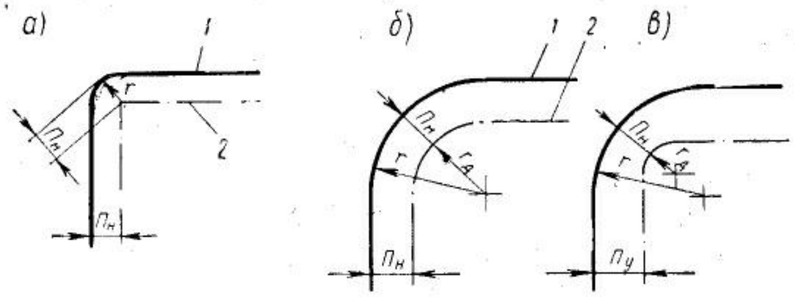


Рис. 152. Схема согласования величины радиусов закруглений с величиной прилегающих припусков:

1 — контур поковки; *2* — контур детали

в углу поковки необходимо, чтобы $r \leqslant r_д + П_н$. Однако это неравенство не удовлетворяется и приходится увеличивать припуск до величины $П_у$, чтобы получить нормальный припуск в углу поковки, т. е. необходимо соблюсти неравенство $r \leqslant r_д + П_у$ (рис. 152, *в*).

Внутренние радиусы поковки R согласуются с припусками по неравенству $R \geqslant r_д + П_в$, так как увеличение радиуса R приводит к увеличению припуска в углу поковки.

Допуски на радиусы закруглений должны быть согласованы с заказчиком.

Конструирование наметок и пленок под прошивку. При штамповке на молотах в молотовом штампе нельзя получить сквозное отверстие в поковке. Для облегчения последующей прошивки в поковке делают наметку с перемычкой — пленкой небольшой толщины. Если в дальнейшем отверстие получают сверлением, то наметка делается для экономии металла.

В зависимости от формы и размеров отверстий и поковок применяют пять типов наметок: плоскую наметку; наметку с раскосом; наметку с магазином; наметку с карманом; глухую наметку.

Плоская наметка показана на рис. 153, *а*. При ее конструировании большое значение имеет правильный выбор толщины пленки

S. В зоне пленки при штамповке происходит деформация осадки с боковым подпором. Величина удельных усилий на выступах, образующих пленку, зависит от отношения диаметра пленки к ее толщине. При малой толщине пленки удельное усилие велико и выступы, образующие наметку, могут быстро «подсаживаться», получая форму гриба. Возможность такой подсадки усугубляется тем, что при малой толщине пленка остывает, и тем самым удельные усилия на выступы увеличиваются еще больше, а сами выступы, находясь в окружении раскаленного металла, быстро нагреваются и теряют твердость и прочность.

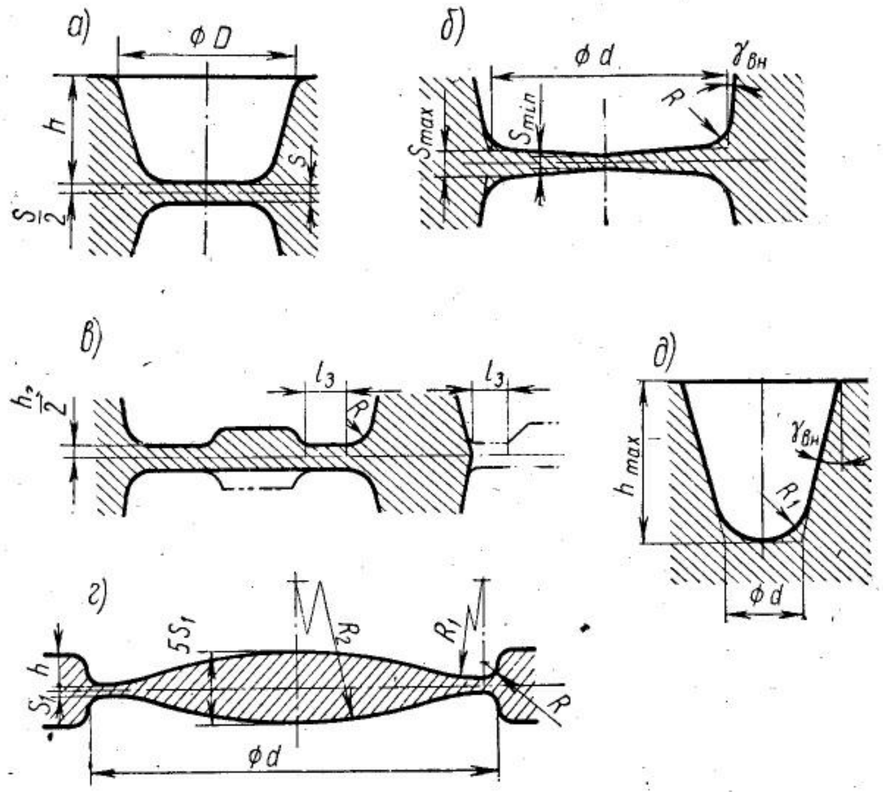


Рис. 153. Разновидности наметок молотовых поковок

При подсадке выступов поковка застревает в штампе, штамп разогревается и стойкость его резко снижается.

Вместе с тем, если толщина пленки слишком большая, то требуются большие усилия для последующей прошивки пленки, которые могут сильно деформировать поковку и затруднить прошивку.

Поэтому необходимо, чтобы величина S имела какие-то оптимальные значения. Практически установлено, что отношение $\frac{S}{D}$ должно быть равно 0,1 или $S = 0{,}1\ D$. Однако толщина пленки не должна быть менее 4 *мм*.

Плоскую наметку применяют при $D < 80$ *мм*. Если имеется предварительный ручей, то плоскую наметку применяют до диаметра $D < 55$ *мм*.

Для диаметров $D > 80$ *мм* при отсутствии предварительного ручья и для наметок в предварительном ручье любых диаметров применяют наметку с раскосом, облегчающим течение металла (рис. 153, *б*). Предварительно рассчитывают величину S как для плоской наметки и вычисляют $S_{max} = 1{,}35\ S$ и $S_{min} = 0{,}65\ S$.

Наметку с магазином (рис. 153, *в*) применяют при диаметрах $D > 55$ *мм* и наличии предварительного ручья, в котором делается наметка с раскосом. В наметке с магазином уменьшается толщина среза при прошивке пленки и не возникает больших удельных усилий, так как металл отжимается в полость магазина.

Наметку с карманом (рис. 153, *г*) применяют при $D > 155$ *мм* и низких поковках со сравнительно малым отношением $\frac{h}{D} < 0{,}07$. Толщину пленки в месте среза при прошивке определяют по формуле $S_1 = 0{,}4\sqrt{d}$. Данную наметку применяют в основном при штамповке в окончательном ручье предварительно осаженных плоских заготовок.

Глухую наметку (рис. 153, *д*) применяют с целью экономии металла, когда глубина наметки получается относительно большой с большими радиусами R_1, в результате чего прошивка не целесообразна и отверстие в дальнейшем получают сверлением.

Прочие вопросы конструирования молотовой поковки. В чертеже детали указывают требования к расположению волокон в поковке. В общем случае расположение волокон должно соответствовать действию максимальных сил, возникающих в детали при ее работе.

При проектировании чертежа поковки необходимо учитывать также удобство штамповки, например удобство выема поковки из штампа.

В качестве базы механической обработки поковки принимают обычно участки с наибольшим диаметром или участки, удобные для захвата и фиксации поковки при обработке. Иногда на поковке делают специальные выступы, служащие в качестве баз механической обработки.

Места клеймения на поковке выбирают на наиболее видных участках, которые впоследствии не обрабатываются.

Место испытания на твердость выбирают по согласованию с конструкторами на плоских участках детали, удобных для зачистки и испытания.

При проектировании чертежа поковки следует учитывать возможность и рациональность:

упрощения или улучшения конструкции поковки;

унификации поковок для получения из них разных деталей;

разбивки детали на две и более поковок для штамповки их порознь с последующей сваркой или иным креплением;

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

штамповки развернутой поковки с гибкой после обрезки заусенца на обрезном прессе;

применения калибровки или чеканки и др.

Рентабельность конструкции поковки и технологии определяется следующими факторами: программой производства данной детали;

насколько ответственна деталь по ее назначению; стоимостью изготовления штампов; производительностью штамповки; стоимостью последующей обработки резанием.

§ 32. ВИДЫ РУЧЬЕВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ШТАМПОВКЕ В ОТКРЫТЫХ ШТАМПАХ НА МОЛОТАХ

При штамповке на молотах в большинстве случаев применяют катаную заготовку. Соответственно этому способу штамп делают многоручьевым (рис. 154). Штамповку производят с одного нагрева, последовательно, передавая заготовку из одного ручья в другой.

Применяемые ручьи имеют различное назначение и вид. Все ручьи можно подразделить на три группы.

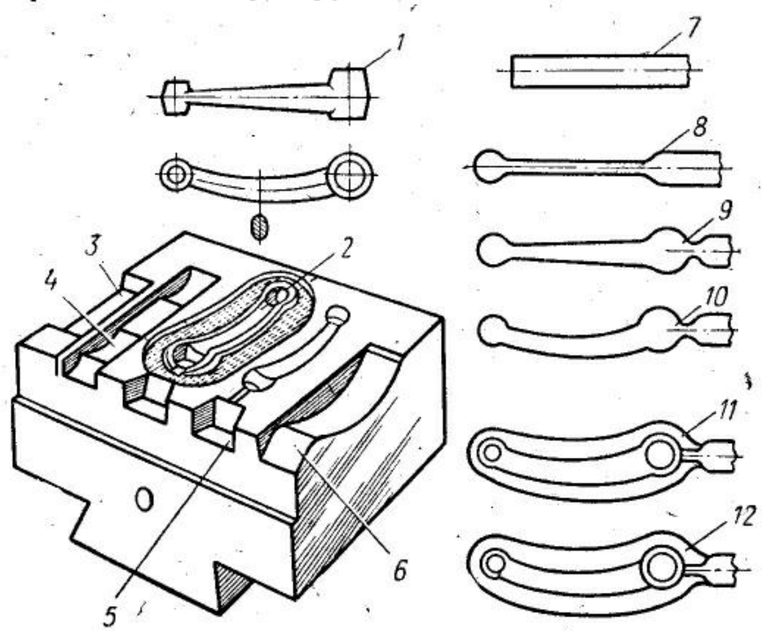


Рис. 154. Многоручьевый молотовой штамп и переходы штамповки изогнутой в плане поковки:

1 — поковка; *2* — окончательный ручей; *3* — протяжной ручей; *4* — подкатной ручей; *5* — предварительный ручей; *6* — гибочный ручей; *7* — исходная заготовка; *8* — протяжка; *9* — подкатка; *10* — гибка; *11* — предварительная штамповка; *12* — окончательная штамповка

К первой группе относятся штамповочные ручьи — окончательный и предварительный. Полость окончательного ручья в точности соответствует форме горячей поковки. Для заусенца предусматривают заусенечную канавку. Предварительный ручей также в основном повторяет форму поковки, но заусенечная канавка отсутствует, и металл вытекает на плоскость разъема штампов. Назначение штамповочных ручьев — окончательное формоизменение заготовки и получение поковки.

Ко второй группе относятся заготовительные ручьи. Их назначение — предварительное грубое деформирование исходной

заготовки, получение благоприятной формы для штамповки в штамповочных ручьях с относительно малым отходом металла в заусенец. Заготовительные ручьи можно подразделить на подгруппы в зависимости от применяемого способа штамповки в окончательном ручье: *поперек оси заготовки* (штамповка плашмя) и *вдоль оси заготовки* (штамповка осадкой в торец).

К заготовительным ручьям, применяемым при штамповке плашмя, относятся: формовочный; подкатной (открытый и закрытый); протяжной (открытый и закрытый); пережимной; площадка для расплющивания; площадка для протяжки; гибочный.

К заготовительным ручьям, применяемым при штамповке осадкой в торец, относятся площадка для осадки и специальный формовочный ручей.

Существуют еще два заготовительных ручья — высадочный и специальный протяжной. Эти ручьи применяют как при штамповке плашмя, так и при штамповке осадкой в торец.

К третьей группе относятся о т р у б н ы е р у ч ь и — передний и задний ножи. Эти ручьи служат для отделения отштампованной поковки от прутка при штамповке от прутка или от кратной заготовки. Отрубные ручьи служат также для отделения клещевины от поковки.

§ 33. ШТАМПОВОЧНЫЕ РУЧЬИ МОЛОТОВЫХ ШТАМПОВ

Окончательный ручей. П о л о с т ь о к о н ч а т е л ь н о г о или ч и с т о в о г о ручья выполняют по чертежу поковки для изготовления штампа или по чертежу горячей поковки. Так как поковка после штамповки охлаждается, и размеры ее уменьшаются на величину усадки, то для получения требуемых размеров поковки необходимо, чтобы размеры полости окончательного ручья были больше размеров холодной поковки на величину предполагаемой усадки. Для стали величина усадки равна примерно 1,5%. Поэтому все размеры холодной поковки увеличивают на 1,5% и получают чертеж горячей поковки.

Кроме полости, необходимо сконструировать заусенечную канавку и выемку под клещевину.

З а у с е н е ч н а я к а н а в к а предназначена для расположения в ней заусенца. Существующие типы заусенечных канавок можно подразделить на две группы: *заусенечные канавки без магазина* (рис. 155, *а*) и *заусенечные канавки с магазином* (рис. 155, *б*).

При конструкции по рис. 155, *а* заусенец получается одинаковым по высоте $h_з$. Фактическая ширина его $l_{ф.з}$ при большом объеме будет большой. Ввиду относительно малой высоты заусенца, он может сильно охлаждаться при штамповке, а в сочетании с большой шириной будут требоваться очень большие усилия для его деформирования. При таком заусенце в полости штампа возникнут высокие давления, которые могут разрушить штамп.

При конструкции заусенечной канавки, показанной на рис. 155, *б*, заусенец в конце штамповки деформируется только по узкой полоске мостика заусенечной канавки шириной $l_з$. Толщина заусенца на мостике

равна $h_з$. В магазине заусенец не деформируется и, следовательно, не влияет на повышение давления в полости ручья (см. рис. 143).

Как указывали Афанасьев М. В. и Грачев К. Ф., заусенец имеет технологическое назначение. Он создает сопротивление течению металла из полости штампа, закрывает выход металла из полости по всему периметру поковки, благодаря чему заполняется полость штампа.

При штамповке заготовка вначале осаживается (см. рис. 143,*а*), затем часть металла вытекает в заусенечную канавку, и по мере обжатия заусенец закрывает выход остального металла из полости (рис. 143,*б*), способствуя заполнению всей полости (см. рис. 143, *в*). В дальнейшем происходит доштамповка поковки — вытекание излишков металла из полости штампа. Доштамповка поковки необходима по ряду причин. Исходная заготовка имеет отклонения по объему. При заполнении полости штампа металлом с учетом заусенца в заготовке должен быть избыток металла, гарантирующий заполнение полости при любых отклонениях в сторону уменьшения объема заготовки. В период доштамповки желательно, чтобы заусенец оказывал минимальное сопротивление вытеканию металла из полости штампа. Как установлено экспериментами и практикой, основное влияние на рост напряжений в полости штампа оказывает толщина заусенца $h_з$. Однако имеет существенное значение также и его ширина. Заусенец, образующийся в канавке без магазина (рис. 155, *а*), в период доштамповки создает значительно большее давление в полости штампа, чем заусенец с той же толщиной $h_з$, но образующийся в канавке с магазином (рис. 155, *б*). Поэтому в подавляющем большинстве случаев применяют заусенечную канавку с магазином. Заусенечную канавку без магазина применяют для простых, круглых в плане, поковок, когда заусенец невелик по объему, его ширина не намного превосходит ширину мостика $l_з$, т. е. лежит в пределах $5 \div 10$ *мм*. В дальнейшем будем рассматривать заусенечную канавку с магазином. Итак, магазин играет положительную роль в процессе доштамповки поковки, так как заусенец в магазине не деформируется и не создает добавочного сопротивления течению металла из полости. В период доштамповки поковки и вообще с того момента, как заусенец стал по ширине более мостика $l_з$, увеличение давления в полости штампа происходит за счет уменьшения толщины заусенца $h_з$.

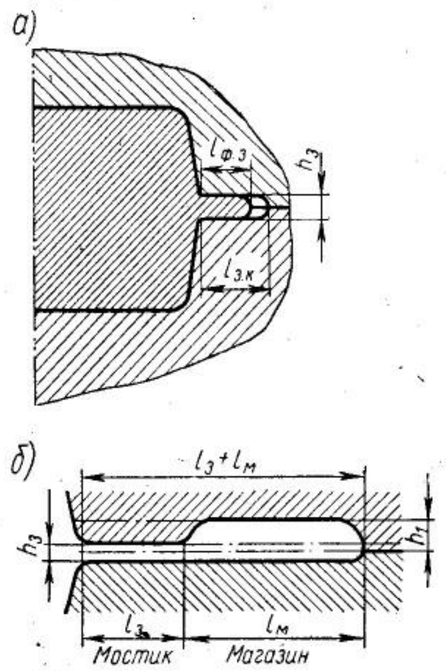


Рис. 155. Заусенечные канавки:
$l_{з.к}$ — ширина заусенечной канавки

Заусенец должен удовлетворять ряду требований. Размеры заусенца по мостику должны соответствовать давлению, которое необходимо создать в полости штампа перед периодом доштамповки, достаточному для заполнения всех наиболее труднозаполнимых участков полости. Если это давление будет больше необходимого для заполнения полости, то штамп может быстро разрушиться. Если же давление будет слишком мало, то потребуется большой объем металла для заусенца, и поковка с четкими очертаниями краев может не получиться. Таким образом, размеры заусенца по мостику и его объем взаимосвязаны. Размеры заусенца по мостику должны быть таковы, чтобы его объем получился по возможности минимальным. После штамповки заусенец обрезают. Чем больше толщина заусенца, тем труднее обрезка, тем возможней деформация всей поковки при обрезке. Однако слишком малая толщина заусенца приводит к чрезмерно большим давлениям в полости поковки.

Необходимы оптимальные размеры заусенца по мостику $h_з$ и $l_з$, при которых давление в полости штампа и объем заусенца не будут слишком велики, а толщина заусенца не затруднит его обрезку.

Из рассмотрения назначения заусенца на двух этапах штамповки — процесса заполнения и процесса доштамповки М. В. Афанасьев пришел к выводу, что толщину заусенца $h_з$ надо рассчитывать исходя из этапа доштамповки, а ширину $l_з$ — исходя из этапа заполнения полости штампа.

М. В. Афанасьев предложил следующие эмпирические формулы для определения толщины заусенца:

$h_з = 0{,}0175\, D_п$ — для круглых в плане поковок с диаметром $D_п$ и $h_з = 0{,}0175\sqrt{F_п}$ — для некруглых в плане поковок с площадью проекции поковки в плане $F_п$.

Линейная зависимость между толщиной $h_з$ заусенца и диаметром $D_п$ круглой в плане поковки соответствует основному закону теории пластичности — закону подобия и может быть объяснена исходя из рассмотрения процесса штамповки, возникающих при этом напряжений и требующейся стойкости штампов.

В начале процесса штамповки (рис. 156, *а*) происходит осадка заготовки с незначительным затеканием металла в полость штампа до тех пор, пока заготовка не коснется стенок полости штампа. Как правило, в момент касания стенок полости штампа начинает образовываться заусенец. Заусенец деформируется и создается напряжение $\sigma_з$, препятствующее вытеканию металла из полости. Чем тоньше заусенец, тем больше $\sigma_з$, причем

$$\sigma_з = \frac{\sigma_{уз}\mu}{h'_з} l_з,$$

где $\sigma_{уз}$ — нормальное напряжение, действующее на мостике заусенечной канавки ($\mu\sigma_{уз} = \tau_з$ — касательное напряжение на мостике); μ — коэффициент трения на мостике заусенечной канавки; $h'_з$ — текущая высота заусенца на мостике.

Вначале $h'_з$ имеет значительную величину, которая уменьшается по мере деформирования до конечного значения $h_з$. Конечную величину $h_з$ можно изменить, но так как эта величина относительно

мала по сравнению с начальной величиной $h'_з$, то даже изменение $h_з$ в два раза не скажется существенно на начальной величине $h'_з$. Таким образом, в начале штамповки величина $h'_з$ не оказывает существенного влияния на напряжение $\sigma_з$, закрывающее выход металла из полости штампа. В начальный момент прямое действие оказывает $l_з$, изменение которой приводит к соответствующему изменению $\sigma_з$. Поэтому, если нужно уменьшить вытекание металла в заусенец на первом этапе штамповки, то необходимо увеличить $l_з$. Такое увеличение делают в случае сложной поковки с глубокими полостями, когда в заусенец на начальном этапе штамповки может вытекать большое количество металла.

Далее наступает момент, когда полость штампа заполнена

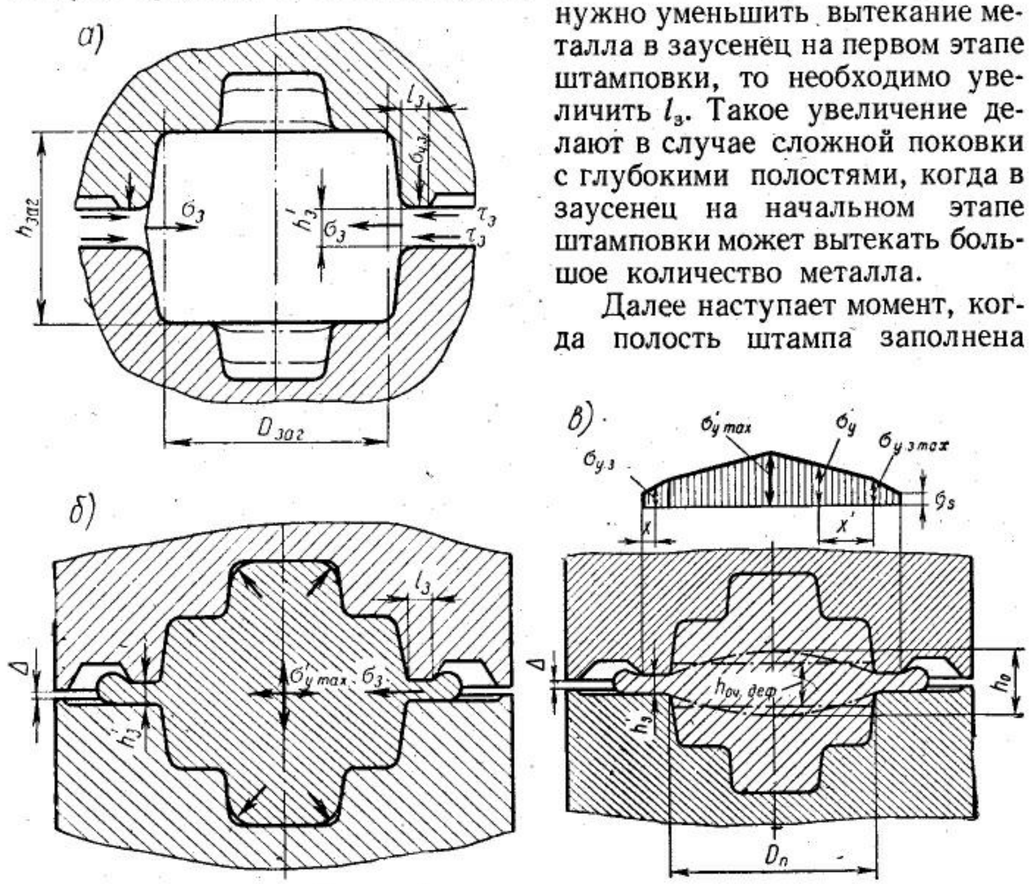


Рис. 156. Напряжения на различных этапах процесса штамповки:
Δ — зазор между штампами или недоштамповка

металлом полностью за исключением углов наиболее глубоких полостей (рис. 156, *б*). В этот момент $\sigma_з$ должно быть таким, чтобы нормальное напряжение $\sigma'_{y\max}$ в центре полости было бы достаточным для заполнения металлом углов полости. Если $\sigma'_{y\max}$ будет слишком большим (что зависит от величины $\sigma_з$), то полость заполнится металлом быстро, но напряжения затем достигнут чрезмерно большой величины.

После того как вся полость заполнится металлом, наступает этап доштамповки поковки (рис. 156, *в*). На этом этапе деформация по высоте составляет $2 \div 3$ *мм* для обычных средних поковок. Металл вытекает в заусенец из определенной зоны — очага деформации высотой h_0, который не зависит от формы поковки в вертикальном сечении, а зависит только от диаметра поковки и толщины заусенца $h_з$. Очаг деформа-

ции можно упростить и представить его в виде цилиндра высотой $h_{\text{оч.деф}}$ и диаметром $D_{\text{п}}$. Тогда, считая, что происходит осадка заусенца и очага деформации (в соответствии с формулой Э. Зибеля), получим линейные эпюры распределения напряжений в заусенце и поковке (см. рис. 156, *в*).

Для заусенца имеем

$$\sigma_{\text{уз}} = \sigma_s \left(1 + \frac{x}{h'_{\text{з}}}\right) \text{ и } \sigma_{\text{уз max}} = \sigma_s \left(1 + \frac{l_{\text{з}}}{h'_{\text{з}}}\right).$$

Далее,

$$\sigma'_y = \sigma_{\text{уз max}} + \sigma_s \frac{x'}{h_{\text{оч. деф}}},$$

где σ_s — напряжение текучести при температурно-скоростных условиях процесса;

x — координата, направленная от внешнего края мостика заусенца к оси поковки;

$\sigma_{\text{уз max}}$ — максимальное напряжение, действующее на стыке заусенца и тела поковки;

σ'_y — напряжение, действующее в теле поковки;

x' — координата, направленная от внутреннего края мостика заусенца к оси поковки.

Таким образом, σ'_y зависит от $h_{\text{оч. деф}}$ и от x'.

$$\sigma'_{y\ \text{max}} = \sigma_{\text{уз max}} + \sigma_s \frac{D_{\text{п}}}{2h_{\text{оч. деф}}},$$

где $\sigma'_{y\ \text{max}}$ — максимальное напряжение, действующее на оси поковки.

Учитывая, что $h_{\text{оч. деф}}$ зависит от толщины заусенца $h_{\text{з}}$($h_{\text{оч. деф}} \approx \approx 4h_{\text{з}}$,) а первый член в формуле значительно меньше второго, можем записать, что

$$\sigma'_{y\ \text{max}} = K \frac{D_{\text{п}}}{h_{\text{з}}} \sigma_s,$$

где K — некоторый коэффициент пропорциональности.

Здесь $\sigma'_{y\ \text{max}}$ подсчитано для этапа доштамповки. Учитывая непрерывность изменения $\sigma'_{y\ \text{max}}$, можно считать, что перед началом этапа доштамповки эта величина будет приближаться к полученной.

Геометрически подобные поковки требуют одинаковых давлений $\sigma'_{y\ \text{max}}$ для заполнения полости перед этапом доштамповки. Это вытекает из закона подобия. Из рассмотрения таких поковок следует, что

$$\sigma'_{y\ \text{max}} = \text{const}.$$

Но

$$\sigma'_{y\ \text{max}} = K\sigma_s \frac{D_{\text{п}}}{h_{\text{з}}}$$

или

$$K\sigma_s \frac{D_{\text{п}}}{h_{\text{з}}} = \text{const}.$$

Откуда

$$h_{\text{з}} = \frac{K\sigma_s}{\text{const}} D_{\text{п}}.$$

Если σ_s для поковок принять одинаковым, то имеем

$$h_{\text{з}} = K' D_{\text{п}},$$

где K' — новый коэффициент пропорциональности.

При соблюдении последней зависимости давления в полости и, соответственно, $\sigma'_{y\ \text{max}}$ для подобных поковок с разными размерами $D_{\text{п}}$ будут одинаковыми, т. е. удовлетворяется закон подобия.

Если поковки не подобны, то для их штамповки требуются различные величины $\sigma'_{y\ \text{max}}$ при одинаковых диаметрах $D_{\text{п}}$. Чтобы при штамповке большинства поковок полости штампа хорошо заполнялись, необходимо иметь завышенное значение $\sigma'_{y\ \text{max}}$, достаточное для заполнения наиболее сложных полостей. Эта величина не может быть безгранично большой, она ограничивается прочностью и стойкостью штампов. В свою очередь, прочность и стойкость штампов зависят от ряда факторов: материала штампа, его термообработки, материала поковки и т. д. Все эти факторы в первом приближении можно считать одинаковыми, так как марки штамповой стали по свойствам почти не отличаются друг от друга. При этом штампы могут с достаточной стойкостью выдержать определенные давления и соответствующую величину $\sigma'_{y\ \text{max}}$.

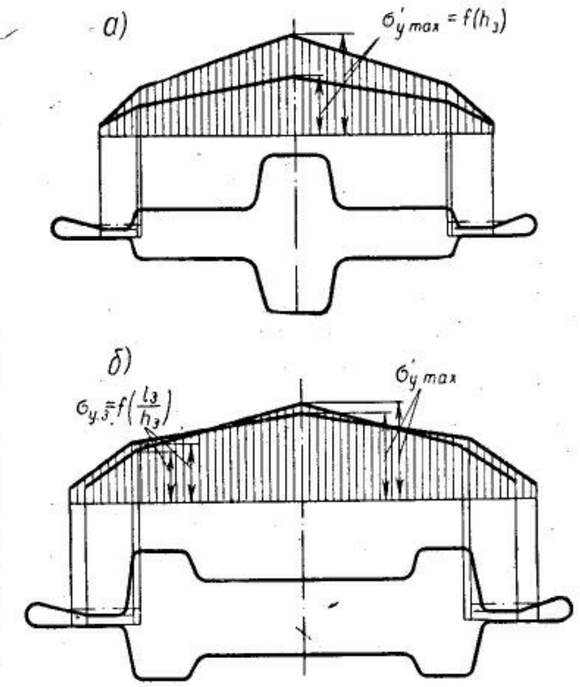


Рис. 157. Поковки с глубокой полостью в центре (*а*) и таврового сечения (*б*); распределение напряжений в конце штамповки

Эту величину можно определить экспериментально. В нашем случае достаточно принять $\sigma'_{y\text{max}} = \text{const}$, тогда, учитывая вышеизложенное, и для не подобных поковок будет действительна формула $h_{\text{з}} = K' D_{\text{п}}$.

На основании опытных данных величина K', равная по Афанасьеву 0,0175, была скорректирована А. В. Ребельским [19] и равна $K' = 0{,}015$ и $h_{\text{з}} = 0{,}015\ D_{\text{п}}$.

Для удлиненных поковок $h_{\text{з}} = 0{,}015\sqrt{F_{\text{п}}}$.

Расчет по А. В. Ребельскому в настоящее время является общепринятым.

По А. В. Ребельскому [19, 42] ширина заусенца $l_{\text{з}}$ определяется в зависимости от сложности поковки в вертикальном сечении после определения $h_{\text{з}}$.

При рассуждениях мы исходили из того, что $\sigma'_{y\ \text{max}}$ в центре полости определяет возможность заполнения наиболее трудно заполняемых углов полости. В большинстве случаев это предположение справедливо

(рис. 157, *а*). Однако для поковок таврового сечения необходимо, чтобы напряжение в полости было достаточным уже вблизи заусенца (рис. 157, *б*). Это напряжение определяется отношением $\frac{l_з}{h_з}$. Так как уменьшение $h_з$ приведет к чрезмерному увеличению $\sigma'_{y\,max}$, то целесообразно в этом случае увеличивать $l_з$, а $h_з$ оставить в соответствии с прилагаемым расчетом или даже несколько увеличить, чтобы снизить $\sigma'_{y\,max}$ (см. рис. 157, *б*).

Выемкой для клещевины (рис. 158) называется специальная полость, устраиваемая в передней части штампа у штамповочных ручьев. Эта полость предназначена для размещения части прутка или клещей, которыми удерживается заготовка, а также для облегчения удаления поковки из ручья при штамповке без клещевины.

Необходимость выемки для клещевины следует из того, что с целью обеспечения необходимой прочности штампа полости штамповочных ручьев располагают на некотором расстоянии от передней грани штампа.

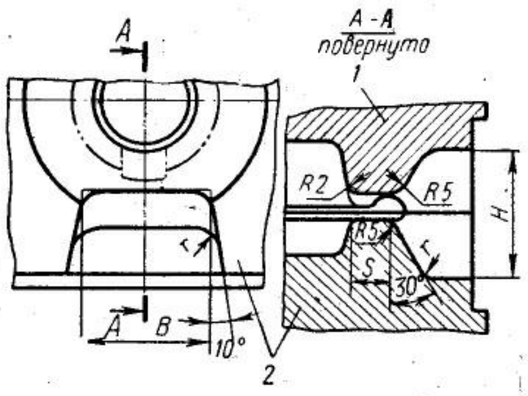


Рис. 158. Выемка под клещевину:

1 — верхний штамп; *2* — нижний штамп

Ширину выемки B выбирают в зависимости от диаметра прутка (заготовки) или клещей, если в выемке располагаются клещи с зажатой частью прутка. Высота выемки $H \approx 1{,}2\ B$, $S > 35$ *мм*.

Выемку для клещевины используют также для контроля правильности изготовления полости ручья путем снятия отпечатка (отливки) полости. Полость заливают сплавом свинца с оловом, полиэтиленом, парафином или другими легкоплавкими материалами, имеющими малую усадку. По отливке контролируют форму и размеры полости. Если для штамповки выемка под клещевину не требуется и она предназначена только для контроля, например, при штамповке осадкой в торец, то размеры и форму выемки под клещевину изменяют.

Предварительный ручей. Предварительный или черновой ручей является штамповочным ручьем. Поэтому полость предварительного ручья повторяет в основном полость окончательного ручья. Предварительный ручей применяют при штамповке сложных поковок с глубокими полостями в штампах. В этом случае стойкость одного окончательного ручья оказывается недостаточной, полости могут не заполняться металлом, поковки залипают и с трудом вынимаются из полости, что приводит к быстрому перегреву штампов и потере твердости материала штампов. При применении предварительного ручья снимается основная нагрузка с окончательного ручья и стойкость окончательного ручья резко повышается. Так как предварительный ручей имеет несколько упрощенную форму по сравнению с окончательным, то заполнение его происходит легче и выемка поковки из полости штампа облегчается. После предварительного ручья поковка

в окончательном ручье только несколько осаживается с незначительным течением металла в полости, так как в основном оформление поковки заканчивается в предварительном ручье. При осаживании в окончательном ручье полость заполняется легко, залипания поковки в ручье не происходит, что ускоряет процесс штамповки. Кроме предварительных ручьев, есть заготовительно-предварительные ручьи [42].

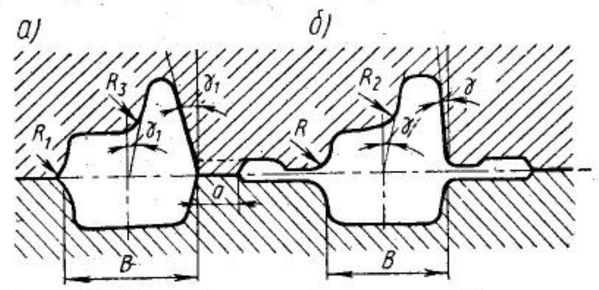


Рис. 159. Сечения предварительного (*а*) и окончательного (*б*) ручьев

Предварительный ручей выполняет функцию окончательного формоизменения заготовки по всему объему поковки. По форме и размерам полости этот ручей почти ничем не отличается от окончательного ручья (рис. 159). Штамповочные уклоны делают такими же, как и в окончательном ручье. Только на наиболее глубокие полости в предварительном ручье иногда назначают несколько бо́льшие (на 2°) штамповочные уклоны. Радиусы закруглений в предварительном ручье делают бо́льшими, чем в окончательном. В местах резких переходов закругляют кромки (рис. 160, *а, б*).

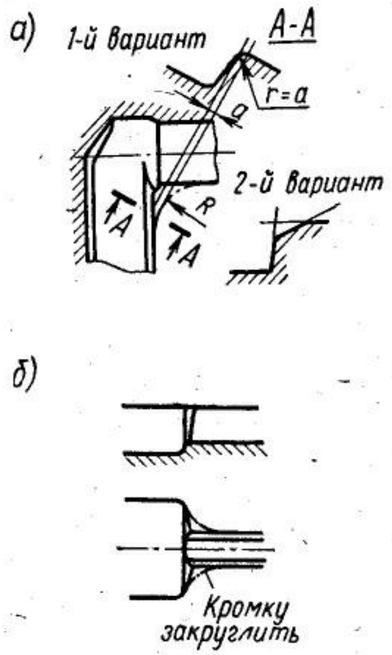


Рис. 160. Закругление кромок предварительного ручья:

а — в месте резкого перегиба; *б* — в месте резкого перехода

Заусенечная канавка в предварительных ручьях отсутствует. Заусенец вытекает на плоскость разъема штампов и поковка в предварительном ручье получается как бы недоштампованной на толщину (относительно большую) заусенца. За счет осадки большей толщины поковки и происходит деформация в окончательном ручье. Кромка полости предварительного ручья по плоскости разъема закругляется радиусом R_1, который больше радиуса R окончательного ручья на $3 \div 7$ *мм*, что предупреждает возможность залипания поковки в предварительном ручье (см. рис. 159).

Заготовительно-предварительный ручей служит для получения формы поковок, близкой к окончательной, но на некоторых участках значительно отличается от окончательного ручья. Он выполняет также роль заготовительного ручья, обеспечивая значительное долевое и поперечное смещения металла на отдельных участках. Заготовительно-предварительный ручей применяют для поковок с отверстиями, развилинами, отростками, поковок двутаврового сечения и др.

При изготовлении поковок с отверстиями наметка отверстия в предварительном ручье отличается от наметки в окончательном ручье. Как было указано в § 31, гл. VII, в предварительном ручье применяют наметку с раскосом, а в окончательном ручье плоскую наметку или наметку с магазином.

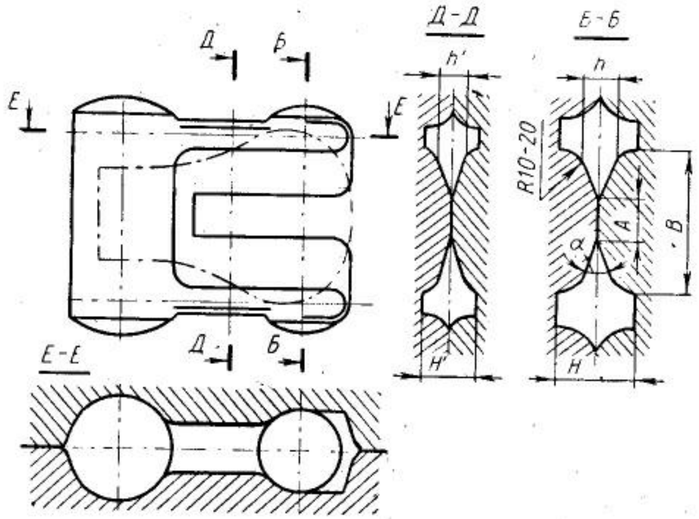


Рис. 161. Заготовительно-предварительный ручей для поковки с развилиной

Для поковок с развилинами заготовительно-предварительный ручей делают со специальным рассекателем (рис. 161), которым поступающая в ручей заготовка рассекается на две развилины. В заготовительных ручьях такого распределения металла по развилинам получить невозможно и подготовка заготовки перед штамповкой в окончательном ручье оказывается недостаточной.

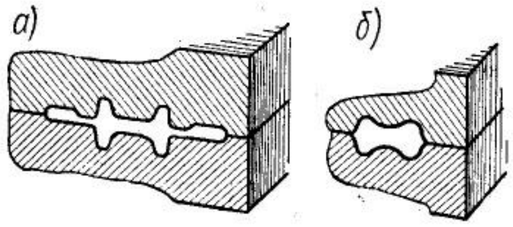


Рис. 162. Сечение по окончательному ручью (*а*) и по заготовительно-предварительному ручью (*б*)

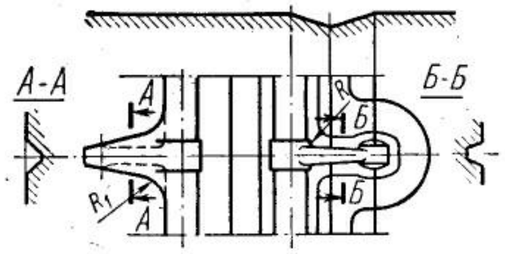


Рис. 163. Заготовительно-предварительный ручей для поковки с отростком

Поковки с двутавровым или тавровым сечением в заготовительно-предварительном ручье получают упрощенную форму либо в виде прямоугольника (вместо двутавра), либо в виде плавного двутавра (рис. 162).

При штамповке поковок с отростками в заготовительно-предварительном ручье полость под отросток делают упрощенной формы и с

плавным переходом от основной части ручья, чем облегчают его заполнение, $R_1 = (2 \div 5)R$ (рис. 163).

В предварительном ручье, так же как и в окончательном, глубокие полости делают в верхнем штампе, так как металл при штамповке течет вверх лучше. Из предварительного в окончательный ручей поковка поступает без кантовки, в том же положении относительно плоскости разъема.

Если же поковка симметричная и полости в штампе глубокие, то после штамповки в предварительном ручье поковку следует укладывать в окончательный ручей с кантовкой на 180°. Тогда в предварительном ручье хорошо заполнятся части поковки, расположенные в верхнем штампе. В окончательном ручье они окажутся в нижнем штампе. В верхнем штампе в окончательном ручье окажутся части поковки из нижнего штампа в предварительном ручье, которые плохо заполнены, но ввиду лучшего течения металла вверх в окончательном ручье получится хорошее заполнение этих частей.

§ 34. ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РУЧЬИ МОЛОТОВЫХ ШТАМПОВ

Заготовительные ручьи, применяемые при штамповке плашмя. Формовочный ручей (рис. 164) предназначен для придания заготовке формы, приближающейся к форме поковки в плане, с тем, чтобы заготовка укладывалась в окончательный ручей. При этом штамповка облегчается, а заусенец уменьшается.

В формовочном ручье по заготовке наносят 1 ÷ 2 удара, после чего заготовка поступает в окончательный ручей с кантовкой на 90°, так как вертикальное сечение заготовки соответствует контуру поковки в плане (рис. 164, *б, в, г, д*).

В формовочном ручье не происходит значительного перераспределения металла по длине исходной заготовки. Если поковка имеет сложную форму для штамповки, когда разница в площадях вертикальных, перпендикулярных к оси сечений поковки велика, то в формовочный ручей поступает не исходная заготовка, а предварительно обработанная в подкатном или в протяжном ручьях, где металл перераспределяется по длине исходной заготовки. Все продольные сечения формовочного ручья типа *А — А* одинаковые. Формовочный ручей открытый со стороны боковой грани штампа. Профиль формовочного ручья (сечение *А — А*) строят вписыванием его в контур окончательного ручья в плане (рис. 164, *в*). Поперечные сечения *Б — Б* имеют типовую форму (рис. 164, *г*). В местах наибольшего обжатия исходной заготовки требуется наибольшая ширина ручья *В*. Ширину *В* выбирают из условия свободного расположения деформированной заготовки. Если заготовка выходит за пределы ручья при обжатии, то это может привести к зажимам на поковке при деформировании в окончательном ручье (рис. 164, *г*, контуры заготовки).

На некоторых участках с резкими переходами контур формовочного ручья в сечении *А — А* может пересекаться с контуром окончательного ручья в плане. Контуры формовочного ручья должны быть плав-

ными, обеспечивающими течение металла исходной заготовки без каких-либо затруднений.

При штамповке мелких поковок применяют многоштучную штамповку. Окончательные ручьи располагаются при этом цепочкой. В этом случае формовочные ручьи вписываются в цепочку окончательных ручьев, а между участками окончательных ручьев в формовочном делают плавные перемычки.

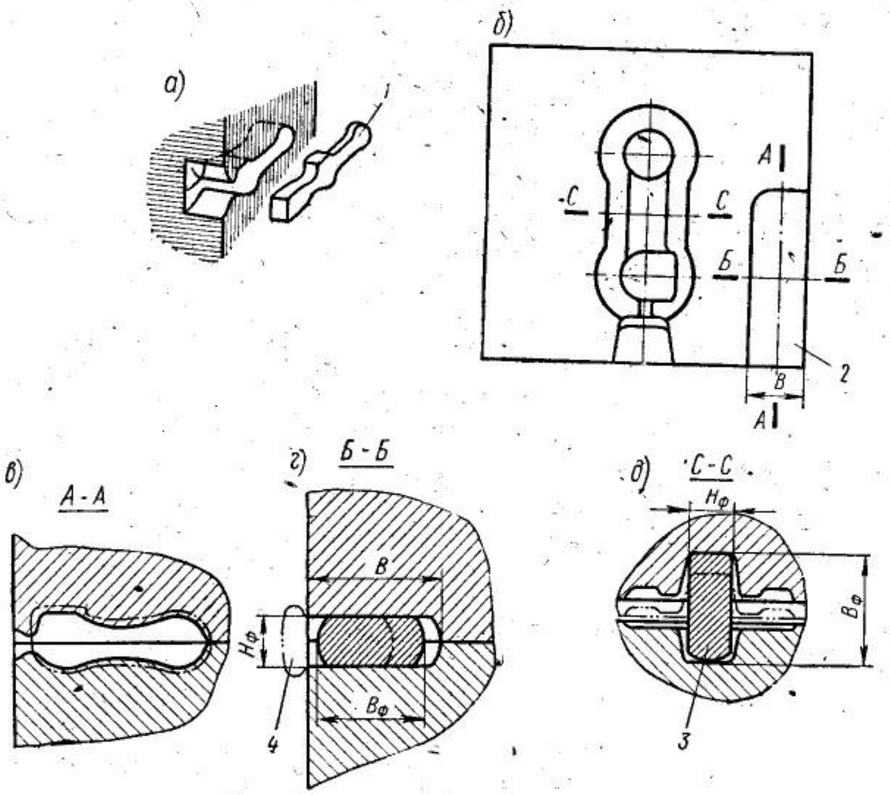


Рис. 164. Формовочный ручей:

1 — заготовка; *2* — формовочный ручей; *3* — заготовка из формовочного ручья; *4* — заготовка вышла за пределы ручья

Подкатной ручей (рис. 165) предназначен для увеличения площадей поперечных сечений исходной заготовки (набора металла) в одних местах и уменьшения площадей поперечных сечений исходной заготовки (пережима металла) в других. Таким образом, в одних местах происходит набор металла или, как говорят, подкатка (подъем) металла, а в других местах пережим металла, уменьшение площади и объема. Материал исходной заготовки перераспределяется по различным сечениям, причем эти сечения по площади соответствуют площадям поперечных сечений поковки с двусторонним заусенцем. При обработке в подкатном ручье заготовку поворачивают вокруг оси на 90° после каждого удара. По форме поперечного сечения $A - A$ подкатные ручьи бывают открытые (рис. 165, *а, б*) и закрытые (рис. 165,

в, г). Ввиду действия наклонных стенок деформирование заготовки вдоль оси в закрытых ручьях происходит более интенсивно.

Из подкатных ручьев заготовка поступает в штамповочные, а иногда в гибочный или формовочный. Продольный профиль подкатных закрытых ручьев иногда делают несимметричным относительно плоскости

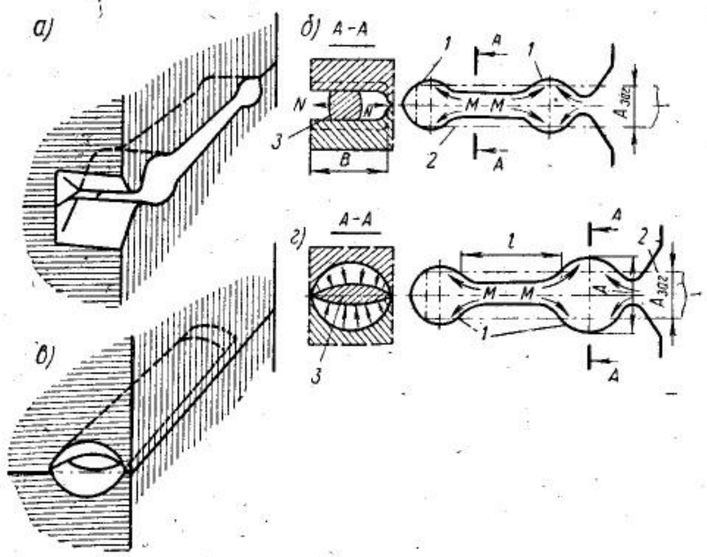


Рис. 165. Подкатные ручьи:

1 — места набора; *2* — исходная заготовка; *3* — подкатанная заготовка в минимальном сечении

разъема (рис. 166). В этом случае они играют роль также формовочного ручья. Подкатные ручьи могут также иметь неодинаковую ширину по длине ручья, а также различное поперечное сечение, открытое и закрытое [42, 19].

Профиль ручьев строят в соответствии с расчетной заготовкой [42].

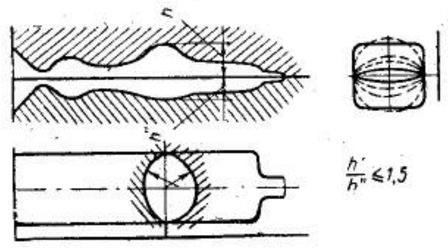


Рис. 166. Подкатной закрытый несимметричный ручей

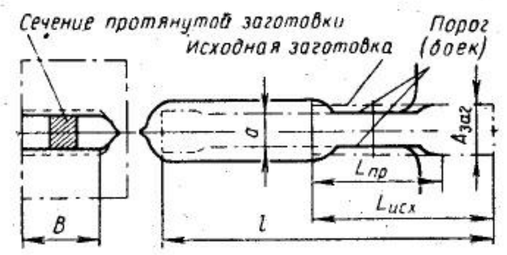


Рис. 167. Протяжной ручей (открытый)

Протяжной ручей (рис. 167) увеличивает длину исходной заготовки за счет уменьшения площади ее поперечных сечений. Протяжной ручей бывает открытым (рис. 167) и закрытым. Для закрытого ручья сечение в месте порога соответствует поперечному сечению закрытого подкатного ручья (см. рис. 165, *в, г*). В открытом ручье

обработка заготовки аналогична протяжке на плоских бойках: после каждого удара заготовку кантуют на 90°, после каждого второго удара производят подачу заготовки — под порог протяжного ручья подается новый участок заготовки, который обжимается. Далее процесс повторяют.

В закрытом протяжном ручье обработка заготовки аналогична протяжке в вырезных бойках и поэтому деформация происходит более интенсивно, чем в открытом ручье.

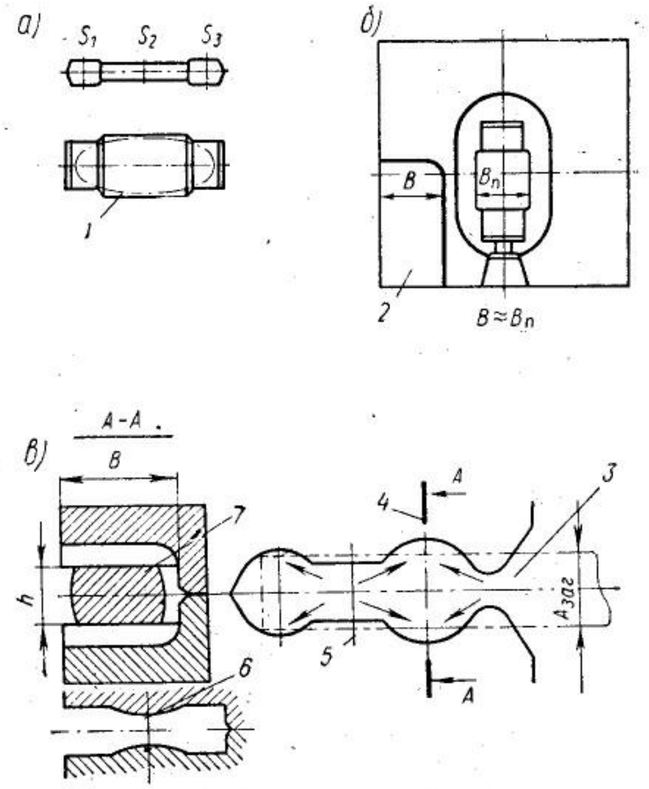


Рис. 168. Пережимной ручей:

1 — контур заготовки после пережимного ручья; *2* — пережимной ручей; *3* — исходная заготовка; *4* — сечение больше, чем у исходной заготовки, $h > A_{заг}$; *5* — сечение меньше, чем у исходной заготовки, $h < A_{заг}$; *6* — фасонное сечение пережимного ручья; *7* — минимальное сечение пережатой заготовки

Протяжной ручей можно выполнить наклонным в плане, расположенным под углом α к боковой грани штампа. Это сокращает площадь, занимаемую ручьем на штампе, но создает неудобства для контроля длины вытягиваемой части заготовки.

Расчет протяжных ручьев производят в соответствии с расчетной заготовкой [42].

Пережимной ручей (рис. 168) предназначается для уширения заготовки в некоторых сечениях и для небольшого перераспределения металла по ее длине. Этот ручей применяют для поковок с относительно большой шириной в плане (рис. 168, *а*). В пережимном ручье наряду с уширением заготовки металл перетекает из одного сечения в другое. Значительного перераспределения металла в пережимном ручье получить нельзя. Поэтому пережимной ручей применяют для поковок, у которых площади вертикальных, перпендикулярных к оси сечений, изменяются незначительно, т. е. $S_1 \approx S_2 \approx S_3$.

В пережимной ручей поступает чаще всего исходная заготовка, иногда после обработки в протяжном ручье. Заготовку в пережимном ручье не кантуют, а наносят по ней 1 ÷ 2 удара, после чего ее переносят в штамповочный ручей без кантовки, т. е. в том же положении относительно плоскости разъема. Ширину ручья B (рис. 168, *б*) выбирают исходя из ширины поковки, причем $B \approx B_п$. Заготовка, поступающая из пережимного ручья должна укладываться в штамповочный

ручей, с небольшим зазором по ширине. Профиль пережимного ручья (рис. 168, *в*) строят индивидуально для каждой поковки и рассчитывают в зависимости от расчетной заготовки [42].

Площадку для расплющивания (рис. 169) применяют для поковок, приближающихся в плане к форме прямоугольника, у которых площади вертикальных, перпендикулярных к оси сечений, либо равны, либо отличаются крайне незначительно. В некоторых случаях подвергают расплющиванию предварительно протянутые или подкатанные заготовки. Заготовка при расплющивании получает такие размеры, которые перекрывают определенные выступы или углубления полости окончательного ручья. При этом предотвращается опасность получения зажимов и других дефектов в поковке. Вместе с тем сбивается окалина, в результате чего поковки получаются чистыми, повышается также стойкость штампа, так как окалина при штамповке действует как абразив.

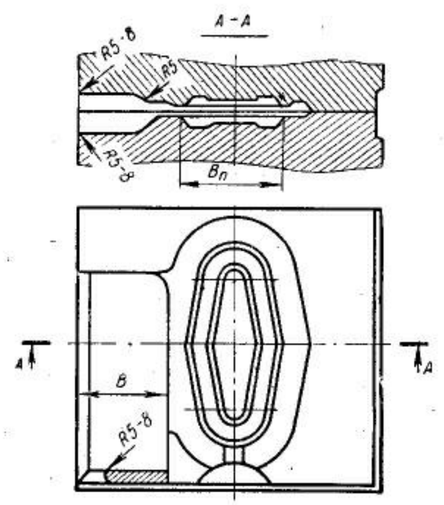


Рис. 169. Площадка для расплющивания

Площадка для расплющивания — это специальное углубление на плоскости разъема штампов, куда плашмя укладывают заготовку и наносят по ней 1 ÷ 2 удара. От площадки для расплющивания к заусенечной канавке окончательного ручья делают плавный переход, чтобы попавшая случайно в область заусенечной канавки заготовка при расплющивании резко не деформировалась, что исключило бы ее дальнейшее использование, так как приводило бы к браку по зажимам. Ширину площадки B выбирают примерно равной ширине поковки $B_п$.

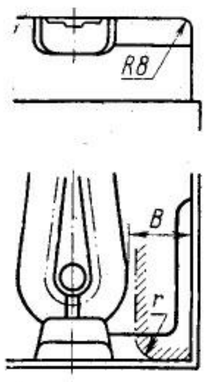


Рис. 170. Площадка для протяжки

Площадку для протяжки (рис. 170) применяют для обработки концевого участка заготовки.

При штамповке поковок с клещевиной, площадку для протяжки часто применяют для протяжки клещевого конца заготовки. За этот оттянутый клещевой конец удерживают заготовку при штамповке. При протяжке конца заготовки уменьшается его диаметр и снижается расход металла на клещевину.

Некоторые поковки имеют такую форму, при которой требуется оттяжка концевого участка небольшой длины или ступенчатая оттяжка конца. В этих случаях также применяют площадку для протяжки.

Площадку для протяжки располагают с краю штампа или между ручьями. Обработку заготовки производят за несколько ударов, аналогично протяжке на плоских бойках при свободной ковке. После

каждого удара заготовку кантуют на 90° вокруг оси, затем ее продвигают дальше по площадке для протяжки и наносят следующий удар и т. д. Силу ударов регулируют в зависимости от требуемой величины обжатия. Ширину площадки B выбирают равной примерно 1,5 диаметра исходной заготовки $D_{заг}$ ($A_{заг}$).

Гибочный ручей (рис. 171) предназначен для изгиба и некоторой формовки заготовки в соответствии с формой окончательного ручья в плане. Гибочный ручей применяют при штамповке поковок с изогнутой осью. В окончательном ручье такие поковки располагают с изогнутой осью в плане (см. рис. 154). Гибочный ручей обычно располагают с правой стороны штампа. Из гибочного ручья заготовка поступает в окончательный ручей с кантовкой на 90° так же, как из формовочного ручья. По заготовке наносят 1—2 удара. В гибочный ручей может поступать как исходная заготовка, так и из протяжного или подкатного ручьев.

В гибочном ручье производится некоторая формовка, поэтому он в известной степени заменяет формовочный. Продольное вертикальное сечение гибочного ручья (рис. 171) строят в общем так же, как и формовочного ручья — вписыванием в контур окончательного ручья в плане, но при этом на штампе получаются выступы, выходящие за пределы плоскости разъема, чего нет в формовочном ручье. Для большей прочности выступов разъем по гибочному ручью сдвигают относительно остальной плоскости разъема штампа таким образом, чтобы выступы в верхнем и нижнем штампах были одинаковыми по высоте. Для укладки заготовки в нижнем штампе в ручье необходимо предусмотреть две опоры, спереди и сзади ручья. Эти опоры называются «рогами». Рога нужны для того, чтобы заготовка при деформации не выворачивалась и не было бы удара от заготовки по клещам, которыми она удерживается. Для этого же служат и выемки на рогах и на выступе верхнего штампа. Последний прежде всего касается заготовки при деформации. В ручье предусматривают также упоры для фиксации заготовки. Передним упором служит выемка для клещевины, по которой в месте пережима можно фиксировать заготовку, поступающую из подкатного ручья, где уже ранее будет получен пережим к клещевине. Исходную заготовку или заготовку из протяжного ручья следует фиксировать по заднему упору, имеющему вид выступа, в который упирается заготовка. Вблизи выступа в верхнем штампе делают более длинную выемку, чтобы предотвратить возможный зажим заготовки в начале деформирования. Так как существуют впадины и выступы, заходящие в них, то необходимо между ними сделать зазор Δ, предохраняющий от соударения кромок выступа и выемки при сдвиге штампов (рис. 171). Ширину ручья B определяют как и для формовочного.

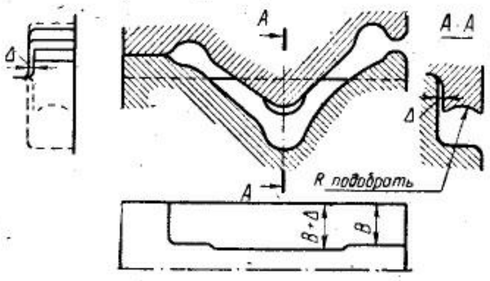


Рис. 171. Гибочный ручей

Если гибка производится в нескольких местах одновременно, то такая гибка приводит к растяжению и защемлению и называется гибкой с защемлением. Подробно конструктивные элементы гибочного ручья описаны в [103, 42, 19].

Заготовительные ручьи, применяемые при штамповке осадкой в торец. Площадку для осадки (рис. 172) применяют при штамповке осадкой в торец поковок типа шестерен и квадратных в плане. По заготовке наносят 1—2 удара и получают осаженную заготовку с размерами $H_{ос}$ и $D_{ос}$ (см. рис. 171, *б*).

Применение площадки для осадки необходимо по ряду причин. Резка коротких заготовок при $H_{заг} < 1{,}25\ D_{заг}$ на пресс-ножницах неудобна и некачественна, поэтому на них режут относительно длинные заготовки, в пределах $\frac{H_{заг}}{D_{заг}} = 1{,}25 \div 1{,}5$.

При осадке с заготовок сбивается окалина, вследствие чего повышается стойкость чистового ручья и качество поковок. Осаженную заготовку легко центрировать в окончательном ручье. Кроме этого, при осадке снимается часть необходимой работы деформирования с окончательного ручья, и он меньше разогревается.

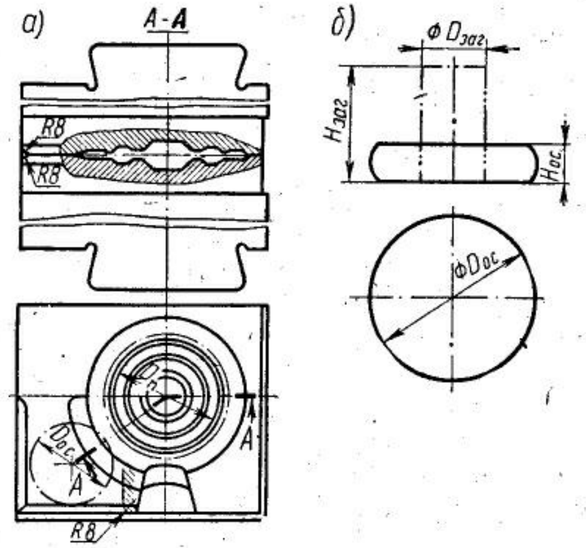


Рис. 172. Площадка для осадки (*а*) и осаженная заготовка (*б*)

Осадкой достигается перераспределение металла в заготовке, способствующее хорошему заполнению полости окончательного ручья с минимальным отходом в заусенце, а также лучшему расположению волокон, в особенности в поковках типа шестерен.

Однако при применении осадки затрачивается работа на деформацию заготовки (поскольку заготовка могла быть большего сечения) и уменьшается производительность при штамповке. Что же касается окалины, то ее можно снять с заготовки, например, гидроочисткой.

Диаметр осаженной заготовки $D_{ос} = D_{п} - (3 \div 5\ мм)$. При таком диаметре заготовка легко укладывается и центрируется в чистовом ручье.

Площадку для осадки (рис. 172, *а*) располагают непосредственно на зеркале штампа в переднем левом углу, так как слева обычно располагается печь, и путь переноса заготовки к площадке будет кратчайшим. Для размещения площадки для осадки штамп делают шире в левую сторону. Если штамп снабжен кольцевыми направляющими, то для образования площадки для осадки в них делают угловой вырез [42].

Размеры площадки рассчитывают, исходя из свободного расположения на ней осаженной заготовки [42]. Часто в целях сокращения

42-05 01

габаритов штампа делают плавный переход от площадки для осадки к прилегающей части заусенечной канавки (см. рис. 172, *а*). При этом заготовка частично осаживается в области заусенечной канавки.

Специальный формовочный ручей (рис. 173) применяют при штамповке поковок с отростками, в частности при штамповке поковок типа крестовин. Заготовка вначале осаживается на площадке для осадки, а затем после кантовки на 90° поступает в специальный формовочный ручей, где укладывается на ребро в выемку ручья. По заготовке наносят один удар, и металл втекает в углубления ручья в верхнем и нижнем штампах. Заготовку с четырьмя отростками (рис. 173, *в*) кантуют на 90° и переносят в окончательный ручей. При этом отростки укладывают в окончательном ручье в соответствующие полости.

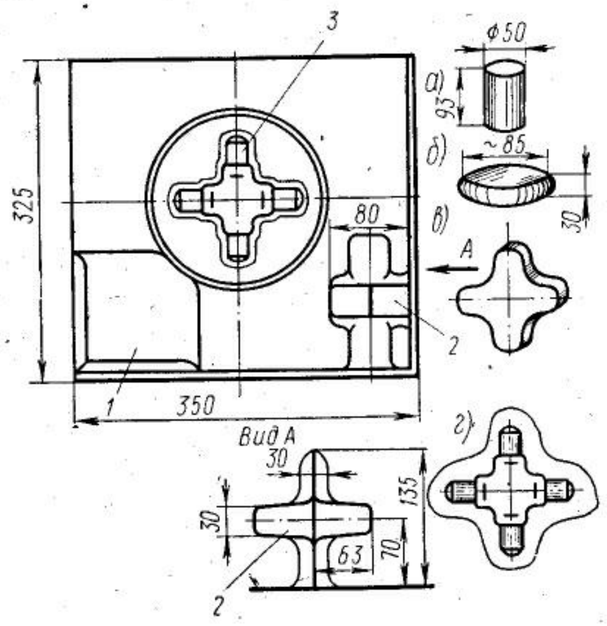


Рис. 173. Штамп со специальным формовочным ручьем для штамповки крестовины:

а — исходная заготовка; *б* — осаженная заготовка; *в* — заготовка после формовочного ручья; *г* — поковка с заусенцем; *1* — площадка для осадки; *2* — специальный формовочный ручей; *3* — окончательный ручей

Заготовительные ручьи, применяемые при штамповке плашмя и при штамповке осадкой в торец. Высадочный ручей (рис. 174) служит для увеличения одного из поперечных сечений исходной заготовки за счет уменьшения ее длины (высадка).

По вертикально установленной заготовке наносят 1 ÷ 3 удара. Первый удар является центрирующим или установочным, а остальные рабочими. После заполнения конической полости ручья металл вытекает в полость между штампами, образуя нужное увеличение сечения. Сечение может быть увеличено в 2 ÷ 3 раза и более. Необходимое количество ударов зависит от размеров и формы ручья и заготовки.

Поковка из ручья вынимается без затруднений.

Объем полостей высадочного ручья равен объему соответствующих частей заготовки, причем фланец должен располагаться свободно.

Объемы V_1' и V_2' должны быть равны объему соответствующих частей поковки V_1 и V_2 с отходами. Более узкую и высокую полость делают в верхнем штампе.

Полости V_1' и V_2' делают глубиной (2 ÷ 2,5) $d_{1,2}$ и даже до 3,5 $d_{1,2}$. Полость под фланец для лучшего выема делают открытой. Высадочный ручей располагают с края штампа, не увеличивая штамповый кубик.

Диаметр исходной заготовки $D_{заг}$ выбирают равным или несколько

меньшим диаметра d меньшего основания конической полости V_1' или V_2'. Длину определяют из объема заготовки. Высадке подлежат заготовки с отношением $\frac{l_{заг}}{D_{заг}} \leqslant 3$. Если $\frac{l_{заг}}{D_{заг}} > 3$ и высадка производится на конус с диаметром меньшего основания равным $D_{заг}$, то при диаметре большего основания $D \leqslant 1{,}5\,D_{заг}$ свободная часть прутка, из которой образуется фланец $a \leqslant 2D_{заг}$. При $D \leqslant 1{,}25\,D_{заг}$, что удовлетворяется в большинстве случаев, свободная часть прутка $a \leqslant 3\,D_{заг}$.

При отсутствии возможности высадки без продольного изгиба увеличивают диаметр исходной заготовки и предусматривают специальный протяжной ручей. При предварительной протяжке концов заготовки требуется меньшая длина высаживаемой части.

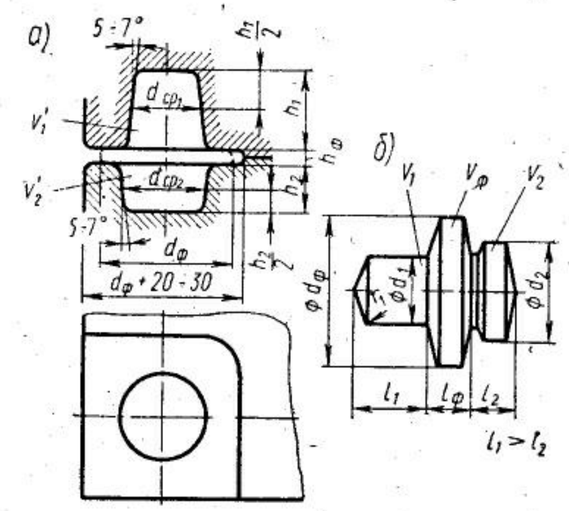


Рис. 174. Высадочный ручей (*а*) и поковка (*б*)

Частичное незаполнение полостей высадочного ручья или эксцентричность высаживаемой части допустимы, поскольку при последующей штамповке в окончательном ручье происходит перераспределение металла.

Высадочный ручей имеет ряд отличий по сравнению с подкатным и протяжным ручьями.

В подкатном ручье можно увеличить поперечное сечение заготовки (поднять металл) в 1,3 ÷ 1,6 раза против площади поперечного сечения заготовки $S_{заг}$ при 8 ударах и требуется клещевина, на которую расходуется от 5 до 20% от массы исходной заготовки. В высадочном ручье сечение легко увеличивается в 2 ÷ 3 и более раза, причем количество ударов от 2 до 3 и клещевина не требуется. В протяжном ручье обычно требуется еще больше ударов, чем в подкатном, и высадка в этом случае еще более выгодна. С помощью высадочного ручья можно изготавливать такие детали без предварительной подготовки заготовки свободной ковкой или на горизонтально-ковочных машинах, которые ранее считались недоступными.

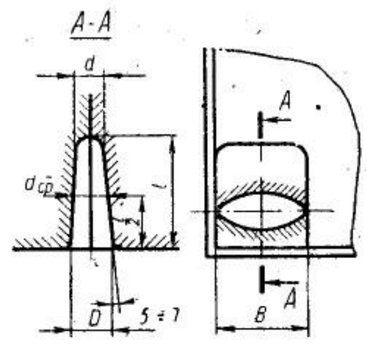


Рис. 175. Специальный протяжной ручей

Высадочный ручей применяют также при штамповке осадкой в торец поковок типа стержня с фланцем.

Подробный расчет размеров высадочного ручья дан в [42, 69].

Специальный протяжной ручей (рис. 175) предназначен для протяжки на конус концевых участков большой длины. При обработке в этом

ручье по заготовке наносят 2 ÷ 4 и более ударов, сопровождаемых кантовкой вокруг оси заготовки и подачей в осевом направлении. Специальный протяжной ручей применяют в сочетании с высадочным ручьем. Его можно применять также отдельно при штамповке поковок с фланцами осадкой в торец. Размеры специального протяжного ручья определяют в соответствии с размерами высадочного ручья или непосредственно, по размерам стержневой части поковки. Расчет размеров специального протяжного ручья см. в [42, 69].

§ 35. ОТРУБНЫЕ РУЧЬИ МОЛОТОВЫХ ШТАМПОВ

Отрубные ручьи служат для отделения отштампованной поковки от прутка, когда из исходной заготовки получают несколько поковок. Поковку укладывают перемычкой на лезвие ножа и одним ударом отсекают от заготовки. Отрубной ручей располагают в одном из углов штампа на переднем или заднем углу. В зависимости от этого различают передний отрубной ручей (передний нож) и задний отрубной ручей (задний нож). Оба ручья имеют типовую форму.

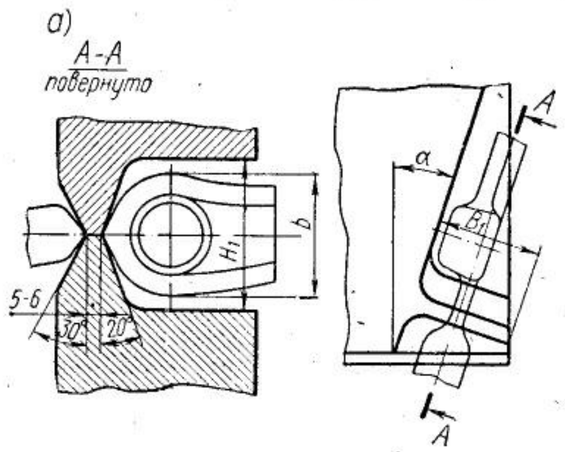


Рис. 176. Отрубные ручьи

Передний нож (рис. 176, *а*) располагают в плане под углом α к боковой грани штампа.

В полости ручья должна находиться поковка с заусенцем, причем плоскость разъема поковки устанавливают вертикально для уменьшения размера B_1 отрубного ручья в плане. Таким образом глубина полости H_1 должна соответствовать ширине поковки, включая заусенцы. Передний нож является более производительным, работать с ним удобнее, так как он расположен близко к штамповщику. Но передний нож занимает место на передней грани штампа, которое может понадобиться для второго заготовительного ручья. Кроме этого, полость переднего ножа может оказаться очень глубокой, так как ширина поковки с заусенцами может быть очень велика (> 150 *мм*). В этих случаях применяют задний нож.

Задний нож (рис. 176, *б*) располагают так же как и передний под углом α к боковой грани штампа. Поковку с заусенцами помещают сзади штампа, а в полости ручья кладут пруток, диаметр которого

меньше ширины поковки с заусенцами в плане. Поэтому полость заднего ручья мельче, а сам ручей прочнее, чем передний. Но работать на нем менее удобно и менее производительно.

Расчет размеров переднего и заднего ножей имеется в [42].

При штамповке с лезвиями обычной конструкции и плоским участком по плоскости разъема шириной 5 ÷ 6 *мм* (рис. 176) на заготовке остается тонкий заусенец — «ус». При последующей штамповке этот «ус» может дать зажим, во избежание чего в заготовительных ручьях делают специальную канавку для «уса». Если изменить конструкцию лезвия (рис. 177) и сделать заострения, то при отрубке никакого «уса» не получается.

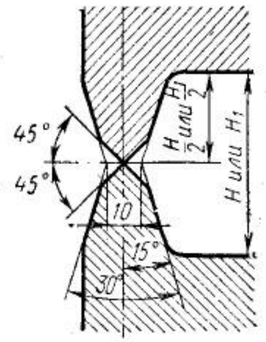


Рис. 177. Поперечное сечение отрубного ручья

§ 36. УРАВНОВЕШИВАНИЕ СДВИГАЮЩИХ УСИЛИЙ И НАПРАВЛЯЮЩИЕ МОЛОТОВЫХ ШТАМПОВ

При штамповке поковок с изогнутой осью или сечением, вызывающим неравномерное распределение давлений, возникают горизонтальные силы, смещающие половинки штампа одну относительно другой (рис. 178, *а*). Для уничтожения сдвигающих усилий применяют три

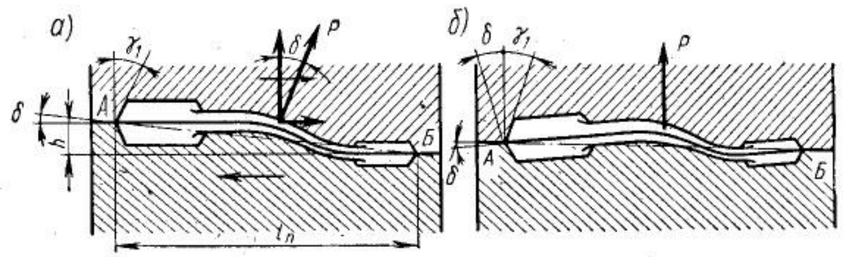


Рис. 178. Сдвигающие усилия при штамповке изогнутой поковки и поворот поковки относительно поверхности разъема:

а — до поворота; *б* — после поворота

основных способа: соответствующий выбор поверхности разъема (поворот поковки); штамповку сдвоенной поковки; устройство в штампе специальных направляющих (замков).

Поворот поковки (см. рис. 178) производят на угол δ, которому соответствует расположение крайних точек фигуры *А* и *Б* в одной горизонтальной плоскости. В результате поворота сдвигающие усилия уравновешиваются и равнодействующая сил направлена вертикально.

При повороте поковки на угол δ, на тот же угол поворачивается вертикаль, от которой откладывается штамповочный уклон γ_1 (рис. 178, *б*).

Поэтому в отдельных местах поковки становится необходимым увеличить штамповочный уклон на угол δ, например угол γ_1, чтобы

получить нормальный по величине штамповочный уклон, отсчитываемый от вертикальной оси.

Увеличение штамповочных уклонов увеличивает припуски и расход металла. Поэтому поворот поковки не рекомендуется применять в случаях, когда $\delta > 7°$.

Штамповку сдвоенной поковки (рис. 179) применяют для мелких поковок, чтобы не требовался молот слишком большого тоннажа. **Устройство в штампе специальных направляющих (замков)** применяют

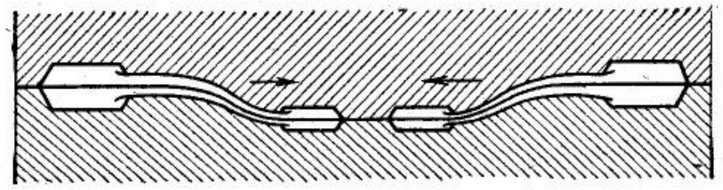


Рис. 179. Штамповка сдвоенной поковки

в случае, если для уравновешивания поковки недостаточно поворота на 7°. При этом поковку оставляют неразвернутой или поворачивают на угол $\delta = 7°$.

Направляющие (замки) проектируют таким образом, чтобы они не допускали сдвига штампа, уравновешивали сдвигающие усилия и обладали достаточной прочностью.

В зависимости от формы в плане, связанной с характером поковки и процессом штамповки, направляющие подразделяют на ряд рассматриваемых ниже типов.

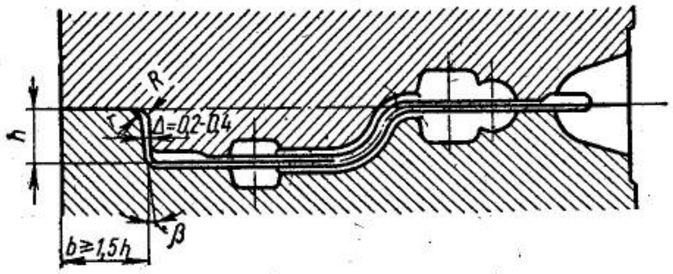


Рис. 180. Упорный зуб

Упорный зуб (рис. 180) применяют для предохранения от сдвига в одном направлении. Упорный зуб следует располагать сзади штампа, так как спереди имеется выемка для клещевины.

Высота замка h определяется формой поковки. Усилия, срезающие замок, велики и для обеспечения нужной прочности следует ширину зуба брать не менее 1,5 его высоты ($b > 1{,}5\,h$). Усилия велики потому, что зуб не только воспринимает сдвигающее усилие, но и должен в конце хода исправить сдвиг половинок штампа, получившийся в начале деформирования в окончательном ручье.

Рабочие поверхности замка делают с уклоном β, который определяют из условия, чтобы зазор ($h \operatorname{tg} \beta$), создаваемый этим углом, был

больше полного максимального возможного смещения половинок штампа на первых ударах в начале штамповки, пока зуб не вступит в действие. Зазор практически не превышает 2 *мм*, поэтому β колеблется в пределах от 1 до 7° в зависимости от h. При $h > 100$ *мм* $\beta = 1°$, при $h < 20$ *мм* $\beta = 7°$. Зазор Δ берут равным $0{,}2 \div 0{,}4$ *мм*. Радиусы закруглений замка внутренние $r = 5 \div 6$ *мм* и наружные $R = 8 \div 10$ *мм*. Замок с $h < 15$ *мм* применять не рекомендуется. Лучше повернуть поковку на угол δ (рис. 178). Если высота замка излишне большая ($h > 100$ *мм*), то можно применять замок с одновременным поворотом заготовки на угол $\delta = 7°$ и зубом, который, естественно, уменьшится в случае поворота.

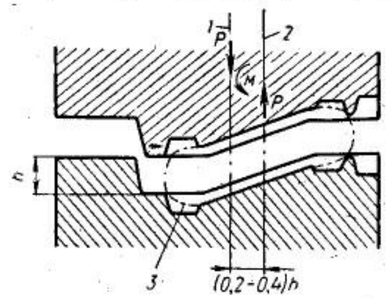


Рис. 181. Смещение центра ручья относительно центра штампа:

1 — ось молота, проходящая через центр штампа; *2* — ось, проходящая через центр ручья; *3* — контур штампуемой заготовки

При применении зуба следует центр ручья размещать не в точке пересечения осей хвостовика и шпонки, которая является центром штампа, а в точке, смещенной на $0{,}2 \div 0{,}4\,h$ в сторону, противоположную от замка (рис. 181).

Указанное смещение необходимо делать потому, что с первых же ударов верхний штамп сбивается в сторону зуба. Зуб не обладает достаточной прочностью, чтобы воспринимать первые удары, которые пришлись бы по верхней кромке наклонной поверхности зуба. При смещении же центра ручья в начальный момент штамповки возникает

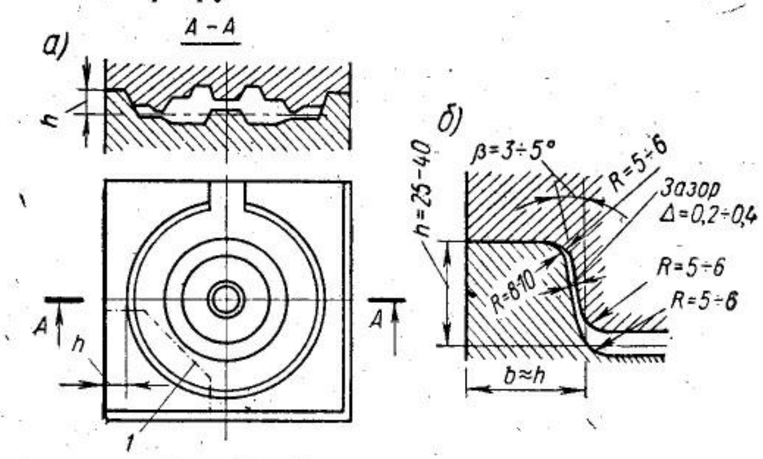


Рис. 182. Кольцевые направляющие:

а — общий вид штампа; *б* — сечение по направляющим

пара сил (см. рис. 181), стремящихся оттянуть верхний штамп от замка. Зуб вступает в действие в конце штамповки, при последних ударах. При этом удар воспринимается всей наклонной поверхностью зуба и зуб хорошо его выдерживает.

Кольцевые или круглые направляющие (рис. 182) применяют для предохранения от сдвига во всех направлениях, за исключением пово-

рота вокруг вертикальной оси. Их можно применять при штамповке поковок типа шестерен, линия разъема которых лежит в одной плоскости, и разъем мог бы быть простой плоскостью, но когда молот очень изношен или плохо отрегулированы направляющие бабы. Это повышает точность при штамповке и облегчает установку штампов. Кольцевые замки необходимо применять в следующих случаях:

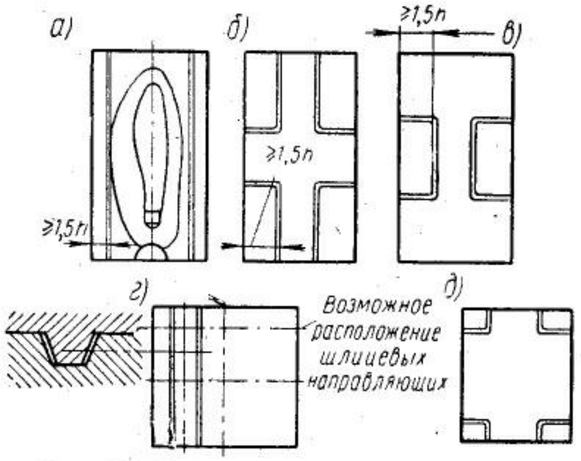


Рис. 183. Различные виды направляющих

а) когда форма поковки такова, что нецентральное расположение заготовки и одностороннее течение металла может вызвать значительное смещение верхней половины штампа, например при тонкостенных чашках;

б) когда конструкция поковки не дает возможности контролировать сдвиг по внешнему виду поковки, например у конических шестерен;

в) когда к поковке предъявляют повышенные требования по сдвигу.

Если на штампе должна быть площадка для осадки (см. рис. 182, поз. *1*, показано пунктиром), то можно сделать вырез в круглом замке.

Долевые направляющие (рис. 183, *а*) применяют для предохранения от вращения и сдвига по всем направлениям, кроме параллельного этим направляющим. Их применяют при штамповке длинных поковок сложной формы, где есть опасность сдвига, главным образом перпендикулярно к узкой стороне, или поворота половинок штампа.

Крестовые направляющие (рис. 183, *б*) предохраняют от сдвига во всех направлениях.

Боковые направляющие (рис. 183, *в*) также предохраняют от сдвига во всех направлениях, но оставляют свободными передние углы штампа.

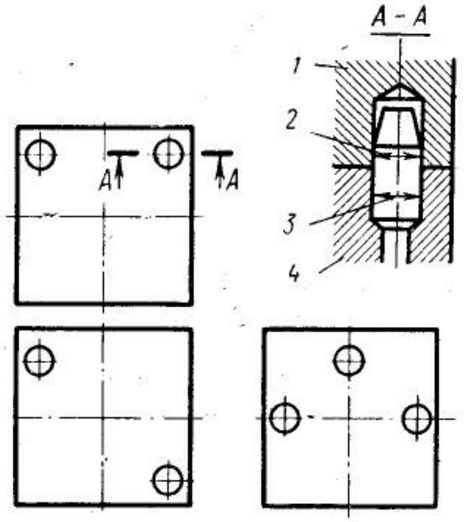


Рис. 184. Направляющие колонки и различные способы их расположения на штампе в плане:

1 — верхний штамп; *2* — зазор на диаметр колонки 0,6—1 *мм*; *3* — горячая посадка; *4* — нижний штамп

При небольших сдвигающих усилиях, действующих в одном направлении, применяют шлицевые направляющие (рис. 183, *г*). Иногда применяют угловые направляющие (рис. 183, *д*), которые предохраняют от сдвига во всех направлениях.

Форма и размеры поперечного сечения всех видов направляющих такие же, как у кольцевых направляющих.

В качестве направляющих могут служить направляющие колонки, различные способы расположения которых на штампе показаны на рис. 184. Применение направляющих колонок имеет большие преимущества, так как для изготовления обычных направляющих требуется с поверхности разъема штампов снять дополнительно слой металла, равный высоте направляющих. При применении колонок требуется сделать только отверстия для их запрессовки в нижнем штампе и для входа (направления) колонок в верхнем штампе.

§ 37. РАСПОЛОЖЕНИЕ РУЧЬЕВ В МОЛОТОВОМ ШТАМПЕ

Ручьи на плоскости разъема штампов располагают относительно центра штампа, за который принимают точку пересечения оси хвостовика и шпонки. Через центр штампа проходит ось симметрии молота и равнодействующая сил, действующих со стороны бабы молота.

Штамповочные ручьи располагают вблизи центра штампа, а заготовительные ручьи — с боков штампа.

На определенном расстоянии от центра штампа располагают центр ручья — точку приложения равнодействующей сил сопротивления деформированию поковки и заусенца.

Если поковка симметричная, то центр ручья лежит на оси симметрии (рис. 185, *а*).

Если поковка несимметричная, то предполагают, что давление в полости ручья распределяется равномерно и за центр ручья можно принять центр тяжести проекции поковки и мостика заусенца в плане (рис. 185, *б*).

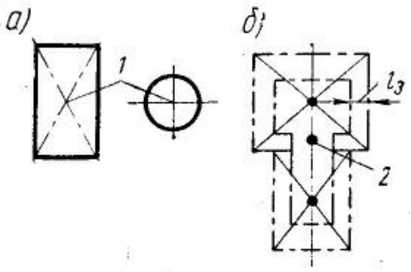


Рис. 185. Определение центра ручья у симметричной (*а*) и несимметричной (*б*) в плане поковки:

1 — центр ручья; *2* — центр ручья, центр тяжести площади фигуры

В случае если давление в полости ручья распределяется неравномерно, то вначале определяют центр ручья, как центр тяжести ручья с заусенцем. Затем его сдвигают в сторону части ручья, где действуют повышенные удельные усилия при штамповке, используя при этом имеющийся опыт по штамповке аналогичных поковок. Центр ручья обычно смещается в сторону более сложной или более тонкой части ручья.

Центр штамповочного ручья можно определить более точно, используя существующие представления об очаге деформации и распределении напряжений при штамповке [82, 83]. Однако при обычной штамповке на молотах в таких уточненных расчетах нет необходимости.

Расположение штамповочных ручьев. Если в штампе один штамповочный ручей (окончательный) и предварительного ручья нет, то центр ручья совмещают с центром штампа. При этом, как указывалось ранее, глубокие полости ручья располагают в верхней части штампа. При штамповке с клещевиной глубокие полости располагают ближе

к клещевине, чтобы поковка легче вытаскивалась из полости (рис. 186, *а*). Застревание поковки происходит в глубоких полостях и чем ближе последние расположены к клещевине, тем меньше изгибающий момент, затрудняющий выемку поковки из полости. Однако при таком расположении возникает опасность вытекания части металла в клещевину.

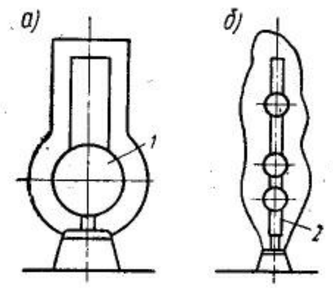


Рис. 186. Расположение окончательного ручья относительно выемки под клещевину при одноштучной (*а*) и многоштучной (*б*) штамповке:

1 — глубокая полость ручья; *2* — мелкая полость ручья

При многоштучной штамповке ручьи располагают цепочкой таким образом, чтобы глубокие полости были ближе к клещевине за исключением ручья, расположенного рядом с клещевиной (рис. 186, *б*).

Если кроме окончательного ручья есть еще и предварительный, то применяют два способа расположения этих ручьев относительно центра штампа.

По первому способу ручьи располагают по обе стороны от центра штампа. Центр окончательного ручья располагают на расстоянии в два раза меньшем, чем центр предварительного ручья (рис. 187, *а*). Между полостями ручьев оставляют расстояние S_{min}, которое рассчитывают (см. ниже) из условий прочности. Расстояние между центрами ручьев a; расстояние от центра окончательного ручья до центра штампа $\frac{a}{3}$, а от центра предварительного ручья до

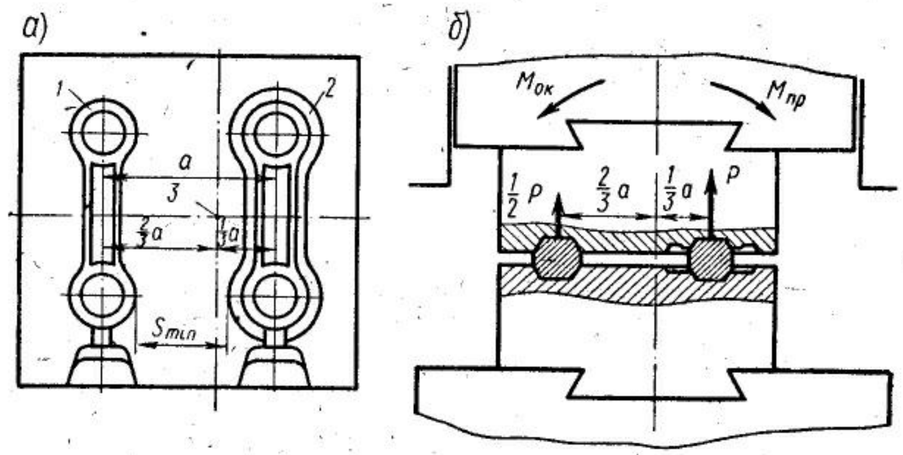


Рис. 187. Расположение штамповочных ручьев относительно центра штампа по первому способу:

а — вид ручьев в плане; *б* — схема действия сил при штамповке; *1* — предварительный ручей; *2* — окончательный ручей; *3* — центр штампа

центра штампа $\frac{2}{3}a$. Выбор отношения между расстояниями от центра ручьев до центра штампа основывался на предположении, что в окончательном ручье возникают усилия в два раза больше, чем в предварительном ручье. При штамповке в окончательном ручье возникает

усилие P, а при штамповке в предварительном ручье 0,5 P (рис. 187, *б*). Оба ручья расположены по разные стороны от центра штампа, через который происходит нагружение и передается усилие при штамповке от бабы молота к заготовке. Это усилие будет равно при штамповке в окончательном ручье P и в предварительном 0,5 P. Так как между усилиями, действующими в ручьях и вдоль оси бабы, существует эксцентриситет, то возникают пары сил и соответствующие им моменты M, которые равны и направлены в противоположные стороны. Итак,

$$M_{ок} = P\frac{a}{3} = \frac{Pa}{3}$$

и

$$M_{пр} = 0{,}5P\frac{2}{3}a = \frac{Pa}{3},$$

т. е.

$$M_{ок} = M_{пр}.$$

При воздействии на поковку момента $M_{ок}$ верхняя часть поковки получает сдвиг вправо относительно нижней части, а при воздействии момента $M_{пр}$ верхняя часть сдвигается влево. Таким образом сдвиг, который получится в предварительном ручье, будет исправлен в окончательном ручье, причем величина сдвига, очевидно, будет одинаковой в обоих ручьях, так как моменты $M_{ок}$ и $M_{пр}$, одинаковы (см. рис. 187, *б*). При плохой подготовке заготовки в предварительном ручье могут возникать усилия, приближающиеся к усилиям в окончательном ручье. В этом случае расстояние от центров ручьев до центра штампа следует брать в пропорции 1 : 1.

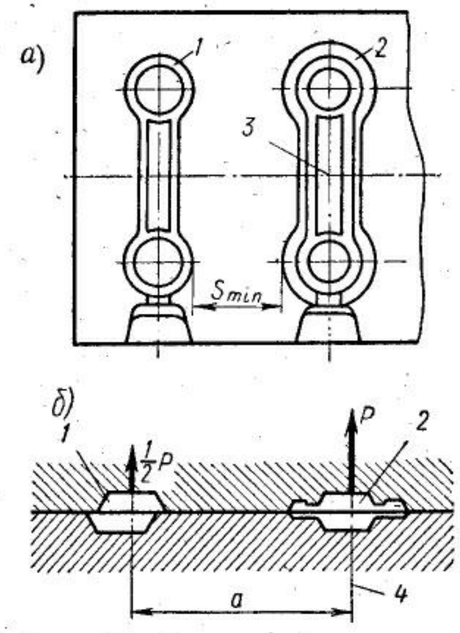


Рис. 188. Расположение штамповочных ручьев относительно центра штампа по второму способу:

а — вид ручьев в плане; *б* — схема действия сил при штамповке (разрез по ручьям); *1* — предварительный ручей; *2* — окончательный ручей; *3* — центр штампа; *4* — ось молота

По второму способу штамповочные ручьи располагают следующим образом. Центр окончательного ручья совмещают с центром штампа, а центр предварительного ручья располагают на расстоянии a от центра штампа (рис. 188, *а*). При штамповке в окончательном ручье в этом случае не возникнет никакого момента и не произойдет сдвига верхней части поковки относительно нижней. При штамповке в предварительном ручье возникнет момент $\frac{P}{2}a$, который будет сдвигать верхнюю часть поковки относительно нижней. Для компенсации сдвига верхнюю полость предварительного ручья выполняют в штампе с заранее заданным смещением в сторону, противоположную предполагаемому сдвигу, причем смещение принимают равным предполагаемому сдвигу (рис. 188, *б*). Таким образом, поковка из предварительного ручья поступает в окончательный ручей без сдвига.

В обоих случаях при расположении штамповочных ручьев стремятся уменьшить расстояние между центрами ручьев, чтобы ручьи располагались ближе к центру штампа. Для этого идут даже на то, чтобы ручьи располагались на разных расстояниях от передней грани штампа, но зато при этом выступы в плане полости одного ручья будут входить в выемки другого ручья.

Расположение заготовительных ручьев. Для заготовительных ручьев остается место только на краях штампа. В этом случае эксцентриситет нагрузки велик, однако момент будет небольшой, так как усилия при штамповке в заготовительных ручьях относительно малы.

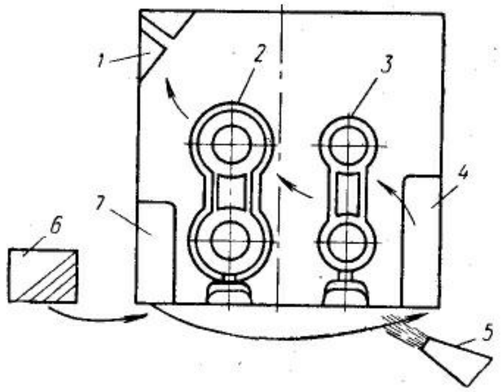


Рис. 189. Расположение заготовительных ручьев в штампе:

1 — нож; 2 — окончательный ручей; *3* — предварительный ручей; *4* — подкатной ручей; *5* — сопло для обдувки; *6* — печь; *7* — протяжной ручей

При размещении заготовительных ручьев учитывается расположение оборудования на рабочем месте, например, печи относительно молота, а также сопла обдувки штампа. Первый заготовительный ручей помещают со стороны печи. Тогда транспортировка заготовки от печи к штампу будет кратчайшей. Сопло обдувки должно быть расположено с противоположной стороны с тем, чтобы окалина, выдуваемая из первого ручья, сдувалась со штампа, не попадая в другие ручьи. Остальные ручьи располагают в такой последовательности, которая обеспечивает кратчайший путь транспортировки заготовки по ручьям штампа (рис. 189).

Особое внимание следует обращать на расположение гибочного ручья. Его располагают таким образом, чтобы заготовку после штамповки в этом ручье можно было передать в штамповочный ручей без какого-либо разворота, простым поворотом на 90°. В этом случае заготовку приподнимают из ручья и прямо сваливают, поворачивая, в штамповочный ручей.

Требование удобства переноса заготовки из гибочного ручья очень важно и его необходимо выполнять, даже поступаясь другими требованиями.

Правильное расположение ручьев в штампе в значительной степени зависит от конкретных условий на рабочем месте, которые обязательно надо учитывать.

§ 38. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ СТЕНОК В МОЛОТОВОМ ШТАМПЕ И ВЫБОР ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ШТАМПА

Определение толщины стенок в штампе. Стенки между полостями ручьев и боковыми гранями штампа, а также между ручьями должны обладать достаточной прочностью. Чем глубже полости ручьев, тем

больше должна быть толщина стенки. Чем меньший уклон имеют прилегающие стенки ручьев, тем толще они должны быть. Чем меньше радиус на переходе от стенки к дну полости, тем толще должна быть стенка (рис. 190). Влияет также и форма полости ручья в плане. Расстояние между ручьями определяется на основании вспомогательной величины T [79].

Вспомогательная величина T зависит от тех же факторов, что и толщина стенки. Формула для T получена эмпирическим путем:

$$T = \frac{11h}{\sqrt{h+0{,}4r}} \cos\gamma_1.$$

Величина T определяет влияние параметров менее глубокой смежной полости, со стороны которой и возможно разрушение стенки.

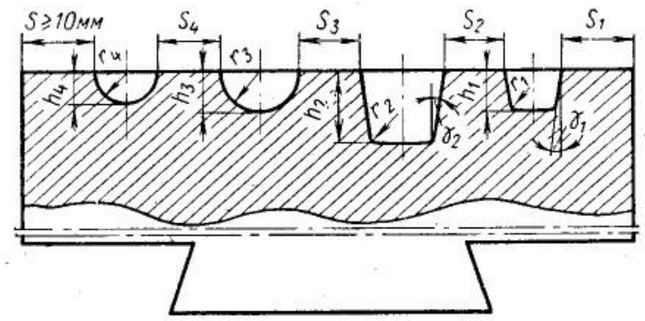


Рис. 190. Схема к определению толщины стенок в штампе

Поэтому величины h, r и γ должны соответствовать смежному ручью меньшей глубины.

Толщину стенки (*мм*) между ручьем и гранью штампа определяют по формуле

$$S_1 = T - 7.$$

Толщина стенки между двумя полостями

$$S_2 = (T-7)\cos\gamma_2,$$

где γ_2 — уклон более глубокой полости.

Если $r > h$ (например, подкатной ручей), то по расчету может получится $S < 10$ *мм*. Тогда следует принимать $S = 10$ *мм*. Если $r = h$, то $S_3 = (9{,}3\sqrt{r} - 7)\cos\gamma_2$. Если у обоих смежных ручьев $r = h$, то $S_4 = 0{,}8\,(9{,}3\sqrt{r} - 7)$. Толщину стенки между полостями при многоштучной штамповке определяют по формуле:

$$S_{мн} = 0{,}6\,(T-7)\cos\gamma_2.$$

Расстояние от полости ручья до выемки под клещевину определяют по формуле:

$$S_{кл} = 0{,}7\,(T-7)\cos\gamma_{кл},$$

где $\gamma_{кл}$ — угол наклона клещевины. Расстояние от полости ручья до

выемки под заливку при штамповке осадкой в торец, когда штамповка осуществляется без клещевины, определяют по формуле:

$$S_{зал} = (1 \div 1{,}4)(T - 7)\cos\gamma_{зал},$$

где $\gamma_{зал}$ — угол наклона выемки под заливку.

Заметим, что во всех случаях толщина стенки в плане определяется для сечения, дающего минимальную толщину между ручьями.

Полученные значения S иногда целесообразно скорректировать. Например, если полость вблизи грани штампа имеет большую длину, вдоль которой толщина стенки S_1 остается постоянной, то полученный по формуле размер увеличивают, так как при большой длине относительно тонкой стенки, последняя оказывается недостаточно прочной.

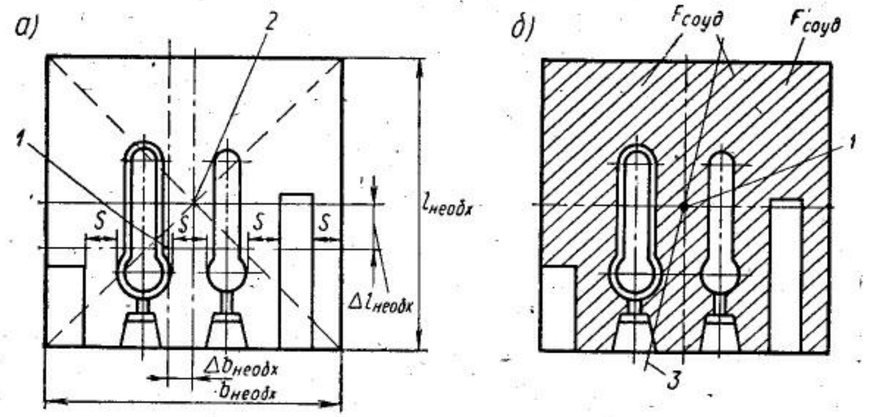


Рис. 191. Определение размеров штампа в плане:

1 — центр штампа; *2* — центр штампового кубика; *3* — прямая, отсекающая меньшую площадь соударения

Выбор заготовки для штампа. Обычно заготовками для штампов служат штамповые кубики. Размеры штампового кубика в плане определяются количеством и размерами ручьев, расположением ручьев, толщинами стенок между ручьями и между ручьями и гранями штампа.

Размещение ручьев начинают от центра штампа. Две пересекающиеся оси: ось хвостовика и ось шпонки дают в пересечении точку — центр штампа, вблизи которого располагают штамповочные ручьи, а затем, по периферии штампа располагают заготовительные ручьи (рис. 191, *а*). С учетом необходимых толщин стенок S получают необходимые размеры кубика в плане $l_{необх}$ и $b_{необх}$.

После этого определяют геометрический центр штампового кубика в плане. В общем случае центр штампа и центр штампового кубика не совпадают. Между ними вдоль ширины $b_{необх}$ получается расстояние $\Delta b_{необх}$, а вдоль $l_{необх}$ — $\Delta l_{необх}$. Чем меньше величины $\Delta b_{необх}$ и $\Delta l_{необх}$, тем более уравновешена масса падающих частей относительно оси молота. Считают, что допустимые величины $\Delta l_{необх}$ и $\Delta b_{необх}$ не должны превышать 0,1 от соответствующих величин $l_{необх}$ и $b_{необх}$, т. е.

$$\Delta l_{необх} \leqslant 0{,}1 l_{необх} \text{ и } \Delta b_{необх} \leqslant 0{,}1 b_{необх}.$$

Если последние неравенства не удовлетворяются, то следует увеличить размеры $l_{необх}$ и $b_{необх}$ в направлении от центра штампа, противоположном расположению отрезков $\Delta l_{необх}$ и $\Delta b_{необх}$. При этом геометрический центр кубика приблизится к центру штампа, и неравенства будут удовлетворяться.

Затем проводится проверка на необходимую величину площади соударения штампов (рис. 191, *б*, площадь соударения заштрихована). Эта площадь должна быть достаточной. При малой площади штамп при соударении может расколоться или подсесть, а при излишне большой площади будет лишний расход металла. Площадь соударения, приходящаяся на единицу массы падающих частей молота, зависит от массы штампа [15]. Мелкие штампы подвергают закалке до большей твердости, на большую прочность, и поэтому они могут выдерживать большие удельные усилия по площади соударения, а саму площадь можно уменьшить. Средние штампы (при массе падающих частей молота от 2 до 4 *т*) закаливают до меньшей твердости и относительная площадь соударения у них должна быть выше, чем у мелких штампов. Наибольшая относительная площадь соударения должна быть у крупных штампов.

Учитывая изложенное, для мелких штампов следует принимать площадь соударения $F_{мелк}$ не менее 150 $см^2$ на 1 *т* массы падающих частей молота, или

$$F_{мелк} \geqslant 150\ см^2 \cdot G,$$

где G — масса падающих частей молота, *т*.

Для средних штампов

$$F_{средн} \geqslant 300\ см^2 \cdot G,$$

а для крупных

$$F_{крупн} \geqslant 450\ см^2 \cdot G.$$

Все эти неравенства являются приближенными. Они верны для обычных марок штамповой стали при обычных способах термообработки.

Дополнительным требованием для площади соударения штампов является равномерность ее распределения относительно центра штампа. Если через центр штампа провести прямую линию, с одной стороны которой отсекается меньшая площадь соударения $F'_{соуд}$, то эта меньшая площадь соударения должна быть не менее половины общей расчетной площади соударения $F_{соуд}$, определенной по приведенным выше неравенствам (см. рис. 191, *б*).

Если площади $F_{соуд}$ и $F'_{соуд}$ не удовлетворяют неравенствам, то надо увеличить размеры $l_{необх}$ и $b_{необх}$ до таких величин, чтобы эти неравенства удовлетворялись. При этом может оказаться целесообразным более свободное расположение ручьев на штампе.

Так определяют габаритные размеры штампового кубика в плане.

Выбор высоты кубика должен происходить с учетом прочности штампа и необходимости возобновлений штампа, при которых высота уменьшается. В первом приближении высоту кубика можно определить по наиболее глубокой полости, имеющейся в штампе (рис. 192). Для

небольших глубин ($h_{max} = 10 \div 25$ *мм*) высоту кубика H_{min} рассчитывают по формуле $H_{min} = (6 \div 10)\, h_{max}$, а при глубине $h_{max} = 50 \div 100$ *мм* $H_{min} = (3 \div 4)\, h_{max}$, причем меньшие значения коэффициентов соответствуют большей высоте h_{max}.

После определения необходимых размеров штампового кубика последний выбирают по ГОСТ 7831—55*, в котором наряду с размерами указана масса кубика. Кубик имеет размеры $A \times B \times C$. Размер A максимальный, а размер C минимальный (рис. 193).

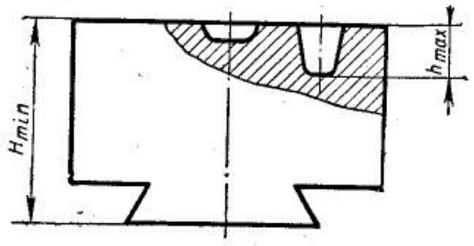


Рис. 192. Определение минимальной высоты штампов

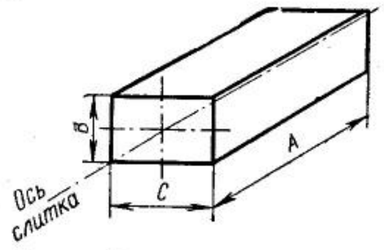


Рис. 193. Штамповый кубик

При выборе размеров штампового кубика учитывают, что плоскостью для гравирования фигуры может быть любая плоскость кубика за исключением плоскости $B \times C$, перпендикулярной к размеру A, который соответствует оси слитка. Волокна в штамповом кубике располагаются вдоль оси слитка или размера A. Поэтому, если изготовить ручьи на плоскости $B \times C$, то волокна расположатся в направлении удара, возникающие в ручьях удельные усилия будут как бы раскалывать штамп. Штамп в этом случае получается непрочным, особенно в местах перехода от хвостовика к заплечикам, где растягивающие напряжения при нецентральном ударе действуют поперек волокон. Чтобы отличить плоскость $B \times C$, на заводе-изготовителе ставят на ней клеймо.

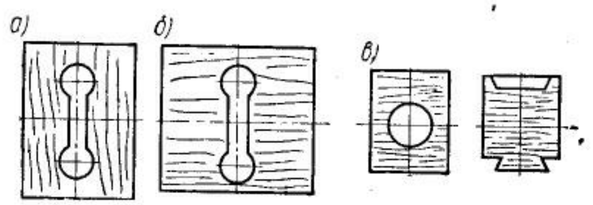


Рис. 194. Расположение волокон в штампе относительно ручья и хвостовика

При расположении ручьев на выбранной плоскости кубика следует учитывать направление волокон и размещать ручьи по длине в направлении волокна и только в случае глубоких полостей ради прочности штампа ручьи размещать поперек волокон (рис. 194).

По рис. 194, *а* расположение ручья вдоль волокна увеличивает стойкость ручья, так как металл течет вдоль волокна и полость изнашивается меньше. По рис. 194, *б* стойкость штампа будет ниже, зато опасные усилия действуют по толщине стенок впереди и сзади полости вдоль волокон и штамп прочнее. На рис. 194, *в* показано правильное расположение волокон в штампе при штамповке круглых в плане поковок. Здесь имеет значение расположение волокон вблизи хвостовика. В этом случае нагрузка действует вдоль волокон.

Заготовки для штампов могут быть не только кубиками. При штамповке круглых в плане поковок часто применяют цилиндрические заготовки, о ковке которых было сказано в гл. IV, § 20.

После выбора размеров штамповых кубиков производят проверку, поместится ли данный штамповый кубик между стойками молота, достаточен ли по высоте размер штамповых кубиков и, наконец, соответствует ли масса верхнего штампа массе падающих частей молота.

Штамповый кубик должен свободно помещаться между стойками молота, чтобы его можно было легко установить и снять с молота.

Совместная высота верхнего и нижнего штампов должна быть больше закрытой высоты штампового пространства в 1,25 раза, что необходимо для возможности возобновления штампа.

Оптимальная масса верхнего штампа должна быть не более $0{,}25 \div 0{,}35$ от массы падающих частей молота, так как увеличение ее приводит к потерям производительности и к. п. д. молота.

§ 39. ВЫБОР РУЧЬЕВ МОЛОТОВЫХ ШТАМПОВ

При разработке технологии штамповки на молотах большое значение имеет правильный выбор ручьев, от которого зависит не только экономичность процесса, но и возможность изготовления данной поковки вообще. Выбор ручья определяется прежде всего формой и размерами поковки. Кроме того, применение тех или иных ручьев зависит от способа штамповки. Обычно не представляет большого труда определить способ штамповки поковки: штамповка плашмя (поперек оси заготовки) или штамповка осадкой в торец (вдоль оси заготовки). Вместе с тем сам способ штамповки определяется формой и размерами поковки. Кроме этого, существующие ручьи молотовых штампов и их групп применяют для определенных групп поковок, соответствующей формы и соотношений размеров. Поэтому создана такая классификация поковок, которая облегчает выбор необходимых для штамповки ручьев.

В классификации поковки подразделены на группы и подгруппы по следующим признакам:

а) выбранный способ штамповки поковки: штамповка плашмя или штамповка осадкой в торец;

б) форма и отношение основных размеров поковки, влияющие на применение тех или иных заготовительных или заготовительно-предварительных ручьев;

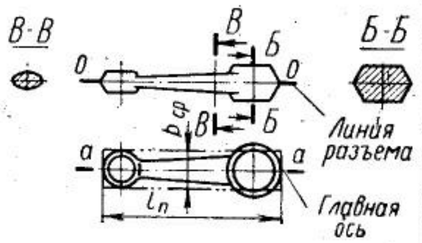
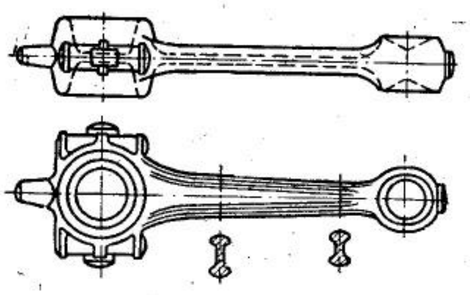
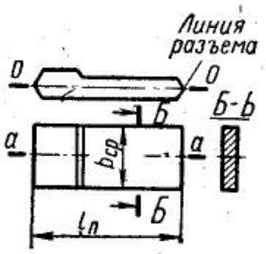
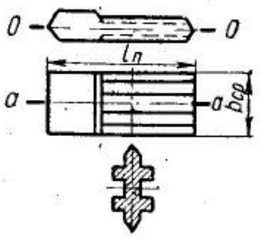
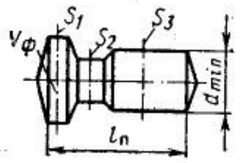
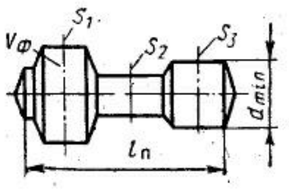
в) формы поперечных сечений поковки, обусловливающие характер формоизменения при заполнении полостей штамповочного ручья металлом и необходимость применения заготовительно-предварительных ручьев;

г) формы главной оси поковки * и линии разъема, предопределяющие применение особых заготовительных ручьев или необходимость уравновешивания сдвигающих сил, возникающих при штамповке.

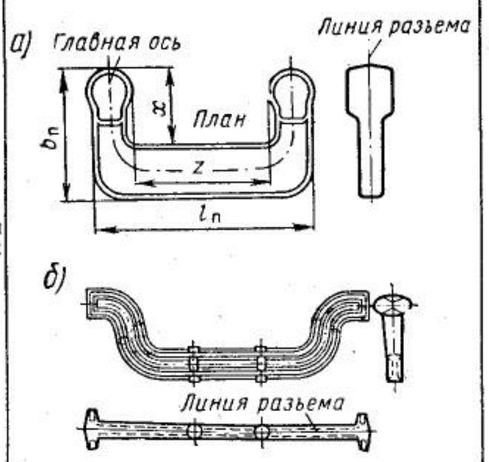
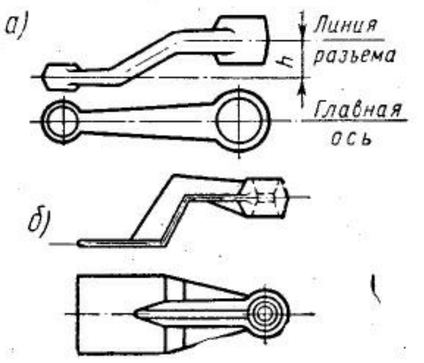
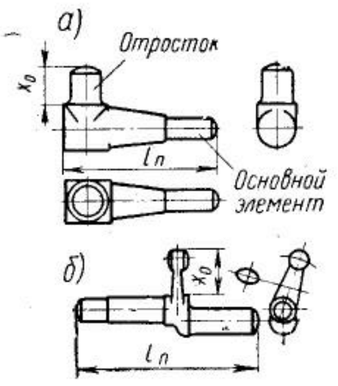
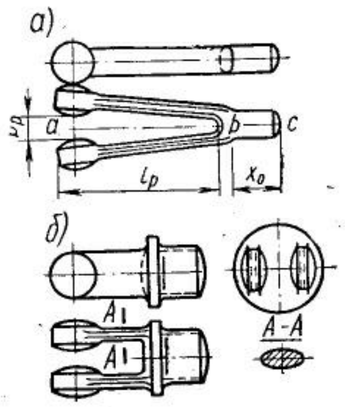
* Главной осью поковки называется проекция линии, проходящей через центр тяжести ее поперечных сечений, в плане.

Таблица 19

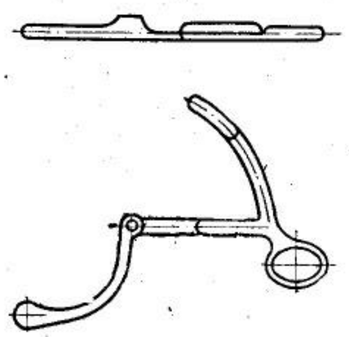
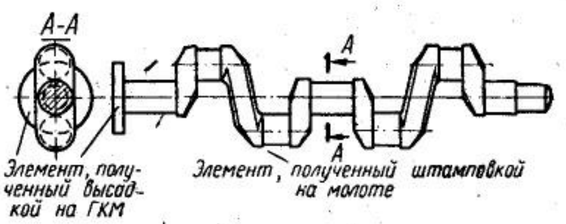
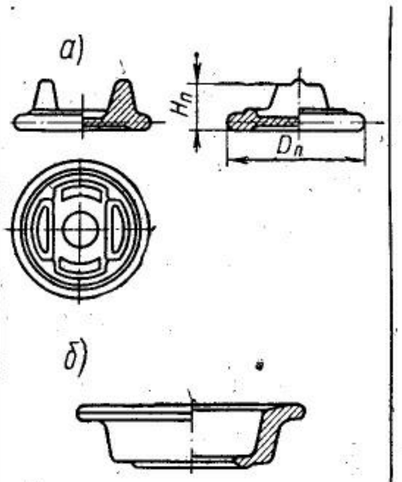
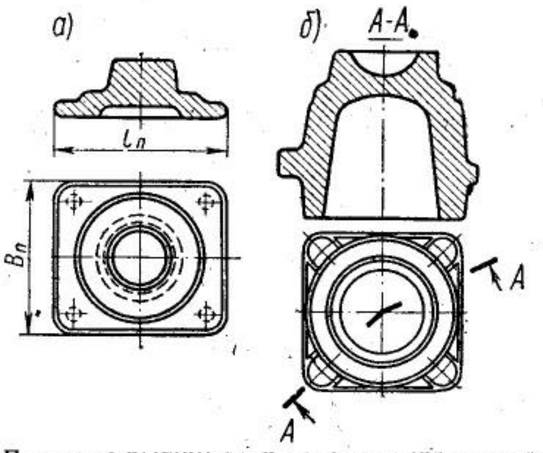
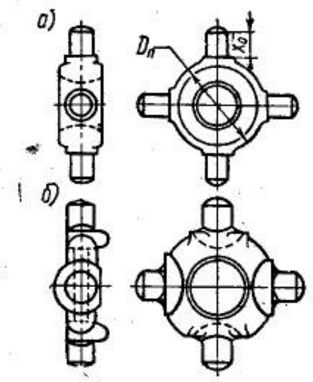
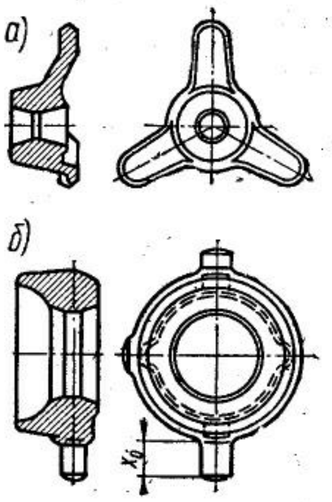
Классификация молотовых поковок

Номер группы	Наименование и основная характеристика группы	Номер подгруппы	Наименование и основная характеристика подгруппы	Характерные технологические особенности поковок подгруппы	Типы поковок с эскизами примерных форм сечений	
					А	Б
I	*Поковки, штампуемые перпендикулярно к оси заготовки (штамповка плашмя)* Поковки удлиненной формы и приводимые к этой форме. Характеризуются значительной величиной отношения длины поковки к ее средней ширине в плане. При таком соотношении размеров деформация поковки в штамповочных ручьях протекает главным образом вследствие формоизменения в направлении высоты и ширины поковки, т. е. в направлении двух осей; в направлении же главной оси поковки деформация незначительная, что может быть охарактеризовано как плоскодеформированное состояние	1	Поковки удлиненные в плане с прямой линией разъема *О—О* и прямой, удлиненной главной осью *а—а*; отношение длины к средней ширине поковки в плане $\frac{l_п}{b_{ср}} > 2{,}5$	В качестве заготовительных применяют операции, которые распределяют металл исходной заготовки в соответствии с величинами площадей поперечных сечений поковки	Поковки простых поперечных сечений (круглые, трапецеидальные и т. д.), получаемые штамповкой с незначительным выдавливанием металла 	Поковки сложных поперечных сечений (ребристые, двутавровые и т. д.), получаемые штамповкой со значительным выдавливанием металла 
		2	Поковки удлиненные в плане с прямой линией разъема и прямой главной осью, при отношении примерно $1{,}5 < \frac{l_п}{b_{ср}} < 2{,}5$	В качестве заготовительных применяют операции, которые требуют некоторого перераспределения металла исходной заготовки по длине в соответствии с величинами площадей поперечных сечений поковки и дающие уширение заготовки	Поковки простых сечений (прямоугольные, трапецеидальные и т. д.), получаемые штамповкой с незначительным выдавливанием металла 	Поковки сложных поперечных сечений (ребристые, двутавровые и т. д.), получаемые штамповкой со значительным выдавливанием металла 
	Преобладание плоской деформации в процессе последней фазы штамповки является характерной особенностью поковок I группы	3	Поковки удлиненные в плане с прямой осью, имеющие фланец или бурт, с небольшой разницей в площадях поперечных сечений на других участках ($S_1 > S_2$; $S_2 \approx S_3$)	В качестве заготовительных операций требуются высадка фланца или бурта (тип А), а при большом объеме фланца $V_ф$ тип (Б) — также специальный протяжной ручей	Поковки с относительно небольшим объемом фланца $V_ф < 3\frac{\pi d^3_{min}}{4}$ 	Поковки с большим объемом фланца $V_ф > 3\frac{\pi d^3_{min}}{4}$ 

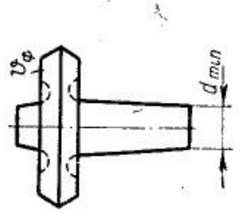
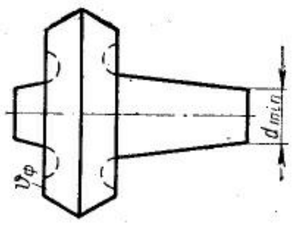
Продолжение табл. 19

Номер группы	Наименование и основная характеристика группы	Номер подгруппы	Наименование и основная характеристика подгруппы	Характерные технологические особенности поковок подгруппы	Типы поковок с эскизами примерных форм сечений	
					А	Б
		4	Поковки с изогнутой осью Поковки, у которых или главная ось (типа А) или линия разъема (типа Б) представляют собой кривые (ломаные) линии При сравнительно небольшом размере x (тип А) поковка может быть отнесена к 5-й подгруппе (тип А с отростками) При сравнительно небольшом перепаде h (тип Б) поковку можно отнести к 1-й подгруппе При относительно малом z — к 5-й подгруппе (тип Б с развилинами)	Кроме переходов по перераспределению объема исходной заготовки (если таковые требуются), для поковок типа А применяют гибку и, как правило, гибочный ручей в штампе Для поковок типа Б гибку в специальном ручье не применяют, так как требуемый изгиб заготовок происходит при ее деформации в штамповочных ручьях (предварительном и окончательном). При этом требуется уравновешивание сдвигающих усилий при штамповке	Поковки с кривой главной осью простых (а) и сложных (б) поперечных сечений 	Поковки с кривой линией разъема простых (а) и сложных (б) поперечных сечений 
		5	Поковки удлиненные с отростками и развилинами Поковки с односторонне смещенными элементами конфигурации, приводящими к плавному или резкому искривлению главной оси (тип А) Поковки, у которых главная ось на некотором участке ab проходит не по сплошному телу поковки, а между отдельными ее элементами, составляющими развилину (тип Б)	Кроме требуемых заготовительных ручьев, необходимо применение заготовительно-предварительного ручья При типе А требуется заготовительно-предварительный ручей со специальным элементом, обеспечивающим выход металла в упрощенную полость под отросток Иногда применяют формовочный ручей для смещения металла в сторону отростка. При значительной длине отростка x_0 применяют также метод штамповки в свернутом виде с последующей (после обрезки заусенца) разводкой Для производства поковок типа Б необходимо применять заготовительно-предварительный ручей со специальным элементом в штампе (рассекателем), служащим для разгона металла по направлению от оси a—c в полости под развилину	Поковки с вытянутой осью и отростком 	Поковки с развилиной, приводимые к подгруппе с вытянутой осью (1-й подгруппе) из-за значительной длины развилины $\left(\frac{l_р}{b_р} \text{ велико}\right)$ или длины стержня 

Продолжение табл. 19

Номер группы	Наименование и основная характеристика группы	Номер подгруппы	Наименование и основная характеристика подгруппы	Характерные технологические особенности поковок подгруппы	Типы поковок с эскизами примерных форм сечений	
					А	Б
		6	Поковки удлиненные комбинированной формы Поковки, изготовляемые методом расчленения процесса и комбинирования агрегатов сообразно специфике формы отдельных элементов поковки Поковки приводят к 1—5-й подгруппам с изменением формы поковки и после штамповки на молоте штампуют на других агрегатах	Прогрессивность методов расчлененной штамповки основана на том, что сообразно форме и размерам отдельных элементов поковки применяют различные штамповочные агрегаты, наиболее соответствующие требованиям рациональной штамповки этих элементов	Поковки, изготовляемые комбинированием штамповочного молота с прессом или специальными машинами 	Поковки, изготовляемые комбинированием молота с горизонтально-ковочной машиной 
II	*Поковки, штампуемые вдоль оси заготовки (штамповка осадкой в торец)*	1	Поковки круглые и квадратные в плане	Технологические приемы отвечают указанным особенностям их формы и сводятся	Поковки круглые, при штамповке которых преобладают осаживание и выдавливание металла (*а*), осаживание и прошивка с раздачей металла (*б*)	Поковки квадратные, при штамповке которых преобладают осаживание и выдавливание металла (*а*), осаживание и прошивка с раздачей металла (*б*)
	Поковки круглые и квадратные в плане или близкие к этой форме, у которых в плане два размера во взаимно перпендикулярных направлениях примерно равны или основной элемент круглой (квадратной) формы имеет отростки		Поковки типа колец, втулок, шестерен, поршней, круглых фланцев и прочие диаметром в плане $D_п$ (тип А) Поковки типа фланцев, кожухов, крышек и прочие квадратной в плане формы ($B_п \times B_п$) или близкой к этой форме ($L_п \approx B_п$) (тип Б)	к комбинации главным образом таких видов формоизменения, как осаживание, выдавливание и прошивка		
	Благодаря указанным особенностям формы штамповка поковок происходит чаще всего вследствие совместного протекания различных видов формоизменения: осаживания (высадки), выдавливания и прошивки в условиях объемного деформированного состояния	2	Поковки типа крестовин и с отростками Поковки типа крестовин (тип А) и поковки круглые и квадратные в плане с различно расположенными отростками x_0 (тип Б)	См. подгруппу 1	Поковки типа крестовин с четырьмя симметрично расположенными отростками одинаковой длины 	Поковки с несимметрично расположенными отростками (*а*) и отростками различной длины x_0 (*б*) 

Продолжение табл. 19

Номер группы	Наименование и основная характеристика группы	Номер подгруппы	Наименование и основная характеристика подгруппы	Характерные технологические особенности поковок подгруппы	Типы поковок с эскизами примерных форм сечений
					А
					Б
II	Преобладание объемной деформации в процессе штамповки является характерной особенностью II группы	3	Поковки типа стержня с фланцем, с цилиндрическим или коническим стержнем, без впадин	В качестве заготовительных операций требуется высадка фланца или бурта (тип А), а при большом объеме фланца (тип Б) также и специальный протяжной ручей или только специальный протяжной ручей	А — Поковки с относительно небольшим объемом фланца $V_ф < 3\frac{\pi d^3_{min}}{4}$  Б — Поковки с большим объемом фланца $V_ф > 3\frac{\pi d^3_{min}}{4}$ 

В зависимости от указанных признаков, в значительной степени устанавливающих характер технологического процесса штамповки, молотовые поковки сводятся к двум основным группам I и II, содержащим 9 подгрупп (группа I — 6 подгрупп и группа II — 3 подгруппы).

Специфические особенности формы сечения ручьев определяются типами поковок в пределах каждой подгруппы.

Например, индекс II — 3 — А обозначает: поковки II группы, 3-й подгруппы, типа А, т. е. поковка типа стержня с фланцем с цилиндрическим или коническим стержнем без впадин (табл. 19).

При выборе ручьев молотовых штампов рекомендуется вначале рассмотреть, как штампуют поковки с аналогичным распределением металла и массой и затем приступать к выбору ручьев.

Ниже рассмотрены обычные случаи штамповки в открытых штампах, когда все ручьи располагают в одном штампе. В противном случае рекомендуется производить штамповку в двух штампах, установленных на рядом стоящих молотах. Штамповку следует осуществлять с одного нагрева с применением механизации для быстрой передачи заготовки с молота на молот.

Необходимость штамповки на двух молотах может быть вызвана также сложностью конфигурации поковки (высокие ребра и бобышки, тонкие стенки и т. д.), чувствительной к сдвигу и требующей поэтому центрального расположения штамповочных ручьев в двух отдельных штампах.

Выбор ручьев производят в зависимости от группы и подгруппы поковки по табл. 19 в соответствии с размерами поковки и формой ее поперечных сечений.

Поковки I группы. 1-я подгруппа. При штамповке этих поковок применяют следующие заготовительные ручьи: формовочный, подкатной открытый, подкатной закрытый и протяжной. Выбор того или иного ручья или комбинации ручьев определяется формой поковки, его можно производить с помощью расчетной заготовки, эпюры сечений расчетной заготовки и коэффициента подкатки.

Построение расчетной заготовки. Расчетной называется воображаемая заготовка с круглыми поперечными сечениями, площади которых равняются суммарной площади соответствующих сечений поковки и заусенца [103, 42, 19].

Отсюда следует, что

$$S_э = S_п + 2S_з = S_п + 2\zeta S_{з.к},$$

где $S_э$ — площадь поперечного сечения расчетной заготовки в произвольном месте;

$S_п$ — площадь поперечного сечения поковки в произвольном месте;

$S_з$ — площадь сечения заусенца;

$S_{з.к}$ — площадь сечения канавки для заусенца, определяемая по таблицам для канавки типа I или соответствующим подсчетом для канавок других типов (см. рис. 195);

ζ — коэффициент заполнения канавки [103, 42].

Внутренний заусенец следует полностью отнести к поковке, т. е. включить в величину $S_п$.

Диаметр расчетной заготовки $d_э$ в произвольном месте находят из равенства

$$\frac{\pi d_э^2}{4} = S_э; \qquad d_э = 1{,}13\sqrt{S_э}.$$

Рассчитав ряд значений $d_э$ для характерных поперечных сечений поковки, отложив отрезки полученных диаметров на линиях этих сечений симметрично по отношению к оси и соединив отрезками прямых и плавными кривыми концевые точки, получим чертеж расчетной заготовки или эпюру приведенных диаметров (рис. 195). Построение расчетной заготовки рекомендуется производить в натуральную величину, т. е. в масштабе 1 : 1.

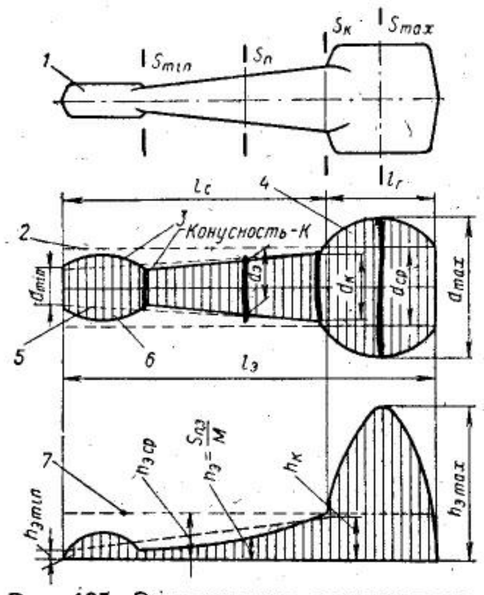


Рис. 195. Элементарная расчетная заготовка и ее эпюра сечений (по А. В. Ребельскому):

1 — поковка; *2* — средняя расчетная заготовка; *3* — стержень; *4* — головка; *5* — расчетная заготовка; *6* — выступ; *7* — эпюра среднего сечения

Если в масштабе M отложить по ординатам величины характерных сечений $S_э$ в виде отрезков

$$h_э = \frac{S_э}{M},$$

то, соединив концы этих отрезков, получим эпюру сечений расчетной заготовки (см. рис. 195).

Следовательно, эпюрой сечений называется такая диаграмма, каждая ордината которой в определенном масштабе представляет собой соответствующую площадь поперечного сечения расчетной заготовки.

Площади любых отдельных ее элементов длиной x, умноженные на принятый масштаб M, представляют собой величину объемов соответствующих элементов расчетной заготовки:

$$V_x = F_{э.x} M,$$

где V_x — объем любого элемента x расчетной заготовки;

$F_{э.x}$ — площадь соответствующего элемента эпюры сечений.

Отсюда ясно, что объем расчетной заготовки в целом равен объему поковки с заусенцем

$$V_э = F_э M.$$

Средней расчетной заготовкой называется цилиндр диаметром $d_{ср}$, длиной, равной длине поковки ($l_э = l_п$), и объемом, равным сумме объемов поковки $V_п$ и заусенца $V_з$ (см. рис. 195).

Исходя из этого определения, можно найти объем расчетной заготовки $V_{р.з}$ по формуле

$$V_{р.з} = V_п + V_з = V_э = F_э M.$$

Здесь $V_э$ — объем поковки с заусенцем, примерно равный объему расчетной заготовки.

Площадь сечения средней расчетной заготовки

$$S_{ср} = \frac{V_{р.з}}{l_п} = \frac{V_э}{l_э},$$

диаметр средней расчетной заготовки

$$d_{ср} = 1{,}13\sqrt{S_{ср}}.$$

Объем расчетной заготовки и ее средний диаметр можно также определить, пользуясь эпюрой сечений, предварительно определив тем или иным методом ее площадь $F_э$:

объем расчетной заготовки

$$V_э = F_э M,$$

высота эпюры среднего сечения $h_{э.\,ср} = \frac{F_э}{l_э}$, площадь сечения средней расчетной заготовки, найденная с помощью эпюры сечений,

$$S_{ср} = h_{э.\,ср} M.$$

При этом в направлении оси эпюры (по линии абсцисс) принят масштаб 1 : 1.

Часть расчетной заготовки и соответствующая часть эпюры сечений, в пределах которой $d_э > d_{ср}$, называется *головкой*.

Часть расчетной заготовки и соответствующая часть эпюры сечений, в пределах которой $d_э < d_{ср}$, называется *стержнем*.

Разница между объемом головки $V_г$ и объемом средней заготовки в пределах головки называется *недостающим объемом*:

$$V_{г.\,нед} = V_г - \frac{\pi d_{ср}^2}{4} l_г.$$

При этом $V_г$ находят как объем тела вращения.

Значение $V_{г.нед}$ иногда удобнее определять через недостающую площадь $f_г$ головки эпюры сечений:

$$V_{г.\,нед} = f_г M.$$

Разница между объемом средней заготовки в пределах стержня и объемом стержня $V_с$ называется *избыточным объемом*:

$$V_{с.\,изб} = \frac{\pi d_{ср}^2}{4} l_с - V_с,$$

где $V_с$ определяется как объем тела вращения.

Значение $V_{с.изб}$ иногда удобнее определять через избыточную площадь стержня эпюры:

$$V_{с.\,изб} = f_{с.\,изб} M.$$

Если для поковки с отверстием или выемкой форма головки получает резкие очертания, то такую головку нужно привести к плавной форме (штриховая линия на рис. 196) из расчета сохранения ее объема. Эту линию легче определить сначала на эпюре сечений, так как удобнее приравнивать между собой отрезаемую и прибавляемую площади. Определив таким путем приведенную наибольшую высоту эпюры $h_{э.\,max}$, можно легко найти соответствующий наибольший диаметр расчетной заготовки:

$$d_{max} = 1{,}13\sqrt{S_{max}} = 1{,}13\sqrt{h_{э.\,max}M}.$$

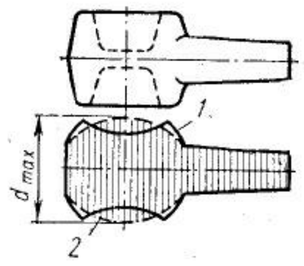


Рис. 196. Способ приведения расчетной заготовки с резким очертанием к плавной форме:

1 — эпюра диаметров;
2 — приведенная эпюра диаметров

Уклон (конусность) стержня

$$K = \frac{d_к - d_{min}}{l_c},$$

причем, если контур стержня состоит из ломаной или кривой линии, или стержень имеет выступы, то для нахождения размера $d_к$ — перехода стержня в головку нужно привести стержень расчетной заготовки к виду усеченного конуса, пользуясь формулой

$$d_к = \sqrt{3{,}82\frac{V_c}{l_c} - 0{,}75d_{min}^2} - 0{,}5d_{min},$$

где d_{min} — наименьший диаметр расчетной заготовки.

Часто величину $d_к$ удобнее определять пользуясь эпюрой сечений, имея в виду, что

$$d_к = 1{,}13\sqrt{S_к} = 1{,}13\sqrt{h_к M}$$

и что стержень эпюры можно привести к трапецеидальному виду (приближенно), тогда $h_к$ можно определить по формуле

$$h_к = \frac{2F_{э.\,c}}{l_c} - h_{э.\,min},$$

где $S_к$ — площадь сечения расчетной заготовки в месте перехода стержня в головку;
$h_к$ — высота эпюры сечений в месте перехода стержня в головку;
$F_{э.c}$ — площадь приводимого стержня эпюры;
$h_{э.min}$ — показано на рис. 195.

Расчетная заготовка, содержащая только одну головку с односторонне расположенным стержнем, называется *элементарной расчетной заготовкой*. Ей соответствует элементарная эпюра сечений (см. рис. 195).

Сложной является такая расчетная заготовка, которая содержит одну головку с двусторонним стержнем или две и более головок. Соответственно и эпюра сечений будет сложная (см. рис. 197, 198).

Правила приведения сложной расчетной заготовки и соответственно сложной эпюры сечений к ряду элементарных:

1. Если расчетная заготовка и эпюра представляют собой головку с двусторонним стержнем (см. рис. 197), то следует найти такое расстояние x, на протяжении которого недостающая часть объема головки равнялась бы избыточному объему прилегающего стержня ($V_{1г} = V_{1с}$). Положение искомой линии раздела проще найти на эпюре сечений, так как здесь должно быть соблюдено равенство площадей: $f_{1г} = f_{1с}$.

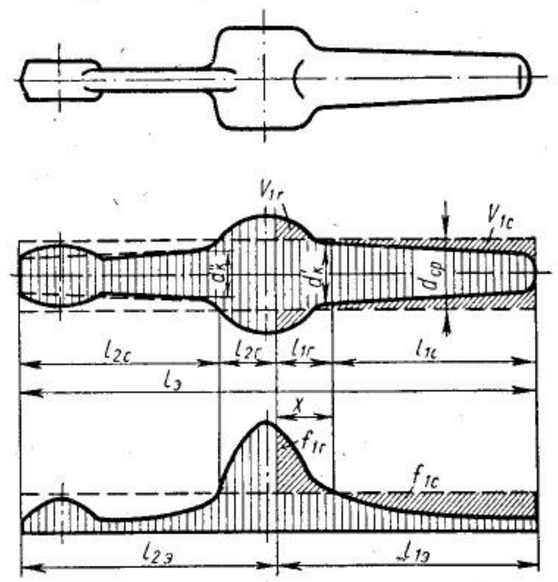


Рис. 197. Приведение сложной эпюры головка — двусторонний стержень к двум элементарным (по А. В. Ребельскому)

Определив таким образом линию раздела, получим две элементарные эпюры с длинами $l_{1э}$ и $l_{2э}$.

2. Если расчетная заготовка и соответственно эпюра представляет собой стержень с двумя головками при незначительной конусности стержня $K \leqslant 0{,}1$ (рис. 198), то избыточный объем следует распределить с таким расчетом, чтобы недостающий объем в головке $V_{1г}$ равнялся избыточному объему $V_{1с}$ на участке искомой длины стержня, причем, определяя местоположение линии раздела x, рекомендуется для быстроты решения пользоваться равенством площадей на эпюре сечений:

$$f_{1\,г} = f_{1\,с}.$$

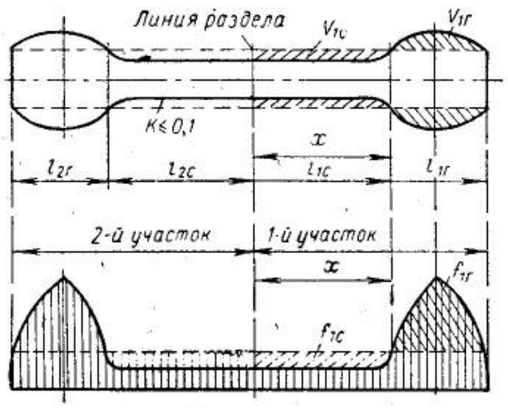


Рис. 198. Приведение сложной эпюры стержня с двумя головками к двум элементарным

3. При наличии двух головок и стержня конусностью $K > 0{,}1$ (рис. 199) для нахождения линии раздела следует отложить от минимального сечения расчетной заготовки расстояние, равное d_{min}, получив таким искусственным приемом два участка. Определить средние сечения полученных участков, исходя из их объемов, или, что проще, из их площадей на эпюре сечений.

В случае, когда головки расчетной заготовки достаточно близко расположены друг к другу, можно путем осреднения привести их к одной головке, подобно тому как это сделано на рис. 196.

4. Если на расчетной заготовке есть граница, откуда начинается конусность $K > 0{,}1$ в противоположных направлениях, то эту границу

и нужно считать линией раздела. Для полученных двух участков следует построить отдельные средние расчетные заготовки или на эпюре сечений — отдельные эпюры средних сечений по участкам.

5. Если расчетная заготовка и соответственно эпюра сечений содержат три и более головки, то приведение такой сложной расчетной заготовки к ряду элементарных нужно производить, исходя из указанного основного принципа распределения избыточного объема стержня между недостающими объемами головок.

6. Если при наличии трех и более головок некоторые участки стержня имеют конусность $K > 0{,}1$, то приведение к элементарным расчетным заготовкам нужно производить, принимая во внимание указания п. 3.

Коэффициент подкатки. Средняя расчетная заготовка является первым приближением к исходной заготовке, необходимой для штамповки данной поковки. Поэтому целесообразно сравнивать расчетную заготовку со средней расчетной заготовкой. При таком рассмотрении нетрудно установить, что при штамповке хуже всего будут заполняться те сечения поковки, которые имеют соответствующий максимальный диаметр расчетной заготовки. Чем больше разница в диаметрах d_{max} и $d_{ср}$, и соответственно площадях сечений S_{max} и $S_{ср}$, тем больший набор металла или большую подкатку металла необходимо обеспечить в заготовительных ручьях. Общую необходимую подкатку металла можно выразить через коэффициент подкатки, который определяется по формуле

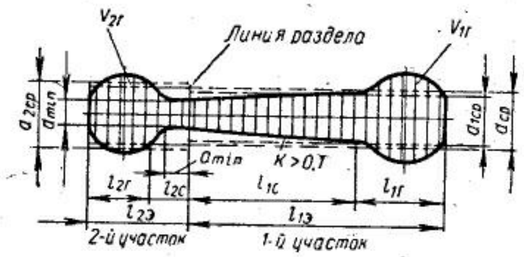


Рис. 199. Приведение к элементарным расчетным заготовкам сложной заготовки (эпюры) две головки — стержень, когда стержень имеет значительный уклон

$$K_{\text{подк. общ}} = \frac{S_{max}}{S_{ср}} = \frac{d^2_{max}}{d^2_{ср}}. \qquad (25)$$

В заготовительных и штамповочных ручьях можно получить только определенную подкатку металла, характеризуемую $K_{\text{подк.ручья}}$ для каждого типа ручья. В нескольких ручьях можно получить суммарную подкатку, причем так как обработка идет последовательно по ручьям, то можно получить следующую формулу коэффициента суммарной подкатки:

$$K_{\text{сумм. подк. ручьев}} = \frac{S_{\text{max ручья 1}}}{S_{\text{исх}}} \cdot \frac{S_{\text{max ручья 2}}}{S_{\text{max ручья 1}}} \cdots$$

$$\cdots \frac{S_{\text{max ручья } n}}{S_{\text{max ручья } n-1}} = \frac{S_{\text{max ручья } n}}{S_{\text{исх}}} =$$

$$= K_{\text{подк. ручья 1}} K_{\text{подк. ручья 2}} \cdots K_{\text{подк. ручья } n},$$

где S_{max} — максимальная площадь сечения заготовки после штамповки в соответствующем ручье;

$S_{\text{исх}}$ — сечение исходной заготовки;

$K_{\text{подк}}$ — коэффициенты подкатки 1, 2,.., n-го ручьев в 1,2,..., n-м ручьях.

Выбор заготовительных ручьев. Количество ручьев с соответствующей подкаткой металла должно быть выбрано таким образом, чтобы суммарный коэффициент подкатки в них был больше или равен необходимому общему коэффициенту подкатки, а количество ручьев было минимальным.

Расчет проводят по формуле

$$K_{\text{подк. общ.}} \leqslant K_{\text{сумм. подк. ручьев}}. \qquad (26)$$

Величины $K_{\text{подк.ручья}}$ для заготовительных ручьев следующие:

	$K_{\text{подк}}$
для формовочного ручья	1,2;
для подкатного открытого	1,3;
для подкатного закрытого	1,6.

Подкатка металла может быть получена также в окончательном и предварительных ручьях:

$$K_{\text{подк. окон. ручья}} = 1{,}05; \quad K_{\text{подк. пред. ручья}} = 1{,}1.$$

Подкатка металла в трех ручьях: подкатном закрытом, предварительном и окончательном

$$K_{\text{подк. ручьев}} = 1{,}6 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}05 \approx 1{,}8.$$

Если $K_{\text{подк.общ}} > 1{,}8$, то применяют протяжной ручей.

При выборе заготовительных ручьев учитывают следующие рекомендации:

1. Если расчетная заготовка элементарная [103, 42, 19], то заготовительные ручьи определяют непосредственно по расчету $K_{\text{подк.общ.}}$ При наличии на расчетной заготовке таких выступов, что $\frac{d_в}{d_{min}} > 1{,}2$ или головки сложной формы рекомендуется, кроме протяжного ручья (если по расчету получается протяжной ручей) применять еще формовочный или подкатной открытый ручьи.

2. Если получается сложная расчетная заготовка с общим средним диаметром всех участков сечения $d_{ср}$, то следует определить заготовительные ручьи для каждой элементарной расчетной заготовки и выбрать наиболее трудоемкий процесс [103, 42]. Например, если для трех участков сложной эпюры соответственно требуется по расчету протяжной, подкатной открытый и подкатной закрытый ручьи, то для расчетной заготовки в целом следует применить протяжной и подкатной закрытый ручьи.

Если по расчету для всех участков получается только протяжной ручей, то в целях фиксации расстояний между головками рекомендуется применить еще формовочный или подкатной открытый ручьи.

3. Если расчетная заготовка сложная с различными средними диаметрами сечений $d_{1ср}$, $d_{2ср}$ и т. д. по участкам, то следует определить заготовительные ручьи для каждой элементарной расчетной заготовки,

исходя из ее d_{max} и $d_{ср}$, и выбрать наиболее трудоемкий процесс. При условии, когда $\frac{d_{ср\ max}}{d_{ср\ min}} > 1{,}2$ следует применить протяжной ручей, сделав раствор протяжного ручья a в соответствии с $d_{ср.min}$ [103, 42].

4. Если для расчетной заготовки в целом требуется только протяжной ручей и штамповка ведется с клещевиной, то при $d_{ср} > 30$ *мм* нужно применять еще подкатной открытый ручей для получения перешейка между поковкой и клещевиной.

5. Если по цеховым условиям приходится применять заготовку бо́льшим сечением, чем это необходимо по расчету, то в таких случаях применение протяжного ручья (или в крайнем случае площадки для протяжки) обязательно.

6. Вместо протяжного ручья следует применять площадку для протяжки при оттяжке конца под клещевину, при оттяжке короткого конца, длина которого в исходной заготовке меньше ее толщины, при грубой оттяжке равномерного по толщине или ступенчатого конца.

7. Если заготовка после подкатного или протяжного ручья резко выходит за контуры штамповочного ручья в плане, то следует применить дополнительно формовочный ручей. В определенных случаях вместо подкатного и формовочного ручьев можно применить один несимметричный подкатной ручей.

8. Необходимо увязать выбор заготовительных ручьев с применяемой комбинацией штамповочных ручьев. Применение заготовительно-предварительного ручья упрощает процесс по заготовительным ручьям; наоборот, отмена предварительного ручья часто влечет за собой необходимость более тщательной обработки исходной заготовки в заготовительных ручьях.

9. Надо иметь в виду, что применение высаженной на горизонтально-ковочной машине заготовки, вальцованной заготовки или периодического проката значительно упрощает процесс по заготовительным ручьям и часто позволяет производить штамповку вообще без заготовительных ручьев.

Выбор штамповочных ручьев. Для поковок 1-й подгруппы типа *А* применяют окончательный ручей. Для поковок типа *Б* применяют предварительный и окончательный ручьи, а в некоторых случаях предварительно-заготовительный и окончательный ручьи, в зависимости от формы и соотношения размеров поперечного сечения поковки [42].

2-я подгруппа. При штамповке этих поковок применяют заготовительные ручьи: пережимной и площадку для расплющивания. Выбор ручьев производят аналогично поковкам 1-й подгруппы с помощью расчетной заготовки, эпюры сечений расчетной заготовки и коэффициентов подкатки. По размерам расчетной заготовки определяют общий необходимый коэффициент подкатки по формуле (25).

Величина $K_{подк}$ для пережимного ручья равна 1,2, для площадки для расплющивания — 1.

В трех ручьях: пережимном, предварительном и окончательном

$$K_{подк.\ ручьев} = 1{,}2 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}05 \approx 1{,}4.$$

Ручьи выбирают аналогично 1-й подгруппе по неравенству (26). Если $K_{подк.общ} > 1{,}4$, то поковку следует относить к I-й группе, 1-й подгруппе. При этом не исключается возможность применения пережимного ручья.

Ориентировочно можно рекомендовать при $K_{подк.общ} < 1{,}1$ применять площадку для расплющивания вместо пережимного ручья.

Для поковок 2-й подгруппы типа А применяют окончательный ручей, для поковок типа Б — предварительный и окончательный ручьи, а в некоторых случаях предварительно-заготовительный и окончательный ручьи в зависимости от формы и соотношения размеров поперечного сечения поковки [42, 103].

3-я подгруппа. При штамповке этих поковок применяют заготовительные ручьи высадочный и специальный протяжной. При штамповке поковок типа А — высадочный ручей, а при штамповке поковок типа Б — специальный протяжной и высадочный ручьи.

Эти ручьи применяют в случае наличия одного фланца или бурта, требующего $K_{подк.\ общ} = \frac{S_{max}}{S_{ср}} > 1{,}8$ [см. формулу (25)] и при относительно небольшой длине хвостовика.

При $K_{подк.общ} \leqslant 1{,}8$ или при большой длине хвостовика поковки относятся к I группе, 1-й подгруппе типа А.

Для поковок 3-й подгруппы применяют окончательный ручей, а в случае необходимости увеличить стойкость окончательного ручья и уменьшить прилипание применяют предварительный и окончательный ручьи.

4-я подгруппа. Поковки данной подгруппы требуют гибки, которая производится либо с помощью гибочного ручья (тип А), либо непосредственно в штамповочном ручье (тип Б). Заготовительные ручьи для поковок типа А необходимы такие же, как и для поковок 1-й подгруппы. Для поковок типа Б при $\frac{l_{разв}}{b_{ср}} > 2{,}5$ применяют заготовительные ручьи, как для поковок 1-й подгруппы, а при $\frac{l_{разв}}{b_{ср}} < 2{,}5$, как для поковок 2-й подгруппы. Выбор ручьев производят, как и для поковок 1-й или 2-й подгрупп, с помощью расчетной заготовки, эпюры сечений расчетной заготовки и коэффициентов подкатки.

Форма поковки и степень вытяжки заготовки в процессе гибки обусловливают построение расчетной заготовки одним из следующих трех способов.

1. Построение расчетной заготовки по развертке (рис. 200) применяют для поковок плавных форм, требующих гибки без значительной вытяжки заготовки. При этом строят развертку по линии, проходящей примерно на расстоянии $^1/_3$ толщины t от внутреннего контура поковки. Затем производят построение расчетной заготовки и эпюры сечений развертки, как для поковки с вытянутой осью.

2. Построение расчетной заготовки по элементам (рис. 201) применяют для поковок с резкими перегибами, требующими гибки со значительной вытяжкой заготовки на соответствующих участках. При этом выделяют участки, почти не подвергающиеся вытяжке в процессе

гибки (элементы длиной l_1 и l_3 на рис. 201, *а*), что достигается проведением лучей *OB* и *OC* из центра *O* дуги перегиба; для этих элементов соответствующие участки расчетной заготовки (201, *б*) строят, исходя из сечений, перпендикулярных к осям *ab* и *cd*.

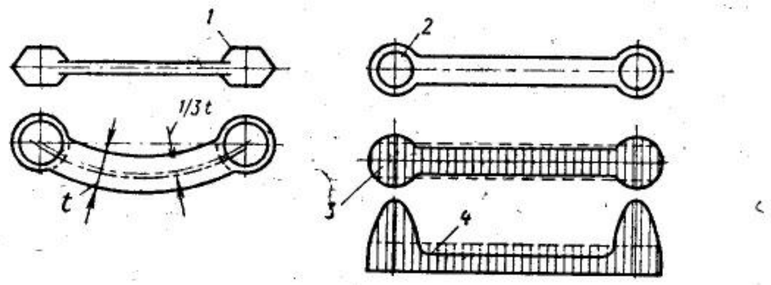


Рис. 200. Построение расчетной заготовки по развертке:
1 — поковка; *2* — развертка; *3* — расчетная заготовка развернутой поковки; *4* — эпюра

Для определения длины элемента l_2 производят построение главной оси поковки на участке перегиба: из центра *O* проводят ряд сечений (*OM*, *OE* и т. д.) и определяют положение точек *1*, *2*, *3*, ..., представляющих собой проекции центров тяжести соответствующих сечений (*OM*, *OE* и т. д.) на план поковки. Длина кривой *b 1*, *2*, *3*, ..., *c*

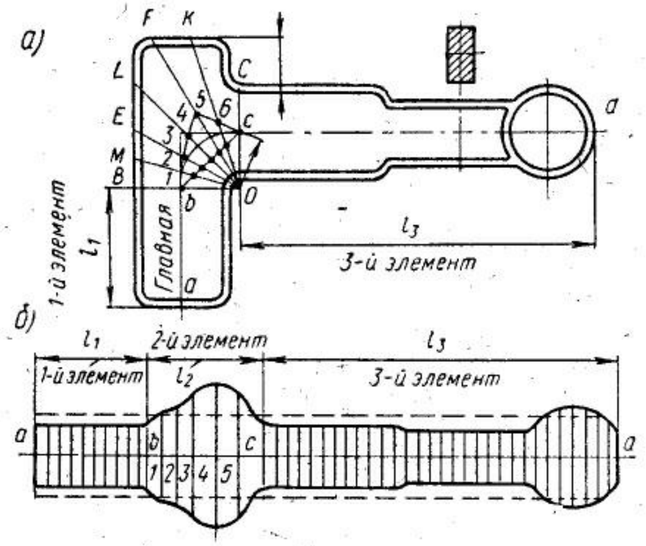


Рис. 201. Построение расчетной заготовки по элементам

и представляет собой искомую длину l_2. Затем находят площади поперечных сечений (*OM*, *OE* и т. д.) поковки с заусенцами, соответствующие диаметры расчетной заготовки $d_{з1}$, $d_{з2}$, ..., которые откладывают на линиях, соответственно проходящих через точки *1*, *2*, *3*, ..., и таким образом получают элемент расчетной заготовки на участке

изгиба поковки (второй элемент расчетной заготовки в рассматриваемом случае).

3. Построение расчетной заготовки непосредственно по сечениям применяют для поковок с такой линией разъема (рис. 202, *а*) или главной осью (рис. 202, *б*), которые требуют применения гибки, протекающей за счет небольшого удлинения заготовки. При этом построение расчетной заготовки производят непосредственно по сечениям как для поковок с вытянутой осью (табл. 19, I гр., 1-я подгр.).

По размерам расчетной заготовки определяют общий необходимый коэффициент подкатки по формуле (25).

Коэффициент подкатки гибочного ручья $K_{подк} = 1{,}2$.

При выборе $K_{подк}$ других заготовительных ручьев рекомендуется пользоваться приведенными выше данными. Необходимо учитывать также рекомендации, приведенные на стр. 221.

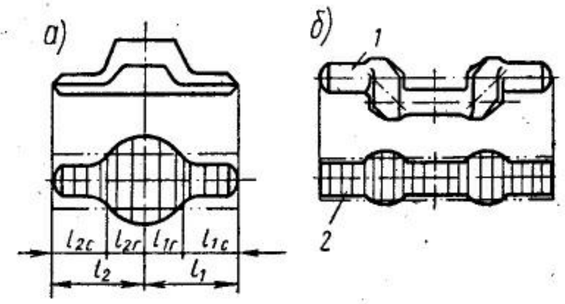


Рис. 202. Построение расчетной заготовки непосредственно по сечениям:
1 — поковка; *2* — расчетная заготовка

Нужно иметь в виду, что гибочный ручей заменяет формовочный. Его применяют только для поковок 4-й подгруппы типа А.

Для поковок 4-й подгруппы типа А, п. *а* применяют окончательный ручей, для поковок типа А, п. *б* — предварительный и окончательный ручьи, а в некоторых случаях — предварительно-заготовительный и окончательный ручьи в зависимости от формы и соотношения размеров поперечного сечения поковки [103, 42]. Для поковок 4-й подгруппы типа Б необходимо уравновешивание сдвигающих усилий. Для поковок типа Б, п. *а* применяют окончательный ручей, а для поковок типа Б, п. *б* — предварительный и окончательный ручьи [103, 42] и иногда предварительно-заготовительный и окончательный ручьи.

5-я подгруппа. Заготовительные ручьи требуются такие же, как и для поковок 1-й подгруппы, так как поковки удлиненные. Выбор заготовительных ручьев производится аналогично поковкам 1-й подгруппы.

Для поковок 5-й подгруппы типа А в ряде случаев необходимо применение формовочного ручья в целях одностороннего смещения металла в сторону отростка. Иногда вместо подкатного и формовочного ручьев целесообразно применить несимметричный подкатной ручей.

Для поковок 5-й подгруппы типа А применяют заготовительно-предварительный ручей с упрощенной формой полости для отростка [103] и окончательный ручей. Для поковок типа Б применяют заготовительно-предварительный ручей с рассекателем [103] и окончательный ручей. Рассекатель необходим для разделения заготовки по полостям развилин.

В зависимости от формы и размеров поковок представляется иногда целесообразным применить различные варианты штамповки поковок в свернутом виде (вводят промежуточную форму поковки, в которой некоторые элементы общей формы, например отростки, располагаются близко к основному элементу поковки) с последующей после удаления заусенца разводкой элементов поковки. В других случаях, например для поковок с узкой развилиной и длинным стержнем, целесообразно производить штамповку в развернутом виде (при штамповке в молотовом штампе расстояние между развилинами увеличено) с последующей сверткой по требуемой форме.

6-я подгруппа. Выбор заготовительных ручьев зависит от того, к какой подгруппе можно привести поковку. Поковки приводят к 1—5-й подгруппам с изменением формы поковки для рациональной штамповки на молоте и последующей штамповки на другом оборудовании. В зависимости от приведения поковки к соответствующей подгруппе производят выбор заготовительных ручьев аналогично выбору для данной подгруппы.

Выбор штамповочных ручьев и варианта штамповки также зависит от приведения поковки к соответствующей подгруппе и производится аналогично выбору для данной подгруппы.

Здесь не рассматривается штамповка от кратной заготовки или от прутка, при которых требуется применение отрубного ручья, о чем будет сказано ниже.

Следует иметь в виду также рациональность применения в ряде случаев заготовки, высаженной на горизонтально-ковочной машине, проката периодического профиля или заготовки, полученной вальцовкой на ковочных вальцах.

Поковки II группы. 1-я подгруппа. При штамповке поковок 1-й подгруппы назначают только один заготовительный ручей — площадку для осадки. Иногда вместе с осадкой в заготовке делают неглубокую наметку или выступ. Если диаметр исходной заготовки близок к диаметру поковки, то площадку для осадки не применяют. При большом диаметре поковки ($D_п > 300$ *мм*) вместо площадки для осадки выполняют осадку заготовки на отдельных плоских бойках.

Для поковок 1-й подгруппы типа А применяют один окончательный ручей. Предварительный ручей можно применять для повышения стойкости окончательного ручья. Для поковок 1-й подгруппы типа Б применяют предварительный и окончательный ручьи. Если в поковках типа А или Б прошивается отверстие, то желательно применение предварительного ручья.

2-я подгруппа. При штамповке поковок 2-й подгруппы применяют два заготовительных ручья: площадку для осадки и специальный формовочный ручей.

Для поковок 2-й подгруппы типа А с относительно короткими отростками применяют площадку для осадки, а при большом размере $B > 300$ *мм* — осадку заготовки на отдельных плоских бойках. Затем заготовку подвергают осадке в направлении диаметра, в результате чего получают заготовку, близкую в плане к квадратной [103].

Осадка заготовки в направлении диаметра необходима также для очистки торцов заготовки от окалины. Поэтому при наличии безокислительного нагрева целесообразно применить для штамповки крестовин заготовку квадратного сечения и не прибегать к боковой ее осадке после торцевой осадки. Полученную заготовку следует положить в окончательный ручей так, чтобы направление ее диагоналей совпало с направлением отростков ручья и тем самым облегчить вытекание металла в полости под отростки. При относительно длинных отростках рекомендуется в целях экономии металла применять штамп со специальным формовочным ручьем [103].

Для поковок 2-й подгруппы типа А назначают один окончательный ручей. Для повышения стойкости окончательного ручья можно использовать предварительный ручей.

Для поковок 2-й подгруппы типа Б при относительно коротких отростках выбирают окончательный ручей и иногда предварительный и окончательный ручьи.

При длинных отростках следует применять заготовительно-предварительный ручей с плавными переходами от отростков к внутренней части фигуры [103]. Такие сложные поковки рекомендуется штамповать в двух штампах на двух рядом стоящих молотах, предпочтительно с одного нагрева и механизированной передачей заготовки от первого молота ко второму.

3-я подгруппа. При штамповке поковок 3-й подгруппы используют два заготовительных ручья — высадочный и специальный протяжной.

При штамповке поковок типа А назначают высадочный ручей, а при штамповке поковок типа Б назначают специальный протяжной и высадочный ручьи. В случае несложного фланца при штамповке поковок типа Б можно применить один специальный протяжной ручей.

Для поковок 3-й подгруппы применяют один окончательный ручей. При сложном фланце, заполняемом выдавливанием при штамповке, в целях повышения стойкости окончательного ручья иногда можно применять также предварительный ручей.

§ 40. РАСЧЕТ МАССЫ И РАЗМЕРОВ ИСХОДНОЙ ЗАГОТОВКИ

Расчет массы заготовки. Масса исходной заготовки складывается из массы поковки и массы отходов:

$$Q_{заг} = Q_п + Q_з + Q_{уг} + Q_{клещ}.$$

Масса поковки $Q_п$ определяется умножением объема поковки на плотность ρ; для стали $\rho = 7{,}85$ *г/см*^{3}. Объем поковки подсчитывается по номинальным горизонтальным размерам и номинальным вертикальным размерам поковки плюс половина положительного допуска. Такой подсчет ведется потому, что практически, в среднем, величина недоштамповки получается равной половине положительного вертикального допуска.

Массу заусенца $Q_з$ определяют как долю от объема канавки для заусенца, умноженную на плотность ρ:

$$Q_з = (0{,}75 \div 0{,}8)\, S_{з.к} p_п \rho,$$

где $p_п$ — периметр поковки в плоскости разъема;

$S_{з.к}$ — площадь поперечного сечения заусенечной канавки.

Более точные формулы для определения $Q_з$ даны в [42].

Массу угара $Q_{уг}$ берут в зависимости от способа нагрева. При нагреве в мазутной печи масса угара составляет 2—3% от массы заготовки; в газовой печи — 1,5 ÷ 2%, при электронагреве — 0,5 ÷ 1%.

Массу клещевины определяют в зависимости от диаметра заготовки или оттянутой под клещевину части заготовки. Площадь поперечного сечения заготовки или оттянутого конца умножают на 0,6 ÷ 1 от диаметра заготовки или оттянутого конца, что представляет собой длину клещевины. Полученный объем клещевины умножают на плотность.

Расчет размеров заготовки. Размеры заготовки рассчитывают по-разному в зависимости от способа штамповки и наличия тех или иных ручьев.

Расчет размеров при штамповке поперек оси заготовки. При штамповке плашмя заготовку выбирают в зависимости от вида ручьев:

1. *При наличии только штамповочных ручьев* заготовка должна поместиться в ручей по длине, и ее длина должна быть почти равна длине поковки. Длину заготовки определяют по формуле

$$l_{заг} = \frac{l_п}{1{,}02 \div 1{,}05},$$

где $l_{заг}$ — длина заготовки;

$l_п$ — длина поковки.

Площадь поперечного сечения заготовки

$$S_{заг} = \frac{V_{заг}}{l_{заг}},$$

или

$$S_{заг} = (1{,}02 \div 1{,}05)\frac{V_{заг}}{l_п}.$$

Для относительно коротких поковок выбирают коэффициент 1,05, для более длинных — 1,02.

Здесь и далее расчет объема заготовки $V_{заг}$ производят без учета отхода на клещевину. Рассматривают объем металла, идущий непосредственно на заполнение полости ручья.

2. *При наличии пережимного или формовочного ручьев* длину заготовки определяют по формуле

$$l_{заг} = \frac{l_п}{1{,}05 \div 1{,}3}.$$

Площадь поперечного сечения заготовки

$$S_{заг} = (1{,}05 \div 1{,}3)\frac{V_{заг}}{l_п}.$$

Коэффициент 1,05 берут при наличии формовочного ручья, коэффициент 1,3 при наличии пережимного ручья, который обычно используют для относительно коротких поковок.

3. *При наличии подкатного ручья* (*открытого или закрытого*) длину заготовки определяют по формуле:

$$l_{заг} = \frac{l_п}{1{,}05 \div 1{,}2}.$$

Коэффициент 1,05 назначают для поковок с двумя крайними бобышками (рис. 203, *а*), так как в случае короткой заготовки возможно незаполнение ручья. Коэффициент 1,2 назначают для поковок с одной бобышкой и вытянутым концом (рис. 203, *б*). Относительно короткую заготовку выбирают для того, чтобы не было зажимов в конце заготовки при выплыве металла на плоскость разъема.

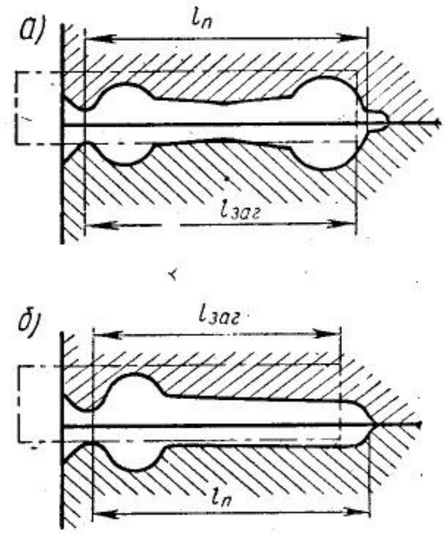


Рис. 203. Определение длины заготовки при штамповке с подкатным ручьем

Площадь поперечного сечения заготовки можно определить по формуле

$$S_{заг} = \frac{V_{заг}}{l_п - (20 \div 40)\ мм}.$$

4. *При наличии одного протяжного ручья без других заготовительных ручьев, за исключением гибочного или формовочного*, площадь поперечного сечения заготовки устанавливают равной максимальной площади поперечного сечения поковки с заусенцами, т. е.

$$S_{заг} = S_{п.з.max}.$$

Длину заготовки определяют по формуле

$$l_{заг} = \frac{V_{заг}}{S_{п.з.max}}.$$

5. *При наличии подкатного и протяжного ручьев* назначают некоторое среднее значение поперечного сечения заготовки для равномерного распределения работы между подкатным и протяжным ручьями.

Вначале определяют поперечное сечение заготовки в предположении наличия одного подкатного ручья и затем в предположении наличия одного протяжного ручья.

Площадь поперечного сечения заготовки

$$S_{заг} > \frac{S_{заг.\ подк} + S_{заг.\ прот}}{2}.$$

При открытом подкатном ручье площадь поперечного сечения заготовки берут ближе к площади поперечного сечения заготовки, определенной в предположении наличия одного протяжного ручья.

Закрытый подкатной ручей может взять на себя большую часть работы по перемещению металла. Поэтому площадь поперечного сечения можно уменьшить и ориентировочно определить по следующей формуле:

$$S_{заг} = \frac{S_{заг.\ закр.\ подк} + S_{заг.\ прот}}{2}.$$

При пользовании этой формулой $S_{заг}$ можно несколько увеличить.

6. *При наличии гибочного ручья* при гибке без защемления длину заготовки определяют по формуле

$$l_{заг} = \frac{l_{п.\ разв}}{1{,}05 \div 1{,}1},$$

где $l_{п.\ разв}$ — длина развертки поковки по средней линии.

Площадь поперечного сечения заготовки

$$S_{заг} = (1{,}05 \div 1{,}1)\ \frac{V_{заг}}{l_{п.\ разв}}.$$

При гибке с защемлением (поковки типа коленчатых валов) длина заготовки

$$l_{заг} = l_п + x.$$

Здесь $l_п$ — длина поковки без развертки, а x — дополнительная длина, определяемая экспериментально (ориентировочно, при $l_п = 1000$ *мм*, $x = 10 \div 20$ *мм*).

Площадь поперечного сечения заготовки

$$S_{заг} = \frac{V_{заг}}{l_п + x}.$$

Расчет размеров при штамповке вдоль оси заготовки. Штамповка осадкой в торец предопределяет необходимость штучной заготовки. Обычно заготовку осаживают, поэтому ее размеры не зависят от размеров поковки. При выборе размеров заготовки, во-первых, учитывают удобство резки заготовок на пресс-ножницах, для чего требуется, чтобы отношение высоты заготовки $H_{заг}$ к ее диаметру $D_{заг}$ было больше 1,25. Во-вторых, учитывают возможность продольного изгиба заготовки, так как заготовку устанавливают в штамп вертикально. Чтобы избежать продольного изгиба, отношение $\frac{H_{заг}}{D_{заг}}$ должно быть меньше 2,5.

В результате можно написать следующее неравенство, которому должны удовлетворять размеры заготовки

$$2{,}5 > \frac{H_{заг}}{D_{заг}} > 1{,}25.$$

Отношение $\frac{H_{заг}}{D_{заг}}$ обозначают через K. Обычно принимают $K = 2$. Зная отношение $\frac{H_{заг}}{D_{заг}}$ и объем заготовки, легко определить диаметр или сторону квадрата заготовки. Кроме круглого и квадратного профиля при штамповке осадкой в торец других профилей не применяют.

Для круга имеем:

$$D_{заг} = \sqrt[3]{\frac{4V_{заг}}{\pi K}}.$$

Для квадрата:

$$A_{заг} = \sqrt[3]{\frac{V_{заг}}{K}}.$$

После определения $d_{заг}$ или $A_{заг}$ выбирают ближайший больший размер по ГОСТу и вычисляют скорректированную высоту заготовки.

Выбор профиля поперечного сечения заготовки. Профиль поперечного сечения заготовки выбирают квадратным или круглым и очень редко прямоугольным. Прямоугольный профиль выбирают, если форма поковки явно показывает на легкость изготовления из прямоугольного сечения.

Круглым профилем пользуются, если поковки круглые в плане (шестерни). Удлиненные поковки, штампуемые плашмя, можно изготавливать из квадратного профиля. Исключение составляют поковки с отдельными участками круглого профиля, не деформируемыми при штамповке, и поковки, которые требуют перед штамповкой на молоте высадки на ГКМ. На ГКМ легче высаживать круглые заготовки.

Круглый профиль применяют также при гибке на малый радиус, так как при гибке квадрата получается большое искажение формы поперечного сечения и при последующей штамповке в окончательном ручье могут получаться зажимы.

Выбор типа заготовки. Заготовки различают штучные (на одну поковку), парные (на две поковки, штампуемые с поворотом) и кратные (на несколько поковок). Кроме этого, заготовкой может служить пруток, от которого непосредственно производят штамповку.

Выбор того или иного типа заготовки зависит от вида штамповки, массы и размеров поковки. В частности, при штамповке осадкой в торец, как уже указывалось, заготовка всегда штучная.

При штамповке плашмя рекомендуется применять тот или иной тип заготовки в зависимости от массы поковки: поковка до 1 *кг* — штамповка от прутка; до 5 *кг* — заготовка на две поковки, штамповка с поворотом; больше 5 *кг* — заготовка штучная.

Выбор заготовки для штамповки плашмя можно производить по диаграмме [103, 42], по которой тип заготовки выбирают в зависимости не только от массы поковки, но и от ее длины, так как длина поковки безусловно отражается на удобстве и возможности штамповки.

По сравнению со штамповкой от штучной заготовки, при штамповке от парной заготовки отсутствует расход металла на клещевину и увеличивается производительность.

§ 41. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССЫ ПАДАЮЩИХ ЧАСТЕЙ ШТАМПОВОЧНОГО МОЛОТА

Штамповка на молотах происходит за несколько ударов. Если энергия удара молота оказывается недостаточной, то увеличивают число ударов, но поковку получают на данном молоте. При увеличенной против нормальной энергии удара молота число ударов для получения поковки резко уменьшается. Таким образом, в смысле получения поковки, правильность выбора необходимого по энергии удара молота в определенных пределах не имеет существенного значения. Однако с точки зрения производительности труда, точности штамповки и стойкости штампов, расхода металла и энергии предъявляются определенные требования для выбора массы падающих частей.

В настоящее время применяют эмпирические формулы и графики (формулы Г. Гофмейстера), а также теоретически обоснованный расчет необходимой для штамповки массы падающих частей молота [85].

Формулы Г. Гофмейстера. На основании многочисленных опытов по штамповке поковок на молотах простого действия Г. Гофмейстер пришел к заключению, что работа молота, затрачиваемая на штамповку в чистовом ручье штампа примерно пропорциональна полной поверхности штампуемой поковки, т. е.

$$GHn = \alpha F_0,$$

где G — масса падающих частей молота простого действия, *кг*;
H — высота падения бабы;
n — число ударов в чистовом ручье;
F_0 — полная поверхность поковки, *см*²;
α — работа, затрачиваемая на 1 *см*² полной поверхности поковки, *кГ·м*.

Величина α была определена опытным путем для поковок с $\sigma_в = 50 - 55$ *кГ/мм*² (500 ÷ 550 *Мн/м*²). Она оказалась равной 25,4 *кГм/см*². Для приблизительных расчетов Гофмейстер принял $n = 4$, $H = 1{,}75$ *м* и получил следующую формулу:

$$G \text{ кг} = 3{,}63 F_0 \text{ см}^2.$$

Вывод этой формулы основывался на предположении, что в среднем все поковки в чистовом ручье требуют одинаковой работы на деформирование единицы площади поверхности поковки. Здесь не учтена степень подготовки заготовки перед штамповкой в чистовом ручье. Принятое число ударов в чистовом ручье $n = 4$ является усредненным. В действительности число ударов колеблется от 2 до 12 (и даже больше), в результате чего формула может давать значительную погрешность.

Формула не учитывает такие важнейшие факторы, как размеры мостика заусенечной канавки (главным образом толщину заусенечной канавки), прочность материала и температуру окончания штамповки.

В дальнейшем в формуле Гофмейстера сложная для вычисления поверхность поковки F_0 была заменена площадью проекции поковки в плане $F_п$. Оказалось, что в среднем для различных поковок $F_0 = 2{,}3F_п$. Кроме этого, для молотов простого действия было принято

$H = 1{,}4$ *м* и $n = 4$. В результате формула получила свой распространенный вид:

$$G_{\text{прост. действ}} \text{ кг} = 10 F_п \text{ см}^2.$$

Учитывая, что $G_{\text{дв.действ}}$ эквивалентен $1{,}7G_{\text{прост.действ}}$, была получена формула для молотов двойного действия:

$$G_{\text{дв. действ}} \text{ кг} = (5 \div 6) F_п \text{ см}^2.$$

Последние формулы являются еще менее точными, так как к отмеченным недостаткам исходной формулы прибавляется отсутствие учета сложности формы поковки, вследствие замены F_0 усредненным значением $2{,}3F_п$.

Следует, однако, заметить, что формулы очень просты и удобны. Можно рекомендовать пользоваться ими для ориентировочных расчетов.

Теоретический расчет массы падающих частей штамповочного молота. Как было указано, штамповка на молотах происходит за несколько ударов. За каждый последующий удар поковка осаживается на меньшую высоту и, соответственно, развиваются бо́льшие усилия деформирования. Чем большие усилия деформирования развиваются и чем меньшая величина осадки достигается за каждый удар, тем меньше оказывается к. п. д. удара, тем больше потерь на сотрясение шабота и фундамента, упругую деформацию штампа и т. п. В течение последнего удара молота развиваются наибольшие усилия деформирования и достигается наименьшая величина осадки за весь процесс штамповки. Последний удар оказывается самым неэкономичным. Учитывая это обстоятельство, можно выдвинуть положение, что за последний удар должна быть совершена какая-то «экономичная» осадка, т. е. предполагается, что к. п. д. удара не был бы меньше какой-то определенной величины. Для получения экономичной осадки за последний удар молота требуется определенная работа деформирования и соответствующая энергия падающих частей молота. Эта энергия будет заведомо достаточной для получения экономичной осадки за предыдущие удары. Учитывая вышеизложенное, расчет необходимой для штамповки массы падающих частей молота можно вести, исходя из последнего удара при штамповке.

Полезная работа, затрачиваемая при последнем ударе, может быть определена по формуле [84]:

$$A_п = \int_{h_{\text{з. кон}}}^{h_{\text{з. нач}}} P \cdot dh_{\text{з. тек}}, \qquad (27)$$

где P — необходимое усилие деформирования в течение последнего удара молота;
$h_{\text{з. нач}}$ — начальная высота заусенца;
$h_{\text{з. кон}}$ — конечная высота заусенца;
$h_{\text{з. тек}}$ — текущая высота заусенца.

Величина P изменяется в течение последнего удара при штамповке в соответствии с изменением $h_{\text{з. тек}}$, увеличиваясь к концу процесса аналогично изменению на прессах. Влияние скоростного коэффициента на изменение величины P в течение удара оказывает воздействие в связи

со временем удара и, как показывают экспериментальные данные по осадке, может быть осреднено. Согласно [124, 125], максимум усилия возникает в конце удара, перед упругой разгрузкой, а вся кривая усилия монотонно изменяется от минимума до максимума.

Таким образом, усилие P может быть вычислено по обычным формулам с учетом скоростного коэффициента. Пределы интегрирования в формуле (27) можно определить, зная осадку за последний удар $\Delta h_{\text{з. посл}}$, причем

$$\Delta h_{\text{з. посл}} = h_{\text{з. нач}} - h_{\text{з}}.$$

Высота мостика заусенечной канавки $h_{\text{з}}$ известна, а величиной $\Delta h_{\text{з. посл}}$ (*мм*) необходимо или задаться, или определить ее по формуле А. В. Ребельского [19]:

$$\Delta h_{\text{з. посл}} = \frac{2{,}5\,(75 + 0{,}001 D_{\text{п}}^2)}{D_{\text{п}}}, \qquad (28)$$

где $D_{\text{п}}$ — диаметр поковки для круглых в плане поковок или приведенный диаметр поковки для удлиненных в плане поковок $D_{\text{пр}} = 1{,}13\sqrt{F_{\text{п}}}$ ($F_{\text{п}}$ — площадь проекции поковки в плане).

Практически величина $\Delta h_{\text{з. посл}} = (0{,}5 \div 1{,}5)\, h_{\text{з}}$ и относительно меньше для крупных поковок. Она близка к величине доштамповки поковки, когда полость ручья заполнена полностью.

При этих условиях усилие P при последнем ударе можно определить по формуле, указанной в [98], заменив в ней $h_{\text{з}}$ на $h_{\text{з. тек}}$. После интегрирования формулы (27), с учетом формулы (28) и равенства

$$A_{\text{д}} = 1{,}8 G_0, \text{ [84, 98]},$$

где G_0 — номинальная масса падающих частей паровоздушного штамповочного молота двойного действия, *кг*;

$A_{\text{д}}$ — энергия одного удара молота, *кГ·м* (*дж*),

выполнив преобразования, получаем формулу для определения номинальной массы падающих частей паровоздушного молота двойного действия:

$$G_0 = 5{,}6 \cdot 10^{-3} \sigma\,(1 - 0{,}0005 D_{\text{п}})\left\{3{,}75\left(l_{\text{з}} + \frac{D_{\text{п}}}{4}\right)(75 + 0{,}001 D_{\text{п}}^2) + D_{\text{п}}\left(\frac{l_{\text{з}}^2}{2} + \frac{l_{\text{з}} D_{\text{п}}}{4} + \frac{D_{\text{п}}^2}{50}\right)\ln\left[1 + \frac{2{,}5\,(75 + 0{,}001 D_{\text{п}}^2)}{D_{\text{п}} h_{\text{з}}}\right]\right\}, \qquad (29)$$

где σ — сопротивление деформированию материала поковки при данной температуре [42];

$l_{\text{з}}$ — ширина мостика заусенечной канавки.

Учитывая указания А. В. Ребельского [79], легко получить формулу для некруглых в плане поковок:

$$G_m = 5{,}6 \cdot 10^{-3} \sigma\,(1 - 0{,}0005 D_{\text{пр}})\left\{3{,}75\left(l_{\text{з}} + \frac{D_{\text{пр}}}{4}\right) \times (75 + 0{,}001 D_{\text{пр}}^2) + D_{\text{пр}}\left(\frac{l_{\text{з}}^2}{2} + \frac{l_{\text{з}} D_{\text{пр}}}{4} + \frac{D_{\text{пр}}^2}{50}\right) \times \ln\left[1 + \frac{2{,}5\,(75 + 0{,}001 D_{\text{пр}}^2)}{D_{\text{пр}} h_{\text{з}}}\right]\right\}\left(1 + 0{,}1\sqrt{\frac{l_{\text{п}}}{b_{\text{ср}}}}\right), \qquad (30)$$

где $D_{\text{пр}}$ — приведенный диаметр поковки ($D_{\text{пр}} = 1{,}13\sqrt{F_{\text{п}}}$);

$l_{\text{п}}$ — длина поковки в плане;

$b_{\text{ср}}$ — средняя ширина поковки в плане $\left(b_{\text{ср}} = \frac{F_{\text{п}}}{l_{\text{п}}}\right)$.

Значение G_0 можно быстро определить по номограмме на рис. 204.

Для определения значения G_m по номограмме необходимо предварительно рассчитать G_0 в зависимости от $D_{\text{пр}}$ и коэффициент $m = \frac{l_{\text{п}}}{b_{\text{ср}}}$ и затем получить G_m.

Массу падающих частей молотов простого действия можно определить по формулам (29) и (30) или по номограмме на рис. 204 с учетом переводного коэффициента [79], т. е. умножив полученный результат на 1,7.

Предложенные формулы пригодны для расчетов при крупносерийном и массовом производстве поковок. При мелкосерийном производстве возможно применение молотов с меньшей массой падающих частей при условии увеличения количества ударов при штамповке.

Формулы (29) и (30) пригодны лишь в тех случаях, когда минимальная толщина поковки больше $(4 \div 5)\, h_{\text{з}}$. В противном случае необходимо учитывать повышенную неравномерность распределения деформации и

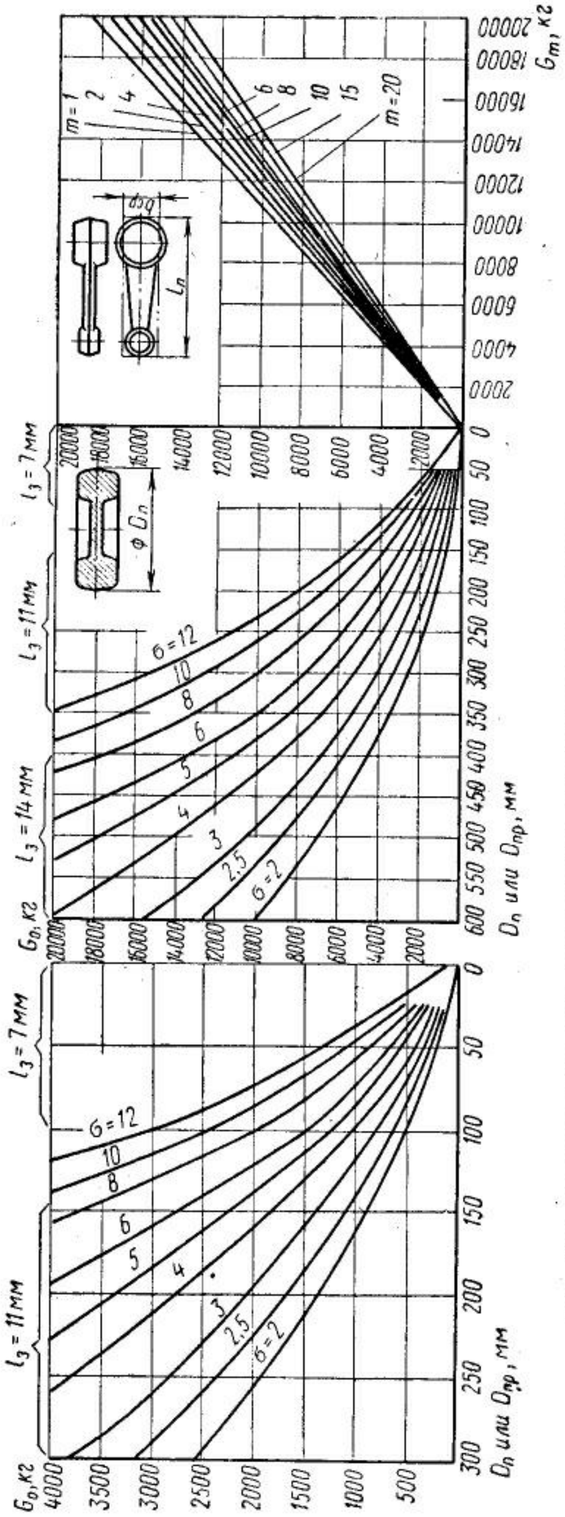


Рис. 204. Номограмма для определения массы падающих частей штамповочного молота

температуры, увеличивая полученное значение массы в 1,2 ÷ 1,3 раза.

Предлагаемые формулы показывают зависимость необходимой массы падающих частей молота от основных влияющих факторов: толщины и ширины заусенца, диаметра и площади поковки, величины осадки и величины σ, зависящей в свою очередь от температуры окончания штамповки.

§ 42. ПРИМЕРЫ ШТАМПОВКИ В ОТКРЫТЫХ ШТАМПАХ НА МОЛОТАХ [42]

Пример 1. На рис. 205 приведен чертеж поковки, а на рис. 206 — чертеж для изготовления штампа поковки рычага привода задних тормозов автомобиля.

Определение основных параметров поковки. Площадь проекции поковки на плоскость разъема $F_п = 7715$ *мм²*; периметр поковки $p_п = 545$ *мм*; длина поковки $l_п = 232$ *мм*; средняя ширина поковки $b_{ср} = 33{,}3$ *мм*; $\frac{l_п}{b_{ср}} = 7 > 2{,}5$; объем поковки $V_п = 118\,000$ *мм³*; масса поковки $G_п = 0{,}92$ *кГ*.

Определение размеров заусенца. По формуле $h_з = 0{,}015\sqrt{F_п}$ определяем толщину мостика

$$h_з = 0{,}015\sqrt{7715} = 1{,}33 \text{ мм}.$$

Принимаем ближайшее бо́льшее значение $h_з$ по нормалям [117; 42]: $h_з = 1{,}6$ *мм*.

Для участка стержня поковки принимаем канавку для заусенца размерами $h = 1{,}6$ *мм*; $l_з = 8$ *мм*; $l_1 = 22$ *мм*; $S_{з.к} = 102$ *мм²*; $R = 1$ *мм*; для участка головки поковки — канавку размерами $h_з = 1{,}6$ *мм*; $l_з = 9$ *мм*; $l_м = 25$ *мм*; $S_{з.к} = 113$ *мм²*; $R = 1{,}5$ *мм*.

Определяем объем заусенца [42]: $V_з = 30\,600$ *мм³*.

Расчет эпюры диаметров. Построение расчетной заготовки (рис. 207) производим, исходя из длины отдельных элементов поковки и найденных значений $d_э$ (табл. 20).

Таблица 20

Расчет эпюры диаметров

Номер сечения	$S_п$, *мм²*	$S_{з.к}$, *мм²*	ζ	$S_э = S_п + 2\zeta S_{з.к}$, *мм²*	$d_э = 1{,}13\sqrt{S_э}$, *мм*
1	0	102	1,0*	204	16,2
2	496	102	0,4	578	27,0
3	300	102	0,4	382	22,0
4	603	102	0,4	685	29,6
5	323	102	0,4	405	23,0
6	302	102	0,4	384	22,3
7	308	102	0,4	390	22,5
8	1440	113	0,5	1553	44,6
9	940	113	0,5	1053	36,5
10	0	113	1,0*	260	17,3

* Для конечных сечений принимаем ζ = 1.

Расчет среднего сечения расчетной заготовки:

$$V_{р.заг} = V_п + V_з = 148\,600 \text{ мм}^3;$$

$$\frac{V_{р.заг}}{l_э} = \frac{148\,600}{232} = 642 \text{ мм}^2;$$

$$d_{ср} = 1{,}13\sqrt{S_{ср}} = 1{,}13\sqrt{642} = 28{,}8 \text{ мм}.$$

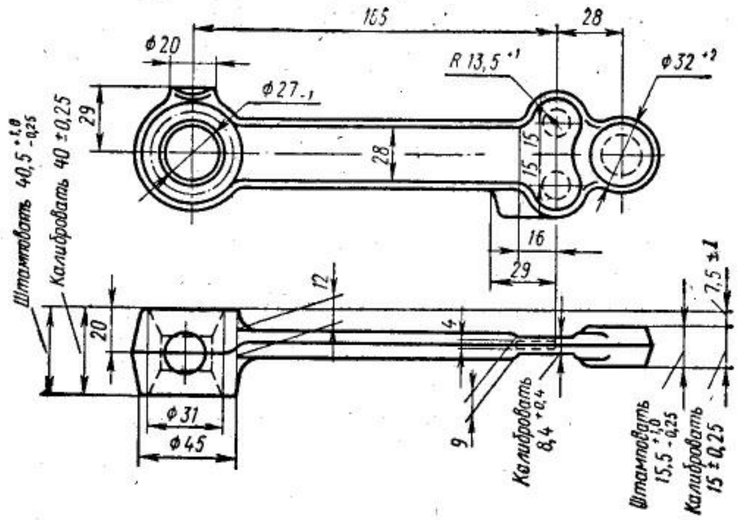


Рис. 205. Чертеж поковки рычага

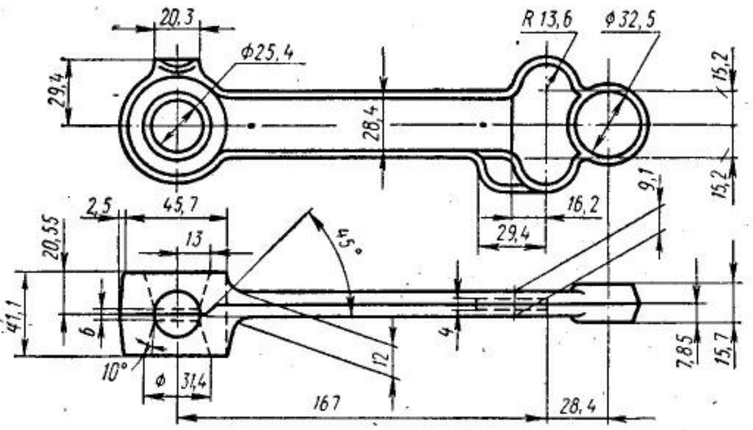


Рис 206. Чертеж поковки рычага для изготовления штампа

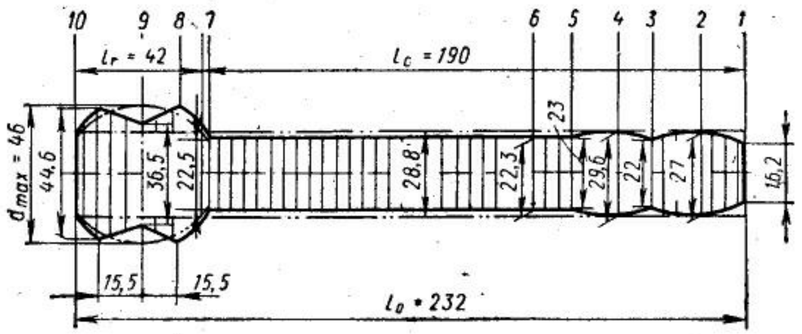


Рис. 207. Расчетная заготовка поковки рычага

Выбор переходов штамповки. Расчетная заготовка — элементарная, так как она состоит из головки с односторонним стержнем. Контур головки, имеющий резкий излом вследствие наличия отверстия в бобышке поковки, приводим к плавному виду из условия сохранения объема (см. рис. 207).

Определяем общий коэффициент подкатки $K_{\text{подк. общ}}$:

$$K_{\text{подк. общ}} = \frac{S_{\max}}{S_{\text{ср}}} = \frac{1553}{642} = 2{,}42.$$

При значении $K_{\text{подк. общ}} = 2{,}42 > 1{,}8$ требуется протяжной ручей, а с учетом рекомендации (см. стр. 221, п. I) требуется также подкатной открытый ручей. Применяем для данной поковки протяжной открытый и подкатной открытый ручьи.

При $G_{\text{п}} = 0{,}92$ *кг* и $l_{\text{п}} = 232$ *мм* можно производить штамповку прутка с отрубкой поковки на ноже [42].

В данном случае рационально применить предварительный ручей, тем более что поковка подвергается плоскостной калибровке.

Итак, для штамповки рассматриваемой поковки нужно применить следующие ручьи: протяжной открытый, подкатной открытый, предварительный, окончательный, нож.

Определение размеров заготовки производим для случая, когда применяются протяжка и подкатка [42].

Расчетная площадь сечения исходной заготовки при наличии одного подкатного ручья определится по формуле

$$S_{\text{подк}} = 1{,}2\, S_{\text{ср}} = 1{,}2 \cdot 642 = 770 \ \text{мм}^2.$$

Коэффициент 1,2 взят потому, что если применить одну подкатку, то заготовка в данном случае не должна доходить до конца подкатного ручья.

Объем головки $V_{\text{г}}$ определится как сумма объемов усеченных конусов: $V_{\text{г}} = 56\,000$ *мм*^{3}, с учетом угара 2%,

$$V'_{\text{г}} = 1{,}02 \cdot 56\,000 \approx 57\,000 \ \text{мм}^3.$$

Длина головки $l_{\text{г}} = 42$ *мм* (см. рис. 207). Для случая применения только протяжки

$$S_{\text{прот}} = \frac{V'_{\text{г}}}{l_{\text{г}}} = \frac{57\,000}{42} = 1350 \ \text{мм}^2.$$

Для определения площади сечения расчетной заготовки $S'_{\text{заг}}$ необходимо также определить конусность K стержня расчетной заготовки.

Приводим стержень к виду усеченного конуса с размером меньшего основания $d_{\min} = 22$ *мм*.

Размер большего основания определяем по формуле [42]:

$$d_{\text{к}} = 24 \ \text{мм},$$

$$d_{\text{к}} = \sqrt{3{,}82 \frac{V_{\text{с}}}{l_{\text{с}}} - 0{,}75\, d^2_{\min}} - 0{,}5_{\min},$$

$$K = \frac{d_{\text{к}} - d_{\min}}{l_{\text{с}}} = \frac{24 - 22}{190} \approx 0{,}01,$$

$$S_{\text{заг}} = S_{\text{прот}} - K\,(S_{\text{прот}} - S_{\text{подк}}) = 1350 - 0{,}01\,(1350 - 770) = 1344 \ \text{мм}^2.$$

Если применить заготовку квадратного сечения, то расчетная сторона заготовки

$$A'_{\text{заг}} = \sqrt{S'_{\text{заг}}} = \sqrt{1344} = 37 \ \text{мм}.$$

Выбираем заготовку $A_{\text{заг}} = 38$ *мм* (квадрат 38 *мм*) с площадью сечения $S_{\text{заг}} \approx 1444$ *мм*^{2}.

Расчет и построение протяжного ручья. При расчете элементов протяжного ручья исходят из размеров расчетной и исходной заготовок. Поскольку протяжной ручей открытый, то поперечное сечение стержня при протяжке будет прямоугольным, близким к квадратному.

Если при штамповке имеется один протяжной ручей без подкатных ручьев, то высоту ручья a в протяжном пороге определяют по минимальному диаметру $d_{\min}$ расчетной заготовки с учетом коэффициента по формуле

$$a = (0{,}7 \div 0{,}8)\, d_{\min}.$$

Если имеется дополнительно подкатной ручей, то предварительно рассчитывают сторону $a_{\text{с}}$ протянутой заготовки (на участке стержня), которая будет больше, чем сторона протянутой заготовки при наличии одного протяжного ручья, когда сторона должна соответствовать $d_{\min}$, исходя из равновеликой площади круга и квадрата.

Затем определяют a по формуле: $a = (0{,}8 \div 0{,}9)\, a_{\text{с}}$.

Для определения $a_{\text{с}}$ можно задаться длиной протянутого стержня $l_{\text{с}}$ (см. рис. 207) и его объемом $V_{\text{с}}$, тогда

$$a_{\text{с}} = \sqrt{\frac{V_{\text{с}}}{l_{\text{с}}}}.$$

Объем $V_{\text{с}}$ можно определить, вычитая из объема расчетной заготовки $V_{\text{р. заг}}$ объем головки $V_{\text{г}}$.

Определим конкретные размеры протяжного ручья.

1. Высоту a в протяжном пороге в данном случае находим, определив предварительно сторону квадрата протянутой заготовки $a_{\text{с}}$.

$$V_{\text{с}} = V_{\text{р. заг}} - V_{\text{г}} = 148\,600 - 56\,000 = 92\,600 \ \text{мм}^3,$$

$$a_{\text{с}} = \sqrt{\frac{V_{\text{с}}}{l_{\text{с}}}} = \sqrt{\frac{92\,600}{190}} \approx 22{,}1 \ \text{мм}.$$

При $l = 190$ *мм* (см. рис. 207)

$$a = 0{,}9 \quad a_{\text{с}} = 0{,}9 \cdot 22{,}1 \approx 20 \ \text{мм}.$$

2. Длина протяжного порога

$$C = 1{,}3 A_{\text{заг}} = 1{,}3 \cdot 38 = 49{,}4 \ \text{мм},$$

где коэффициент 1,3 принят в зависимости от величины отношения $\frac{l_{\text{исх}}}{A_{\text{заг}}}$ согласно [117]

$$l_{\text{исх}} = \frac{V_{\text{с}}}{S_{\text{заг}}} = \frac{92\,600}{1444} = 64{,}5 \ \text{мм}$$

и

$$\frac{l_{\text{исх}}}{A_{\text{заг}}} = \frac{64{,}5}{38} = 1{,}7.$$

Принимаем $C = 50$ *мм*.

3. Радиус перехода

$$R = 0{,}25\, C = 0{,}25 \cdot 50 = 12{,}5 \ \text{мм}.$$

4. Радиус закругления

$$R_1 = 2{,}5\, C = 2{,}5 \cdot 50 = 125 \ \text{мм}.$$

5. Определение ширины ручья: протяжной ручей располагаем под углом $\alpha = 15°$ к оси штампа. По формуле $B = 1{,}5 \cdot A_{\text{заг}} + 10$ [117] при $A_{\text{заг}} = 38$ *мм* $B = 67$ *мм*.

Выбираем $B = 70$ *мм*.

6. Глубина ручья при наличии на конце стержня бобышки диаметром $d_{\text{б}}$

$$e = 1{,}2\, d_{\text{б}} = 1{,}2 \cdot 29{,}6 = 35 \ \text{мм}.$$

В данном случае протяжной ручей располагают с той же стороны, что и нож, а поэтому глубина ручья e определяется глубиной H отрубного ручья

$$e = H = A_{\text{заг}} + 20 = 38 + 20 = 58 \ \text{мм}.$$

Выбираем $\frac{H}{2} = \frac{e}{2} \approx 30$ *мм*.

Построение протяжного ручья производим по найденным размерам в соответствии с [117, 42].

Расчет и построение подкатного ручья. Размеры профиля подкатного ручья по высоте h в соответствующих поперечных сечениях расчетной заготовки определяют, исходя из ее размеров $d_э$ и $d_{ср}$, по общей формуле

$$h=\mu d_э,$$

где μ выбирают в зависимости от места расположения поперечного сечения (стержень с $d_{э\,min}$, переходный участок с $d_{эк}$ или головка с $d_{э\,max}$).

Имеем соответственно $h_{min} = 0{,}7 \div 0{,}8\, d_{э\,min}$, $h_к = 0{,}75 \div 0{,}85\, d_{эк}$ и $h_{max} = 1 \div 1{,}1\, d_{э\,max}$. Меньшую величину коэффициента рекомендуется выбирать при диаметре $D_{заг}$ исходной заготовки, большем 60 *мм*, так как при больших диаметрах $D_{заг}$ имеет место недоштамповка и фактический размер h в заготовке автоматически увеличивается по сравнению с размером высоты ручья. Рассчитанные размеры h обычно сводят в таблицу.

Определим конкретные размеры подкатного ручья.

1. Определяем размеры профиля ручья по высоте и сводим их в табл. 21.

Таблица 21

Определение высоты ручья

Номер сечения	Размер $d_э$ по эпюре, *мм*	Коэффициент μ	Высота ручья $h=\mu\, d_э$, *мм*
1	16,2	0,75	12,2
2	27,0	0,75	20,0
3	22,0	0,75	16,5
4	29,6	0,75	22,5
5	23,0	0,75	17,3
6	22,3	0,75	16,7
7	22,5	0,75	16,9
8	44,6	1,05	46,9
9	46,0	1,05	48,4
10	17,3	0,75	13,0

2. Построение профиля ручья выполняем по данным табл. 21. Место под концевой выступ, получающее в результате строгого построения по точкам ступенчатую форму, приводим к плавной форме по средней высоте $h = 22$ *мм*.

3. Определяем ширину ручья и строим поперечные сечения его профиля. Так как ручей открытого типа и производится подкатка предварительно протянутой заготовки, то по [117, 42].

$$B=\frac{S_{заг}}{h_к}+10=\frac{1440}{25}+10=67{,}5\ мм.$$

Предусмотренные для этой формулы пределы

$$(d_{э\,max}+10) \div 1{,}7A_{заг}\,(46+10) \div 1{,}7\cdot 38=56 \div 65\ мм.$$

Выбираем $B = 65$ *мм*.

Размер 22,5 *мм* является высотой профиля подкатного ручья в месте, соответствующем переходу головки в стержень по эпюре. На чертеже эпюры (см. рис. 207) видно, что этот размер должен быть взят на расстоянии 21 *мм* от оси головки.

Расположение ручьев. Определение расстояния между ручьями, размеров штамповых кубиков и построение направляющих (замка) производим по общим правилам.

Для строжки замка необходимо предусмотреть канавку на глубину, несколько превосходящую глубину замка.

Чертеж штампа для рассматриваемого изделия показан на рис. 208.

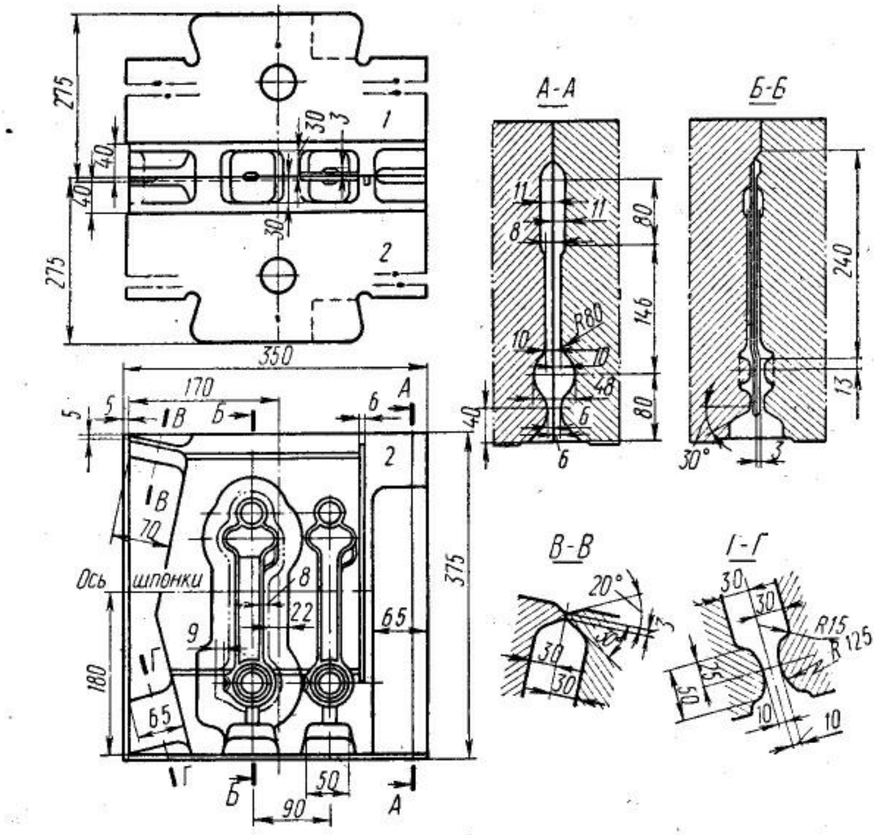


Рис. 208. Молотовой штамп для поковки рычага

Пример 2. На рис. 209 изображен чертеж поковки с фланцем.

Определение основных параметров поковки. Площадь проекции поковки на плоскость разъема $F_п = 5085$ *мм*^{2}, периметр поковки $p_п = 448$ *мм*; объем поковки $V_п = 189\,550$ *мм*^{3}; масса поковки $G_п = 1{,}49$ *кг*.

Определение размеров заусенца. $h_з = 0{,}015\sqrt{5085} = 1{,}15$ *мм*.

Принимаем ближайшее большее $h_з = 1{,}6$ *мм*.

В соответствии с [42] принимаем канавку для заусенца размерами $h_з = 1{,}6$ *мм*; $l_з = 9$ *мм*; $l_м = 25$ *мм*; $S_{з.к} = 113$ *мм*^{2}; $R = 1{,}5$ *мм*.

Определяем объем заусенца

$$V_з = 42\,000\ мм^3.$$

Выбор переходов штамповки. Объем фланца

$$V_ф=\frac{\pi\cdot 90^2}{4}\,10+2\,\frac{\pi\cdot 90^2}{4}\cdot\frac{1}{3}\cdot\frac{90}{2}\sin 7^\circ = 63\,500+22\,800=86\,300\ мм^3;$$

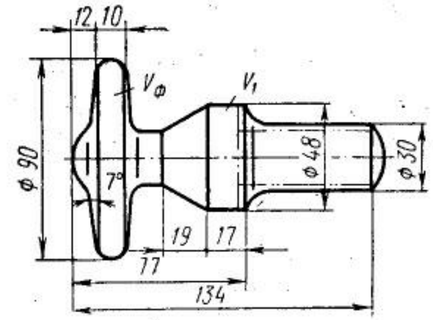


Рис. 209. Чертеж поковки с фланцем

так как $V_ф > 3\,\frac{\pi d^3_{min}}{4}$, $86\,300\ мм^3 > 63\,500\ мм^3$, то поковка согласно табл. 19 относится к типу Б и для ее штамповки требуется специальный протяжной и высадочный ручьи.

Определение размеров заготовки. Объем заготовки вместе с заусенцем определим по формуле

$$V_{\text{р. заг}} = V_{\text{п}} + V_{\text{з}} = 189\,550 + 42\,000 = 231\,550 \text{ мм}^3.$$

Объем заготовки $V'_{\text{заг}}$ с учетом потерь на заусенец и угар ($\delta = 2\%$) [42]

$$V'_{\text{заг}} = 231\,550\,\frac{100+2}{100} = 236\,000 \text{ мм}^3.$$

Объем фланца с учетом потерь на заусенец

$$V_{\text{р. ф}} = V_{\text{ф}} + V_{\text{з. ф}} = 86\,300 + 19\,000 = 105\,300 \text{ мм}^3,$$

а с учетом потерь также и на угар (2%)

$$V'_{\text{ф}} = 105\,300\,\frac{100+2}{100} = 107\,300 \text{ мм}^3.$$

Диаметр расчетной заготовки [42]

$$D'_{\text{заг}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 107\,300}{2{,}5\pi}} = 37{,}9 \text{ мм}.$$

Выбираем $D_{\text{заг}} = 40$ мм, тогда $l_{\text{заг}} = 188$ мм.

Расчет и построение высадочного ручья [42]. Объем фланца с учетом потерь на заусенец и угар $V_{\text{ф}} = 107\,300$ мм^3; объем стержня поковки с заусенцем и потерями на угар составит $V'_1 = 128\,700$ мм^3.

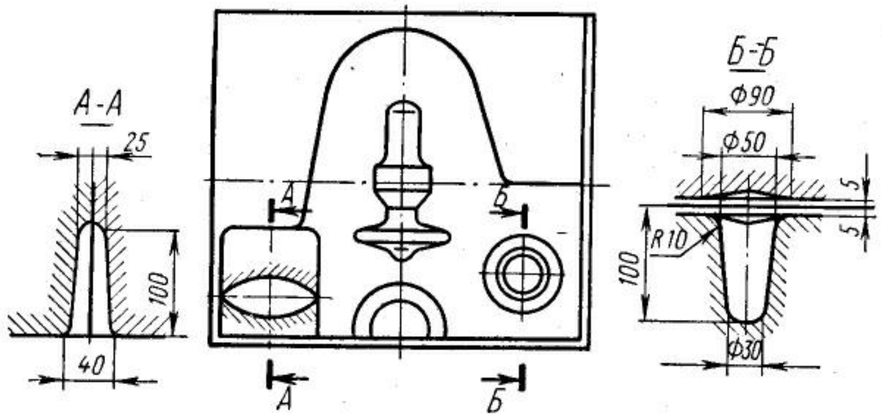


Рис. 210. Молотовой штамп для поковки с фланцем

Высоту фланца $h'_{\text{ф}}$ с учетом конусности в 7° и выступа на торце принимаем 10 мм (по размеру цилиндрического участка),

$$h_{\text{ф. ср}} = 16 \text{ мм},$$

$$h_1 = l_1 - (5 \div 15) = 107 - 12 = 95 \text{ мм},$$

$$d_{\text{ср. 1}} = \sqrt{\frac{4 \cdot V'_1}{\pi h_1}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 128\,700}{\pi \cdot 95}} \approx 41 \text{ мм};$$

принимаем $d_{\text{ср. 1}} = 40$ мм,

$$d'_{\text{ф}} = \sqrt{\frac{4 \cdot V'_{\text{ф}}}{\pi \cdot h_{\text{ф.ср}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 107\,300}{\pi \cdot 16}} = 92 \text{ мм}; \text{ принимаем } d'_{\text{ф}} = 90 \text{ мм}.$$

По полученным размерам легко производится графическое построение ручья, который показан в разрезе на чертеже штампа для данной поковки (рис. 210).

Расчет и построение специального протяжного ручья [42]. Длина ручья $l = h_1 + 5 = 95 + 5 = 100$ мм.

Диаметр в сечении $d_{\text{ср}} = d_{\text{ср.1}} - (5 \div 10) = 40 - 7{,}5 = 32{,}5$ мм.

Ширина ручья $B = 1{,}5 \cdot d_{\text{ср.1}} + 20 = 1{,}5 \cdot 40 + 20 = 80$ мм.

Ручей показан на чертеже штампа (см. рис. 210).

Пример 3. На рис. 211 изображен чертеж поковки (а) и чертеж для изготовления штампа (б) поковки шестерни.

Определение основных параметров поковки.

$D_{\text{п}} = 181 + 2 \cdot 1{,}5 = 184$ мм; $p_{\text{п}} = 578$ мм; $V_{\text{п}} = 510\,000$ мм^3 (как сумма объемов отдельных элементов); $G_{\text{п}} = 4000\ г = 4$ кг.

Определение размеров заусенца:

$h_{\text{з}} = 0{,}015 \cdot 184 \approx 2{,}75$ мм.

Выбираем заусенец по таблице [42] с размерами $h_{\text{з}} = 3$ мм; $l_{\text{з}} = 12$ мм; $l_{\text{м}} = 32$ мм; $S_{\text{з.к}} = 233$ мм^2.

Объем заусенца

$V_{\text{з}} = 78\,000$ мм^3 [42].

Определение размеров заготовки:

$V_{\text{п. з}} = 510\,000 + 78\,000 = 588\,000$ мм^3;

с учетом угара (окалины)

$V'_{\text{п. з}} = 1{,}02 \cdot 58\,000 \approx 600\,000$ мм^3.

При определении диаметра заготовки для облегчения резки задаемся большим значением коэффициента $K = \frac{H_{\text{заг}}}{D_{\text{заг}}} = 2{,}5$ [42].

Отсюда

$$D_{\text{заг}} = 1{,}08 \sqrt[3]{\frac{600\,000}{2{,}5}} = 67 \text{ мм}.$$

Выбираем заготовку диаметром 70 мм ($D_{\text{заг}} = 70$ мм).

Высота заготовки

$$H_{\text{заг}} = \frac{600\,000}{\pi \frac{70^2}{4}} = 155 \text{ мм}.$$

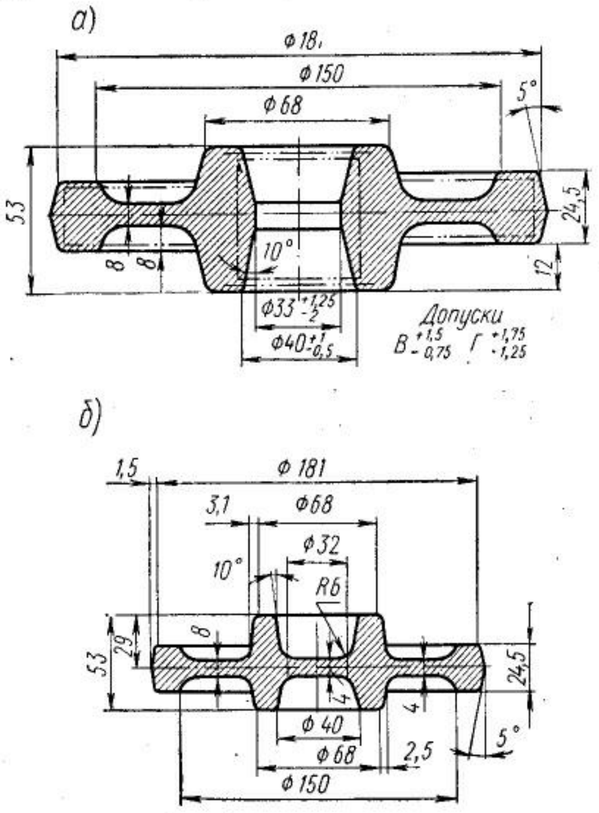


Рис. 211. Приемочный чертеж поковки шестерни (а) и чертеж поковки для изготовления штампа (б)

Выбор переходов штамповки. Для штамповки поковки следует применить площадку для осадки и окончательный ручей.

Конструирование площадки для осадки и определение размеров штамповых кубиков. Во избежание образования зажимов желательно заготовку осадить на лепешку, которая перекрывала бы выступ диаметром в основании 150 мм, поэтому задаемся размером $d = 150$ мм.

По [42; 117] построением определяем: $a = 422$ мм; $b = 335$ мм.

Выбираем по нормали штамповые кубики размерами $430 \times 340 \times 265$ мм.

В остальном конструкция штампа рассчитывается по общим правилам и ясна из рис. 212. Для круглых в плане поковок можно выемки для клещевины не делать. В целях получения возможно меньшего сдвига часто применяют для подобных поковок штампы с круглым замком.

Пример 4. На рис 213, *а* показана поковка конической шестерни и штамп для нее (рис. 213, *б*). Поковку штампуют на площадке для осадки и в окончательном ручье.

Особенностью площадки для осадки являются волнистые рифления, позволяющие сбить окалину с торцов заготовки при осадке и получить более равномерную

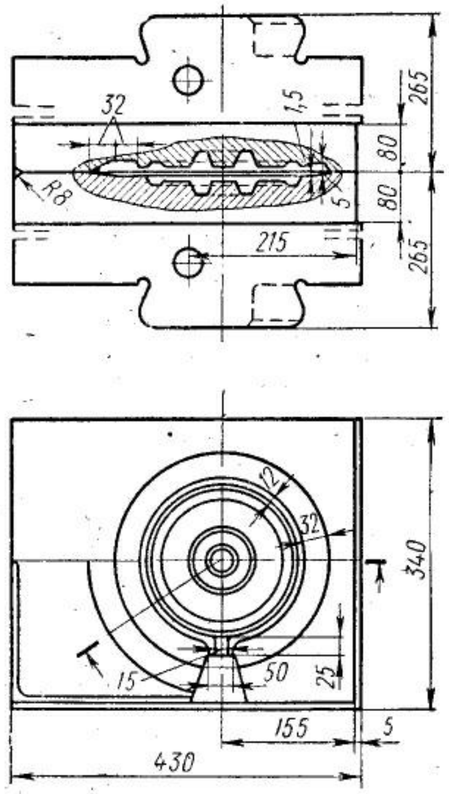


Рис. 212. Молотовой штамп для поковки шестерни

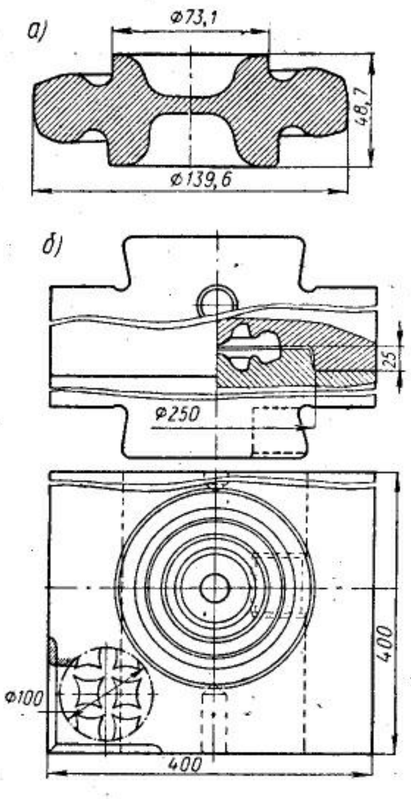


Рис. 213. Поковка конической шестерни (*а*) и молотовой штамп (*б*)

осадку, с меньшей бочкообразностью. В штампе предусмотрены кольцевой замок и заусенечная канавка IV типа [42], что позволяет снизить расход металла на заусенец.

Штамповка производится под молотом с массой подающих частей 2 *т*.

ГЛАВА VIII

ШТАМПОВКА В ОТКРЫТЫХ ШТАМПАХ НА ПРЕССАХ

§ 43. ОСОБЕННОСТИ ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ШТАМПОВКЕ НА ПРЕССАХ

Для горячей штамповки, как уже указывалось, также используют кривошипные горячештамповочные, винтовые фрикционные и гидравлические прессы. Каждый из этих прессов имеет свои преимущества и недостатки. Однако по сравнению с ударной молотовой штамповкой штамповка на прессах обладает рядом общих отличительных черт.

Деформирование на молотах происходит за несколько ударов, а на прессах обычно за одно нажатие в каждом ручье. Скорость деформирования на прессах ниже, чем при штамповке на молотах, поэтому время контакта в процессе самого деформирования значительно больше, чем на молоте. Это приводит к переохлаждению контактных поверхностей заготовки и повышенному разогреву прессовых штампов. Поэтому металл заполняет глубокие полости хуже, чем при штамповке на молотах.

Ввиду того, что деформирование происходит за один ход пресса, верхние и нижние контактные поверхности заготовки находятся приблизительно в одних и тех же условиях охлаждения, что приводит к одинаковому течению металла как в верхний, так и в нижний штамп, в противоположность течению металла при штамповке на молотах, где металл лучше течет в верхний штамп.

§ 44. ШТАМПОВКА НА КРИВОШИПНЫХ ГОРЯЧЕШТАМПОВОЧНЫХ ПРЕССАХ В ОТКРЫТЫХ ШТАМПАХ

Кривошипные горячештамповочные прессы (КГШП) предназначены для относительно точной штамповки различных поковок, преимущественно в открытых штампах. Однако их с успехом применяют при штамповке в закрытых штампах и выдавливанием. КГШП отличаются быстроходностью (50 ÷ 60 ходов пресса в минуту), что позволяет сократить время деформации заготовки, снизить разогрев штампов и увеличить их стойкость. Но все же по сравнению с молотом время деформации остается значительно большим и течение металла на КГШП характерно для штамповки на прессах вообще.

Преимущества и недостатки штамповки на КГШП. Быстрое распространение КГШП объясняется рядом технологических и эксплуатационных преимуществ по сравнению со штамповкой на молотах.

1. Поковки получают относительно высокой точности, особенно по высоте. По сдвигу поковки даже не контролируют, так как конст-

рукция пресса обеспечивает высокую точность ввиду хорошего направления ползуна и наличия направляющих колонок в штампе.

2. Припуски на механическую обработку меньше, чем при штамповке на молотах. Штамповочные уклоны меньше, так как существуют выталкиватели. Этим экономится металл и уменьшается последующая механическая обработка.

3. Производительность при штамповке на КГШП выше, чем при штамповке на молотах (в среднем в 1,4 раза), а при штамповке поковок шестерен — в 2 раза. Это объясняется тем, что деформация на прессе в каждом ручье происходит за один ход, а на молоте — за несколько ударов.

4. При штамповке на КГШП можно применять автоматические перекладчики заготовок и процесс полностью автоматизируется.

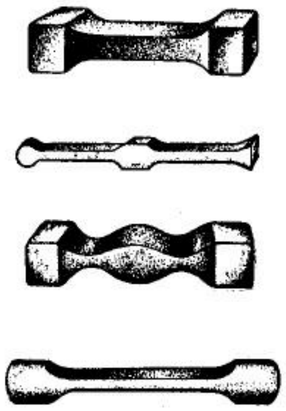


Рис. 214. Заготовки, полученные на ковочных вальцах

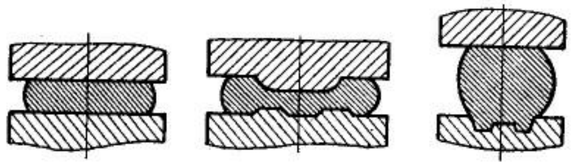


Рис. 215. Открытые осадочные ручьи

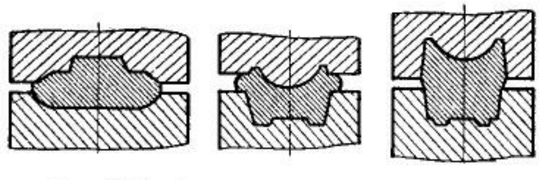


Рис. 216. Закрытые осадочные ручьи

5. По расходу энергии работа пресса обходится дешевле, чем молота. Молот работает на пару или сжатом воздухе, а КГШП — на электроэнергии. К. п. д. прессов в 4 раза выше, чем молотов.

6. КГШП имеют спокойный, безударный характер работы, что позволяет устанавливать их в зданиях облегченной конструкции.

7. Надежность работы КГШП более высокая. У молотов часто ломаются штоки.

8. Работа на прессах более простая, так как не требуется регулировка энергии удара.

К недостаткам штамповки на КГШП относятся:

1. Меньшая универсальность в работе по сравнению с молотами. Ввиду жесткого хода такие операции, как протяжку и подкатку не применяют.

2. Необходимость очистки заготовок от окалины перед штамповкой, так как деформация происходит за один ход пресса и вся окалина может заштамповываться в поверхность поковки.

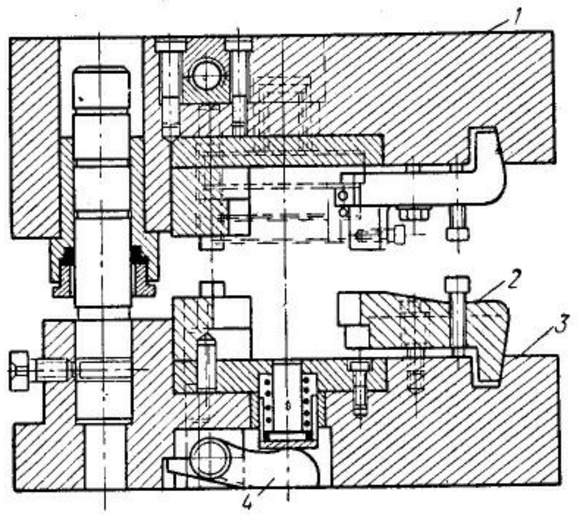
3. Ввиду худшего заполнения полостей при штамповке на КГШП требуется большее количество ручьев по сравнению с молотовыми штампами.

4. Штампы КГШП более сложные, регулировка их трудоемкая.

5. Стоимость КГШП в 3—4 раза выше стоимости сопоставимого по мощности молота.

Типовые поковки, ручьи и конструкции открытых штампов КГШП. На КГШП штампуют разнообразные поковки [43]. В открытых штампах в основном штампуют поковки для следующих деталей: шестерен, в том числе с зубом, шатунов и рычагов, турбинных лопаток; из крупных — поковки коленчатых валов, а из мелких — различные фитинги, крышки шатуна и другие поковки, обычно штампуемые многоштучной штамповкой.

При штамповке поковок шатунов и турбинных лопаток на молотах применяют подкатные и протяж-



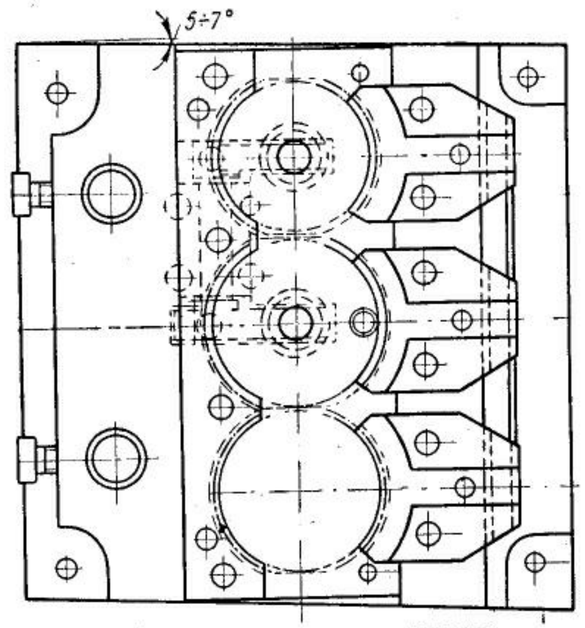


Рис. 217. Пакет штампа КГШП:

1 — верхняя плита; *2* — прихваты, крепящие вставки; *3* — нижняя плита; *4* — рычажный выталкиватель пакета (на две вставки)

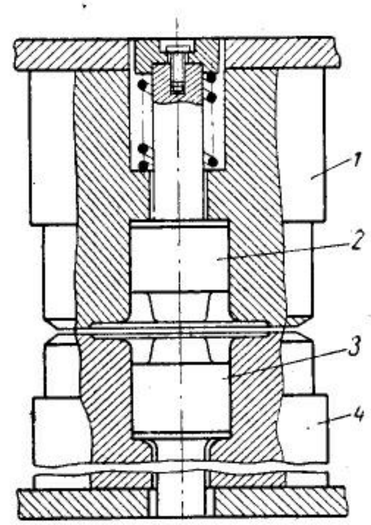


Рис. 218. Сборная круглая вставка штампа КГШП:

1 — корпус верхней вставки; *2* — верхний пуансон-выталкиватель; *3* — нижний пуансон-выталкиватель; *4* — корпус нижней вставки

ные ручьи, а на прессах вместо этого заготовку специально обрабатывают.

Наибольшее распространение имеет обработка заготовки на ковочных вальцах (протяжка). Некоторые участки исходной заготовки про-

тягивают в ручьях (секторах) ковочных вальцев с большими степенями деформации (рис. 214). Подробно о работе на ковочных вальцах см. § 69, гл. XII.

Перед штамповкой на КГШП заготовку можно высадить на горизонтально-ковочной машине. Применяют также периодический прокат.

При штамповке поковок типа шестерен на молотах применяют преимущественно один заготовительный ручей — площадку для осадки. При штамповке на КГШП этого оказывается недостаточно — необходимо вместе с осадкой применять некоторую формовку торцов (рис. 215) [109].

Для еще бóльшего приближения формы заготовки к форме предварительного ручья применяют более сложные ручьи (рис. 216).

Ручьи штампов КГШП располагают во вставках, которые крепят

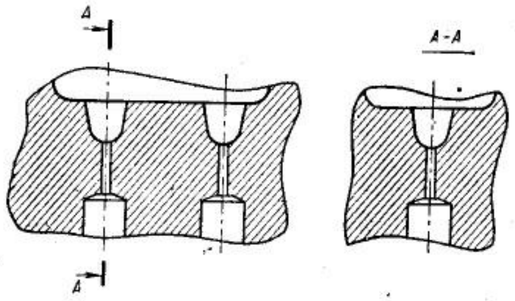


Рис. 219. Газоотводящие каналы во вставках

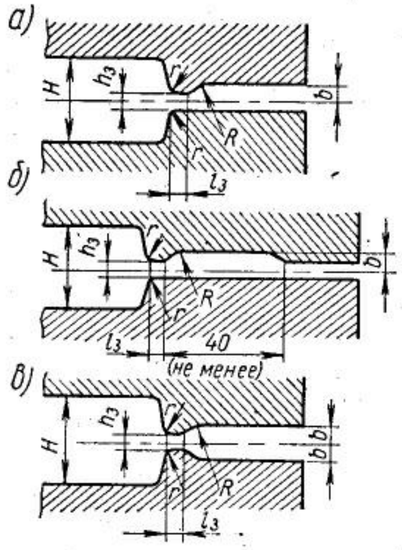


Рис. 220. Формы канавок для заусенца

в универсальном пакете, предназначенном для установки на прессе данного усилия. Пакет состоит из двух опорных плит, направление которых относительно друг друга обеспечивается направляющими колонками (рис. 217). Обычно пакет делают для трех вставок и штамповка может проходить в трех ручьях. Для двух ручьев одну вставку изготовляют без ручья.

Вставки штампов КГШП, в-свою очередь, имеют сборную конструкцию (рис. 218). Они снабжены выталкивателями, которые воздействуют на поковку после штамповки.

В глубоких замкнутых полостях вставок предусматривают газоотводящие отверстия для обеспечения заполнения полостей (рис. 219).

Заусенечную канавку для окончательного ручья штампов КГШП для удобства их настройки и чтобы избежать соударения штампов по плоскости разъема при холостом ходе пресса делают открытой со стороны магазина (рис. 220). При штамповке с учетом наличия упругой деформации системы пресс-штамп между штампами должна обеспечиваться толщина заусенца, равная $h_з$. При холостом ходе пресса эта величина меньше и при наличии плоскости соударения штампов, подобной молотовым штампам, происходил бы удар штампов друг о друга.

Расчет размеров заусенечных канавок аналогичен расчету при штамповке на молотах. Но толщину заусенца $h_з$ выбирают несколько бóльшую, а ширину $l_з$ — меньшую, чем при штамповке на молотах.

Рекомендуется выбирать размеры заусенечной канавки в зависимости от усилия применяемого пресса [43].

Конструкции штампов КГШП подробно описаны в [109, 111].

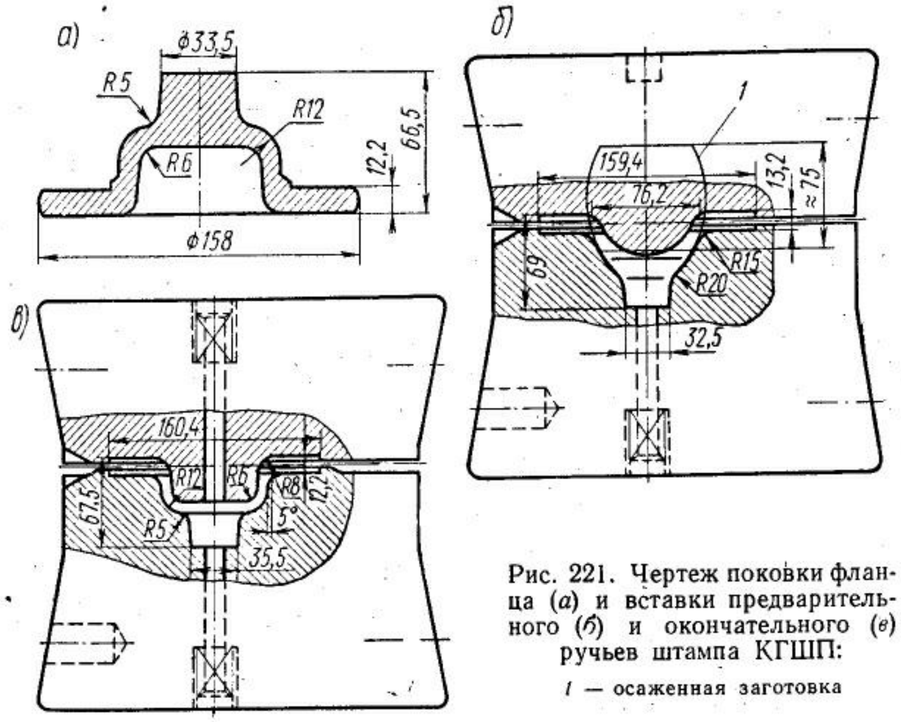


Рис. 221. Чертеж поковки фланца (*а*) и вставки предварительного (*б*) и окончательного (*в*) ручьев штампа КГШП:

1 — осаженная заготовка

Пример штамповки в открытых штампах на КГШП [43]. На рис. 221, *а* показан чертеж поковки фланца, штампуемой на КГШП в трех ручьях. В первом ручье производится осадка на плоских вставках. Исходная заготовка 60 *мм* и длиной 125 *мм* осаживается до высоты 75 *мм*. Заготовка получает диаметр, обеспечивающий фиксацию в нижней половинке предварительного ручья (рис. 221, *б*). В предварительном ручье нижняя часть бобышки заполняется неполностью. Заполнение происходит лишь в окончательном ручье за счет углубления в верхней части поковки. Удаление поковки в предварительном ручье происходит выталкивателем только из нижней вставки, а в окончательном ручье из нижней и из верхней вставок (рис. 221, *в*).

§ 45. ШТАМПОВКА НА ВИНТОВЫХ ФРИКЦИОННЫХ ПРЕССАХ В ОТКРЫТЫХ ШТАМПАХ

Винтовые фрикционные прессы применяют при штамповке поковок в открытых и закрытых штампах. В открытых штампах штампуют мелкие фасонные поковки и поковки типа болтов и заклепок. Фрикционные прессы имеют относительно большую скорость деформирования по сравнению с другими прессами, однако течение металла при штамповке на этих прессах аналогично штамповке на других прессах. Фрикционные прессы обычной конструкции имеют большой ход и недостаточно жесткое направление ползуна. Большой ход позволяет про-

изводить штамповку поковок типа стержня с фланцем высадкой. Слабое направление ползуна обуславливает штамповку только в одном ручье, расположенном на оси пресса.

В последние годы фрикционные прессы значительно модернизировали, они стали более быстроходными, а в некоторых конструкциях выполнено хорошее направление ползуна, что позволяет производить штамповку в многоручьевых штампах.

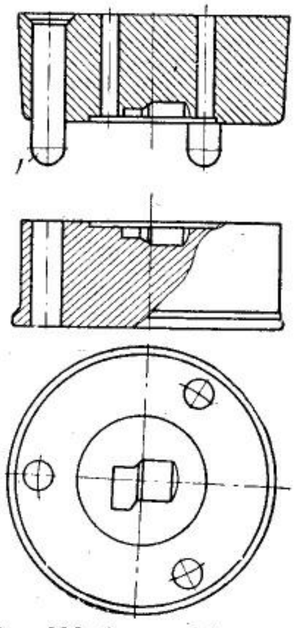


Рис. 222. Открытый штамп (рабочие вставки) к фрикционному прессу:

1 — колонки

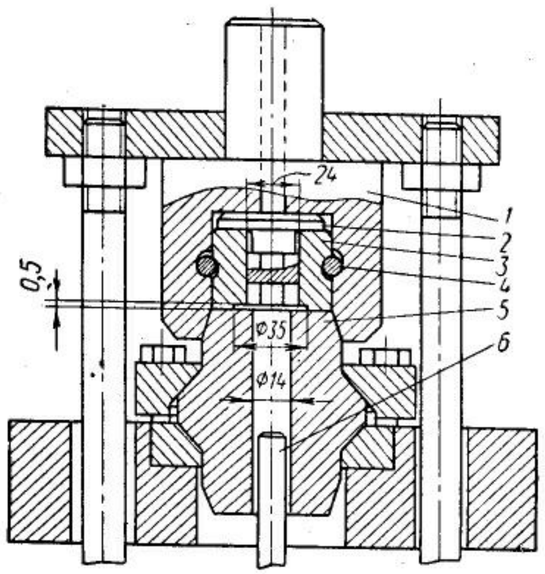


Рис. 223. Высадочный штамп для болтов:

1 — корпус пуансона; *2* — вкладыш вставки; *3* — вставка; *4* — конический штифт; *5* — матрица; *6* — толкатель

На фрикционных прессах штампуют как черные, так и цветные металлы и сплавы, преимущественно медные.

На рис. 222 показан открытый штамп для штамповки мелкой поковки из латуни. Штамп имеет направляющие.

На рис. 223 показана конструкция штампа для высадки поковки типа болта. При штамповке подобных поковок часто нагревают не всю заготовку, а лишь высаживаемую часть.

Нижний штамп при штамповке сильно разогревается. Для его охлаждения применяют воду, которую подают струей на поверхность штампа.

Конструирование рабочей полости и канавки для заусенца практически не отличается от конструирования штампов КГШП [19, 112, 43].

§ 46. ШТАМПОВКА НА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРЕССАХ В ОТКРЫТЫХ ШТАМПАХ

Гидравлические штамповочные прессы имеют различную конструкцию и различное назначение. На обычных гидравлических штамповочных или универсальных прессах большого усилия (свыше 1000 *Т*)

производят штамповку в открытых и закрытых штампах. Гидравлические прессы имеют плохое направление подвижной поперечины, которое обусловливает штамповку в одном ручье, расположенном на оси пресса.

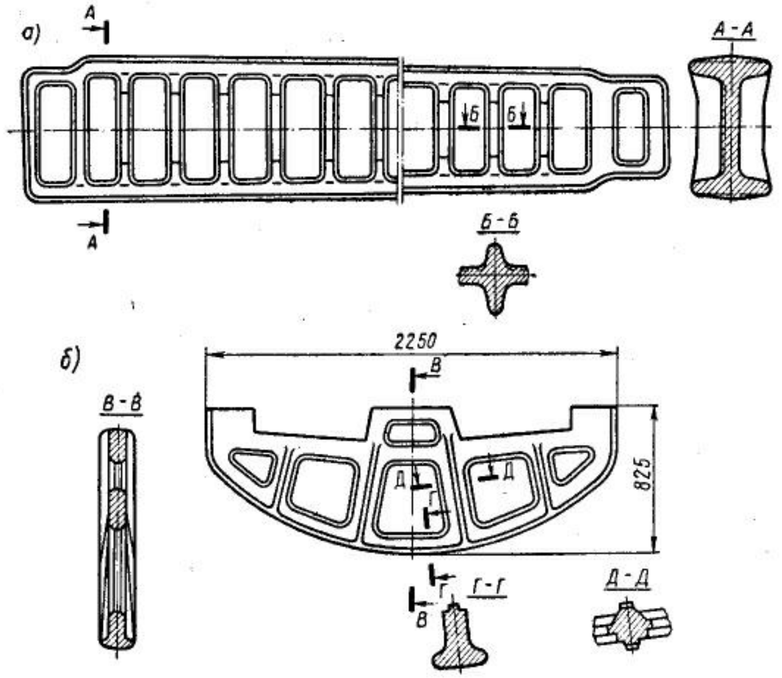


Рис. 224. Крупногабаритные поковки из легких сплавов:

а — поковка удлиненная; *б* — поковка типа рамы; *в* — поковка типа крыльчатки

В открытых штампах на гидравлических прессах штампуют поковки из черных и цветных металлов. Наиболее распространена штамповка поковок из алюминиевых и магниевых сплавов, нередко очень больших размеров. Это поковки типа панелей и рам с площадью проекции до 2,5 $м^2$, узкие и длинные поковки типа балок и лонжеронов (длиной до 8 *м*), поковки типа стаканов, втулок и крыльчаток (рис. 224).

Из стальных и титановых поковок можно отметить поковки типа дисков.

При изготовлении сложных поковок заготовку подвергают ковке и только затем штампуют. На рис. 225 показаны переходы ковки, поковка и готовая деталь, которая штампуется на прессе усилием 18 000 *Т* (180 *Мн*). Исходной заготовкой служит пруток из алюминиевого сплава диаметром 165 *мм*, длиной 2700 *мм*, массой 157 *кг*. Масса готовой поковки 120 *кг* [113].

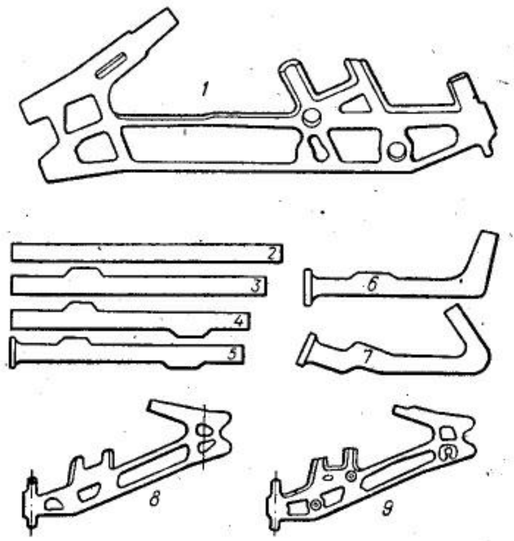


Рис. 225. Отштампованная деталь и технологические переходы штамповки:

1 — готовая деталь; *2* — исходная заготовка; *3—5* — высадка утолщений и фланца; *6—7* — гибка; *8* — предварительная штамповка; *9* — окончательная штамповка

Штамповка на гидравлических прессах имеет две особенности.

Ввиду большой чувствительности пресса к нецентральной нагрузке, необходимо очень точно рассчитывать центр ручья штампа и этот центр совмещать с осью пресса (см. гл. VII, § 37).

При штамповке крупногабаритных поковок удельные усилия в полости достигают очень большой величины. В результате штамп деформируется, образуется мениск, а поковка получается неравномерной по толщине. Для получения поковок большой точности следует изготавливать штампы с корегированной рабочей поверхностью, т. е. с заранее заданной выпуклостью [56, 57].

Ввиду тихоходности гидравлических прессов заготовки из алюминиевых и магниевых сплавов при штамповке сильно остывают и на поковках получаются дефекты, так как не выдерживается узкий для этих сплавов температурный интервал ковки. Чтобы выдержать температурный интервал и избежать появления дефектов при штамповке поковок из алюминиевых и магниевых сплавов, применяют постоянный электрический подогрев штампов.

При штамповке черных металлов ввиду высоких температур штамповки, штампы очень сильно нагреваются и теряют стойкость. Поэтому, вместо их нагрева применяют внутреннее или наружное водяное охлаждение.

§ 47. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ ПРИ ШТАМПОВКЕ НА ПРЕССАХ В ОТКРЫТЫХ ШТАМПАХ

В технологических расчетах процессов штамповки на прессах важное место занимают расчеты потребных усилий. Если усилия гидравлического пресса окажется недостаточно, то штамповки не произойдет

и пресс остановится. В этом случае на кривошипном прессе может произойти даже авария.

Существует ряд формул для определения усилий при штамповке [84, 98, 19].

Рассмотрим новые формулы, основанные на более точном по форме и размерам очаге деформации и проверенные экспериментально [87].

В формулах обычно принимают различные форму и размеры очага деформации при штамповке. Наиболее близкой к действительности из принятых форм является линзообразная форма [98]. Однако эту форму необходимо уточнить в соответствии с имеющимися данными по распределению напряжений в очаге деформации.

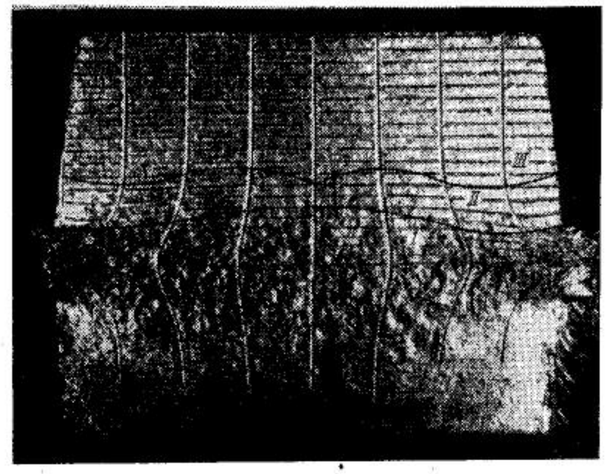


Рис. 226. Очаг деформации в конце штамповки с зонами:

I — интенсивной деформации; *II* — малой деформации; *III* — упругой деформации

Напряжения в очаге деформации в теле поковки растут неравномерно от периферии к центру. Начиная от заусенца напряжения вначале резко возрастают на относительно коротком участке, а затем рост напряжений происходит значительно медленнее. Если принять линзообразную форму очага деформации, то теоретическое распределение напряжений будет значительно отличаться от действительного, так как не произойдет никакого резкого возрастания напряжений вблизи заусенца.

Вместе с тем, рассмотрение деформированной сетки [82, 98] показывает, что очаг интенсивной деформации по своей форме значительно более приближается не просто к форме в виде линзы, а к форме в виде линзы в центральной части и в виде плоских кольцевых участков в периферийной части (в области собственно поковки) (рис. 226). Если принять форму очага деформации по рис. 227, то можно ожидать бóльшего соответствия теоретической и экспериментальной эпюр распределения напряжений по очагу деформации, так как при данной форме очага деформации теоретические напряжения должны резко возрастать вблизи заусенца.

Проверить правильность принятого очага деформации можно только путем получения теоретических формул для распределения напряжений внутри очага деформации и проверки этих напряжений экспериментально. Подобные формулы можно получить аналогично [98], с учетом отличия очагов деформации.

Весь очаг деформации в зоне поковки целесообразно подразделить на два участка (рис. 227). Участок *I* имеет толщину, равную толщине

заусенца и длину, равную также толщине заусенца [82]. Участок *II* имеет линзообразную форму с диаметром $D_п - 2h_{з.к}$ и высотой $h_0 = 3{,}5h_{з.к}$ [98]. Вообще говоря, отношение $\frac{h_0}{h_{з.к}}$ зависит от отношения $\frac{D_п}{h_{з.к}}$, но при $\frac{D_п}{h_{з.к}} \approx 20$, $\frac{h_0}{h_{з.к}} \approx 3{,}5$, что и может быть принято для вывода формул по распределению напряжений при штамповке. Если же

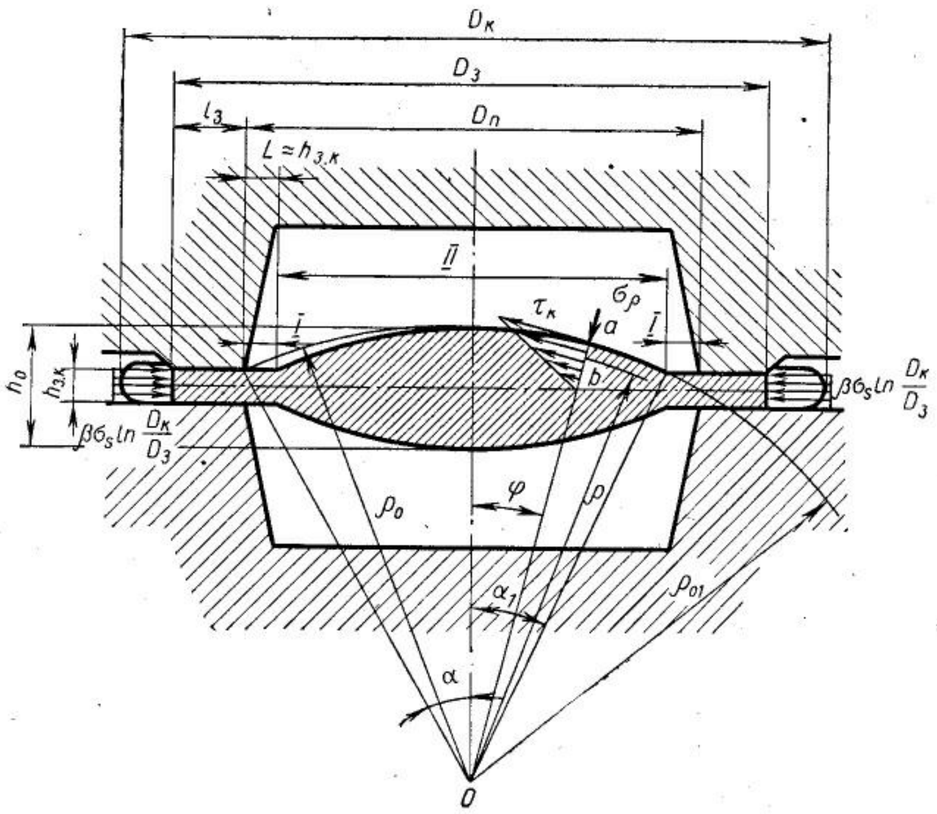


Рис. 227. Схема очага деформации при доштамповке на участках:
I — с цилиндрической частью; *II* — с линзообразной частью очага деформации в поковке

$\frac{D_п}{h_{з.к}} < 20$ и тем более, меньше 13, то необходимо $\frac{h_0}{h_{з.к.}}$ выбирать по графикам [98] в зависимости от $\frac{D_п}{h_{з.к}}$ и подставлять соответствующие значения h_0 в формулы. То же касается отношения $\frac{D_п}{h_{з.к}} > 30 \div 40$.

Усилие для штамповки круглых в плане поковок

$$P = \sigma_s \left[2{,}5 + \frac{l_з}{h_{з.к}} + 0{,}185\left(\frac{D_п}{h_{з.к}} - 2\right)\right] \times$$
$$\times \frac{\pi (D_п - 2h_{з.к})^2}{4} + \sigma_s \left(2 + \frac{l_з}{2h_{з.к}}\right) \frac{\pi}{4} [D_з^2 - (D_п - 2h_{з.к})^2]. \qquad (31)$$

Полученная теоретическая формула была проверена экспериментально по напряжениям в очаге деформации при штамповке в лаборатории кафедры «Машины и автоматизация обработки давлением» МВТУ им. Н. Э. Баумана.

При штамповке удлиненных в плане поковок можно использовать следующую формулу [98]:

$$P = \sigma_s^* \left[\left(1 + 0{,}5\frac{l_з}{h_з}\right) F_з + \left(1 + \frac{l_з}{h_з} + 0{,}1\frac{b_{ср}}{h_з}\right) F_п\right], \qquad (32)$$

где σ_s^* — напряжение текучести для плоского деформированного состояния при температурно-скоростных условиях штамповки;
$F_з$ — площадь проекции мостика заусенечной канавки;
$F_п$ — площадь проекции поковки или рассматриваемой ее части при расчленении по длине сложной поковки на элементарные участки прямоугольной формы в плоскости разъема;
$b_{ср}$ — ширина поковки в плане или ширина рассматриваемого участка при расчленении.

Формулы (31) и (32) действительны для тех случаев, когда выступы в полостях верхнего и нижнего штампов не пересекают плоскости разъема и отстоят от нее каждый на расстоянии не менее $2h_з$. В противном случае увеличивают полученное по формулам усилие в 1,2 ÷ 1,3 раза.

Данные формулы применимы при штамповке в открытых штампах на КГШП, фрикционных и гидравлических прессах. Каждому виду прессов соответствует определенная скорость деформирования, которая определяет скорость деформации и величину σ_s.

При определении усилия штамповки для КГШП величину σ_s принимают в соответствии с указаниями, данными в [83, 84]. При штамповке на КГШП можно принимать величину σ_s по формуле

$$\sigma_s = (2 \div 2{,}5)\sigma,$$

где σ — предел прочности при температуре окончания процесса штамповки.

При штамповке на фрикционных прессах $\sigma_s = (3 \div 4)\,\sigma$, а на гидравлических $\sigma_s = (1{,}3 \div 1{,}5)\,\sigma$.

После расчета усилий штамповки по формулам (31) и (32) выбирают КГШП или гидравлический пресс с небольшим (в 1,2 ÷ 1,3 раза) запасом по усилию. При выборе фрикционного пресса, ввиду особенностей его конструкции, чувствительной к перегрузке, запас по усилию желательно иметь двухкратный и пресс выбирать, исходя из неравенства

$$P_{пр} \geqslant 2P,$$

где $P_{пр}$ — усилие пресса;
P — усилие при штамповке, определенное по формулам (31) или (32).

ГЛАВА IX

ШТАМПОВКА В ЗАКРЫТЫХ ШТАМПАХ НА МОЛОТАХ И ПРЕССАХ

§ 48. ШТАМПОВКА В ЗАКРЫТЫХ ШТАМПАХ НА МОЛОТАХ

При штамповке в открытых штампах получается большой (10 ÷ ÷ 50%) отход металла на заусенец, а в некоторых случаях и на клещевину (10%). Для устранения этих отходов применяют штамповку в закрытых штампах на молотах (рис. 228). Замок создает направление верхнему штампу при смыкании с нижним и закрывает полость в процессе штамповки. Зазор в замке делают небольшим и вытекающий в него заусенец мал или вообще отсутствует. Практически весь металл заготовки идет на заполнение полости штампа.

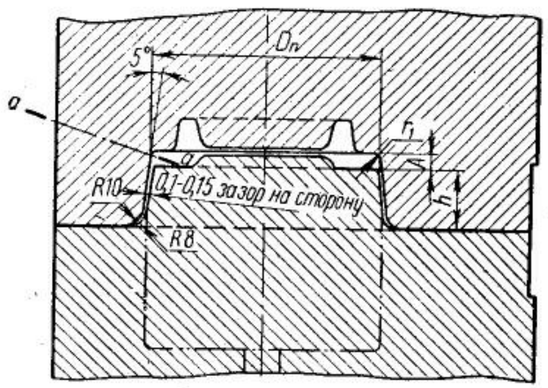


Рис. 228. Закрытый молотовой штамп с одним замком (первая конструкция)

Штамповка в закрытых штампах имеет следующие преимущества по сравнению со штамповкой в открытых штампах: экономится металл ввиду ликвидации отходов на заусенец и на клещевину, снижается трудоемкость, сокращается технологический цикл и экономится энергия вследствие отсутствия обрезки заусенца. Не требуется обрезной штамп и пресс для обрезки.

Энергия удара молота при штамповке в закрытых штампах идет почти целиком на деформирование поковки, в то время как при штамповке в открытых штампах значительная часть энергии идет дополнительно на деформирование заусенца на мостике заусенечной канавки.

При штамповке в закрытых штампах достигается более благоприятная схема деформации, в особенности для участка поковки, расположенного вблизи замка. Здесь не получается расслоений металла, возможных при образовании заусенца в случае штамповки в открытых штампах.

Штамповка в закрытых штампах обладает также и недостатками. К ним относится, например, низкая стойкость штампов, которая объясняется рядом причин. При штамповке в закрытых штампах развиваются очень высокие давления в полости, в особенности в конце удара, когда полость заполнена полностью и остаток энергии падающих частей расходуется в основном на упругую деформацию поковки и штампа. Закрытые штампы часто выходят из строя не из-за истирания или смятия, а из-за поломки вследствие высоких давлений в полости. Поломки происходят обычно по сечению a — a, рис. 228. Здесь может влиять подсадка выступа нижнего штампа, который расширяется и расклинивает, разрывает замок в верхнем штампе. Может разрушить штамп также вытекающий в зазор замка торцевой заусенец.

Ввиду высоких давлений в полости и большой глубины полостей, часто в месте радиуса r_1 (рис. 228) образуются «разгарные» трещины, которые являются началом разрушения штампа.

Пониженная стойкость штампов объясняется тем, что до сих пор для закрытых штампов не применяют необходимые штамповые стали. Условия работы закрытых штампов более тяжелые, а материал штампов иногда применяют такой же, как и при обычной штамповке в открытых штампах.

Чтобы повысить стойкость штампов необходимо учитывать опыт их конструирования, а также опыт работы штамповщиков с закрытыми штампами.

Вторым недостатком штамповки в закрытых штампах на молотах является ограниченность форм поковок, которые можно штамповать данным способом. Номенклатура изготовляемых поковок ограничена. Штампуются, в основном, поковки круглые в плане, типа шестерен, фланцев, стаканов. Кроме этого, можно штамповать простые удлиненные в плане поковки.

При штамповке круглых в плане поковок в обычных открытых штампах отход металла на заусенец составляет не более 15 ÷ 20%, а клещевина вообще отсутствует. Поэтому экономия металла от перевода на штамповку в закрытых штампах таких поковок относительно невелика.

Вопрос рациональности применения штамповки в закрытых штампах на молотах надо решать в каждом конкретном случае путем экономического расчета с учетом пониженной стойкости штампа, экономии металла и других факторов.

Разработка чертежа молотовой поковки при штамповке в закрытых штампах. Чертеж поковки при штамповке в закрытых штампах составляют так же, как и чертеж обычной молотовой поковки. Основой является чертеж детали.

Вначале выбирают плоскость разъема с учетом легкости удаления поковки из штампа. Назначают плоскость разъема по верхней или нижней торцевой поверхности детали, в той части, которая имеет наибольшую площадь поперечного сечения и вертикальные прилегающие к ней стенки. Обычно выбирают нижнюю торцевую поверхность, с тем чтобы поковка оставалась на выступе нижнего штампа и ее легко можно было удалить после окончания штамповки.

Припуски и допуски назначают, как обычно, по ГОСТ 7505—55.

Штамповочные уклоны целесообразно выбирать несколько уменьшенными по сравнению с обычной молотовой штамповкой (рис. 229).

Наружные радиусы закруглений r выбирают в зависимости от глубины прилегающей полости по формуле $r \geqslant 0{,}1h$, но не менее 1,5 *мм*. Внутренние радиусы закруглений определяют по формуле $R = (2{,}5 \div 3)\,r$.

Особое значение имеет радиус r_1, который выбирают по возможности большим.

При необходимости получения отверстий в поковках делают наметки. Наметки применяют двух типов: плоскую и с раскосом (рис. 153, *а*, *б*). Иногда делают также глухие наметки (рис. 153, *д*). Особую конструкцию имеет глухая наметка при штамповке поковок стаканов. В этом случае пуансон выполнен с заострением [42].

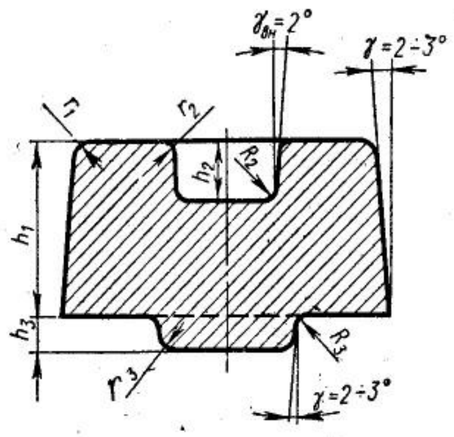


Рис. 229. Штамповочные уклоны и радиусы закруглений при штамповке в закрытых штампах

В технических условиях на изготовление поковок в закрытых штампах оговаривают размеры торцевого заусенца, выплывающего в зазор в замке. Его предельная величина устанавливается в зависимости от массы падающих частей молота. Для молотов с массой падающих частей 3 m высота заусенца не более 8 ÷ 12 *мм*, для молотов 3 ÷ 6 m — 12 ÷ 15 *мм* и для молотов более 6 m — 15 ÷ 20 *мм*.

Конструкции закрытых молотовых штампов. В настоящее время существует три типовых конструкции закрытых штампов.

Первая конструкция (см. рис. 228) имеет один замок. Применяется при штамповке поковок типа шестерен и стержня с фланцем, когда фланец значительно больше по диаметру, чем стержень. При этом молот должен быть мало изношенным и хорошо отлаженным.

Размеры штампа показаны на рисунке, расчет размеров имеется в литературе [42, 22]. Следует отметить, что размер A выбирают с таким расчетом, чтобы при штамповке по плоскости соударения штампов оставался зазор 2 ÷ 5 *мм* в зависимости от массы падающих частей молота и чтобы не происходило соударения штампов. Кроме этого, горизонтальные размеры полости делают минимальными, так как эти размеры полости при штамповке быстро увеличиваются. Вертикальные размеры на поковке будут получаться в зависимости от объема заготовки, так как полость закрытая.

Вторая конструкция (рис. 230) имеет два замка, расположенных один над другим. Применяется при штамповке поковок типа стержня с фланцем, когда поковка изготавливается высадкой с расположением стержня в нижнем штампе, и ввиду большой длины стержня ее нельзя штамповать иначе. Такую конструкцию штампа делают для уменьшения высоты h и увеличения прочности и стойкости верхнего

замка. Нижний замок предназначен для обеспечения направления верхнего штампа относительно нижнего на первых этапах штамповки.

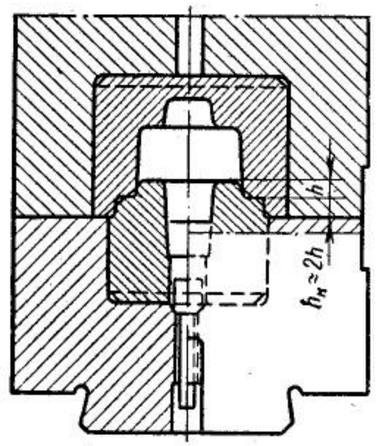


Рис. 230. Закрытый штамп с двумя замками (вторая конструкция)

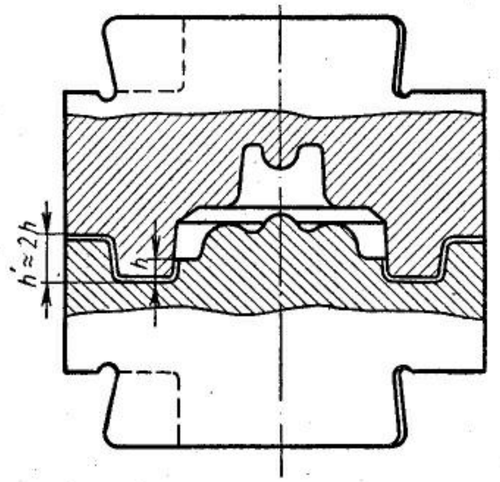


Рис. 231. Закрытый штамп с замком и контрзамком (третья конструкция)

Если бы был применен штамп первой конструкции, то для хорошего направления потребовался бы замок с большой высотой h, причем замок в нижнем штампе быстро бы разогревался и подсаживался.

Третья конструкция (рис. 231) имеет два замка. Один из них внутренний, имеет обычное расположение. Расположение другого замка обратное. Применяется при штамповке поковок типа шестерен на изношенном, плохо отлаженном оборудовании или крупных поковок шестерен при штамповке на молоте с недостаточной массой падающих частей. Назначение внешнего замка аналогично назначению нижнего замка во второй конструкции штампа. Разновидностью третьей конструкции является штамп с внешним замком в виде крестовых направляющих (рис. 232). Такая конструкция применяется при штамповке простых удлиненных в плане поковок.

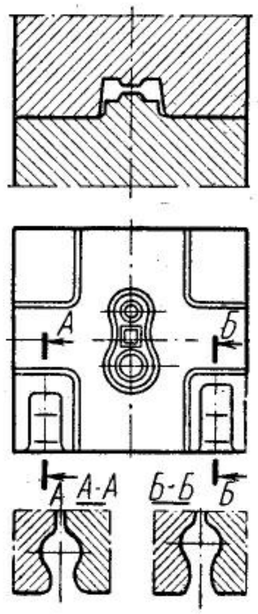


Рис. 232. Закрытый штамп с замком и крестовым контрзамком

Существуют и другие конструкции закрытых молотовых штампов, но они не получили широкого применения.

Расчет заготовок при штамповке в закрытых штампах требует специальной уточненной методики [42, 22]. Заготовку применяют всегда штучную. Объем заготовки определяют по объему поковки с учетом отхода металла на угар при нагреве.

Определение необходимой массы падающих частей молота при штамповке в закрытых штампах. При штамповке в открытых штам-

пах выбор оборудования производят по последнему удару, которому соответствует этап доштамповки поковки. При этом деформируется как поковка (в очаге деформации), так и заусенец. На деформацию заусенца затрачивается значительная энергия, составляющая до 25% от общей энергии, затрачиваемой при последнем ударе молота.

При штамповке в закрытых штампах заусенец отсутствует. Поэтому масса падающих частей молота может быть меньшей, так как вся энергия последнего удара затрачивается на деформирование поковки

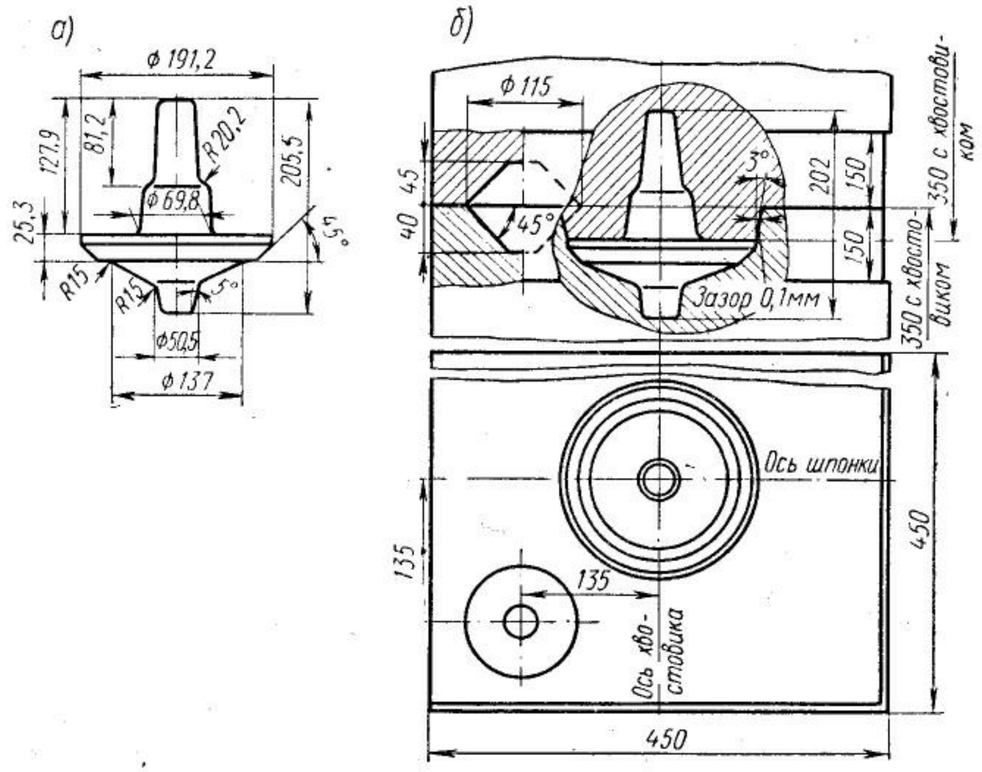


Рис. 233. Поковка клапана *а* и закрытый молотовой штамп *б*

(с учетом к. п. д. удара). Возможный избыток энергии удара является вредным, так как он переходит в упругую деформацию поковки и штампа, резко повышая давление в полости. Особенно вредными являются лишние удары при доштамповке. Такие удары всегда возможны и их необходимо учитывать. Можно предположить, что для обеспечения стойкости штампов при лишних ударах необходимо, чтобы энергия молота (или масса падающих частей молота), приходящаяся на единицу площади проекции поковки, не превышала определенной величины [32]. В первом приближении можно было принять, что площадь проекции поковки, приходящаяся на 1 *т* массы падающих частей молота, по аналогии с необходимой площадью соударения открытых штампов не должна быть меньше 300 *см²* (для штамповки на молотах с массой падающих частей 2 ÷ 4 *т*, см. гл. VII, § 38).

Если предположить, что приходящаяся на 1 *т* массы падающих частей площадь должна быть равна 200 *см²*, то масса падающих частей молота определится по формуле [99].

$$G = (3{,}5 \div 5) F_{\text{п}},$$

где G — масса падающих частей молота, *кг*;

$F_{\text{п}}$ — площадь проекции поковки в плане, *см²*.

Для определения массы падающих частей молота при штамповке в закрытых штампах можно пользоваться формулами и номограммой, приведенными в гл. VII, § 41, для штамповки в открытых штампах. При этом полученную массу падающих частей молота уменьшают на 20 ÷ 25%.

Пример штамповки в закрытых штампах на молотах. На рис. 233, *а* представлены горячая поковка клапана и закрытый штамп (рис. 233, *б*). Штамп имеет специальный осадочный и окончательный ручьи. Штамповка производится на молоте 3 *т* из заготовки ⌀ 95 × 150. Масса поковки 8,3 *кг*.

§ 49. ШТАМПОВКА НА ПРЕССАХ В ЗАКРЫТЫХ ШТАМПАХ С НЕРАЗЪЕМНОЙ МАТРИЦЕЙ

Схема штамповки в закрытом штампе с неразъемной матрицей показана на рис. 144.

Штамповка на КГШП. По сравнению со штамповкой на гидравлических и фрикционных прессах штамповка на КГШП имеет свои особенности, которые определяются конструкцией КГШП. Как известно, КГШП имеет жесткий фиксированный ход, обеспечивающий совершенно определенное нижнее положение ползуна. Так как штамп является закрытым, то для штамповки требуется заготовка точного объема, равного объему полости штампа. В противном случае поковка получится большей по высоте. Увеличение высоты потребует соответствующего увеличения упругой деформации системы штамп — КГШП. Пресс будет перегружен, возможно явление заклинивания и т. п. Однако при условии относительно точной дозировки заготовки по массе штамповку в закрытых штампах на КГШП можно проводить, не применяя никаких дополнительных устройств. Небольшие колебания по высоте поковки легко компенсируются податливостью системы штамп — КГШП. На рис. 234 показан закрытый штамп для штамповки щеки цепи Галля (*а*) и переходы штамповки (*б*).

Получение дозированной по массе заготовки является задачей, которая до сих пор не решена в экономическом плане. Точные заготовки дороже обыкновенных и получение их связано с усложнением инструмента для резки. Вопрос экономичного получения точных заготовок зависит от точности прокатанных прутков.

Другим направлением для штамповки в закрытых штампах на КГШП является отказ от точной дозированной заготовки и применение различных компенсирующих устройств. Объем заготовок обычной точности колеблется до 5 ÷ 10%. Этот избыток металла или необходимо удалить из полости, или он остается на отдельных участках поковки и удаляется при механической обработке.

Существует два основных способа штамповки заготовок обычной точности на КГШП в закрытых штампах.

Первый способ был разработан НИИТавтопромом [64]. Способ заключается в том, что в прошивниках (центральных выступах)

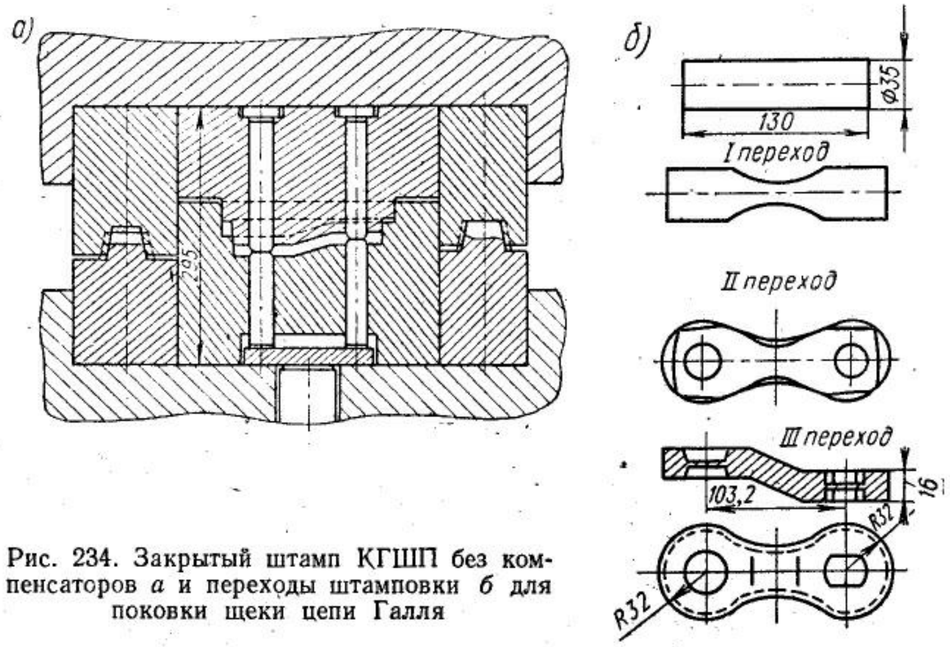


Рис. 234. Закрытый штамп КГШП без компенсаторов *а* и переходы штамповки *б* для поковки щеки цепи Галля

окончательного ручья расположены калиброванные отверстия — компенсационные полости (рис. 235), в которые затекает излишний металл при штамповке, подобно вытеканию в заусенец при открытых штампах.

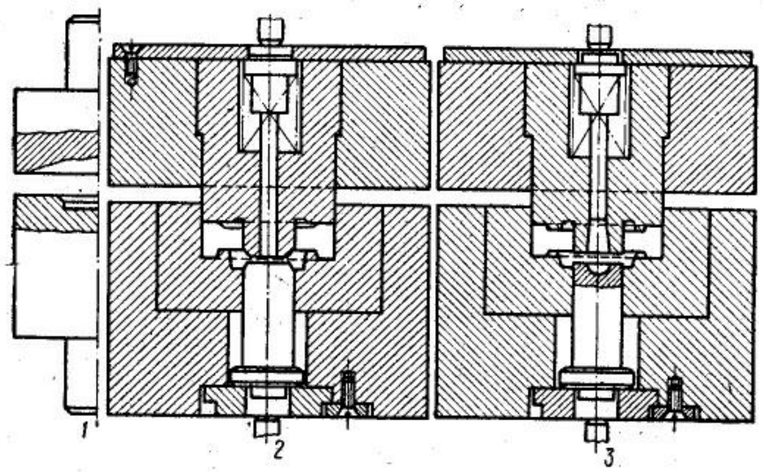


Рис. 235. Закрытый штамп КГШП с компенсаторами в виде полостей на прошивниках

Заготовка вначале деформируется в осадочном ручье *1*, затем в предварительном ручье *2* (с неполным его заполнением) и, наконец, в окончательном ручье *3*. Отштампованные поковки в дальнейшем прошивают на обрезном прессе. При этом вместе с отходом — выдрой удаляется

и избыток металла, вытесненный в компенсаторы. Этот способ можно применять при штамповке поковок типа шестерен с отверстием диаметром не менее 50 *мм*. Недостатком способа являются большие удельные усилия в полости окончательного ручья, которые возникают вследствие высокого сопротивления течению металла в компенсаторы, расположенные в середине тонкой пленки под прошивку.

Второй способ разработан в МАМИ (рис. 236). Штамп снабжают подпружиненными выталкивателями, кольцевыми или цилиндрическими. В качестве пружин обычно пользуются пружинами Бельвилля. Пружины предварительно сжимают на усилие, обеспечивающее заполнение полости штампа при неподвижных выталкивателях. После

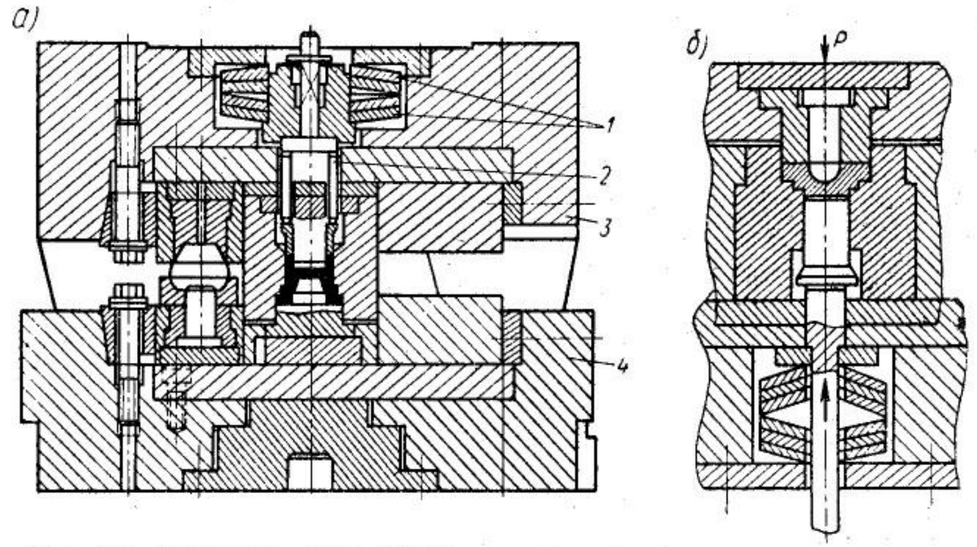


Рис. 236. Закрытый штамп КГШП с подпружиненными выталкивателями:

1 — пакет тарельчатых пружин; *2* — верхние выталкиватели; *3* — верхняя плита; *4* — нижняя плита

полного заполнения полости, если в заготовке есть избыток металла, давление в полости возрастает, и выталкиватели сдвигаются, освобождая место для избытка металла. После штамповки пружины возвращают выталкиватели в исходное, фиксированное относительно полости положение. Обычно делают подпружиненным один выталкиватель, верхний или нижний. На рис. 236, *а* показан штамп с подпружиненным верхним кольцевым выталкивателем, а на рис. 236, *б* штамп с подпружиненным цилиндрическим нижним выталкивателем.

Система подпружиненного выталкивателя штампа такова, что обеспечивает возможность жесткого выталкивания поковки выталкивателем пресса.

Недостатками способа являются усложнение конструкции штампа и необходимость увеличенной механической обработки поковок на участках контакта с подпружиненными выталкивателями.

Существуют разновидности штампов, сконструированные по данному способу, в частности, конструкции с двойным противодавящим устройством и с подвижным прижимным кольцом [43].

Штамповка на фрикционных прессах. Фрикционные прессы не имеют жесткого фиксированного хода. Поэтому высота поковки может быть различной и (при достаточной мощности пресса) зависит только от объема заготовки. Никакого заклинивания пресса произойти не может. Штамповка в закрытых штампах на фрикционных прессах более безопасна и менее сложна, чем на КГШП. Никаких компенсационных устройств при штамповке на фрикционных прессах не требуется. Для получения большей точности штамповки требуется по возможности более точная заготовка. Однако процесс успешно применяют также и при заготовках обычной точности.

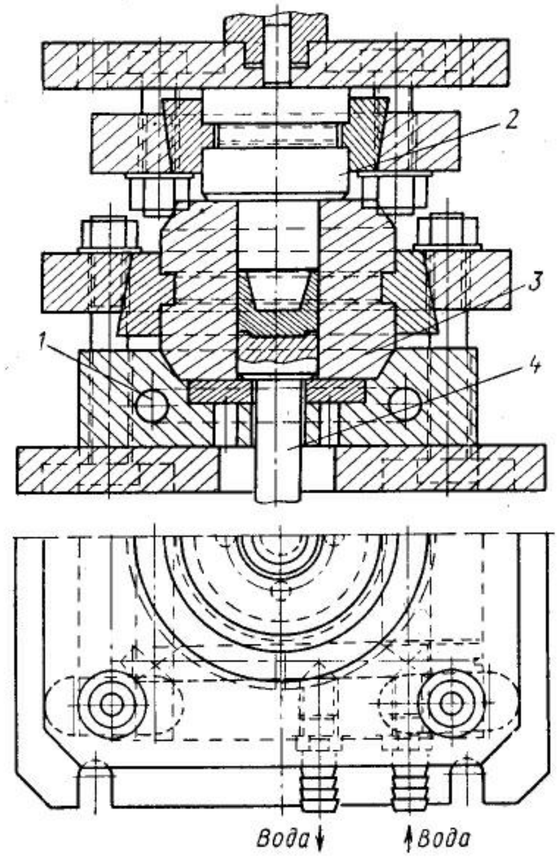


Рис. 237. Штамп для поковок тел вращения на фрикционных прессах [3]:

1 — каналы водяного охлаждения; *2* — пуансон; *3* — матрица; *4* — выталкиватель

К закрытым штампам с неразъемной матрицей предъявляют следующие требования [6].

1. В полости матрицы и паунсона не допускаются риски и поднутрения, входные кромки матрицы должны быть хорошо закруглены.

2. Матрица по высоте должна быть такой, чтобы перед началом деформирования пуансон опустился в нее не менее чем на 10 *мм*, так как матрица является также направляющей.

3. Зазор между пуансоном и матрицей должен составлять 0,05 ÷ 0,3 *мм*; при выборе зазора необходимо учесть температуру пуансона и матрицы при штамповке.

4. Конструкция штампа должна обеспечивать удобное и надежное охлаждение его деталей. Быстро изнашивающиеся детали выполняют сменными.

На рис. 237 показан штамп для поковки типа стакана с водяным охлаждением плиты, на которую опирается матрица, выполненная в виде вставки. Тепло от матрицы передается на холодную плиту и матрица не перегревается.

На рис. 238, *а* показан чертеж поковки фланца, штампуемой на фрикционном прессе усилием 180 *Т* (1800 *кн*). Штамповку производят в одном ручье, в закрытом штампе (рис. 238, *б*). В штампе есть нижний выталкиватель.

На фрикционных прессах в закрытых штампах с неразъемной матрицей успешно штампуют мелкие осесимметричные поковки из черных и цветных металлов и сплавов.

Для обеспечения стабильности процесса штамповки, повышенной точности и достаточной стойкости штампов, кроме применения точной заготовки желательно также, чтобы торцы заготовки были ровными и перпендикулярными к оси. Это устраняет возможность увода пуансона в сторону при штамповке с прошивкой. Желательно также оснастить пресс пневматическим выталкивателем, действующим сразу после окончания процесса штамповки и предохраняющим матрицу от перегрева.

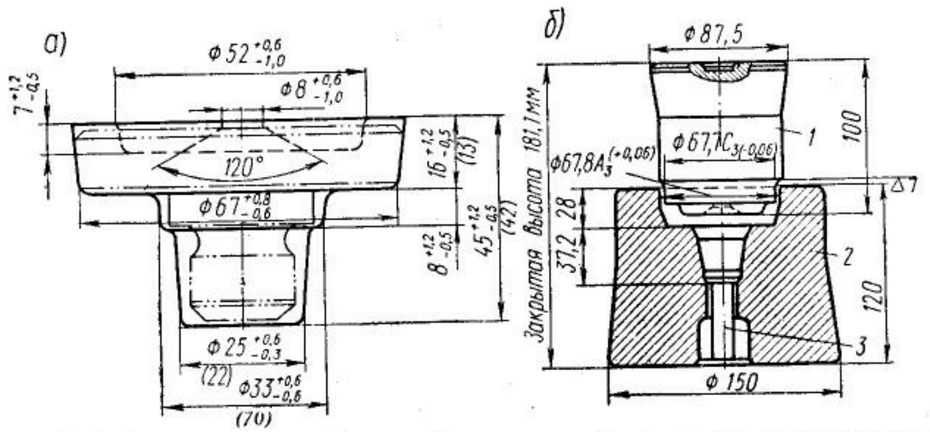


Рис. 238. Чертеж поковки фланца (*а*) и закрытый штамп (*б*) фрикционного пресса (рабочие части):

1 — пуансон; *2* — матрица; *3* — выталкиватель

Штамповка на гидравлических прессах. У гидравлических прессов спокойный, безударный характер работы. Ход гидравлических прессов может заканчиваться в любое время, когда усилие достигнет максимального значения для данного пресса. Никакой перегрузки произойти не может. Поэтому гидравлические прессы приспособлены для штамповки в закрытых штампах еще в большей степени, чем фрикционные.

Требования к штампам и технология штамповки такие же, как при штамповке на фрикционных прессах.

На гидравлических прессах чаще всего штампуют поковки из алюминиевых и магниевых сплавов. Поковки получают очень точными, без штамповочных уклонов. На рис. 239 показан штамп (схема) в разрезе и поковка.

При штамповке поковок алюминиевых и магниевых сплавов штампы делают подогреваемыми.

Определение усилий при штамповке на прессах в закрытых штампах с неразъемной матрицей. При штамповке на КГШП, если заготовка достаточно точная или применяются компенсаторы, то усилие определяют по формулам для открытой штамповки (гл. VIII, § 47). Полученные результаты уменьшают на 20 ÷ 30% [43].

При ограничении колебаний в объеме заготовки можно согласовать выбор пресса с допустимой величиной его упругой деформации и выбирать пресс по этой деформации [32]. При этом получится пресс с завышенным усилием.

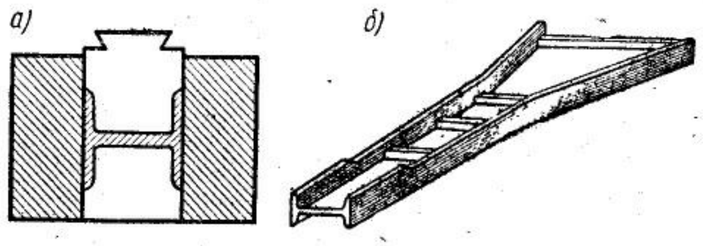


Рис. 239. Эскиз закрытого штампа (*а*) и поковка (*б*)

При штамповке на фрикционных прессах усилие определяют по формуле А. В. Ребельского [99, 43]

$$P = k\sigma\left(2 + 0{,}1\frac{F_{\text{п}}\sqrt{F_{\text{п}}}}{V_{\text{п}}}\right)F_{\text{п}},$$

где P — усилие пресса, *кГ* (*н*);
$F_{\text{п}}$ — площадь проекции поковки, *мм*²;
$V_{\text{п}}$ — объем поковки, *мм*³;
σ — предел прочности при температуре окончания процесса штамповки, *кГ/мм*² (*Мн/м*²);
k — коэффициент, учитывающий схему напряженного состояния при штамповке; при штамповке поковок в закрытых штампах с незначительным выдавливанием $k = 3$, с выдавливанием $k = 5$.

При штамповке на гидравлических прессах можно применять формулы для открытой штамповки (гл. VIII, § 47). Полученные результаты необходимо скорректировать. Если у поковки высокие тонкие ребра, то полученное усилие следует увеличить в 1,5 ÷ 2 раза. Более точно можно подсчитать усилие, исходя из необходимого напряжения для заполнения наиболее глубоких полостей штампа.

§ 50. ШТАМПОВКА НА ПРЕССАХ В ЗАКРЫТЫХ ШТАМПАХ С РАЗЪЕМНОЙ МАТРИЦЕЙ

Штамповку в штампах с разъемной матрицей производят на фрикционных и гидравлических прессах. В последние годы проводят экспериментальные работы в штампах с разъемными матрицами на кривошипных прессах и на КГШП.

Штамповка на КГШП. Ввиду особенностей КГШП штампы с разъемными матрицами должны быть снабжены компенсаторами для выхода излишнего металла из полости. В противном случае заготовка должна быть точной по массе.

При штамповке на КГШП штампы с вертикальным разъемом матрицы не применяют.

Штампы с горизонтальным разъемом матрицы [72,8] можно использовать для штамповки поковок типа крестовин (рис. 240). Заготовку вначале осаживают в ручье *3*, а затем устанавливают в центре нижней части матрицы *4*, закрепленной на нижней плите штампового пакета. Верхняя часть матрицы *5* подвешена к верхней плите пакета и опирается на пружинные прижимные устройства *1*. Таким образом верхняя часть матрицы *5* может перемещаться по пуансону *2*, который входит в отверстие матрицы *5*. Пуансон *2* жестко закреплен на верхней плите пакета, связанной с ползуном пресса. При движении ползуна пресса вниз матрица *5* движется вместе с пуансоном *2* до соприкосновения с матрицей *4*, после чего остается неподвижной, а пуансон *2* продолжает двигаться и деформирует заготовку. При этом пружины прижимного устройства *1* сжимаются и придавливают матрицу *5* вниз. Полость между матрицами *4* и *5* оказывается закрытой. Деформируемый металл заполняет полость, а излишний металл вытекает в компенсатор в виде канавки, размещенной по периметру поковки. Получается тонкий заусенец, который затем можно обрезать в холодном состоянии.

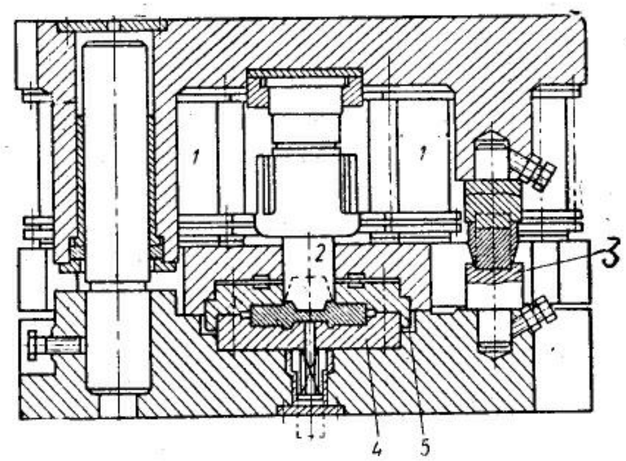


Рис. 240. Закрытый штамп КГШП с горизонтальным разъемом

В НИИтракторосельхозмаше разработана и внедрена на Ростовском-на-Дону заводе сельхозмашиностроения (Ростсельмаш) автоматическая линия по штамповке поковок крестовин, в которой также применен закрытый штамп с горизонтальным разъемом матрицы. В отличие от штампа, изображенного на рис. 240, в штампе НИИтракторосельхозмаша верхняя часть матрицы *5* снабжена отдельным гидравлическим приводом, расположенным внизу стола пресса. Матрица *5* соединена тягами с приводом. Компенсаторы в штампе выполнены в виде полукруглых по сечению щелей на концевых участках отростков крестовины.

Штамповка на фрикционных прессах. В штампах с разъемной матрицей на фрикционных прессах штампуют разнообразные мелкие поковки с несимметричными отростками из стали и цветных металлов и сплавов. Разъем матрицы делают обычно вертикальным. Существует много различных конструкций.

Следует упомянуть конструкцию, предложенную Б. Н. Шевелкиным [112].

Аналогичная конструкция показана на рис. 241. В обойму *4* заключены две полуматрицы *2* и *3*. Сверху в осевое отверстие забрасы-

вают заготовку. После штамповки полуматрицы под действием выталкивания *7* выходят из обоймы *4* и одновременно раздвигаются, так как скользят по клиньям *1*. Клинья *1* входят в отверстия на полуматрицах *2* и *3*. Снизу на полуматрицах *2* и *3* сделаны пазы в виде ласточкина хвоста, куда входит горизонтальная направляющая *6*, закрепленная на выталкивателе *7*. В штампе предусмотрены также выталкиватели боковые *5*. Особенностью данной конструкции, разработанной в МВТУ им. Баумана, является то, что выталкиватель выполнен в виде трубы, в отверстие которой падает отштампованная поковка. В нижнем конце отверстия в выталкивателе сделан наклонный лоток, по которому поковка направляется в ящик, расположенный за прессом.

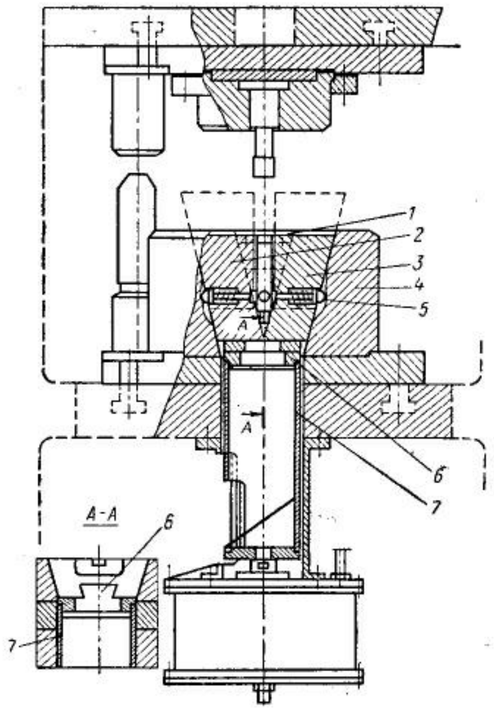


Рис. 241. Схема закрытого штампа с разъемными матрицами

Недостатком штамповки в закрытых штампах с разъемной матрицей является неизбежное образование заусенца, вытекающего в разъем между полуматрицами. Этот заусенец очень тонкий и его необходимо удалять на наждаке.

Более перспективно применение штампов с разъемной матрицей и зазором между полуматрицами по контуру поковки. Этот зазор должен быть небольшим, до 1 *мм*. Получающийся небольшой заусенец можно легко срезать в обычном обрезном штампе.

Штамповка на гидравлических прессах. В штампах с разъемной матрицей на гидравлических прессах штампуют мелкие, средние и даже крупные поковки из черных и цветных металлов и сплавов.

Разъем матрицы делают вертикальным, а иногда и горизонтальным. Штампы с вертикальным разъемом матриц в принципе аналогичны штампу, показанному на рис. 241.

Представляет интерес штамп с горизонтальным разъемом матриц и вставными пуансонами [103], показанный на рис. 242, *а*. В гнездо плиты *1* укладывают нижнюю полуматрицу *2*. Сверху в пазы полуматрицы *2* закладывают пуансоны *3*. Затем укладывают вторую полуматрицу *4*, в которой снизу также имеются пазы для пуансонов *3*. Прижимную плиту *5* надевают на верхнюю полуматрицу *4*. Плита *5* входит в гнездо плиты *1* и крепится клиньями *6*. Через отверстие в верхней полуматрице *4* вводят заготовку. Деформирование производится пуансоном *7*, соединенным через державку *8* с ползуном (траверзой) пресса.

Заготовка имеет форму усеченного конуса длиной 360 *мм* и диаметрами 230 *мм* и 150 *мм*.

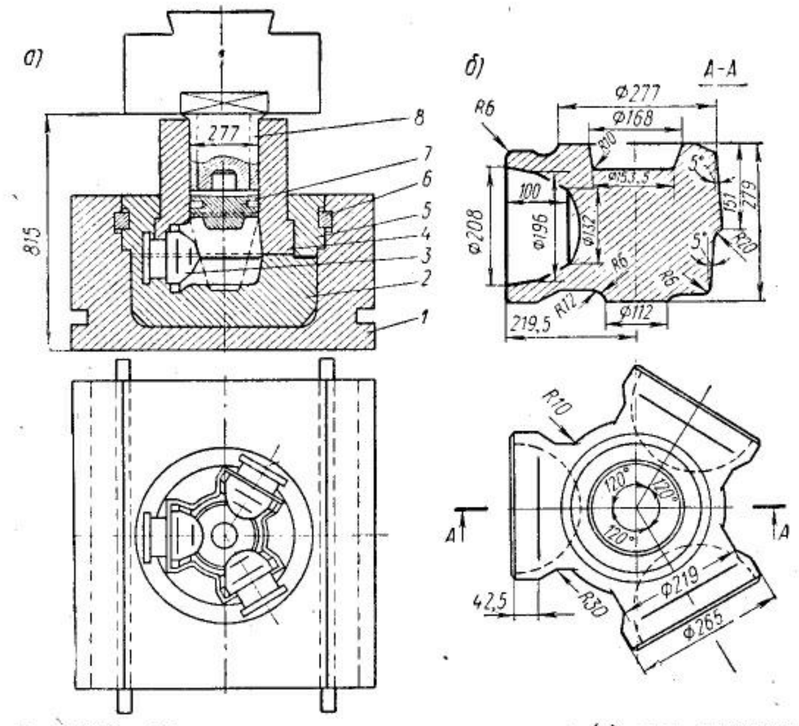


Рис. 242. Штамп со вставными пуансонами (*а*) для поковки втулки (*б*) трехлопастного авиавинта

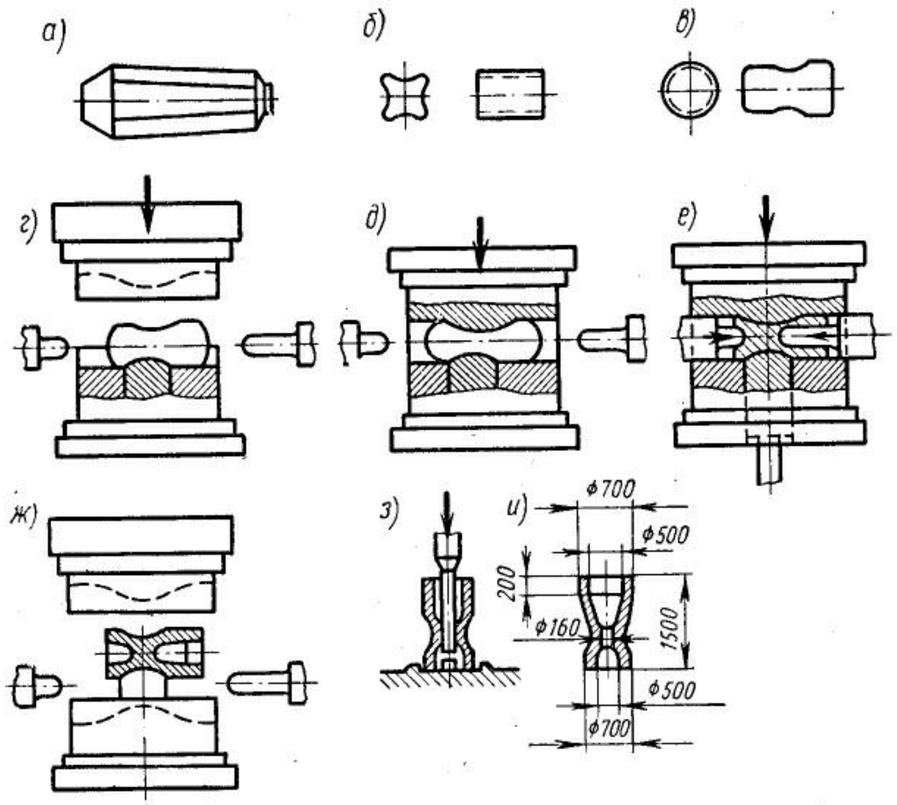


Рис. 243. Схема технологического процесса штамповки сопла

Подъем верхней полуматрицы *4* производят с помощью ползуна пресса. Клинья *6* предварительно вынимают.

Далее поковку (рис. 242, *б*) вынимают вместе с пуансонами *3* и пуансоны выбивают из поковки.

Существуют специальные комбинированные гидравлические прессы с вертикальными и горизонтальными ползунами, на которых применяются многопуансонные штампы, что значительно ускоряет процесс штамповки.

На рис. 243 показана схема штамповки сопла. Поковка сопла (*и*) имеет массу около 2,5 *т*. Штамповка производится на комбинированном гидравлическом прессе, имеющем одну вертикальную и две горизонтальных поперечины, к которым крепят рабочий инструмент. Слиток (*а*) обжимают на прокатном стане и режут на заготовки (*б*) массой по 3 *т*. Далее заготовки нагревают и отковывают в фигурных бойках на прессе 2000 *Т* (20 *Мн*). Кованую заготовку (*в*) вновь нагревают и укладывают в нижний штамп комбинированного пресса (*г*). Ходом верхнего штампа заготовка обжимается (*д*) и прошивается двумя боковыми пуансонами, действующими от горизонтальных цилиндров (*е*). Далее поковка выталкивается из штампа (*ж*) и передается на пресс 2000 *Т*, где производится прошивка отверстия (*з*).

Определение усилий при штамповке на прессах в закрытых штампах можно проводить по формулам, указанным в § 49.

ГЛАВА X

ШТАМПОВКА В ШТАМПАХ ДЛЯ ПРЯМОГО И ОБРАТНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ И ПРОШИВКИ

§ 51. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Две основные схемы штамповки в штампах для выдавливания и прошивки показаны на рис. 145. В действительности существует несколько основных схем для прямого выдавливания (рис. 244) и для прошивки и обратного выдавливания (рис. 245).

Прямое выдавливание характеризуется тем, что металл течет в направлении движения деформирующего пуансона. Силы трения направлены в сторону, противоположную движению пуансона (рис. 244).

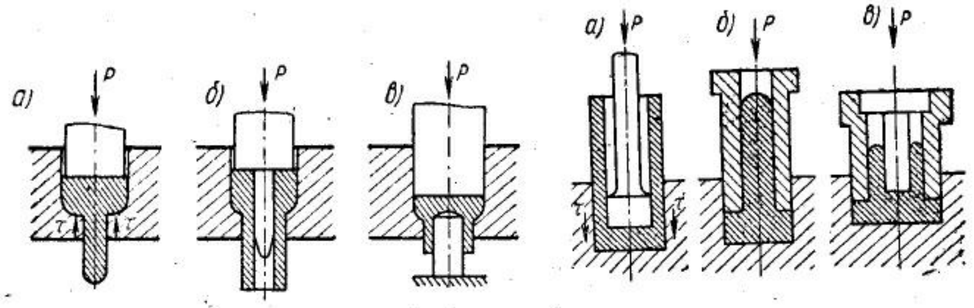


Рис. 244. Схемы прямого выдавливания:

а — сплошного стержня; *б* — полого элемента в штампе с оправкой, закрепленной на пуансоне; *в* — полого элемента в штампе с неподвижной оправкой

Рис. 245. Схемы обратного выдавливания:

а — полого стакана; *б* — сплошного стержня; *в* — полой ступицы

Обратное выдавливание и прошивка характеризуются тем, что металл течет в направлении, противоположном движению деформирующего пуансона. Силы трения направлены по движению деформирующего пуансона (рис. 245).

Из схем прямого выдавливания наиболее употребительна схема, изображенная на рис. 244, *а*. Другие схемы также встречаются на практике.

Из схем обратного выдавливания и прошивки наиболее часто применяется схема по рис. 245, *а*. Встречается схема комбинированного выдавливания в сочетании двух схем, изображенных на рис. 244, *а* и 245, *б*.

Штамповка по схеме на рис. 245, *а* называется *штамповкой прошивкой*.

Штамповка выдавливанием в сущности представляет собой процесс прессования.

Схема прямого прессования аналогична схеме на рис. 244, *а*. Прессование является разновидностью обработки давлением, с помощью которой изготавливают прутки и трубы различного профиля. Остающаяся в матрице часть металла представляет собой отход. Эту часть отрезают от прутка и выбрасывают.

При штамповке выдавливанием часть металла, остающаяся в матрице, является составной частью единой детали, например, детали типа стержня с фланцем.

Для прессования применяют специальные гидравлические прессы, преимущественно горизонтальные. Для штамповки выдавливанием применяют КГШП, гидравлические прессы различной конструкции, а также винтовые фрикционные прессы.

В отличие от прессования, течение металла при выдавливании нестационарное. Очаг деформации при выдавливании изменяется на протяжении всего процесса.

При выдавливании имеет место схема всестороннего неравномерного сжатия. На отдельных участках могут возникать также растягивающие напряжения, которые приводят к появлению дефектов: пресс-утяжин, прострелов, трещин, разрывов, сколов на поверхности естественного конуса (при наличии застойных зон) [23, 33].

Для разработки технологии штамповки выдавливанием необходимо учитывать форму поковки, степень деформации и скорость деформации при выдавливании, подбор смазки, нагрев и другие факторы, о которых подробно изложено в [23].

Особые требования предъявляют к правильной форме поковки. Поковку по возможности следует выполнять с плавными переходами. Особенно большие радиусы закруглений следует назначать в местах перехода от стержневой части к фланцу. В этих местах в матрице наблюдается повышенный износ штампов истиранием, вызванный интенсивным течением металла. При больших радиусах закруглений износ можно уменьшить [23].

Для штамповки выдавливанием на КГШП разработана классификация поковок по конструктивно-технологическому признаку [23], которая учитывает преимущественно те поковки, для которых имеются определенные технологические решения.

Для штамповки на гидравлических и фрикционных прессах существуют общие классификации поковок [43], в которые входят также поковки, штампуемые выдавливанием.

§ 52. ШТАМПОВКА ПРЯМЫМ ВЫДАВЛИВАНИЕМ

Штамповка прямым выдавливанием производится преимущественно на КГШП. С успехом можно проводить прямое выдавливание на гидравлических, а также на фрикционных прессах. Принципиального отличия в конструкциях штампов для прямого выдавливания на различном оборудовании нет.

Типичной поковкой при выдавливании на КГШП является поковка типа стержня с фланцем. Переходы этого процесса показаны на рис. 246 [23]. Сначала производится предварительное выдавливание, при котором получают стержень (рис. 246, *б*). В окончательном переходе (рис. 246, *в*) оформляется головка с незначительным течением металла в стержень. После штамповки излишнюю часть стержня длиной Δl_c отрезают. Этот излишек играет роль компенсатора.

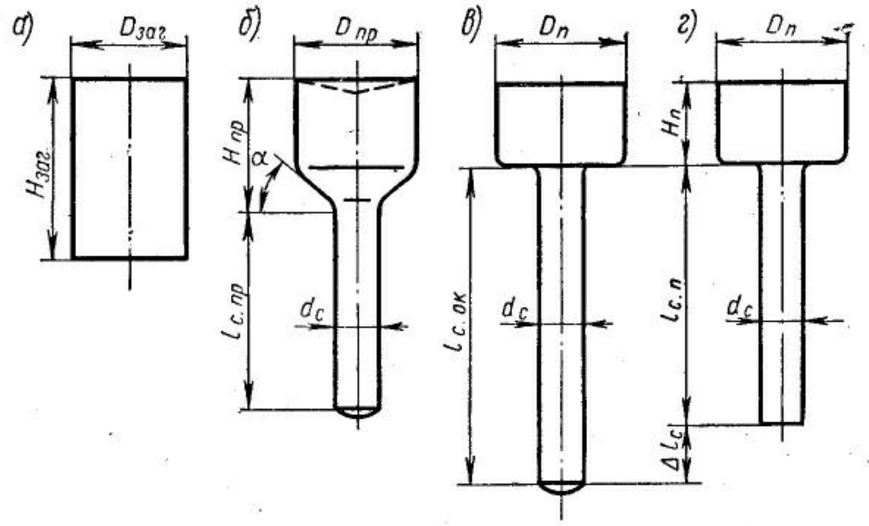


Рис. 246. Штамповка прямым выдавливанием:

а — заготовка; *б* — предварительный переход; *в* — окончательный переход; *г* — поковка

На рис. 246 показана штамповка головки в окончательном переходе без заусенца или с небольшим торцевым заусенцем. Заусенец может быть не только торцевым. Здесь могут быть различные варианты (рис. 247).

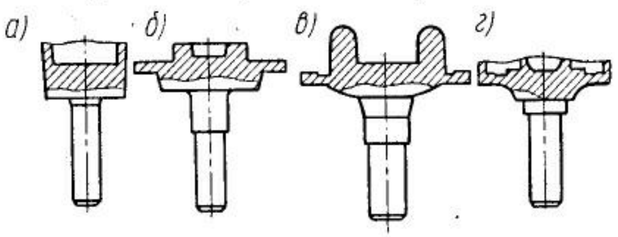


Рис. 247. Виды заусенца при прямом выдавливании:

а — торцевой; *б* — развернутый плоский; *в* — поперечный с канавкой; *г* — поперечный с торцевым заусенцем

При проектировании технологии штамповки выдавливанием на КГШП необходимо учитывать следующее [43].

1. Дно матрицы необходимо выполнять конической формой с заходным углом менее 150°. В целях большей гарантии отсутствия мертвых зон входной угол лучше назначать не более 120°.

При выдавливании наиболее эффективным является пуансон с коническим торцом с углом 150°. Однако при штамповке сложных головок, если требуется доштамповка головки в следующем ручье, целесообразней применять плоский пуансон.

2. Относительное обжатие

$$\delta = \frac{F-f}{F} 100\%,$$

где F — площадь поперечного сечения матрицы;
f — площадь поперечного сечения очка, меняющаяся в пределах 15—95% от F.

3. Скорость истечения металла *(м/сек)*

$$w = \frac{F}{f} v,$$

где v — скорость движения пуансона, определяемая по графику движения ползуна, *м/сек*.

Высоколегированную сталь штампуют при меньших скоростях истечения, чем низколегированную и углеродистую.

4. В зависимости от формы поковки, выбранного технологического процесса и колебаний объема заготовки выдавливанием можно получить поковки без заусенца, с торцевым заусенцем, с поперечным заусенцем и с поперечным и торцевым заусенцами (см. рис. 247).

Образование торцевого заусенца и его величина зависят от среднего удельного усилия, определяемого при прочих равных условиях коэффициентом вытяжки

$$K = \frac{F}{f}.$$

При малых значениях K металл легко выдавливается в стержень и головка получается незаполненной и без заусенца.

При $K = 7{,}5 \div 7{,}8$ выдавливание осуществляется без торцевого заусенца на поковке. При $K > 7{,}8 \div 15$ при выдавливании получается торцевой заусенец. При $K > 15$ торцевой заусенец настолько велик, что происходит заклинивание пуансона, задиры, быстрый его износ. Практически при $K > 15$ выдавливание не рекомендуется. Если вместо отношения площадей взять отношение соответствующих диаметров, тогда можно считать, что торцевой заусенец при выдавливании получается при $\frac{D}{d_c} > 2{,}6 \div 2{,}7$.

Если при сложной форме поковки по условиям удаления заусенца более целесообразен поперечный заусенец, предусматривают специальную канавку. При небольшой головке несложной формы эту канавку делают глубиной 1,2 *мм* и шириной 15—30 *мм*.

При штамповке в два или несколько переходов поковок с головками, имеющими выступающие бобышки, необходимо предусмотреть, чтобы торцевой заусенец, образовавшийся при штамповке в закрытом предварительном ручье, был выведен в поперечный заусенец при окончательной штамповке в открытом ручье (см. рис. 247).

5. Зазор между пуансоном и матрицей принимают в зависимости от выбранного технологического процесса. Если поковку надо получить без торцевого заусенца, зазор берут в следующих пределах: для поковок с диаметром головки до 60 *мм* — 0,05 ÷ 0,15 *мм* на сторону, при 60—100 *мм* — 0,3 ÷ 0,4 *мм*. Если предусматривают торцевой заусенец, зазор устанавливают 1,2 ÷ 1,4 *мм* на сторону.

6. Осадку заготовки перед штамповкой выдавливанием производят главным образом для снятия окалины, при этом одновременно учитывают преимущества резки заготовок меньшего диаметра и большей длины. Иногда при осадке производят фасонирование заготовок для более удобной укладки заготовки в штамповочный ручей.

Пресс для штамповки выдавливанием надо выбирать с учетом того, что при выдавливании необходима бо́льшая штамповая высота, чем

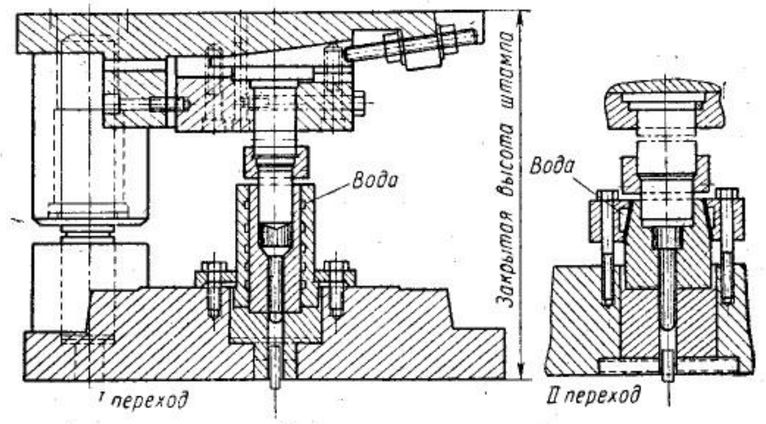


Рис. 248. Конструкция штампа КГШП для прямого выдавливания

при осаживании, а также выталкиватель с большим ходом. Выталкиватель может быть механическим, связанным с прессом, пневматическим, пневмомеханическим или гидравлическим, встроенным в пресс.

Необходимо проверить соответствие потребного усилия штамповки допускаемому усилию пресса на участке хода деформирования в начале процесса выдавливания.

На рис. 248 показан штамп для выдавливания на КГШП, в котором имеются два перехода. Штамп отличается тем, что на нем имеется дополнительное клиновое устройство для отдельной регулировки положения пуансона на *I* переходе. Регулировка *II* перехода производится непосредственно регулировкой стола пресса. В штампе имеется водяное охлаждение.

§ 53. ШТАМПОВКА ПРОШИВКОЙ

Из схем выдавливания широкое применение имеет схема штамповки прошивкой или закрытой прошивкой (рис. 245, *а*) [43].

Штамповку прошивкой выполняют чаще всего на гидравлических прессах. Есть специальные гидравлические и механические прошивные прессы. На этих прессах изготавливают поковки корпусов снарядов и вообще поковки типа стакана.

Существует два основных способа закрытой прошивки. По первому способу выбирают заготовку диаметром, равным диаметру матрицы,

и длиной значительно меньшей, чем длина поковки (рис. 249, *а*). По второму способу берут заготовку квадратного поперечного сечения или диаметром, существенно меньшим диаметра матрицы (рис. 249, *б*), при этом длина заготовки приблизительно равна длине поковки.

При деформировании заготовки по первому способу металл течет навстречу пуансону.

По второму способу металл растекается в стороны и одновременно

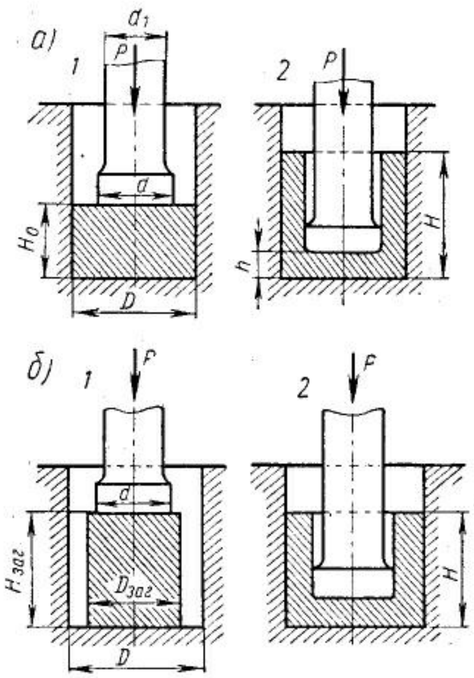


Рис. 249. Схемы закрытой прошивки: с течением металла навстречу пуансону (*а*) и с течением металла в стороны (*б*):

1 — начало прошивки; *2* — конец прошивки

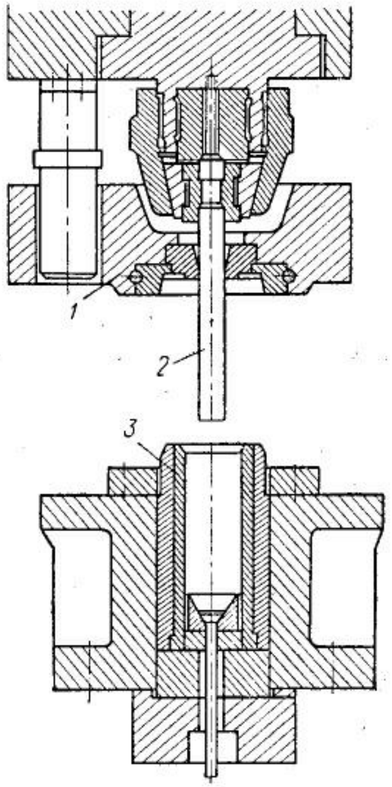


Рис. 250. Штамп для прошивки с подвижной траверзой-съемником:

1 — траверза-съемник; *2* — пуансон; *3* — матрица

прошивается. В начале процесса прошивки происходит также осадка заготовки, а в конце — металл течет навстречу пуансону, так как матрица в нижней части заполняется полностью.

Преимущество первого способа заключается в хорошем центрировании заготовки относительно матрицы, что позволяет при хорошем центрировании пуансона получить относительно небольшую разностенность. Недостатком способа являются высокие удельные усилия в полости на протяжении всего процесса прошивки.

Преимуществом второго способа являются относительно небольшие удельные усилия в полости от начала и вплоть до последнего этапа прошивки, когда полость матрицы заполнится полностью. Недостаток способа — пониженная точность поковок (повышенная разностенность), так как процесс прошивки с одновременной раздачей приводит к уводу пуансона в сторону при большой длине его хода.

Повышение точности при прошивке зависит от таких факторов, как точность направления ползуна (траверзы) пресса и соответствующее направление пуансона в матрице; качество заготовки (перпендикулярность торцов и др.); точность центрирования заготовки; равномерность нагрева заготовки перед прошивкой; равномерность износа пуансона (головки); возможная предварительная подготовка заготовки перед прошивкой (осадка в матрице с наметкой отверстия или без наметки) и др.

На рис. 250 показан штамп для прошивки. Ввиду высоких давлений в полости при прошивке, матрица сделана многослойной. Пуансон и матрица имеют водяное охлаждение.

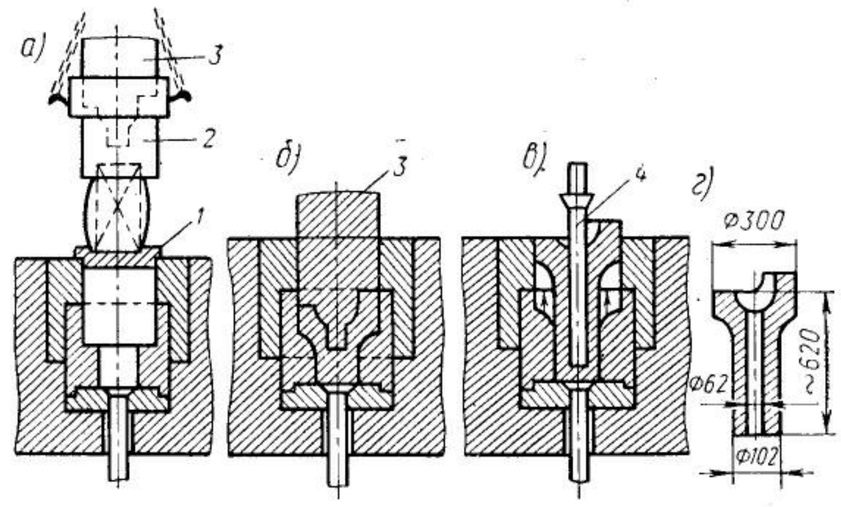


Рис. 251. Схема штамповки втулки с фасонной головкой

После прошивки обычно производят операцию протяжки в кольцах для уменьшения толщины стенки при неизменном внутреннем диаметре прошитого стакана. Протяжка в кольцах аналогична операции вытяжки с утонением стенки при холодной штамповке, только производится в горячем состоянии. Протяжка в кольцах подробно описана в литературе [43].

Штамповку прошивкой комбинируют с другими процессами, например со штамповкой в закрытых штампах.

На рис. 251, *г* показана поковка втулки с фасонной головкой. Масса втулки 30 *кг*. За первый переход выполняют осадку заготовки ⌀ 100 *мм* и высотой 550 *мм* при помощи плиты *1* и верхнего бойка *2*, насаживаемого на пуансон *3* (рис. 251, *а*). Во втором переходе производят штамповку в закрытом штампе с небольшой прошивкой пуансоном *3* (рис. 251, *б*). В третьем переходе выполняют окончательную прошивку пуансоном *4*. При этом металл течет вверх (рис. 151, *в*). Затем поковку вынимают из штампа, производят прошивку отверстия и получают готовую поковку.

§ 54. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ ПРИ ШТАМПОВКЕ ВЫДАВЛИВАНИЕМ И ПРОШИВКОЙ

Усилия при штамповке прямым выдавливанием [97] зависят от формы матрицы (рис. 252). Для поковок, соответствующих форме матрицы (рис. 252, *а*), усилие определяют по формуле

$$P=\sigma_s\left[\left(\frac{1}{2\sin\alpha}+\frac{2}{1+\cos\alpha}\right)\ln\frac{D^2}{d^2}+\frac{2L}{D}+\frac{2l}{d}\right]\frac{\pi D^2}{4}.$$

Следует учитывать, что величина 2α должна быть не более угла естественного течения, т. е. не более 120°.

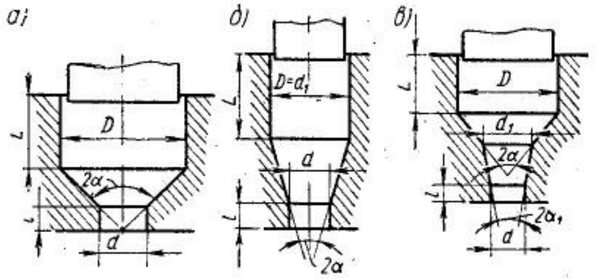


Рис. 252. Схемы различных типов инструмента для прямого выдавливания

Для поковок, соответствующих форме матрицы на рис. 252, *б*, усилие определяют по формуле

$$P=\sigma_s\left[\left(1+\frac{1}{2\alpha}\right)\ln\frac{D^2}{d^2}+\frac{2L}{D}+\frac{2l}{d}\right]\frac{\pi D^2}{4}.$$

Для поковок, соответствующих форме матрицы по рис. 252, *в*, усилие определяют по формуле

$$P=\sigma_s\left[\left(\frac{1}{2\sin\alpha}+\frac{2}{1+\cos\alpha}\right)\ln\frac{D^2}{d_1^2}+\left(1+\frac{1}{2\alpha}\right)\ln\frac{d_1^2}{d^2}+\frac{2L}{D}+\frac{2l}{d}\right]\frac{\pi D^2}{4}.$$

Усилие при штамповке прошивкой определяют по формуле [97] (см. рис. 249)

$$P=\sigma_s\left[3+\left(1+\frac{D^2}{d^2}\right)\ln\frac{\frac{D^2}{d^2}}{\frac{D^2}{d^2}-1}\right]\frac{\pi d^2}{4},$$

причем $\frac{d}{h}\leqslant 6$. При $\frac{d}{h}\geqslant 6$ следует учитывать влияние осадки донышка [97].

При штамповке прошивкой стаканов с относительно тонкими стенками расчет усилия можно производить по формуле

$$P=\sigma_s\left[2+\frac{d}{6(D-d)}\right]\frac{\pi d^2}{4}.$$

При выборе величины напряжения текучести σ_s необходимо учитывать температурно-скоростные факторы деформации (см. гл. VIII § 47).

ГЛАВА XI

ШТАМПОВКА НА ГОРИЗОНТАЛЬНО-КОВОЧНЫХ МАШИНАХ (ГКМ)

§ 55. ОБЩИЕ ОВЕДЕНИЯ

Горизонтально-ковочная машина представляет собой горизонтальный механический пресс, в котором кроме главного деформирующего ползуна есть зажимной ползун. Последний зажимает недеформируемую часть прутка, создавая возможность высадки деформируемой части прутка. Горизонтально-ковочные машины имеют небольшое число ходов — от 15 до 30 ходов в минуту. Течение металла при штамповке на ГКМ типично прессовое.

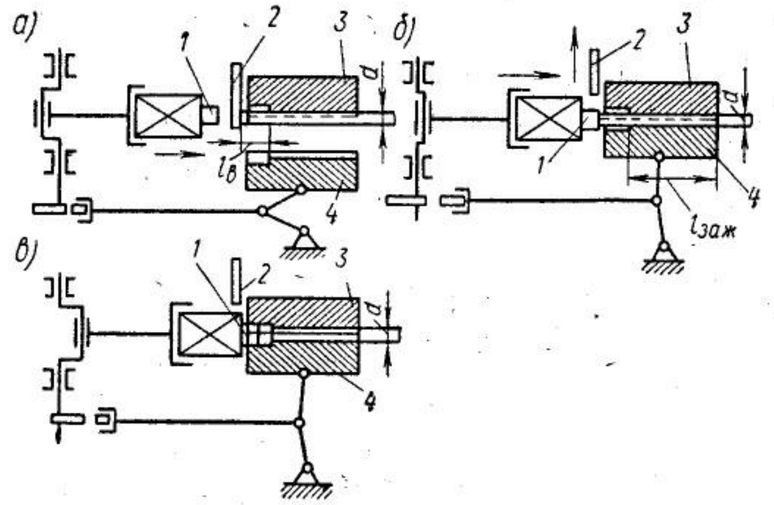


Рис. 253. Схема штамповки на ГКМ

Штампы ГКМ имеют два разъема. Один разъем проходит между пуансоном *1*, закрепленным в ползуне, и матрицами *4* (подвижной) и *3* (неподвижной) (рис. 253). Исходным является положение *а*. Пруток диаметром *d* вставляют в полукольцевую выемку неподвижной матрицы *3* и проталкивают до переднего упора *2*. Таким образом в рабочей полости остается пруток длиной $l_в$, который может деформироваться. После этого ГКМ включают на рабочий ход. При этом части машины и штампов приводятся последовательно в положения *б* и *в*. Положение *б* соответствует моменту начала деформации — высадке прутка длиной $l_в$. В это время часть прутка длиной $l_{заж}$ зажата между матрицами *3* и *4*, что предотвращает возможное осевое проталкивание прутка.

При этом упор *2* уже отошел в сторону и освободил путь деформирующему пуансону *1*. Положение *в* показывает момент окончания процесса деформирования, когда часть прутка длиной $l_в$ уже подверглась высадке, заполнила полость между матрицами и образовался фланец.

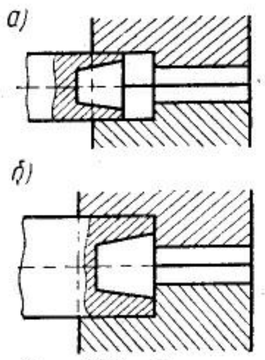


Рис. 254. Формующая полость

В дальнейшем совершается обратный ход пуансона *1* и разведение матриц *3* и *4* в исходное положение *а*. Пруток с фланцем легко вынимается из разъема между матрицами *3* и *4* и из машины.

В данном случае фланец был образован в формующей полости матриц. Пуансон имел плоский торец.

Формующая полость может находиться одновременно в пуансоне и матрице (рис. 254, *а*) или даже в одном пуансоне (рис. 254, *б*).

В дальнейшем, в зависимости от технологического процесса можно повторить ту же операцию с другим прутком. Можно также проводить многоручьевую штамповку, выполняя последующие переходы в других ручьях над заготовкой, полученной в данном ручье. Оси ручьев в многоручьевых штампах ГКМ располагаются параллельно, одна под другой.

Вначале ГКМ применяли исключительно для изготовления поковок типа стержня с фланцем. В дальнейшем технологические процессы стали более разнообразными и номенклатура штампуемых поковок

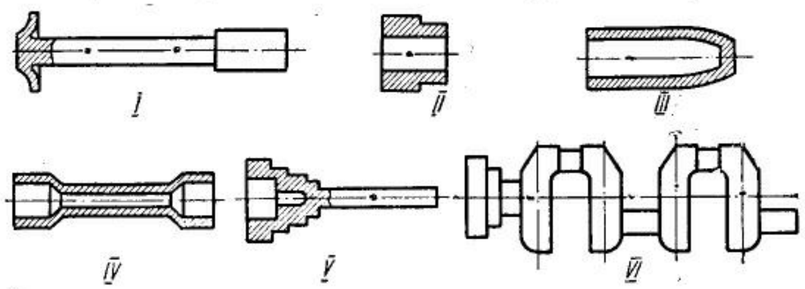


Рис. 255. Представители групп поковок, штампуемых на ГКМ:

I — типа стержня с утолщениями; *II* — типа кольца; *III* — с глухим отверстием; *IV* — полая, из трубы; *V* — смешанной формы (с полым утолщением на конце стержня); *VI* — требующая дополнительно высадки фланца на ГКМ

существенно расширилась. В настоящее время обычно на ГКМ штампуют поковки следующих типов: стержня с фланцем, кольца или стакана.

В классификации поковки, изготовляемые на ГКМ [43, 115], подразделяются на шесть групп (рис. 255). В каждой группе имеется несколько подгрупп.

Основными операциями при штамповке на ГКМ являются высадка (рис. 256, *а*), прошивка (рис. 256, *б*) и сквозная прошивка (рис. 256, *в*).

§ 56. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ШТАМПОВКИ НА ГКМ

Штамповка на ГКМ имеет следующие преимущества:

1. Можно легко штамповать детали, которые на другом оборудовании рационально изготовить нельзя, например поковки типа стержня

с фланцем и другие, следовательно, ГКМ имеет особую область штамповки.

2. Достигается экономия металла, так как штамповка производится преимущественно в закрытых штампах, а штамповочные уклоны в ряде случаев отсутствуют.

3. Макроструктура поковок получается благоприятной и обеспечивает высокое качество деталей.

4. Возможно применение вставок для ручьев, чем экономится штамповая сталь.

5. Работа на ГКМ безударная, спокойная и безопасная.

6. Работа легко автоматизируется — существуют автоматические ГКМ с горизонтальным разъемом матриц.

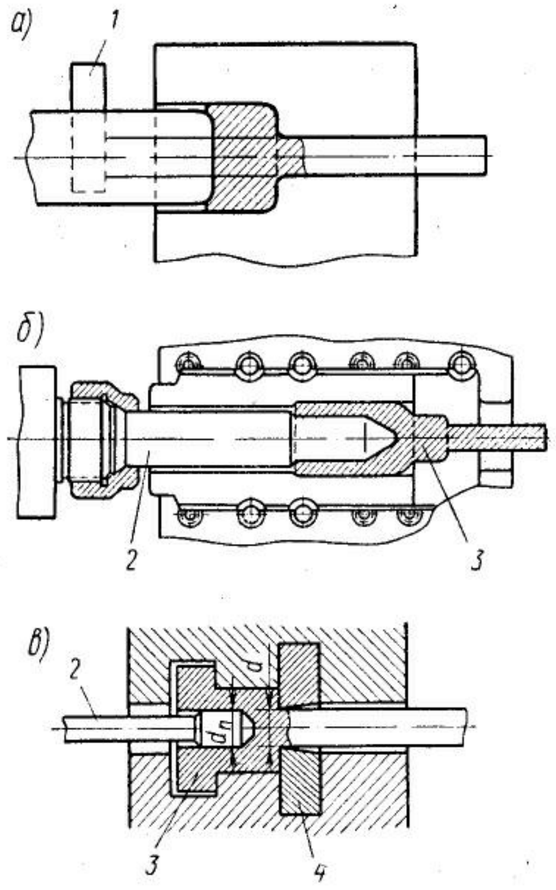


Рис. 256. Схемы основных операций при штамповке на ГКМ:

1 — передний упор; *2* — пуансон; *3* — поковка; *4* — матрица

К недостаткам относятся:

1. Меньшая универсальность по сравнению с молотами и прессами. Номенклатура поковок резко ограничена. Масса поковок относительно небольшая, преимущественно до 150 *кг*.

2. Низкая стойкость штампов, которая объясняется рядом причин. Штамп закрытый, поэтому возникают перегрузки в полости ручья. Избежать перегрузок не представляется возможным, так как требуется абсолютно точное дозирование высаживаемой части прутка, что невозможно ввиду недостаточной жесткости переднего упора, отклонений по размерам прутка (проката), отклонений высаживаемого объема при различной температуре прутка и т. д.

3. Необходимость очистки нагретого прутка от окалины, так как деформирование происходит за один ход и вся окалина будет заштампована.

4. Высокая стоимость ГКМ примерно в 1,5 раза выше, чем стоимость КГШП той же мощности.

§ 57. РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ШТАМПОВКИ НА ГКМ

При разработке технологического процесса штамповки на ГКМ необходимо учитывать следующие основные рекомендации.

1. В первом ручье должна быть зафиксирована с помощью упора и высажена определенная часть прутка, необходимая для штамповки поковки или ее части.

2. В каждом предыдущем переходе, начиная с первого, в заготовке должна быть создана специальная опорная поверхность, по которой заготовка центрируется или устанавливается в следующем переходе.

3. При штамповке в матрице перед началом деформирования пуансон должен получить определенное направление, войти в матрицу на длину 10÷15 *мм*, чтобы избежать перекосов.

4. Тонкие и высокие ребра в поковке желательно оформить в первых переходах, когда металл хорошо прогрет. Ребра толщиной менее 6 *мм* и высотой более 25 *мм* делать не рекомендуется, так как они плохо заполняются.

5. При штамповке в матрице поковки с фланцем максимальный диаметр ее желательно располагать ближе к пуансону. В этом случае течение металла между торцом пуансона и матрицей облегчается, а пуансон становится более прочным.

6. Диаметр прутка следует выбирать из условия необходимости получения минимального количества переходов при штамповке. Если диаметр прутка слишком мал, то может потребоваться дополнительный наборный переход, так как длина высаживаемой части окажется велика и будет возможен изгиб.

7. Следует избегать первоначальной высадки прутка с чрезмерно большим диаметром. В этом случае пруток может быть вытолкнут пуансоном в осевом направлении и высадки не произойдет. Отношение длины высаживаемой части прутка к диаметру прутка должно быть больше 0,6.

8. Штамповка поковок в пуансоне является более предпочтительной, так как поковки получаются более точными, а штампы более прочными и простыми.

9. При глубокой прошивке необходимо предварительные ручьи сконструировать таким образом, чтобы в процессе прошивки металл тек в стороны, а не навстречу пуансону.

10. При первоначальном наборе в матрице форма пуансона должна быть такой, чтобы конец прутка центрировался по пуансону и было затруднено образование одностороннего торцового заусенца.

11. При холостом ходе ГКМ не должно быть соударений между пуансоном и матрицей. Поэтому целесообразно оставлять зазор от 0,5 до 4 *мм* в зависимости от мощности машины.

§ 58. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОКОВОК ВЫСАДКОЙ И РАСЧЕТ НАБОРНЫХ ПЕРЕХОДОВ

Первоначальная высадка. Первоначальную высадку можно производить или в матрице, или в пуансоне. Различают высадку свободную и на ограниченный диаметр, близкий к диаметру высаживаемого прутка. Высадка при штамповке в матрице производится в соответствии с рекомендуемыми соотношениями размеров высаживаемой части прутка и матрицы.

За один ход ползуна машины в условиях свободной высадки (рис. 257) можно высадить круглую заготовку (пруток) до бóльшего диаметра, если длина высаживаемой части заготовки $l_в \leqslant 2{,}5d$ [115]. В противном случае произойдет изгиб и зажим на заготовке (рис. 258).

Если высадка не свободная, то она производится в наборном переходе, перед окончательной высадкой в формовочном переходе.

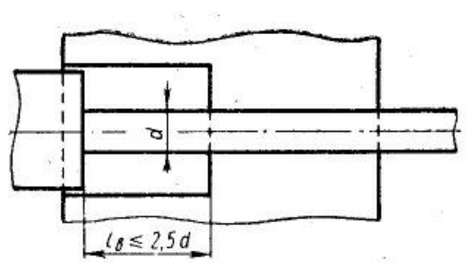


Рис. 257. Ограничение свободной высадки плоским пуансоном

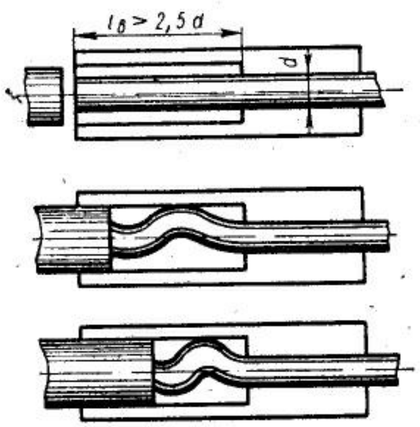


Рис. 258. Образование зажима при отношении $\frac{l_в}{d} > 2{,}5$

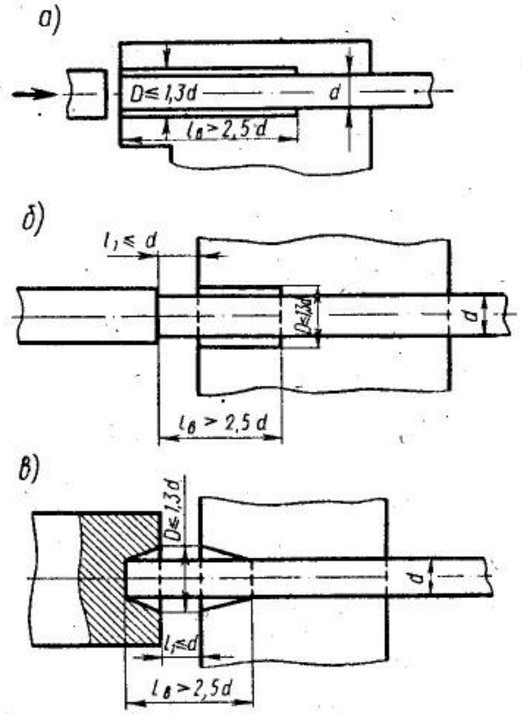


Рис. 259. Ограничение размеров матрицы и пуансона при $\frac{l_в}{d} > 2{,}5$:

а — ограничение диаметра цилиндрической матрицы; *б* — ограничение выступающей длины прутка при $D \leqslant 1{,}3\ d$; *в* — ограничение выступающей длины прутка при высадке в конических пуансоне и матрице

Если $l_в > 2{,}5d$, то конечный диаметр высадки $D \leqslant 1{,}3\ d$ (рис. 259, *а*). При $l_в > 2{,}5\ d$ и $D \leqslant 1{,}3\ d$ длина участка заготовки, выступающего из матриц (рис. 259, *б*) или находящегося между матрицами и пуансоном (рис. 259, *в*), $l_1 \leqslant d$.

Если $l_в > 2{,}5\ d$ и $D \leqslant 1{,}25\ d$, то $l_1 \leqslant 1{,}5\ d$ (рис. 260). Если $l_в$ не выступает за пределы матрицы (рис. 261), то диаметр утолщения D можно не ограничивать при условии, что высота утолщения H равна или меньше $3d$ [115].

Наибольшее распространение имеет высадка в коническом наборном ручье пуансона (рис. 262). Здесь высадка зависит от отношений $\frac{l_в}{d}$,

которые подразделяются на отношения $\frac{l_в}{d}$ в пределах от 2,5 до 11 и $\frac{l_в}{d} > 11$.

Если $11d \geqslant l \geqslant 2{,}5\ d$, а больший диаметр пуансона $D_к \leqslant 1{,}5\ d$ (при $d_к \approx d$), то длина участка прутка, находящегося между торцами матрицы и пуансона в начале высадки, $l_1 \leqslant 2d$ (см. рис. 262, *а*). При $D_к = 1{,}25d$, $l_1 \leqslant 2{,}5\ d$ (рис. 262, *б*).

Если $l_в > 11\ d$, то $D_к = 1{,}25\ d$, а $l_1 = 2{,}5\ d$; конструкцию пуансона выполняют в соответствии с рис. 263.

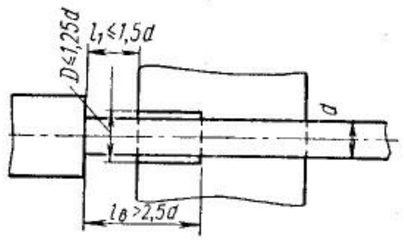


Рис. 260. Ограничение выступающей длины прутка при $D \leqslant 1{,}25\ d$

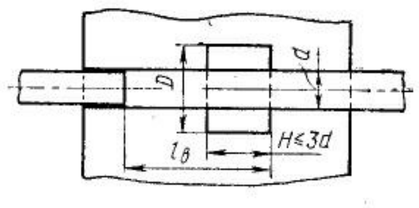


Рис. 261. Ограничение величины H при высадке прутка во внутренней цилиндрической полости

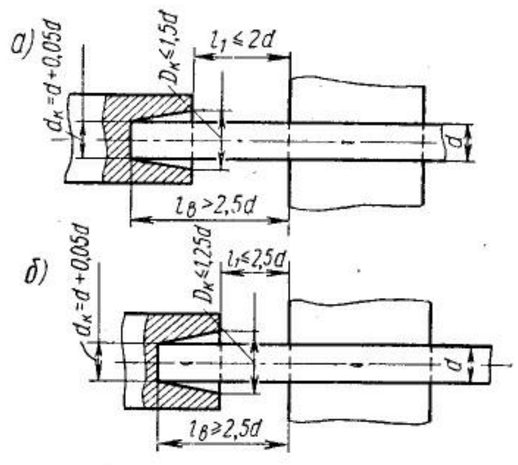


Рис. 262. Ограничение выступающей длины прутка за пределы пуансона:
а — при $D_к \leqslant 1{,}5d$; *б* — при $D_к \leqslant 1{,}25d$

Выше были приведены данные, основанные на практике штамповки на ГКМ.

Определение размеров конусных пуансонов при первоначальной высадке. Приведенные практические данные о соотношении размеров заготовки и инструмента при высадке в конических пуансонах не позволяют непосредственно по ним выполнить конструкцию пуансона со всеми необходимыми размерами. Для определения рабочих размеров конической полости пуансона необходимо учитывать также очевидное равенство объемов конической полости и высаживаемой части прутка. Объем высаживаемой части прутка определяется по формуле (рис. 264):

$$V_в = \frac{\pi d^2}{4} l_в.$$

Объем конической полости

$$V_к = \frac{\pi (D_к^2 + D_к d_к + d_к^2)}{12} l_к.$$

На практике часто задаются размером $D_к$, принимают $d_к \approx d$, и, зная, что $V_к = V_в = \frac{\pi d^2}{4} l_в$, получают $l_к$. После этого проверяют, какова окажется длина l_1 и удовлетворяет ли она вышеупомянутым соотношениям. Если l_1 оказывается слишком большой, то $D_к$ уменьшают и расчет повторяют снова.

А. Д. Томленов предложил рассчитывать размеры конической полости пуансона, используя упомянутое равенство объемов $V_в = V_к$ и относительные размеры полости и высаживаемой длины прутка (относительные величины показаны на рис. 264).

Имеем

$$\frac{\pi d^2}{4} l_в = \frac{\pi (D_к^2 + D_к d_к + d_к^2)\, l_к}{12}.$$

Поделив обе части равенства на d^3 и, сделав сокращения, получим в относительных величинах следующую формулу:

$$\psi = \frac{1}{3} \lambda (\varepsilon_к^2 + \varepsilon_к \eta + \eta^2),$$

где $\psi = \frac{l_в}{d}$, $\lambda = \frac{l_к}{d}$,

$\varepsilon_к = \frac{D_к}{d}$ и $\eta = \frac{d_к}{d}$.

Решая данное уравнение относительно $\varepsilon_к$, получим [104]

$$\varepsilon_к = 1{,}73 \sqrt{\frac{\psi}{\lambda} - \left(\frac{\eta}{2}\right)^2} - \frac{\eta}{2}. \quad (33)$$

В формуле (33) λ является неизвестной величиной, которую можно определить по формуле

$$\lambda = \psi - \beta.$$

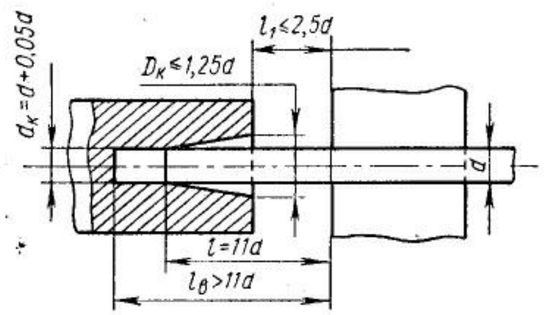


Рис. 263. Высадка в коническом пуансоне $l_в > 11\ d$

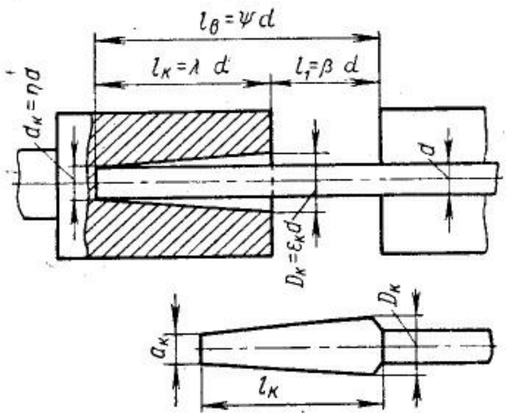


Рис. 264. Схема высадки в коническом пуансоне

В свою очередь $\beta = \frac{l_1}{d}$ определяется по эмпирической формуле $\beta \leqslant 1{,}2 + 0{,}2\ \psi$, причем $\beta < 3$.

Последняя формула дает предельные значения β. Как показала практика, для получения высокого качества поковок, в том числе макроструктуры, величина β должна иметь более низкие значения, чем получаемые по данной формуле. Так, при $\varepsilon_к = 1{,}25$ принимают $\beta \leqslant 2{,}5$ и при $\varepsilon_к = 1{,}5$ $\beta \leqslant 2$ [115]. Эти максимальные значения приняты в отечественных нормалях машиностроения.

Кроме этого, в формуле (33) не учтена необходимость иметь бóльшую полость в наборном пуансоне по сравнению с полостью формовочной части ручья, что также принято в нормалях [115]. Зависимость $\beta = f(\psi)$ менее характерна, чем $\beta = f(\varepsilon_к)$[115].

Для уточнения расчетов конического пуансона необходимо было получить новую формулу для $\varepsilon_к$, которая учитывала бы зависимость

$\beta = f(\varepsilon_к)$, а последняя соответствовала бы принятым в нормалях рекомендациям. Расчет по такой формуле должен был бы удовлетворять условиям равенства объема конической полости $V_к$ объему высаживаемой части прутка $V_в$, причем $V_к = \frac{\pi (D_к^2 + D_к d_к + d_к^2)}{12} l_к$ и $V_в = \frac{\pi d^2}{4} l_в$, , и учитывать необходимость увеличения конической полости на величину коэффициента U (U колеблется от 1,02 до 1,13) [115].

Использование формулы (33), которая учитывает равенство объемов конической полости и высаживаемой части прутка, в сочетании с формулой $\beta = f(\varepsilon_к)$, невозможно, так как в этом случае получается неявная функция относительно $\varepsilon_к$, что приводит к необходимости многократных пересчетов.

Учитывая изложенное, автором была получена новая формула для $\varepsilon_к$ в зависимости от ψ, η и U, которые являются известными (или задаваемыми) величинами.

Зависимость $\beta = f(\varepsilon_к)$ в первом приближении можно принять линейной. Тогда, при $\beta = 2{,}5$ $\varepsilon_к = 1{,}25$ и $\beta = 2$ $\varepsilon_к = 1{,}5$ имеем $\beta = -2\varepsilon_к + 5$.

Однако введение зависимости $\beta = f(\varepsilon_к)$ в формулу равенства объемов конической полости и высаживаемой части прутка приводит к уравнению выше второй степени относительно $\varepsilon_к$ и к математическим трудностям в решении уравнения относительно $\varepsilon_к$.

Для получения зависимости $\varepsilon_к = f(\psi, \eta)$ с учетом $\beta = f(\varepsilon_к)$ представляется целесообразным исходить из приближенного равенства объемов $V_в$ и $V_к$ с учетом необходимости увеличения объема полости $V_к$ [115] на величину коэффициента U.

Приняв $U = 1$, имеем

$$V_в = V_к, \quad \frac{\pi d^2}{4} l_в \approx \frac{\pi D_к d_к}{4} l_к,$$

или в относительных величинах,

$$\psi = \varepsilon_к \eta \lambda.$$

Учитывая, что $\lambda = \psi - \beta$, имеем

$$\lambda = \psi + 2\varepsilon_к - 5.$$

Подставив вместо λ ее выражение, получим

$$\psi = \varepsilon_к \eta (\psi + 2\varepsilon_к - 5),$$

откуда

$$\varepsilon_к = 1{,}25 - \frac{\psi}{4} + \sqrt{\frac{\psi^2}{16} - \left(0{,}625 - \frac{1}{2\eta}\right)\psi + 1{,}56}\,. \qquad (34)$$

Данная формула действительна до $\psi \leqslant 11$, что соответствует $\varepsilon_к \leqslant 1{,}25$, $\beta \leqslant 2{,}5$ и $\eta = 1{,}05$.

Формула (34) является приближенной.

Зависимость $\varepsilon_к = f(\psi)$ легко получить из приближенного равенства объемов $V_в$ и $V_к$ также при любой линейной зависимости $\beta = f(\varepsilon_к)$, например в случае использования уточненных экспериментальных данных по правилам высадки.

Для уточнения формулы (34) необходимо сравнить данные, полученные по этой формуле с точной зависимостью между $\varepsilon_к$ и ψ.

Для получения такой зависимости воспользуемся точным равенством объемов $V_в = V_к$, введя в него $\lambda = \psi + 2\varepsilon_к - 5$. Имеем

$$\psi = \frac{1}{3}(\psi + 2\varepsilon_к - 5)(\varepsilon_к^2 + \eta^2 + \varepsilon_к \eta).$$

Решив это уравнение относительно ψ, получим

$$\psi = \frac{2\varepsilon_к^3 + (2\eta - 5)\varepsilon_к^2 + (2\eta^2 - 5\eta)\varepsilon_к - 5\eta^2}{3 - \varepsilon_к^2 - \varepsilon_к \eta - \eta^2}. \qquad (35)$$

По формуле (35), задаваясь различными $\varepsilon_к$ при $\eta = 1$, легко построить кривую $\varepsilon_к = f(\psi)$ и сравнить ее с кривой, построенной по формуле (34).

Сравнение кривых показывает хорошее совпадение (рис. 265). При $\varepsilon_к$ в пределах от 1,25 до 1,5 ошибка не превышает 3%. При $\eta > 1$ ошибка будет еще меньше, так как исходное приближенное равенство объемов стремится к точному при сближении размеров $D_к$ и $d_к$.

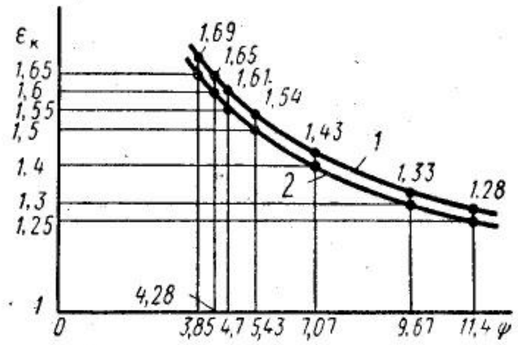


Рис. 265. Кривые зависимости $\varepsilon_к$ от ψ: *1* — по формуле (34); *2* — по формуле (35)

Сравнение кривых показало также, что формулу (34) можно легко скорректировать. Так как кривые по формулам (34) и (35) эквидистантны, а кривая *1* лежит выше кривой *2* на величину 0,03, то достаточно из формулы (34) вычесть 0,03.

Тогда получим

$$\varepsilon_к = 1{,}22 - \frac{\psi}{4} + \sqrt{\frac{\psi^2}{16} - \left(0{,}625 - \frac{1}{2\eta}\right)\psi + 1{,}56}\,. \qquad (36)$$

Формула (36) и является расчетной.

Величину λ можно определить, исходя из точной формулы равенства объемов $V_в = V_к$, т. е.

$$\frac{\pi d^2}{4} l_в = \frac{\pi (D_к^2 + D_к d_к + d_к^2)}{12} l_к.$$

В относительных величинах имеем

$$\lambda = \frac{3\psi}{\varepsilon_к^2 + \eta^2 + \varepsilon_к \eta}.$$

Величину $l_к$ необходимо скорректировать в соответствии с коэффициентом увеличения полости U [115]:

$$l_{к.\,скорр} = U l_к.$$

Обычно η принимают равным 1,05.

Формула (36) применима при $11 > \psi > 5{,}4$.

При $\psi \leqslant 5{,}4$ $\varepsilon_к$ принимают равным 1,5, $\eta = 1{,}05$, подсчитывают $D_к$ и $d_к$ и определяют λ, а, следовательно, и $l_к$.

Иногда в наборном коническом пуансоне имеется керн. Тогда меньший диаметр конуса $d_к$ должен быть больше $1{,}1d$.

Последующая высадка. При высадке на ограниченный диаметр в матрице или пуансоне (см. рис. 259, 260, 262, 263) может оказаться, что длина высаженной части будет слишком велика по сравнению со средним ее диаметром. В этом случае последующая свободная высадка окажется невозможной и необходим дополнительный наборный переход. При этом переходы выбирают однотипными.

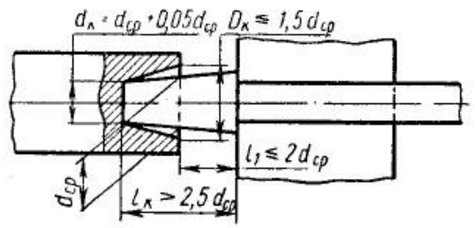


Рис. 266. Ограничение выступающей длины предварительно высаженного конического перехода за пределы конического пуансона при $D_к \leqslant 1{,}5\ d_{ср}$

Обычно это наборные переходы в конических пуансонах (рис. 266).

Если после первого набора длина конуса $l_к$ окажется больше $2{,}5\ d_{ср}$, то необходима вторичная высадка в коническом наборном пуансоне [115]. Средний диаметр можно принять как средний алгебраический

$$d_{ср} = \frac{D_к + d_к}{2}.$$

Можно подсчитать также средний диаметр более точно, исходя из равенства объемов конуса $V_к$ и цилиндра, диаметром $d_{ср.1}$ и длиной, равной длине конуса $l_к$. Имеем

$$V_к = \frac{\pi d_{ср.1}^2}{4} l_к = \frac{\pi\,(D_к^2 + D_к d_к + d_к^2)\,l_к}{12},$$

откуда

$$d_{ср.1} = \sqrt{\frac{D_к^2 + D_к d_к + d_к^2}{3}}.$$

Если сравнить $d_{ср}$ с $d_{ср.1}$ при $\eta = 1$ и $\varepsilon_к = 1{,}25$, то получим

$$d_{ср} = \frac{D_к + d_к}{2} = \frac{1{,}25d + d}{2} = 1{,}125d;$$

$$d_{ср.1} = \sqrt{\frac{1{,}25^2 d^2 + 1{,}25d^2 + d^2}{3}} \cong 1{,}13d.$$

При $\eta = 1$ и $\varepsilon_к = 1{,}5$ имеем

$$d_{ср} = \frac{1{,}5d + d}{2} = 1{,}25d;$$

$$d_{ср.1} = \sqrt{\frac{1{,}5^2 d^2 + 1{,}5d^2 + d^2}{3}} \approx 1{,}26d.$$

Как видим, $d_{ср}$ и $d_{ср.1}$ в диапазоне $\varepsilon_к$ от 1,25 до 1,5 примерно равны.

Если вместо $d_{ср}$ принять $d_{ср.1}$ (которое легко определить), то расчет второго конического наборного пуансона можно проводить аналогично

расчету для первого перехода из условий $V_к \approx V_{к1}$ ($V_{к1}$ — объем второго конического наборного пуансона) и $\beta = -2\varepsilon_к + 5$.

Для второго наборного пуансона $\varepsilon_{к1} = \frac{D_{к1}}{d_{ср1}}$, причем $D_{к1}$ — бóльший диаметр конической полости. Величина $\varepsilon_{к1}$ определится по формуле

$$\varepsilon_{к1} = 1{,}22 - \frac{\psi_1}{4} + \sqrt{\frac{\psi_1^2}{16} - \left(0{,}625 - \frac{1}{2\eta}\right)\psi_1 + 1{,}56}, \qquad (37)$$

где

$$\psi_1 = \frac{L_к}{d_{ср1}}.$$

Длина конической полости второго наборного пуансона $L_{к1}$ определится из формулы $\lambda_1 = \frac{L_{к1}}{d_{ср1}}$. В свою очередь λ_1 можно найти по формуле

$$\lambda_1 = \frac{3\psi_1}{\varepsilon_{к1}^2 + \eta_1^2 + \varepsilon_{к1}\eta_1}, \qquad (38)$$

где

$$\eta_1 = \frac{d_{к1}}{d_{ср1}};$$

$d_{к1}$ — меньший диаметр конической полости второго перехода.

Величина $L_{к1}$ в дальнейшем должна быть скорректирована в соответствии с коэффициентом увеличения конической полости U [115].

Если после второго наборного перехода окажется, что

$$L_{к1} > 2{,}5d'_{ср}\left(d'_{ср} = \frac{D_{к1} + d_{к1}}{2}\right),$$

то требуется третий конический наборный переход, расчет которого аналогичен расчету второго перехода с изменением формул (37) и (38) в соответствии с изменением ψ_1 на ψ_2:

$$\psi_2 = \frac{L_{к1}}{d'_{ср1}},$$

где

$$d'_{ср1} = \sqrt{\frac{D_{к1}^2 + D_{к1}d_{к1} + d_{к1}^2}{3}}.$$

Подобный расчет производят до тех пор, пока значение ψ не станет равным 2,5 или меньше. Это будет указывать на то, что наборных переходов больше не требуется и можно выполнять окончательную высадку фланца в формовочном переходе.

§ 59. ШТАМПОВКА ПОКОВОК КОЛЕЦ СО СКВОЗНОЙ ПРОШИВКОЙ

На ГКМ легко штампуют кольца. При этом экономится металл, так как штамповка идет почти без отходов.

В зависимости от соотношения размеров диаметров отверстия и прутка может быть три варианта штамповки (рис. 267).

Простейший вариант, показанный на рис. 267, *а*, когда диаметр прутка равен диаметру отверстия ($d = d_0$). Если отношение $\frac{l_в}{d} < 1{,}7$, то штамповку ведут за два перехода.

В первом переходе производят формовку кольца в пуансоне, а во втором переходе выполняют прошивку. Отход металла при прошивке остается на конце прутка и идет на изготовление следующего кольца. Для облегчения прошивки при формовке делают наметку. Если высота

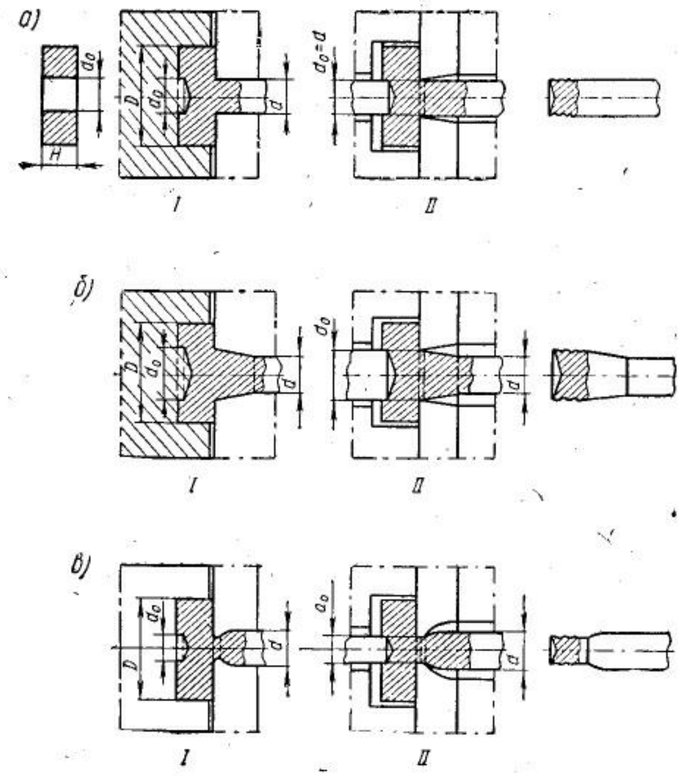


Рис. 267. Варианты штамповки кольца:

а — при $d_0 = d$; *б* — при $d_0 > d$; *в* — при $d_0 < d$; *I* — первый переход (формовка); *II* — второй переход (прошивка-просечка)

кольца невелика ($H_к < 0{,}6d_0$), то наметку можно не делать. Такой вариант применяют, когда можно подобрать пруток с диаметром, равным d_0. Следует отметить также, что при отношении $\frac{l_в}{d} > 1{,}7$ необходим дополнительный наборный переход.

По варианту, показанному на рис. 267, *б*, $d_0 > d$, причем разница между диаметрами невелика ($d_0 \leqslant 1{,}1\,d$). В зажимной части формовочного ручья в этом случае делают плавный конусный переход от диаметра отверстия до диаметра прутка. Вариант обладает тем преимуществом, что прошивка проходит очень легко и без каких-либо дефектов. Легко также подобрать пруток с диаметром, ближайшим меньшим к диаметру отверстия кольца. Здесь следует учитывать возможность

штамповки без наборного перехода, что определяется отношением $\frac{l_в}{d} < 1{,}7$. Так как диаметр d уменьшен, то неравенство может не удовлетворяться. Тогда следует перейти к вариантам, указанным на рис. 267, *а* или 267, *в*.

Последний характеризуется тем, что $d > d_0$, причем $d \leqslant 1{,}1d_0$. Здесь одновременно с формовкой необходимо выполнить пережим прутка до диаметра отверстия. Пережим можно выполнить в формовочном ручье на круг или на овал, меньшая ось которого равна диаметру отверстия, а большая диаметру прутка. В последнем случае перенос заготовки в прошивной ручей выполняют с поворотом вокруг оси на 90° и в прошивном ручье окончательно выполняется пережим на круг и затем прошивка.

§ 60. РУЧЬИ ШТАМПОВ ГКМ

При штамповке на ГКМ существуют следующие виды ручьев: окончательные формовочные, наборные, пережимные, прошивные, обрезные и отрезные.

Окончательные формовочные ручьи (рис. 268) служат для получения окончательной формы поковки. Полости этих ручьев выполняют полностью в соответствии с формой поковки.

Чертеж поковки составляют по чертежу готовой детали. Вначале назначают припуски и допуски по ГОСТ 7505—55. По этому же ГОСТу устанавливают следующие максимальные штамповочные уклоны: а) на участках поковки, выполняемых в матрицах — наружные не более 5°, внутренние не более 7°; б) внутренние в полостях, выполняемых пуансоном, не более 3°. В некоторых случаях штамповочных уклонов не требуется, а в некоторых их уменьшают. Радиусы закруглений наружного контура определяют по ГОСТ 7505—55. Радиусы закруглений внутреннего контура, а также штамповочные уклоны следует назначать в соответствии с рекомендациями по РТМ 39—61 [115]. Допускаемые отклонения формы поковок (разностенность, разнотолщинность, кривизна), а также расположение и допускаемую величину заусенца определяют по таблицам [115, 43].

Размеры полости окончательного формовочного ручья отличаются от размеров поковки на величину усадки (для стали 1,5%).

Окончательные формовочные ручьи различают по способу разъема и по расположению полости ручья (фигуры) в штампе на следующие виды (рис. 268): *а* — закрытый с расположением полости в матрицах; *б* — открытый с расположением полости в матрицах; *в* — открытый с расположением полости в пуансоне; *г* — открытый с расположением полости в матрицах и пуансоне; *д* — открытый с расположением полости сложной формы в пуансоне, в целях предотвращения образования на поковке трудноудаляемого продольного заусенца; *е* — открытый с расположением полости сложной формы в матрицах и наличием канавки для заусенца с магазином.

Наборные ручьи были рассмотрены ранее. Основные виды наборных ручьев: наборный в матрице (см. рис. 259, *а* и *б*); наборный в матрице

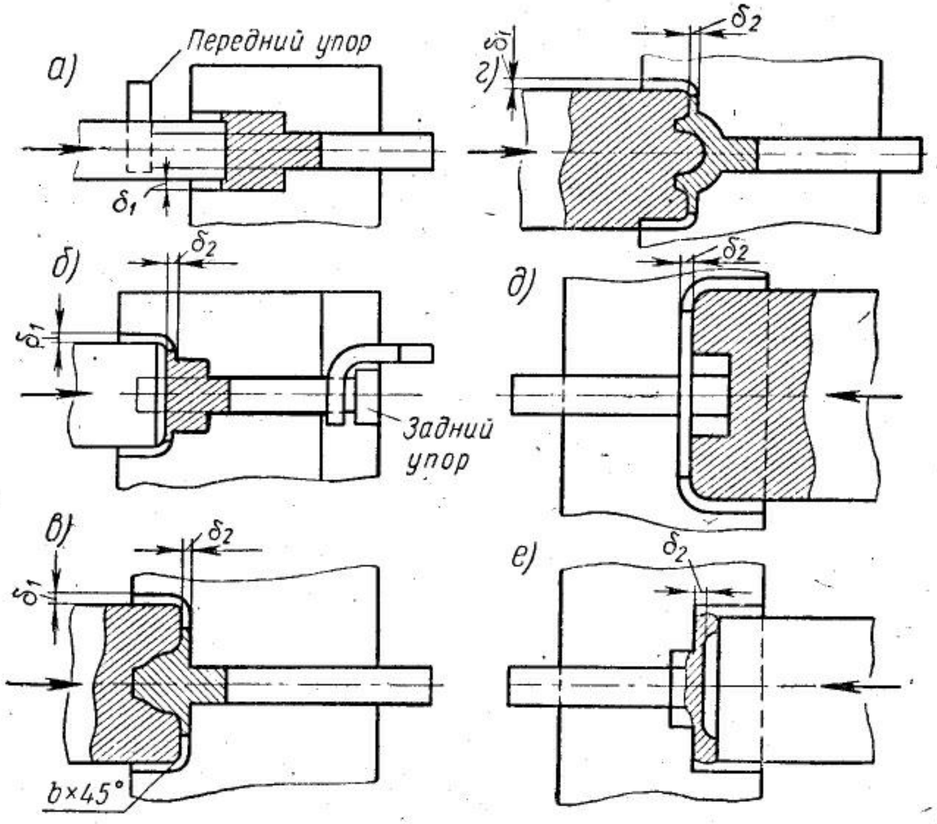


Рис. 268. Виды окончательных формовочных ручьев:
δ_1 — торцовый зазор (заусенец); δ_2 — радиальный зазор (заусенец)

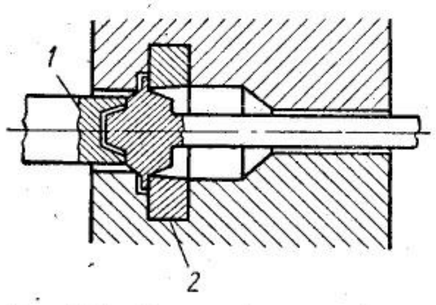


Рис. 269. Схема обрезного ручья

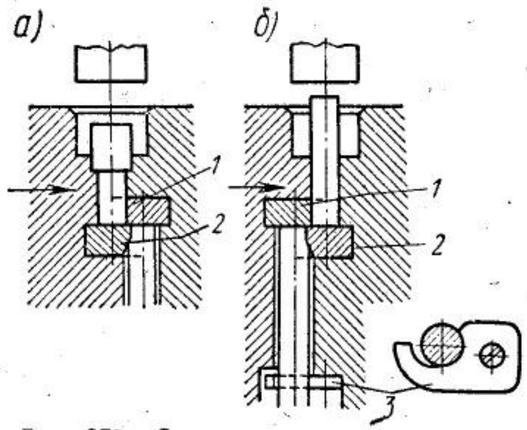


Рис. 270. Схемы отрезки заготовки от прутка:
1 и *2* — вставки-ножи; *3* — поддержка

и пуансоне (см. рис. 259, *в*); наборный в коническом пуансоне (см. рис. 262).

Пережимные ручьи служат для пережима прутка на меньший диаметр. На рис. 267, *в* показан пережим, который выполняется одновременно с формовкой. Однако пережимные ручьи могут быть выполнены в виде отдельных ручьев [115, 43].

Прошивные ручьи служат для получения сквозной прошивки (см. рис. 267). Различные конструктивные варианты даны в [115, 43].

Обрезные ручьи служат для отделения радиального заусенца от поковки (рис. 269). Заусенец опирается на острую кромку матрицы *2* и обрезается при проталкивании поковки пуансоном *1*.

Отрезные ручьи служат для отделения поковки от прутка (рис. 270). Существует две разновидности отрезных ручьев. В первом случае (рис. 270, *а*) поковка остается неподвижной, а пруток сдвигается и отделяется от поковки. Во втором случае (рис. 270, *б*) сдвигается поковка. В обоих случаях по существу происходит процесс, аналогичный резке прутка на пресс-ножницах.

§ 61. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ ПРИ ШТАМПОВКЕ НА ГКМ

Усилия при штамповке на ГКМ определяют по формуле

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

где D — диаметр поковки;
σ — предел прочности при температуре окончания штамповки;
k — коэффициент, определяемый в зависимости от вида штамповки на ГКМ по табл. 22.

Усилие при штамповке на ГКМ можно определить также по формуле А. В. Ребельского [103]

$$P = 5(1 - 0{,}001D)(D + 10)^2 \sigma.$$

§ 62. ПРИМЕРЫ ШТАМПОВКИ НА ГКМ

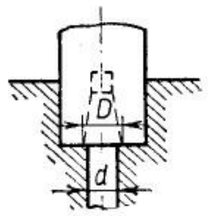
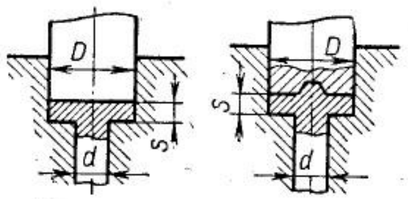
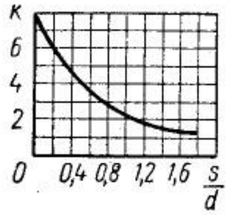
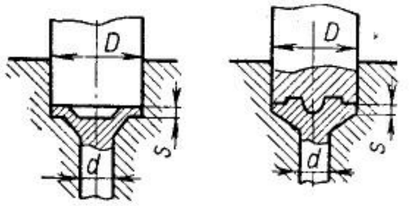
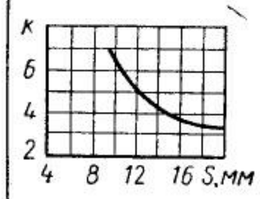
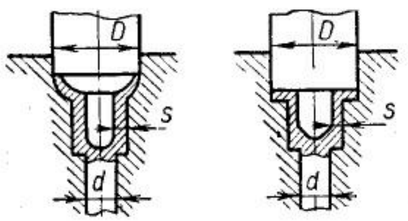
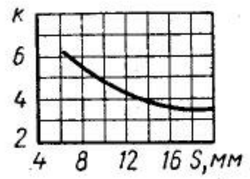
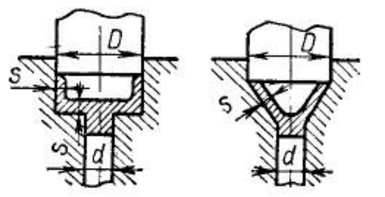
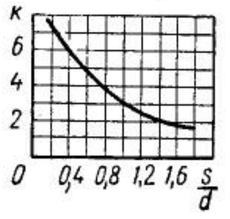
Пример 1. На рис. 271 показана штамповка поковки типа стержня с утолщением. Поковку штампуют за четыре перехода. Ввиду большой длины $l_в$ применяют два конических наборных перехода (*I* и *II* рис. 271, *б*). После наборных переходов выполняется формовка сферической головки (*III* переход) и затем (переход IV) ходом зажимного ползуна головка расплющивается. На рис. 272 показан штамп для штамповки данной поковки. В штампе применен задний упор — рамка.

Пример 2. На рис. 273 показана поковка типа кольца и переходы ее штамповки. В *I* переходе производится набор в коническом пуансоне с керном. Во *II* переходе выполняется формовка в матрице с получением углубления. В *III* переходе производится прошивка — просечка. Штамп для данной поковки показан на рис. 274. Зажимная часть ручьев выполнена с рифлениями для сокращения длины концевого отхода.

Пример 3. На рис. 275 показана полая поковка с фланцем и переходы. Штамповку производят из трубной заготовки. Вначале металл набирается внутрь отверстия трубы. Затем производится набор металла с увеличением наружного диаметра трубы и одновременно выполняется предварительная формовка. После этого высаживается фланец.

Таблица 22

Коэффициент k к формуле для определения усилия горизонтально-ковочной машины (по В. И. Залесскому)

Номер операции	Наименование операции	Эскиз	Коэффициент k
1	Высадка в конусной полости, расположенной в пуансоне (наборный ручей)		4
2	Высадка фланца плоским пуансоном (при возможном частичном формоизменении в полости пуансона)		
3	Высадка с одновременным вдавливанием пуансона, имеющего диаметр, равный примерно диаметру прутка (при возможном частичном формоизменении в полости пуансона)		
4	Прошивка, сопровождающаяся раздачей материала пуансоном в стороны; фланец подготовлен в предыдущем ручье		
5	Высадка тонкостенных полых деталей		

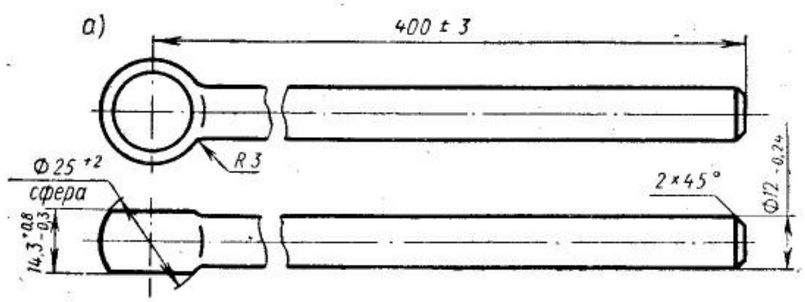


Рис. 271. Поковка типа стержня с утолщением:
а — поковка; *б* — переходы штамповки

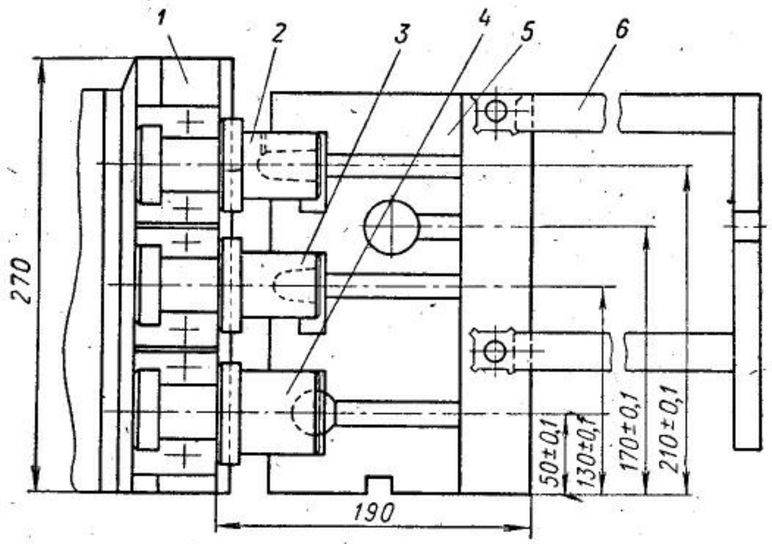


Рис. 272. Высадочный штамп для поковки типа стержня с утолщением:

1 — блок пуансона; *2* — наборный пуансон; *3, 4* — формовочные пуансоны; *5* — блок матриц; *6* — задний упор-рамка

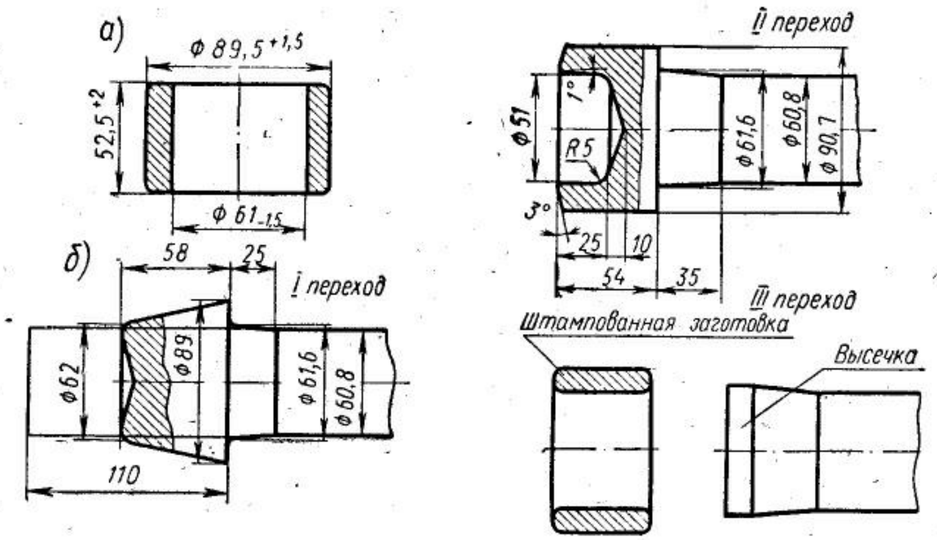


Рис. 273. Поковка типа кольца (*а*) и переходы штамповки (*б*)

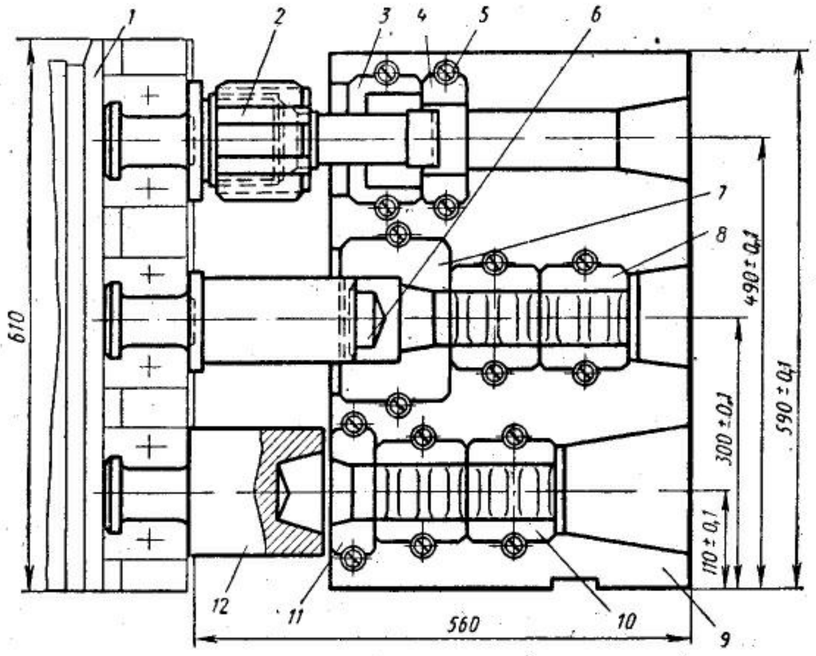


Рис. 274. Высадочный штамп для поковки типа кольца:

1 — блок пуансонов; *2* — прошивной пуансон; *3, 4* — прошивные вставки; *5* — винт крепления вставок; *6* — формовочный пуансон; *7* — формовочная вставка; *8, 10* — зажимные вставки; *9* — матрица; *11* — подъемная вставка; *12* — наборный пуансон

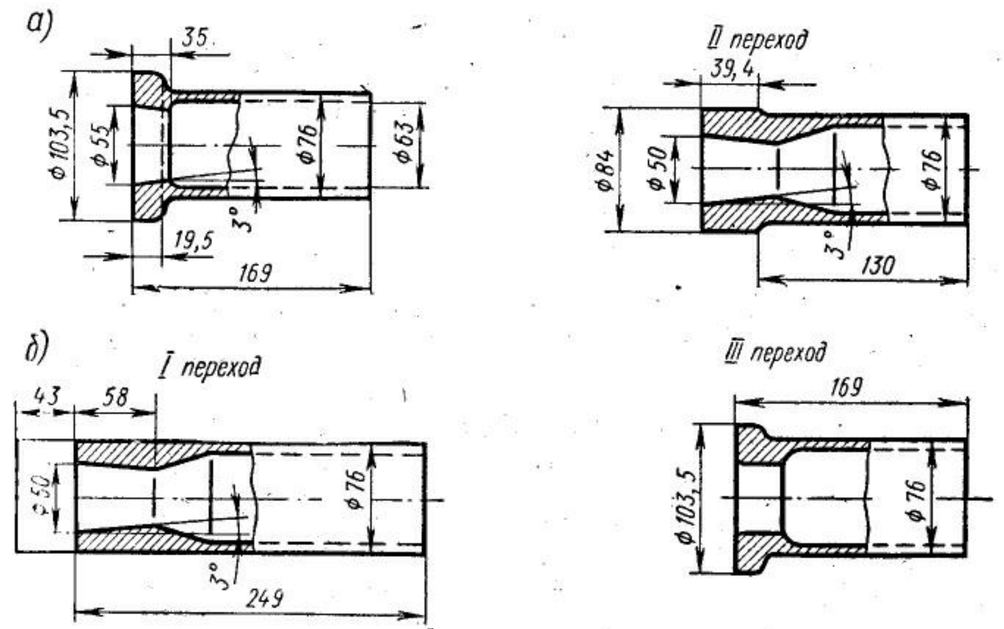


Рис. 275. Полная поковка с фланцем (*а*) и переходы штамповки (*б*):

I переход — набор металла; *II* переход — набор металла и предварительная формовка; *III* переход — окончательная формовка

ГЛАВА XII

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПОКОВОК И ЗАГОТОВОК

§ 63. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Использование машин узкого назначения вместо универсальных позволяет во многих случаях осуществить наиболее оптимальные способы штамповки по качеству и количеству переходов. Поэтому специализированные процессы штамповки получают все большее распространение по мере дальнейшего расширения производства поковок и заготовок.

В данной главе в общих чертах рассматриваются следующие специализированные процессы: гибка на горизонтально-гибочных машинах (бульдозерах), обработка на вертикально-ковочных, ротационно-обжимных и радиально-обжимных машинах, электровысадка, штамповка на высокоскоростных молотах. Кроме этого, рассматриваются используемые в кузнечном производстве процессы вальцовки на ковочных вальцах и раскатки на раскаточных машинах.

В книге не рассмотрены: получение заготовок под штамповку периодической и поперечной прокаткой, процесс накатки зубьев шестерен, накатка шлицев, резьбы, а также штамповка на некоторых специализированных прессах и молотах, выкрутных и специальных гибочных машинах, обработка на различного рода полуавтоматах и автоматах. Эти процессы описаны в [19, 43, 65, 66].

§ 64. ШТАМПОВКА НА ГОРИЗОНТАЛЬНО-ГИБОЧНЫХ МАШИНАХ

Горизонтально-гибочные машины ГГМ (бульдозеры) предназначены для горячей и холодной гибки в одноручьевых и многоручьевых штампах мерных заготовок больших габаритов из сортового и полосового проката.

Наибольшее распространение имеют ГГМ с механическим приводом обычных конструкций с усилием от 15 до 500 *Т* (рис. 276) и быстроходные с усилием от 10 до 20 *Т*.

Отличительными особенностями ГГМ являются большой размер штампового пространства, большой ход ползуна. На двух наружных кривошипах главного вала насажены шатуны, шарнирно соединенные с ползуном. Такое устройство шатунов и ползуна обеспечивает прямолинейность движения ползуна. Для приведения ползуна в действие ГГМ имеет муфту включения, находящуюся на приводном валу. Эти

особенности ГГМ обеспечивают успешное осуществление на них гибки, особенно крупногабаритных деталей.

Производительность горячей гибки ниже холодной. Поэтому ее применяют только при изготовлении деталей с относительно малым радиусом изгиба или более точных изделий, а также при недостаточном усилии ГГМ для холодной гибки.

Простейшими типовыми технологическими процессами штамповки на ГГМ являются: гибка *V*-образных (рис. 277, *а, б*), *П*-образных (рис. 277, *в, г, д*), дугообразных (рис. 277, *е, ж*) и круглых (рис. 277, *з, и*) деталей.

V-образную гибку осуществляют за один переход. Ее можно выполнять двумя способами. При первом способе, называемом гибкой-штам-

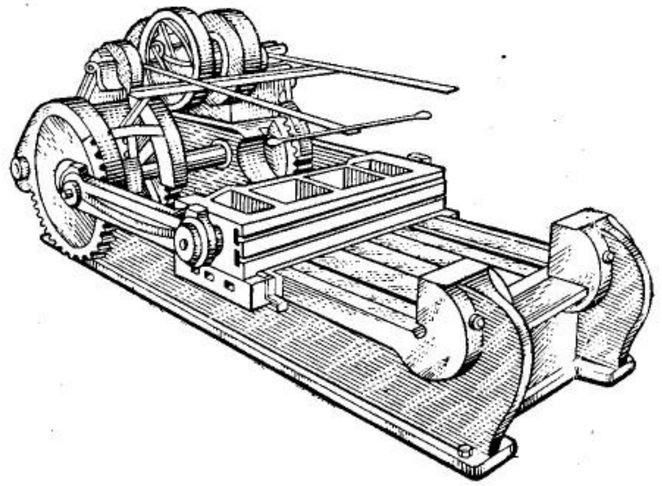


Рис. 276. Горизонтально-гибочная машина

повкой (см. рис. 277, *а*), заготовка в конце хода ползуна плотно зажимается между пуансоном и матрицей и происходит как бы калибровка согнутой заготовки. При этом резко возрастает потребное усилие гибки. При втором способе (гибка до соприкасания), рекомендуемом для крупногабаритных, сравнительно толстостенных деталей, гибка заканчивается в момент, когда полки заготовки соприкоснутся с боковыми поверхностями матрицы (см. рис. 277, *б*). В этом случае усилие на ползуне ГГМ оказывается в несколько раз меньше, чем при гибке-штамповке.

Гибку П-образных деталей можно осуществлять за один или два перехода. Производительность и точность одноперехoдной гибки выше. Поэтому она выгоднее при изготовлении большой партии деталей, хотя и требует по сравнению с двухпереходной гибкой применения более сложного и менее стойкого штампа.

П-образную гибку в штампе с прямоугольными рабочими поверхностями пуансона и матрицы (см. рис. 277, *в*) применяют при сравнительно тонкостенных, неответственных деталях. Недостатком этого способа является изгиб участка заготовки под пуансоном. Для его

выпрямления требуется калибровка заготовки и конце хода пуансона, что ведет к значительному увеличению усилия и наклепу деталей, особенно при холодной гибке.

Чтобы избежать калибровки применяют штамп с нижним прижимом (см. рис. 277, *г, д*).

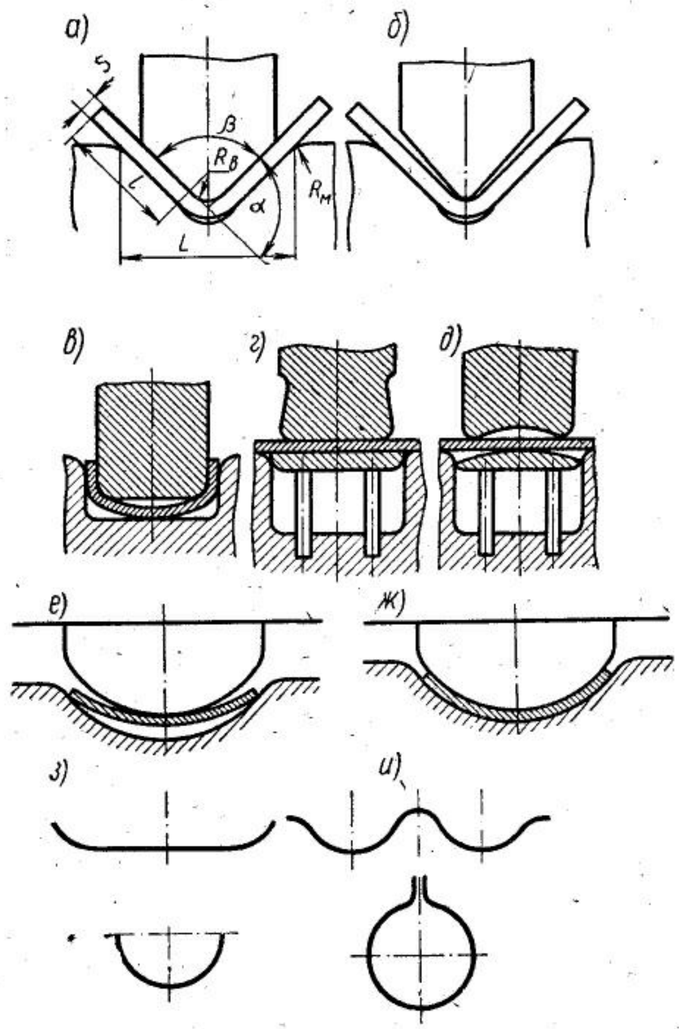


Рис. 277. Типовые простейшие схемы гибки:

а — гибка-штамповка; *б* — гибка до соприкасания; *в* — гибка в штампе с прямоугольными рабочими поверхностями пуансона и матрицы; *г* — гибка в штампе с нижним прижимом; *д* — гибка в штампе с радиусными пуансоном и нижним прижимом; *е* — промежуточный момент гибки; *ж* — конечный момент гибки; *з* — полузакрытая гибка; *и* — закрытая гибка

Конструкцию с радиусным пуансоном и нижним прижимом рис. 277, *д* применяют, когда внутренний радиус гиба $R_в \geqslant 1{,}25\ S$ (S — толщина заготовки) и гибка в штампе с плоскими пуансоном и нижним прижимом не устраняет изгиба участка заготовки под пуансоном. В штампах для П-образной гибки закругления на пуансоне

выполняют равными внутреннему закруглению детали. Радиус закругления матрицы $R_м = (2 \div 4)\ S$.

Гибка *U*-образных деталей характеризуется наличием у них среднего участка, согнутого по относительно большому радиусу на угол 180°, и прямых, параллельных между собой, полок. Возможен также средний прямой участок между закруглениями. Поскольку гибка таких деталей сопровождается большим пружинением, пуансон выполняют с меньшим радиусом. Подгибание полок осуществляется преимущественно с помощью перегибающего механизма рычажного типа. Гибку таких изделий можно осуществлять за один переход в сложном штампе или за несколько переходов.

Дугообразные детали с центральным углом, меньшим 120—150°, сгибают за один переход в простом штампе с цилиндрическими рабочими поверхностями пуансона и матрицы (см. рис. 277, *е, ж*).

Гибку деталей с центральным углом 150—270° осуществляют за два перехода (см. рис. 277, *з*). На первом переходе подгибают крайние участки, а на втором — средний.

Закрытые детали (см. рис. 277, *и*) также сгибают за два перехода. На первом переходе крайние участки принимают заданную кривизну, а средний участок получает кривизну обратную; на втором — средний участок сгибается на радиус детали.

Выбор технологического процесса гибки сложных деталей в основном зависит от их формы и размеров, требуемой точности и серийности, мощности используемых ГГМ.

Основным условием конструкции рабочего профиля штампа для несимметричной, например Z-образной, детали, является такое его расположение, при котором при гибке на пуансоне и матрице не возникает горизонтальных составляющих усилий, перпендикулярных к движению пуансона. Другим важным условием является необходимость двух точек опоры у заготовки на матрице в начальный момент гибки, чтобы пуансон производил нажатие между опорами.

При необходимости снизить потребное усилие или устранить чрезмерное утонение детали в местах изгиба переходят на многопереходную гибку.

Многопереходная гибка происходит по частям, последовательно за каждый переход. Разработка переходов производится в порядке, обратном технологическому процессу. По форме готовой детали отыскивают наиболее простую промежуточную форму, из которой можно получить окончательную форму гибкой не более, чем в двух углах, причем каждый из них не должен превышать 90°, или по дуге, не превышающей 180°. Полученную промежуточную форму рассматривают как готовую деталь и аналогичным образом отыскивают следующую промежуточную форму до тех пор, пока не будет получена прямая исходная заготовка.

При гибке деталей пространственных форм заготовка сгибается в каждой плоскости за самостоятельный переход.

В процессе гибки деталей из полосы «на ребро» и особенно из несимметричных профилей, в целях предотвращения потери устойчивости и скручивания применяют штамповку с закрытыми ручьями в

горячем состоянии. Из-за возникающих искажений поперечного сечения гибку «на ребро» следует по возможности избегать.

Длину исходной заготовки определяют как длину развертки изделия по нейтральной линии изгиба. Положение последней в процессе пластической деформации смещается от линии, соединяющей центры тяжести площадей поперечных сечений заготовки в сторону внутреннего радиуса гибки.

При защемлении концов заготовки в штампе в процессе гибки смещение нейтрального слоя резко увеличивается.

При холодной гибке полосы положение нейтральной линии изгиба можно рассчитать с помощью коэффициента a (табл. 23), представляющего собой относительное расстояние нейтрального слоя от внутренней поверхности соответствующего согнутого участка. Коэффициент a зависит только от отношения $\frac{R_в}{S}$ (см. рис. 277, $а$).

Длину исходной заготовки определяют по формуле

$$L=\sum l+\sum \frac{\pi\alpha}{180^2}(R_в+aS),$$

где l — длина прямого участка;
α — угол изгиба заготовки.

Таблица 23

Значение коэффициента a

Способ гибки	$R_в/S$					
	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0
Простая в штампе с роликовыми или поворотными опорами	0,4	0,44	0,46	0,47	0,48	0,49
Простая в штампе с опорами скольжения, без защемления участков заготовки	0,35	0,4	0,42	0,44	0,46	0,48

Усилие гибки зависит от механических свойств материала, его толщины, угла изгиба, площади поперечного сечения заготовки и коэффициента трения на контактной поверхности. Многочисленные формулы для определения усилий гибки [18, 19, 49] носят приближенный характер. Для распространенного случая гибки V-образных деталей по способу гибки-штамповки (рис. 277, $а$) может быть использована формула [43]

$$P=\sigma_в\left(\cos\frac{\alpha}{2}+\mu\sin\frac{\alpha}{2}\right)F,$$

где $\sigma_в$ — предел прочности при растяжении;
α — угол изгиба заготовки;
μ — коэффициент трения;
F — площадь поперечного сечения заготовки.

Значение коэффициента μ при подсчете усилия гибки стальных заготовок в холодном состоянии принимают для черных непротравленных заготовок 0,4 ÷ 0,5, а для чистых заготовок со смазкой 0,15—0,2. При горячей гибке $\mu = 0{,}5$.

§ 65. ШТАМПОВКА НА ВЕРТИКАЛЬНО-КОВОЧНЫХ МАШИНАХ

Вертикально-ковочные машины [19, 43] являются одной из разновидностей кулачковых машин.

Основным отличием кулачковых машин от чисто кривошипных является отсутствие жесткой связи главного вала с ползуном.

Вертикально-ковочные машины выполняют с ползунами (от 1 до 6). Машина, представленная на рис. 278, имеет 3 ползуна. Постоянно вращающийся от электропривода общий горизонтальный вал имеет один или два маховика.

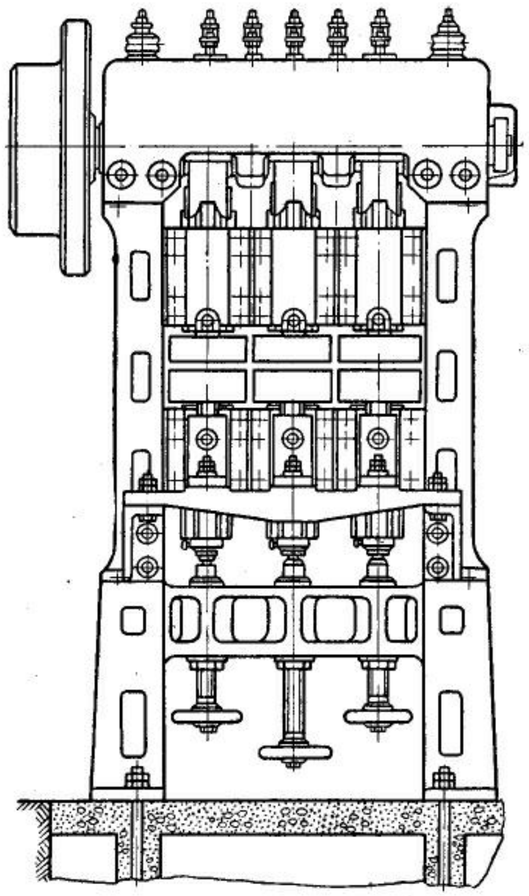


Рис. 278. Вертикально-ковочная машина

Количество кулачков (эксцентриков) на нем соответствует числу ползунов.

В станине смонтированы кулачковый вал, ползуны, их направляющие.

При вращении вала его кулачки последовательно давят через мотыли на независимые друг от друга ползуны, перемещая их вниз на 12—16 *мм*. Вмонтированные в ползунах пружины сообщают им обратный ход. В зависимости от числа оборотов кулачкового вала, число ходов каждого ползуна может составлять от 450 до 1100 в минуту. Вертикально-ковочные машины подбирают по количеству ползунов в соответствии с необходимым числом переходов и по наибольшему диаметру исходной заготовки. Большим преимуществом этих машин является их быстроходность, что позволяет за один нагрев производить на них штамповку весьма тонких и мелких изделий (зубья борон, железнодорожные костыли, бородки и зубила, шинные гвозди, веретена и т. п.), для формообразования которых требуется протяжка и обжимка, пережим с получением заплечиков и утолщений различной формы, оттяжка концов на конус и заострение их.

Штампы, имеющие форму фасонных бойков, устанавливают по фронту машины. Крепление хвостовиков верхних бойков осуществляют с помощью стопорных болтов в соответствующих гнездах ползунов. Нижние бойки закрепляют в гнездах нижних колодок машины.

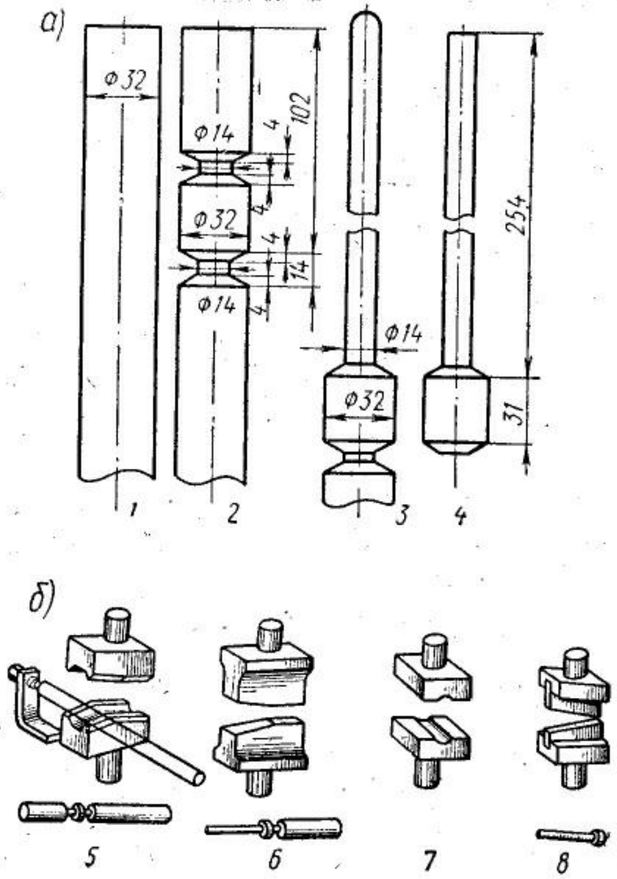


Рис. 279. Пример штамповки на вертикально-ковочной машине [43]:

а — переходы штамповки; *б* — бойки для них; *1* — заготовка; *2* — заготовка, обработанная в ручье *5*; *3* — конец заготовки протянутой в ручье *6* и отделанный в ручье *7*; *4* — готовая поковка (конец обрезан и отделен от прутка в ручье *8*)

В зависимости от вида поковки разработку переходов штамповки и определение размеров заготовки производят как при штамповке на молотах или как при машинной ковке (рис. 279). Однако по сравнению с ковкой на молотах вертикально-ковочная машина обеспечивает большую стабильность и точность размеров поковок.

§ 66. ШТАМПОВКА НА РОТАЦИОННО-ОБЖИМНЫХ И РАДИАЛЬНО-ОБЖИМНЫХ МАШИНАХ

На ротационно- и радиально-обжимных машинах обрабатывают обжатием осесимметричные изделия с вытянутой осью с нагревом исходной заготовки или в холодном состоянии с широким диапазоном

размеров [18, 43]. Так, на легких ротационно-обжимных машинах обрабатывают швейные иглы диаметром 0,3 *мм*, а на тяжелых — стальные трубы диаметром до 320 *мм* и сплошные ступенчатые валы диаметром до 250 *мм* [78].

Ротационно-обжимные или ротационно-ковочные машины (рис. 280, *а*) подразделяют на три группы: шпиндельные машины, у которых бойки с ползунами расположены в пазах шпинделя и благодаря вращению его периодически производят обжатие; кольцевые машины, у которых обжатие изделия бойками производится благодаря воздействию на них роликов кольца (обоймы), вращающегося вокруг неподвижного шпинделя; барабанные машины, у которых рабочие функции бойков осуществляются благодаря одновременному вращению в разные стороны шпинделя и обоймы.

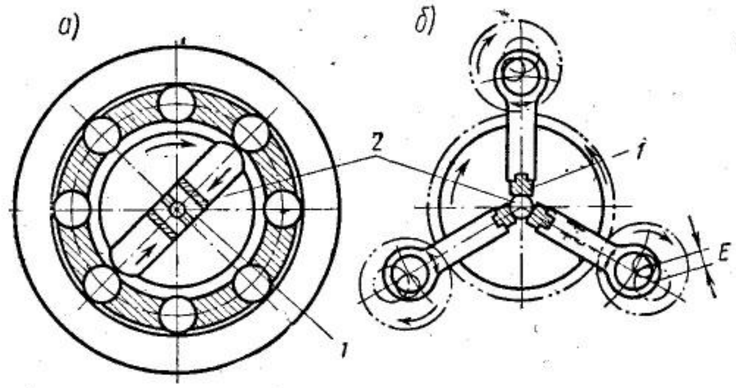


Рис. 280. Схемы действия ротационно-обжимных (*а*) и радиально-обжимных (*б*) машин [43]:

1 — боек; *2* — заготовка; *E* — регулируемый эксцентрик

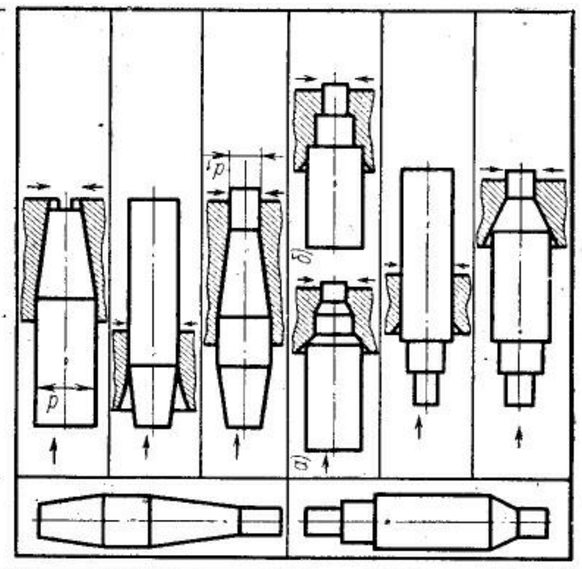
Шпиндельные и барабанные машины имеют вращающийся, а кольцевые — невращающийся инструмент.

Наиболее распространены ротационно-обжимные машины с вращающимся шпинделем и одной парой бойков. На машинах такого типа обычно обжимают только концевые участки прутков. Ход бойков у таких машин постоянный и крайнее закрытое положение инструмента является фиксированным. Форма и точность поковки обеспечиваются формой и размерами ручья бойков в закрытом состоянии. Поперечное сечение заготовки на таких машинах уменьшается по направлению к концу прутка. Получить переменный профиль можно только на длине прутка, не превышающей длину бойков. Поковки с уменьшенными поперечными сечениями с обоих концов изготавливают последовательно, сначала с одного конца, а затем с другого за раздельные операции (табл. 24 [43]).

Скорость вращения шпинделя у шпиндельных машин с увеличением размера машин уменьшается примерно от 1200 ÷ 600 до 250 ÷ ÷150 *об/мин*. Длина бойков соответственно колеблется от 25 до 300÷ ÷375 *мм*. Количество роликов в сепараторе 10÷12. Обычно ротационно-обжимные шпиндельные машины выполняют по конструктивной

Таблица 24

Различные способы обработки заготовки

Обжимаемая часть заготовки	Эскиз поковки	Исходная заготовка: Пруток на несколько поковок	Исходная заготовка: Пруток на одну поковку
		Раздельное обжатие	Профильное обжатие
Малый конус			
Цилиндр (с поворотом)			
Хвостовик (с поворотом)			
Предварительное (*а*) и окончательное (*б*) обжатие			
Цилиндр (с поворотом)			
Хвостовик (с поворотом)			

схеме при которой возможно проворачивание обоймы с роликами при вращении шпинделя. Поэтому число ударов по заготовке в минуту должно быть меньше произведения числа оборотов шпинделя на число роликов в сепараторе (при одной паре ползунов). При двух парах ползунов число ударов в минуту удваивается.

Для обработки концевых участков прутков или заготовок на большой длине по переменному профилю применяются ротационно-обжимные машины с переменной степенью обжатия. Форма и точность поковки обеспечивается в этом случае периодическим изменением закрытой высоты пространства между бойками и величиной подачи заготовки, а способ обработки носит название профильного обжатия (см. табл. 24 [43]).

Разновидностью этих машин являются двухшпиндельные машины, на которых можно вести обработку средней части заготовок. Машины с переменной степенью обжатия являются узко специализированными. Их применяют для изготовления некоторых массовых изделий, например шпинделей прядильных веретен.

Радиально-обжимные машины (рис. 280, *б*) по сравнению с ротационно-обжимными создают меньше шума при работе, имеют бóльшую стойкость рабочих и приводящих узлов и поэтому используются при обжатии крупных заготовок. Их основным отличием является то, что привод инструмента осуществляется посредством жесткой кинематической связи между эксцентриковым валом, шатуном и бойком. По технологическим возможностям радиально-обжимные машины подобны ротационно-обжимным. Однако характерное для последних вращение рабочих бойков или узлов, приводящих их в движение, у радиально-обжимных машин отсутствует.

В зависимости от способа привода рабочего инструмента радиально-обжимные машины подразделяют на роликовые, рычажные и шатунные [78]. Имеются конструкции радиально-обжимных машин с постоянной степенью обжатия, но в основном эти машины строятся с переменной степенью обжатия и предназначены для изготовления изделий типа валов с несколькими перепадами по длине или с удлиненными коническими участками способом профильного обжатия. По расположению оси заготовки конструкции радиально-обжимных машин бывают вертикальные и горизонтальные. При горячей обработке на вертикальных машинах проще удаление окалины, однако длина обрабатываемых заготовок ограничена (около 1000 *мм*). Горизонтальные машины позволяют обрабатывать заготовки практически неограниченной длины.

Подающие устройства обеспечивают зажим, вращение и некоторое пружинение заготовки в направлении подачи. При незначительном обжатии малых изделий в мелкосерийном производстве машины оборудуют ручным управлением и применяют ручной привод реечного, винтового типа или пневматический. В серийном производстве, а также при обработке изделий относительно больших размеров, когда осевые усилия значительны, широкое применение находят механические, гидравлические и пневмо-гидравлические приводы подачи. Если не требуется большой точности, применяют пневматический привод.

В массовом производстве для загрузки и подачи применяют автоматические устройства бункерного и других типов.

Большим недостатком машин, осуществляющих обжатие с переменной степенью, является отсутствие в них кинематической связи механизма подачи с механизмом обжатия. В современных ротационно- и радиально-обжимных машинах наибольшее распространение получили гидравлические подачи, обеспечивающие обработку по полуавтоматическому и автоматическому циклам. Горизонтальные машины оборудуют устройством для автоматической загрузки и разгрузки заготовок. На ротационно- и радиально-обжимных машинах можно изготовлять изделия не только круглого, но и граненого сечения. Получение граненых изделий на ротационно-обжимных машинах с вращающимся инструментом может быть обеспечено путем вращения заготовки со скоростью шпинделя [78]. Одним из способов получения изделий с прямоугольным и более сложным поперечным сечением является применение четырехбойковых шпиндельных машин, у которых в неподвижной обойме расположены только четыре ролика и, таким образом, каждый боек совершает только четыре рабочих хода за один оборот шпинделя, — по одному ходу с каждой из четырех сторон [18].

Классификация изделий, изготовляемых обжатием приведена в табл. 25 [43]. К I классу отнесены изделия, которые можно изготовить на машинах простого действия, осуществляющих постоянную степень обжатия. Детали этого класса имеют один перепад сечения. Детали с переменным сечением относятся к данному классу только в том случае, если длина обрабатываемой части изделия не превышает длину рабочей части инструмента.

Так как технологические возможности машин с переменной степенью обжатия шире, то II класс изделий, изготовляемых на обжимных машинах, представлен несколько шире. В этом случае длина изделий с переменным сечением может превышать длину рабочего участка инструмента. Изделия, отнесенные к I и II классам, могут иметь в сечении как круг, так и многогранник.

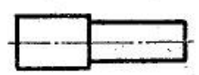
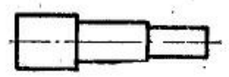
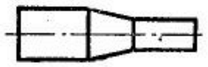
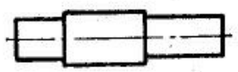
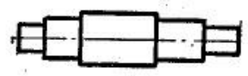
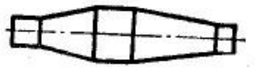
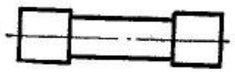
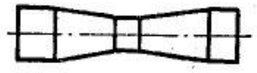
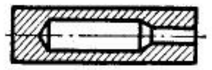
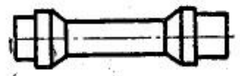
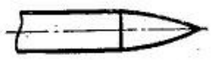
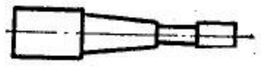
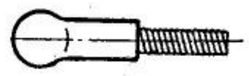
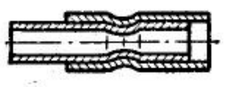
Разбивка изделий по группам производится в зависимости от формы изделий. К первой группе отнесены изделия с односторонним обжатием, ко второй — изделия, у которых обжатие осуществлено в обе стороны от середины к концам изделия. Третья группа представлена деталями, у которых обжатие выполнено от концов к середине по длине изделия. В четвертую группу входят изделия особо сложной конфигурации, у которых обжатие осуществлено как от концов к середине, так и по краям. Изделия пятой группы — сборные.

Из рассмотренной классификации следует, что обрабатываемые изделия являются в основном цилиндрическими или коническими. Исключение составляют детали четвертой группы, изготовляемые специальным фасонным инструментом.

Следует отметить, что перепад сечений под прямым углом с небольшим радиусом перехода в изделиях сплошного сечения осуществляется в основном только на радиально-обжимных машинах. На ротационно-обжимных машинах можно получить только такие ступенчатые изде-

Таблица 25

Классификация изделий, изготовляемых обжатием

Группа		Класс I	Класс II
1	а		
	б		
2	а		
	б		
3	а	—	
	б	—	
4	а		
	б		
5	а		
	б		

лия, в которых перепады сечений выполнены под углом, равным углу заходного конуса бойков.

Степень обжатия при работе на обжимных машинах определяют по формуле

$$q = \frac{d_{заг} - d_1}{d_{заг}} 100\%,$$

где $d_{заг}$ — диаметр заготовки до обжатия,
d_1 — диаметр поковки после обжатия.

Поскольку инструмент обжимных машин является одноручьевым, обработку всегда желательно осуществлять за один переход, чтобы избежать смены инструмента.

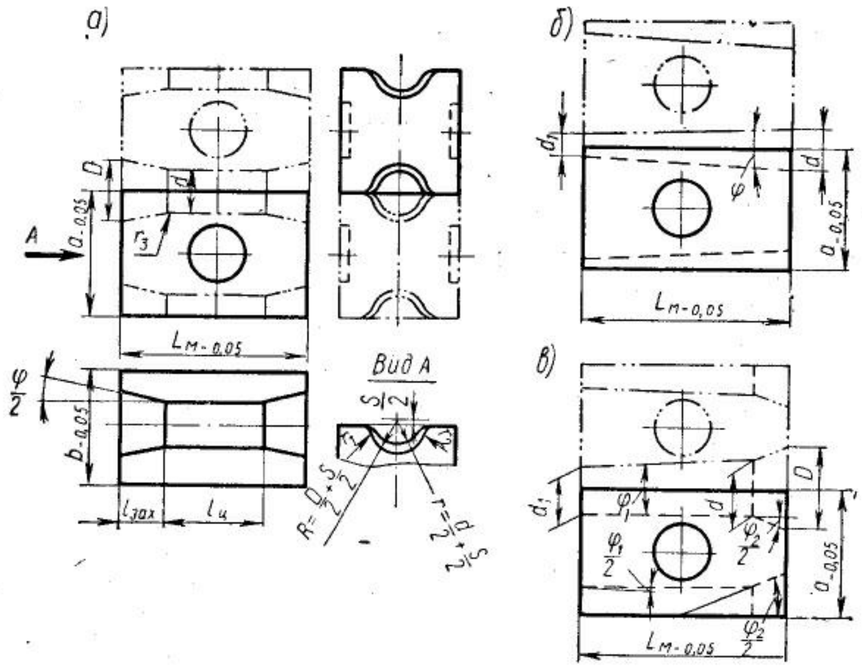


Рис. 281. Бойки ротационно-ковочной машины [99]

Протяжку следует назначать максимально допустимую и при конструировании заготовки учитывать возможность получения ее за один переход. При горячей обработке можно получить величину вытяжки 1,4 ÷ 1,7 при переходе с цилиндра на цилиндр и 1,5 ÷ 2,0 при коническом переходе от исходного к конечному, если такую вытяжку допускает обрабатываемый металл.

Конструкция бойков с заходным конусом, предназначенных для вытяжки поковки I класса, 1, *б* группы, представлена на рис. 281.

Угол заходной части φ назначают в пределах 7 ÷ 16°. Коническая заходная часть облегчает заталкивание заготовки в бойки. Задний конус способствует деформированию заготовки в ручье. Длина заходной части $l_{зах}$ определяется принятым углом конусности и величиной

протяжки с добавлением некоторого участка длины для облегчения заталкивания заготовки в бойки:

$$l_{зах} = \frac{d_{заг} - d_1}{\operatorname{tg}\frac{\varphi}{2}} + \frac{(0{,}5 \div 1{,}5)}{\operatorname{tg}\frac{\varphi}{2}},$$

где $d_{заг}$ — диаметр заготовки,
d_1 — конечный диаметр.

Длина цилиндрической части определяется выражением

$$l_ц = (1 \div 1{,}2)\, d_1.$$

Профиль ручья бойков (при одной паре бойков) выполняют овальным, путем расточки ручья с прокладкой толщиной (0,02 ÷ 0,15) d_1. Большие значения коэффициента соответствуют большим величинам протяжки и более пластичным сплавам. Кромки ручьев закругляют радиусами $r_1 = 0{,}5 \div 5$ *мм* и $r_2 = 0{,}3 \div 3$ *мм*. Радиус закругления на переходе от конических участков ручья к цилиндрическим принимают $r_з = 10 \div 15$ *мм*.

Формы бойков для обжатия на цилиндр показаны на рис. 281, *а*, а на пологий конус, длина которого не превышает длины бойков, — на рис. 281, *б* (без заходной части) и 281, *в* (с заходной частью для удобства подачи). Угол конусности в этом случае не должен превосходить углы трения для материала бойков и заготовки.

При обработке полых заготовок без оправки следует учитывать, что толщина стенки в процессе обжатия увеличивается пропорционально изменению наружного диаметра. Полые детали, как правило, изготовляют из трубных заготовок на оправках или без них (если внутренние размеры и толщина стенок детали не оговорены в чертеже). Для горячего обжатия используют горячекатаный прокат. В зависимости от формы изделий и технических условий на них возможно получение заготовки под обжатие также штамповкой, сваркой или механической обработкой.

§ 87. ВЫСАДКА НА ЭЛЕКТРОВЫСАДОЧНЫХ МАШИНАХ

На электровысадочных машинах осуществляют высадку с одновременным контактным электронагревом прутка и постепенной подачей его в зону деформации [99, 72]. Существуют две основные схемы высадки с электронагревом: со свободной высадкой и с закрытой высадкой в матрицу.

При свободной высадке (рис. 282, *а*) прутковая заготовка, упирающаяся в торцовый опорный контакт *1*, зажимается радиальными контактами *2*. За счет электросопротивления проходящему току участок прутка между торцевым и радиальными контактами нагревается и высаживается под действием усилия, приложенного к свободному концу прутка.

Соотношение усилий P_1 и P_2 такое, что пруток проскальзывает в радиальных контактах и его разогретый конец высаживается в головку, объем которой технологически не ограничен, что и отличает электро-

высадочную машину от горизонтально-ковочной, где объем металла в течение процесса остается постоянным.

Длина участка прутка, заключенного между торцевым и радиальными контактами, во избежание продольного изгиба не должна превышать допустимой для свободной высадки. Электровысадкой можно получать головки, используя длину прутка, равную 15 ÷ 20 и более диаметров [18].

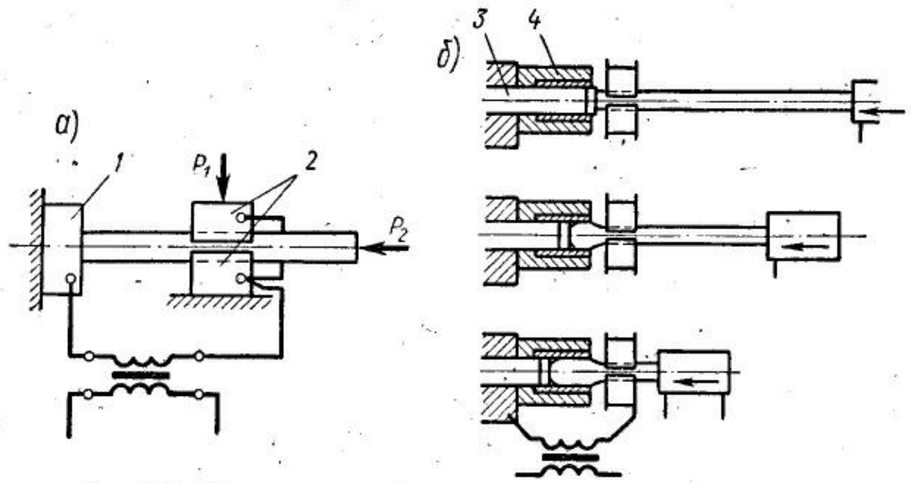


Рис. 282. Схема высадки на электровысадочной машине [99]:
а — свободная высадка; *б* — различные стадии процесса высадки в матрицу

Закрытая высадка в матрицу (рис. 282, *б*) позволяет получить поковки типа стержня с утолщением. Матрица *4* электрически изолирована от контактов. Торцевой контакт *3* выполняется подвижным для обеспечения необходимой длины утолщения при заполнении матрицы и ограничения длины высаживаемого участка в каждый данный момент.

Производительность машины ограничивается необходимостью совмещения нагрева и высадки.

Наиболее распространены горизонтальные электровысадочные машины, однако известны и вертикальные модели этих машин [72]. Современные электровысадочные машины имеют автоматизированные системы контроля нагрева и управления.

§ 68. ШТАМПОВКА НА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МОЛОТАХ

Высокоскоростные молоты применяют при штамповке труднодеформируемых металлов и сплавов, в основном для изготовления осесимметричных поковок [43]. Подвижные детали высокоскоростных молотов имеют небольшую массу, но перемещаются с большой скоростью (18—30 *м/сек*). Высокоскоростные молоты по сравнению с обычными паровоздушными значительно компактнее, требуют меньшей площади в цехах, не нуждаются в глубоких и сложных фундаментах.

Высокоскоростные молоты бывают вертикальной или горизонтальной конструкции. На рис. 283 приведена схема горизонтальной машины «Динапак».

В положении готовности к рабочему ходу (рис. 283, *а*) в камере находится азот, сжатый до 140 *атм*. Давлением масла, поступающего в золотниковую коробку *1*, затвор *3* прижат к соплу *4*. Поршень *5* прижат к перегородке, разделяющей камеры, газом низкого давления, заполняющим камеру *Б*. При этом сопло оказывается в центре кольцевого уплотнения, закрепленного на торцевой части поршня *5*. Для приведения машины в действие в сопло *4* пускают газ. Давление его на поршень ограничивается относительно небольшой площадкой, заключенной в кольцевом уплотнении поршня *5*. Величину давления

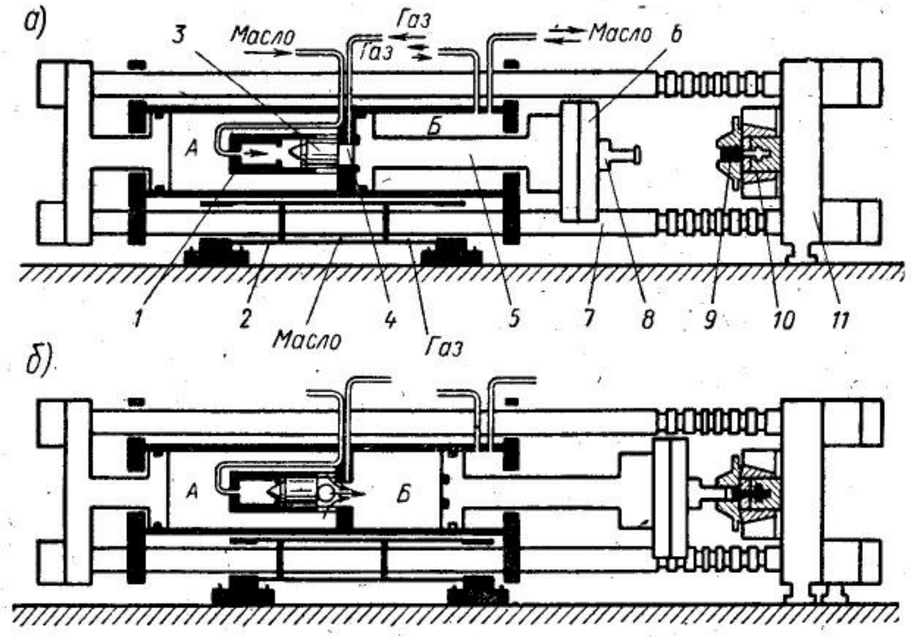


Рис. 283. Схема и принцип действия машины «Динапак»

подбирают таким образом, чтобы усилие, действующее на поршень справа, лишь немногим превышало усилие, действующее на него слева. При этом затвор *3* сдвигается влево и освобождает доступ газу высокого давления из камеры *А* в сопло *4* (рис. 283, *б*). Небольшой сдвиг поршня *5* вправо приводит к прорыву газа высокого давления за уплотнительное кольцо. В результате поршень *5* с большой скоростью перемещается вправо. Баба *6*, на которой укреплен пуансон *8*, движется по направляющим *7*. На плите *11* укреплен штамп *10*, в котором находится заготовка *9*. Возвращение поршня производится маслом, нагнетаемым в камеру *Б*; затем масло из камеры *Б* вытесняется газом, после чего цикл повторяется снова. Гидропневматический амортизатор *2* гасит энергию удара. Время цикла (в зависимости от размеров машины) составляет 30—60 *сек*, что обеспечивает производительность до 70—80 поковок в час.

На рис. 284 представлены поковки, полученные штамповкой на высокоскоростных молотах.

Основными преимуществами штамповки на высокоскоростных молотах являются:

1. Возможность получения поковок сложной формы за один удар, и только при штамповке особо труднодеформируемых сталей и сплавов число ударов повышается до двух-трех;

2. Возможность изготовления поковок без уклонов, с острыми углами и тонкими штампуемыми плоскостями, но не тоньше 0,5 ÷ ÷ 0,8 *мм*;

3. Возможность получения допусков в пределах ± 0,125 *мм*;

4. Экономия металла, поскольку объем заготовки подсчитывают по объему поковки с добавлением на заусенец самых минимальных размеров;

5. Сравнительная легкость автоматизации процесса, поскольку обычно штамповка производится в одном ручье и за один удар;

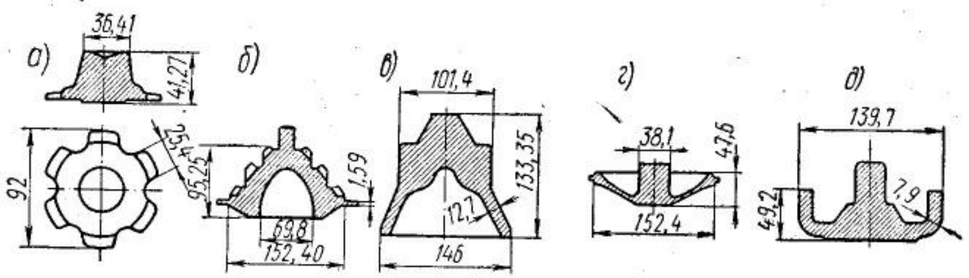


Рис. 284. Поковки, полученные за один удар [43]:

а — ступица маховика; *б* — буровая коронка; *в* — ступица; *г* — турбинный диск; *д* — сложная поковка

6. Повышение качества поковок из-за равномерной проработки структуры металла по объему заготовки.

Важнейшим недостатком, препятствующим широкому распространению штамповки на высокоскоростных молотах, является низкая стойкость штампов, обусловленная высокими удельными усилиями в полости.

Поскольку при штамповке выделяется большое количество тепла, возможен перегрев металла, особенно в тонких сечениях поковки. Поэтому, как правило, нагрев заготовок производится на 80—150° С ниже, чем при обычных способах штамповки. Способ нагрева должен обеспечивать минимальное окалинообразование, поскольку при высоких скоростях окалина может глубоко вдавливаться в поковку. В качестве смазки успешно применяют раствор суспензии графита в воде.

Применяют закрытые и открытые конструкции штампов, конструктивные элементы которых аналогичны прессовым штампам.

При конструировании рекомендуется: применять направляющие для пуансона с зазором в пределах 0,025—0,1 *мм* на сторону; конечное положение пуансона в матрице следует фиксировать упорами в целях обеспечения точности размеров поковки; выталкиватели и съемники следует применять в соответствии с формой поковок; допуски на усадку поковок можно принимать по обычным нормам.

§ 69. ВАЛЬЦОВКА

Вальцовка представляет собой протяжку заготовки продольной прокаткой в секторных штампах ковочных вальцов. Вальцовка является по существу прокаткой. Существенным преимуществом подобных процессов является то, что поверхность контакта заготовки с рабочими ручьями в каждый данный момент составляет малую часть полной поверхности заготовки. В результате, для осуществления процесса требуется значительно меньшее номинальное усилие, чем при штамповке деталей на прессах или молотах, когда штампы полностью контактируют со всей поверхностью штампуемой детали.

Ковочные вальцы относительно просты по конструкции, бесшумны в работе и высокопроизводительны, их можно использовать в механизированных поточных линиях. Рабочие органы вальцов — два валка,

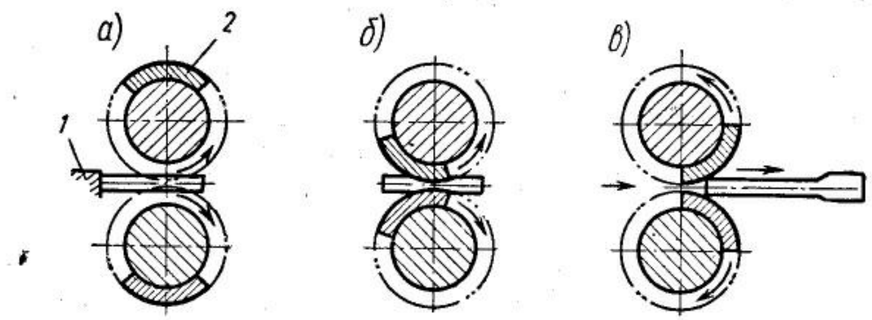


Рис. 285. Схема вальцовки:

а — подача заготовки до упора *1*; *б* — протяжка в секторном штампе *2*; *в* — выдача заготовки

вращающихся в противоположных направлениях. На валках закрепляют секторные штампы с ручьями. Обычно заготовка подается до упора в момент расхождения секторных штампов (рис. 285, *а*). Заготовка одновременно обжимается и движется в сторону вальцовщика (рис. 285, *б*). Такой вальцовкой получают заготовки для последующей штамповки и называется она формовочной [7].

При расположении ручьев по всей окружности валков, движение заготовки осуществляется от вальцовщика. Такая вальцовка применяется для изготовления штампованных поковок простой формы и называется штамповочной. За один оборот валков можно получить цепочку из 4—5 (и более) поковок.

В зависимости от способа крепления валков, ковочные вальцы подразделяют [43] на две основные группы — двухопорные и консольные.

Двухопорные вальцы имеют одноклетьевую конструкцию и применяются для формовочной и штамповочной вальцовки. Вальцы для формовочной вальцовки имеют диаметр валков 200—500 *мм*. На валках могут быть расположены секторы-штампы с 4—6 ручьями. Длина заготовки — не более половины длины окружности сектора — штампа. Вальцы для штамповочной вальцовки имеют диаметр валков 600—1000 *мм*. За один оборот валков может быть получена цепочка из

четырех-пяти (и более) отштампованных поковок. Валки двухопорных вальцов вращаются непрерывно со скоростью 25—50 *об/мин*. Рабочая ширина валков для существующих вальцов составляет 350—750 *мм*, наибольшая толщина (диаметр) переходных заготовок — 60 *мм*.

Консольные вальцы бывают одно, -двух-и трехклетьевые и, как правило, предназначаются для формовочной вальцовки, т. е. работают как заготовительные. Это объясняется тем, что консольное расположение валков дает возможность приблизить вальцы к оборудованию, стоящему справа от них. В этом случае заготовки после формовочной вальцовки с одного нагрева можно передавать на штамповку, например на кривошипный горячештамповочный пресс.

Консольные одноклетьевые вальцы по сравнению с двухопорными более быстроходны (100—110 *об/мин*). Их валки во время подачи заготовки неподвижны. Вальцы имеют педальное включение на один оборот или включаются автоматически при подаче заготовки до упоров, в которых вмонтированы контакты включателя. Консольные вальцы позволяют использовать штампы с 2—3 ручьями. Длина заготовок составляет не более $^3/_4$ длины окружности штампов.

Двухклетьевые консольные вальцы применяют для непрерывной формовочной вальцовки. Они имеют две пары валков, расположенных под углом 90°. Передача заготовки от клети к клети осуществляется самими валками.

Существуют также трехклетьевые консольные вальцы.

Последние два типа консольных вальцов применяют при крупносерийном и массовом производствах и в автоматических линиях [43].

Исходным материалом для вальцовки служат прутки круглого, квадратного и прямоугольного сечений.

Профиль, образуемый смежными вырезами ручьев в паре секторных штампов, носит название калибров, по аналогии с валками прокатных станов. Разъем поперечного профиля ручья между верхними и нижними штампами называется разделом калибра.

Если раздел калибров проходит параллельно оси вальцов, то калибр является открытым.

Если раздел калибров проходит в направлении, близком к вертикальному, то калибр является закрытым.

В секторных штампах форма калибра может меняться по дуге ручья. В этом случае калибр является комбинированным.

По виду получаемых поковок вальцовка разделяется на формовочную или заготовительную, отделочную и штамповочную [43].

Формовочная вальцовка, как указывалось, применяется как заготовительная операция для фасонирования заготовки при последующей штамповке. В зависимости от требуемого обжатия и формы получаемой поковки формовочная вальцовка бывает одноручьевая, многоручьевая и периодическая.

С помощью одноручьевой вальцовки [4] в открытом ручье в два или несколько проходов производят, например, оттяжку концов и протяжку части фасонных заготовок в ромбическом или (реже) в гладком ручьях. После каждого прохода заготовку поворачивают вокруг оси на 90°. При изготовлении фасонных заготовок для последующей штамповки

на молотах или прессах в закрытом ручье им придают форму, близкую к форме поковки в плоскости разъема.

Многоручьевую вальцовку производят в открытых калибрах или применяют комбинированную многоручьевую вальцовку в открытых и закрытых калибрах. Периодической вальцовкой получают фасонированный пруток с периодически повторяющимися участками одной и той же формы. Из прутка получают несколько фасонных заготовок для последующей штамповки на молоте или прессе.

Периодическая вальцовка может осуществляться с образованием заусенца и без него. Вальцовку с образованием заусенца при формовочной вальцовке применяют в том случае, когда вальцованная поковка должна иметь значительную разницу соседних поперечных сечений.

В общем случае протяжка при вальцовке определяется отношением площади поперечного сечения перед вальцовкой к площади ее поперечного сечения после вальцовки $y_п = \frac{F_{п-1}}{F_п}$.

Площадь поперечного сечения исходной заготовки определяется максимальной площадью поперечного сечения вальцованной заготовки. При вальцовке одновременно с удлинением происходит уширение заготовки. Уширение заготовки главным образом зависит от соотношения между формами исходной заготовки и калибра. Зависимость уширения от температуры, скорости, чистоты зеркала ручья и других факторов менее существенна. Так, при вальцовке полосы на круг возможна вытяжка до 2,0, но при вальцовке круга на круг вытяжка не превышает 1,2. Поэтому в целях получения максимальной вытяжки многоручьевую вальцовку участков заготовки круглого сечения на квадрат ведут, чередуя овальные и квадратные калибры.

При многоручьевой вальцовке, так же как и при одноручьевой, осуществляемой за один проход без заусенца, развертка ручья должна быть в среднем укорочена на 3,5 ÷ 6,5% по отношению к контуру готового изделия. Этим учитывается так называемое опережение металла при вальцовке, т. е. превышение скорости движения металла заготовки на выходе из ручья над линейной скоростью рабочей поверхности штампов во время вальцовки. Поскольку опережение, как и уширение, при вальцовке увеличивается с повышением температуры, верхний из указанных пределов относится к первым ручьям, а нижний к последним. Опережение, кроме того, уменьшается при увеличении диаметра валков и коэффициента внешнего трения и увеличивается с увеличением степени обжатия и скорости вальцовки [43, 60].

Для предотвращения изгиба заготовки при выходе из валков рекомендуется назначать раздел калибра при вальцовке симметричных профилей по оси симметрии, а несимметричных — по линии, делящей площадь поперечного сечения заготовки примерно пополам. Толщина раздела калибра обычно принимается в пределах 1 ÷ 3 *мм*. Зазор между штампами, а следовательно, и общая глубина вальцовочного ручья может регулироваться перемещением верхнего валка.

Отделочную вальцовку применяют для получения профильных заготовок, например турбинных лопаток с припуском по рабочей части до 0,15 ÷ 0,2 *мм* [43]. Обычно такую вальцовку производят вхолодную.

При этом способе вальцовки получают заготовки с окончательными размерами по толщине и профилю.

Штамповочную вальцовку применяют в основном при массовом и крупносерийном производствах для получения готовых мелких и средних поковок переменного сечения различной формы (в том числе иногда и достаточно сложной), например, гаечных ключей, плоскогубцев, звеньев транспортеров и т. д. Поковки получают в «ленте», по несколько штук, расположенных в длину (иногда расположенных рядом) и соединенных между собой заусенцем. Производительность процесса измеряется тысячами штук в смену.

§ 70. РАСКАТКА КОЛЬЦЕВЫХ ЗАГОТОВОК

Процесс получения поковок кольцевой формы на раскаточных машинах получил значительное распространение в промышленности, в частности при производстве колец подшипников. Схема процесса [99] показана на рис. 286, *а*. Заготовка представляет собой кольцо с меньшим диаметром и большей толщиной стенки, чем у поковки. После подведения к заготовке *2* быстро вращающегося валка *1* заготовка и валок *4* начинают вращаться. По мере увеличения наружного диаметра заготовки происходит ее контакт с направляющим роликом *5*, обеспечивающим получение правильной кольцевой формы поковки. После касания поковкой контрольного ролика *3* раскатка прекращается.

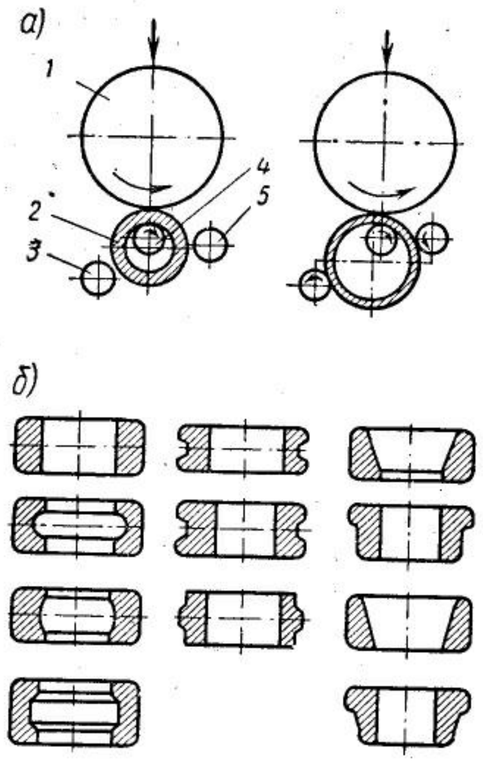


Рис. 286. Схемы начала и конца раскатки (*а*) и раскатанные поковки (*б*)

На рис. 286, *б* представлены кольца с различными формами поперечного сечения, зависящими от профиля валков. Нажимной валок имеет боковые кольцевые выступы (реборды), которые ограничивают ширину раскатанной заготовки.

Раскаткой получают поковки колец с наружным диаметром 70 ÷ 700 *мм* и шириной 20—180 *мм*. В зависимости от размеров колец допуск по наружному диаметру и ширине составляет соответственно 1 ÷ 6 *мм* и в полтора-два раза больше по внутреннему диаметру. Производительность раскаточных машин составляет 75 крупных и до 500 мелких поковок в час. Заготовки под раскатку получают штамповкой на горизонтально-ковочных машинах или на молотах. Размеры заготовки под раскатку определяют в зависимости от допустимого отношения толщины стенок заготовки к толщине стенок поковки:

$$K = \frac{D_{заг} - d_{заг}}{D_п - d_п},$$

где $D_п$ и $D_{заг}$ — наружные диаметры поковки и заготовки;

$d_п$ и $d_{заг}$ — внутренние диаметры.

Величина коэффициента K для поковок наружным диаметром меньше 100 *мм* составляет не более 1,5, для поковок диаметром более 100 *мм* K увеличивается до 1,7.

Внутренний диаметр заготовки назначают по формуле

$$d_{заг} = \frac{d_п}{K}.$$

Наружный диаметр определяют, исходя из равенства объемов поковки и заготовки с учетом угара. Раскатка заготовок колец диаметром свыше 700—800 *мм* производится на оборудовании, предназначенном для прокатки бандажей колес локомотивов или на специализированных раскаточных машинах, допускающих обработку поковок диаметром до 1300 *мм*.

ГЛАВА XIII

ОТДЕЛОЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ ПОСЛЕ ОБЪЕМНОЙ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ

К отделочным операциям, которые обычно производят в кузнечно-штамповочных цехах после объемной горячей штамповки, относятся обрезка заусенца и прошивка отверстий, очистка поковок от окалины, правка и калибровка.

§ 71. ОБРЕЗКА ЗАУСЕНЦА И ПРОШИВКА ОТВЕРСТИЙ

Обрезка заусенца. При горячей штамповке в открытых штампах образуется радиальный заусенец. Этот заусенец обрезают на обрезных, кривошипных и иногда гидравлических прессах.

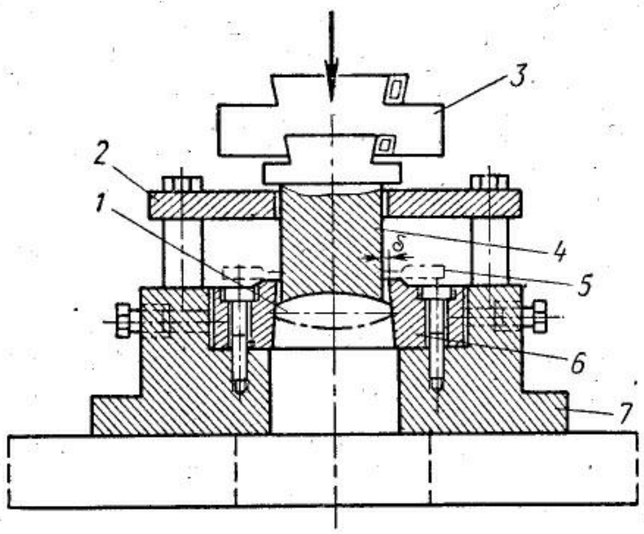


Рис. 287. Схема обрезного штампа

Схема процесса обрезки заусенца показана на рис. 287. Обрезной штамп состоит обычно из трех частей: обрезной матрицы *6*, обрезного пуансона *4* и нижней плиты *7*. Кроме этого, штамп может иметь съемник *2*, пуансонодержатель *3* и крепежные и регулировочные болты.

Поковка *1* укладывается в матрицу и движением пуансона проталкивается через нее. При этом заусенец *5* срезается. Режущим элементом здесь является матрица, а пуансон является подающим элементом.

Обрезка заусенца подразделяется на горячую и холодную. Крупные и средние по массе поковки, штампуемые на молотах с массой падающих частей более 1 *т*, имеют относительно толстый заусенец, который целесообразно обрезать в горячем состоянии, непосредственно после штамповки. Мелкие поковки с тонкими заусенцами легко обрезаются в холодном состоянии. При горячей обрезке обрезной пресс находится рядом с основной штамповочной машиной (молотом или прессом) и работает с ним в одном агрегате. Холодную обрезку заусенца производят в отделении для холодной обрезки, где устанавливают несколько обрезных прессов. Производительность при обрезке выше, чем при штамповке и поэтому при горячей обрезке обрезной пресс, как правило, недогружен. При холодной обрезке есть возможность устанавливать меньше обрезных прессов, чем молотов.

Обрезная матрица. Контур обрезной матрицы проектируется по контуру разъема поковки [116]. Однако это приводит к ухудшению условий горячей обрезки и необходимости заточки оставшейся части заусенца на поковке [30]. В момент окончания штамповки горячая поковка имеет размеры $a_{п.г}$ (рис. 288, *а*). Эти же размеры в момент обрезки $a_{п.о}$ будут меньшими, так как поковка остынет. Между контурами поковки и матрицы образуется зазор m и появляется заусенец после обрезки. Размеры зазора невелики, но они приводят к образованию утяжки и одностороннего среза. Для получения качественной обрезки, исключающей последующую заточку, необходимо производить обрезку с частичной зачисткой штамповочного уклона (рис. 288, *б*). Контуры обрезной матрицы $a_{к.о}$ для горячей обрезки можно рассчитать по формуле

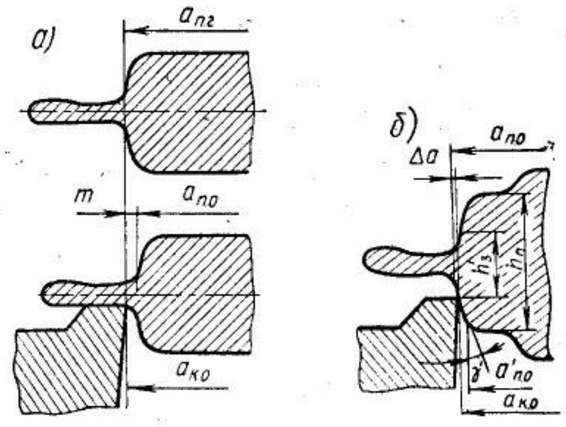


Рис. 288. Обрезка обычная (*а*) и с частичной зачисткой штамповочного уклона (*б*)

$$a_{к.о} = a_{п.о} - 2\Delta a.$$

Для круглых в плане поковок

$$\Delta a = (0{,}1 \div 0{,}2)\, h_п \operatorname{tg} \gamma'$$

и, соответственно,

$$h'_з = \frac{2\Delta a}{\operatorname{tg} \gamma'} = (0{,}2 \div 0{,}4)\, h_п,$$

где $h_п$ — высота элемента поковки, прилегающего к кромке матрицы;
$h'_з$ — высота зачищаемой части поковки;
γ' — штамповочный уклон.

Более подробно расчет размеров контура матрицы указан в [30], а конструкции матриц с остальными размерами в [43, 116].

Зазор между пуансоном и матрицей выбирают в зависимости от типа пуансона.

При режущем пуансоне (рис. 289, *а*) зазор рассчитывается по формуле $\delta = Kh_з$, где K — коэффициент, зависящий от материала поковки ($K = 0{,}08 \div 0{,}1$). Величина δ должна быть не менее 0,2 *мм* [43].

Давящий пуансон (рис. 289, *б*, *в*, *г*) непосредственно в процессе резания заусенца не участвует и поэтому величина зазора δ не влияет на качество поверхности реза.

Для обрезки заусенца у высоких поковок (рис. 289, *б*) при $h_п > 100$ *мм* контур пуансона делают не по контуру матрицы, а просто круглым или прямоугольным, перекрывающим в плане контур матрицы. Такой пуансон не должен входить в матрицу, по боковой поверхности он может не обрабатываться. Пуансон можно использовать для

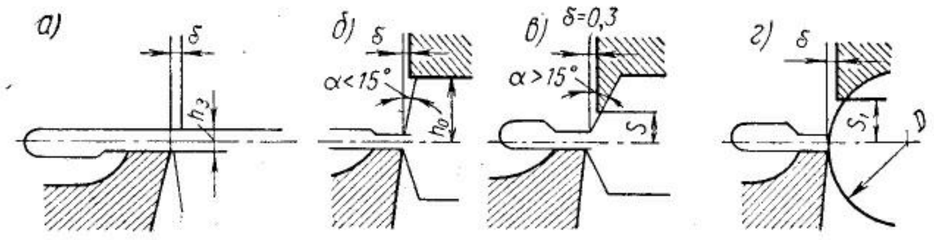


Рис. 289. Схемы к определению зазора δ между пуансоном и матрицей

группы поковок, обрезаемых на одном прессе. В этом случае зазор δ на отдельных участках контура матрицы может быть различным — положительным и отрицательным.

Для обрезки заусенца у невысоких поковок (рис. 289, *б*) необходим зазор, так как пуансон должен войти в матрицу. В этом случае, чтобы предотвратить зависание заусенца на пуансоне после горячей обрезки, необходимо выбирать δ не менее $1{,}0 \div 1{,}3$ *мм* на 100 *мм* размера поковки [30].

При обрезке заусенца у поковок с формой по рис. 289, *в* зазор $\delta = 0{,}3$ *мм*. Величину S рассчитывают по формуле [43, 116]

$$S = \frac{3{,}3 - 0{,}03\alpha}{\operatorname{tg}\alpha}.$$

В данном случае не исключается возможность затягивания заусенца в зазор δ и поэтому желательно изменить конструкцию поковки [30].

При обрезке заусенца у поковок по рис. 289, *г* зазор δ выбирают в зависимости от диаметра D. При $D = 20$ *мм* зазор $\delta = 0{,}3$ *мм*, при $D > 70$ *мм* $\delta = 1{,}5$ *мм* [43, 116]. Величину S_1 рассчитывают по формуле $S_1 = 0{,}2D + 1$ *мм*.

Зазор δ по всему контуру поковки обычно делают одинаковым. Это упрощает наладку штампа.

Обрезной пуансон. Главным в конструировании пуансона является правильная конструкция его рабочей поверхности, по которой он плотно контактирует с определенными участками поковки. На переходах от одного сечения поковки к другому обычно предусматривают зазоры. Пуансон не должен охватывать внутренние радиусы, выемки и т. д.

При горячей обрезке пуансон необходимо пригонять по свинцовой отливке поковки с окончательного ручья. Это основное правило. Но есть исключения [30]. Например, поковки типа шестерен, фланцев и другие следует сопрягать с пуансоном только по одной горизонтальной плоскости, примыкающей к боковой контурной поверхности поковки.

Съемники (см. рис. 287, поз. *2*) применяют для снятия заусенца с пуансона после обрезки. Правильный выбор зазора между пуансоном и матрицей часто обеспечивает нормальную работу штампа без съемников. Однако в случае, когда пуансон является режущим (см. рис. 289, *а*), заусенец всегда остается на пуансоне и съемник необходим. Съемник необходим также, когда контур обрезной матрицы сложный и несимметричный, хотя зазор δ достаточно велик. В этом случае заусенец также застревает на пуансоне.

Съемники имеют различную конструкцию. На рис. 287, поз. *2* показан жесткий съемник. Бывают также пружинные съемники [43, 116].

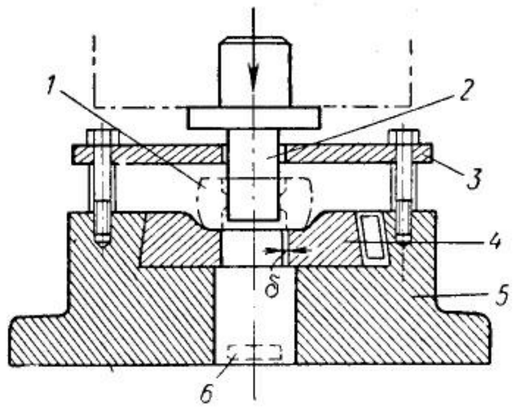


Рис. 290. Схема прошивного штампа

Прошивка пленок на поковках. Если в поковках есть сквозные отверстия, то при штамповке делают наметки с оставлением пленки (внутреннего заусенца) (поз. *6*, рис. 290). Эту пленку прошивают после штамповки аналогично тому, как обрезают заусенец. При этом применяют те же самые обрезные прессы. Толщина пленки значительно больше, чем толщина заусенца, поэтому прошивка происходит обычно в горячем состоянии. Схема прошивки показана на рис. 290. Прошивной штамп состоит из трех основных частей: прошивной матрицы *4*, прошивного пуансона *2* и нижней плиты *5*. При прошивке режущим элементом является прошивной пуансон, а матрица является направляющим и удерживающим поковку *1* элементом. Зазор между пуансоном и матрицей делают за счет матрицы. Диаметр пуансона берут равным диаметру отверстия в поковке с учетом усадки, считая что прошивка происходит при температуре 700—800° С. Для стали эта усадка равна $1 \div 1{,}2\%$. Зазор δ выбирают конструктивно в зависимости от формы прилегающего участка поковки ($\delta = 0{,}3 \div 3$ *мм*). Если пуансон и матрица являются режущими элементами аналогично обрезке заусенца по рис. 289, *а*, то зазор выбирается по формуле $\delta = Kh_з$, причем $\delta > 0{,}3$ *мм* [43, 116]. Обычно δ лежит в пределах $0{,}5 \div 1{,}5$ *мм*. При назначении δ следует учитывать, чтобы кромка матрицы выступала за кромку поковки на $0{,}5 \div 1{,}0$ *мм*, чтобы на поковке не получилось вмятины от кромки.

При прошивке поковка остается на пуансоне. Для снятия поковки применяют съемник (рис. 290, поз. *3*).

Конструкции прошивных штампов и нормализованные размеры основных деталей даны в [43, 116].

Сложные штампы для обрезки заусенца и прошивки отверстий. По конструкции сложные штампы можно подразделить на последовательные и совмещенные.

В последовательном штампе на верхней и нижней плитах отдельно устанавливают два комплекта матриц и пуансонов (обрезной и прошивной). Поковку передают от одного комплекта инструмента к другому, осуществляя требуемые операции, сначала обрезку и затем прошивку.

В совмещенных штампах, которые сложнее последовательных, производят обрезку и прошивку одновременно, за один ход пресса. Существуют также штампы, в которых наряду с обрезкой производится правка и другие операции.

Определение усилия обрезного пресса. Необходимое усилие пресса для обрезки заусенца или прошивки пленки определяют по формуле

$$P = \alpha\beta\sigma_{ср}S_{ср}p_{ср},$$

где α — коэффициент, учитывающий затупление инструмента и другие несовершенства процесса резки, $\alpha \approx 1{,}7$;
β — коэффициент запаса усилия пресса, $\beta = 1{,}1 \div 1{,}3$;
$\sigma_{ср}$ — предел прочности на срез, $\sigma_{ср} = 0{,}8\,\sigma_в$;
$S_{ср}$ и $p_{ср}$ — соответственно толщина и периметр среза.

Подставив численные значения коэффициентов и $\sigma_{ср}$, после умножения получим

$$P = (1{,}5 \div 1{,}8)\,\sigma_в S_{ср} p_{ср}.$$

Под толщиной среза следует понимать толщину заусенца или пленки с учетом части закругления и прибавления величины положительного отклонения допуска на размер поковки по высоте (на недоштамповку).

§ 72. ОЧИСТКА ПОКОВОК ОТ ОКАЛИНЫ

После штамповки на стальных поковках остается слой окалины, который необходимо очистить, так как этот слой препятствует последующей механической обработке и ухудшает качество поверхности поковок. Очистку поковок от окалины производят после обрезки заусенца, прошивки отверстий и термообработки поковки. Существует несколько способов очистки. Наибольшее применение имеют травление, галтовка и дробеметная очистка.

Травление применяют для очистки от окалины сложных и крупных поковок, которые могут получить коробления при других видах очистки. Травление заключается в том, что поковки окунают в раствор кислот следующего состава: на 1 литр воды 200 *г* серной кислоты, 150 *г* соляной кислоты и 10 *г* жидкой присадки КС, играющей роль стабилизатора процесса. Поковки выдерживают в растворе 15 *мин*. При этом кислота проходит через слой окалины и вступает в бурную

реакцию с металлом, образуя рыхлую пленку железного купороса. Эта пленка распирает окалину, последняя растрескивается и сваливается с поковки. Затем поковки поступают на промывку в баки с водой и щелочным раствором.

Для травления никелевых сталей раствор кислот делают более концентрированным.

Поковки из алюминиевых сплавов травят в щелочном растворе и затем осветляют в растворе азотной кислоты.

Производительность при травлении стальных поковок составляет 300 *кг* в час на 1 $м^3$ раствора кислот.

Очистка поковок от окалины травлением является самым дорогим и самым качественным способом.

Галтовку применяют для очистки от окалины мелких и средних по массе поковок простой формы, типа коротких валиков или шестерен без отверстий. Во вращающийся вокруг горизонтальной оси барабан загружаются поковки, а иногда также шары и чугунные звездочки. При вращении поковки ударяются о шары и звездочки и окалина отбивается. Недостатком способа является большой шум. Производительность стандартного барабана 2 *т* поковок в час.

Дробеметную очистку применяют для очистки от окалины мелких и средних поковок сложной формы. Сущность очистки состоит в том, что на очищаемые поковки из сопла с большой скоростью вылетает чугунная дробь (иногда проволочная насечка). При ударе дроби о поверхность поковки окалина сбивается. Поковки при этом должны поворачиваться разными сторонами относительно сопла, чтобы очистка произошла со всех сторон. Этот способ дает довольно хорошее качество очистки и имеет широкое распространение. Расход дроби составляет 2,5 ÷ 3,5 *кг* безвозвратных потерь (дробь крошится) на 1 *т* поковок. Недостатком является то, что имеющиеся на поковке дефекты в виде трещин могут быть забиты и в дальнейшем их трудно обнаружить.

§ 73. ПРАВКА ПОКОВОК

Штампованные поковки могут искривляться в процессе изготовления при удалении из ручья и при их транспортировке. В особенности часто поковки искривляются при обрезке заусенца и прошивке отверстий.

На изогнутых поковках при механической обработке в некоторых местах может не хватать припуска, а в других будет его избыток. Если изгиб мал и припуск всюду нормальный, или близок к нормальному, то правку не делают. В противном случае правка необходима.

Правку производят в горячем или холодном состоянии. Чаще используют холодную правку. В редких случаях производят и горячую, и холодную правку.

Горячую правку обычно применяют для простых поковок типа валиков и шестерен. В этом случае правку производят после обрезки заусенца в окончательном ручье ковочного штампа. Это приводит к снижению стойкости ковочного штампа и снижению производительности основной штамповочной машины. Горячую правку применяют, если поковки изготовлены из высокоуглеродистой или высоколегиро-

ванной стали, при холодной правке которых возможно появление трещин.

Если поковки сложные или имеют отверстия, то горячая правка таких поковок производится на специальных правочных штампах, устанавливаемых на другом оборудовании, расположенном в одной линии со штамповочной машиной. Правочный штамп делают одноручьевым. Ручей изготовляют по типу окончательного с упрощением формы и без заусенечной канавки.

При горячей правке в поковке не получается дополнительных остаточных напряжений от изгиба, но в дальнейшем горячую поковку необходимо транспортировать осторожно, чтобы она не изогнулась уже после правки. Чтобы избавиться от необходимости горячей правки целесообразно выявить и устранить причины изгиба поковок в процессе штамповки и обрезки.

Холодная правка является очень производительным и экономичным процессом. Она предпочтительнее горячей правки. Холодную правку производят после термообработки и очистки поковки от окалины. В большинстве случаев холодная правка выполняется на молотах с доской. Холодной правке подвергают сложные, преимущественно мелкие и средние по массе поковки. При холодной правке нельзя получить абсолютно неискривленную поковку. Всегда будет какое-то пружинение, и поковка останется изогнутой. Если эта изогнутость невелика и уложится в поле допусков, то применение холодной правки оказывается оправданным.

Правочный штамп для холодной правки аналогичен описанному для горячей правки.

Для крупных удлиненных поковок существует правка методом гибки на подкладках. Для этого применяют гидравлические одностоечные прессы.

Различные конструкции правочных штампов описаны в [43].

§ 74. КАЛИБРОВКА ПОКОВОК

Целью калибровки поковок является повышение точности размеров всей поковки или отдельных ее участков. При калибровке достигается улучшение поверхности и снижение колебаний массы поковки. В некоторых случаях калибровка может заменять обработку резанием, что приводит к снижению себестоимости деталей.

Калибровка получила значительное распространение в массовом и крупносерийном производстве стальных поковок.

Различают плоскостную и объемную калибровку.

Плоскостная калибровка (чеканка) служит для получения точных вертикальных размеров на одном или на нескольких участках поковки, ограниченных горизонтальными плоскостями (рис. 291, *а*).

Плоскостная калибровка производится в холодном состоянии на чеканочных кривошипно-коленных прессах.

Для получения положительных результатов калибруемые поковки должны удовлетворять некоторым требованиям. Во-первых, необходимо предусмотреть припуск на калибровку, поскольку калибровка

производится осаживанием соответствующих участков поковки, во-вторых, точность поковок после штамповки должна быть повышенной.

Величина припуска на калибровку зависит от результатов, какие желательно получить: при увеличении припуска снижается точность калиброванных размеров, но зато повышается качество поверхности.

Для низких поковок (до 10 *мм*) величину номинального припуска на размер рекомендуют 0,3 ÷ 0,6 *мм* в зависимости от диаметра или ширины обжимаемого участка. С увеличением толщины поковки номинальный припуск увеличивается примерно до 0,5 ÷ 1,0 *мм*. Если нужно повысить точность калибровки, то номинальный припуск уменьшают приблизительно вдвое.

Фактический припуск, как известно, зависит также и от допуска. Допуски на размеры поковок под калибровку рекомендуют от + (0,3 ÷ ÷ 0,4) до + (0,8 ÷ 1) *мм* соответственно приведенным ранее предельным значениям номинальных припусков.

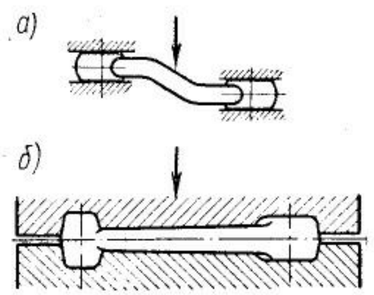


Рис. 291. Схемы процесса калибровки: *а* — плоскостная; *б* — объемная

Однако даже при соблюдении указанных выше припусков и допусков все же следует сортировать поковки перед калибровкой на группы с интервалами размеров в 0,3 ÷ 0,4 *мм*, если необходима особенно высокая точность, и производить переналадку пресса для каждой группы поковок.

Горизонтальные размеры поковок, подлежащих калибровке, следует назначать меньше номинальных, чтобы компенсировать их увеличение после калибровки.

Перед калибровкой поковки очищают от окалины. Поковки из алюминиевых сплавов и низкоуглеродистой стали калибруют без предварительной термической обработки. Поковки из других сортов углеродистой стали предварительно отжигают.

Усилие пресса, необходимое для плоскостной калибровки, можно определить, исходя из предположения, что калибровка по существу представляет собой холодную осадку с небольшой степенью деформации и с невысоким коэффициентом трения. Для вычисления необходимого усилия калибровочного пресса можно рекомендовать приближенные формулы, при выводе которых элементарные силы контактного трения принимались постоянными и равными произведению напряжения текучести на коэффициент трения.

Формула Зибеля для контактной плоскости, круглой в плане:

$$P = \sigma_s \left(1 + \frac{1}{3}\mu\frac{d}{h}\right)\frac{\pi d^2}{4}.$$

Формула Губкина для контактной плоскости в виде прямоугольника в плане:

$$P = \sigma_s \left(1 + \frac{3b-a}{6b}\mu\frac{a}{h}\right)ab,$$

где P — усилие деформирования;

σ_s — напряжение текучести;

d — диаметр контактной поверхности или диаметр вписанного круга, если ее форма правильный многоугольник, в частности квадрат;
h — высота поковки в зоне калибровки;
b — большая сторона прямоугольника;
a — меньшая сторона прямоугольника;
μ — коэффициент контактного трения.

Рекомендации в отношении коэффициента трения различны. Можно рекомендовать следующие значения μ [114]: для стали 0,12÷0,18 без смазки, 0,06÷0,10 со смазкой; для алюминиевых сплавов 0,25÷0,30 без смазки, 0,10÷015 со смазкой.

Для снижения удельных усилий калибровку следует производить со смазкой контактных поверхностей.

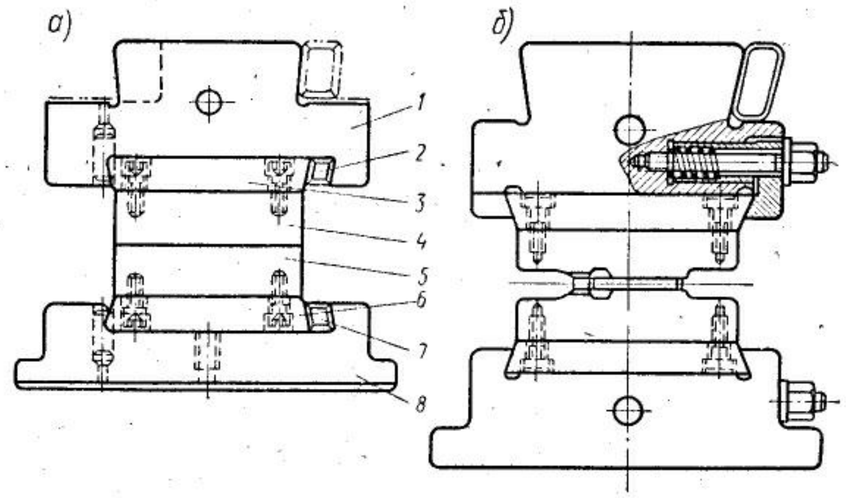


Рис. 292. Конструкции калибровочных штампов

Рабочими деталями калибровочных штампов (рис. 292) являются верхняя *4* и нижняя *5* калибровочные плитки из штамповой стали, которые прикрепляют болтами к промежуточным плиткам *3* и *6*. Последние в свою очередь крепят к верхней *1* и нижней *8* державкам с помощью клиньев *2* и *7* (как показано на рисунке) или болтами. Иногда применяют быстросменные крепления, подобно показанному на рис. 292, *б*.

Объемная калибровка (рис. 291, *б*) служит для уточнения размеров поковки в разных направлениях, а при выдавливании некоторого излишка металла в заусенец — и для получения точной массы. Различают иногда калибровку криволинейных поверхностей, которая приближается к объемной.

Точность объемной калибровки обычно ниже, чем плоскостной, но при ней охватывается вся поверхность поковки. Иногда применяют комбинированную калибровку — сперва объемную, а затем плоскостную, соединяя преимущества обоих способов.

Объемной калибровкой можно обрабатывать поковки как в холодном, так и в горячем состоянии. Холодную объемную калибровку производят так же, как и плоскостную на чеканочных кривошипно-коленных прессах. Удельные усилия объемной калибровки примерно в 1,5 ÷ 2 раза больше, чем плоскостной. Поэтому ее обычно применяют для мелких поковок.

Штампы для холодной объемной калибровки, как правило, выполняют с направляющими колонками, а калибровочные вставки для увеличения прочности часто запрессовывают в обоймы.

Горячую объемную калибровку производят на штамповочных молотах, винтовых фрикционных прессах, кривошипных горячештамповочных прессах. Последние являются наиболее подходящим оборудованием для горячей объемной калибровки.

Поковки направляют на горячую объемную калибровку после обрезки заусенца. Горячую объемную калибровку целесообразно производить с выдавливанием небольшого количества металла в заусенец, подлежащий последующей обрезке.

Поковки из цветных сплавов перед нагревом под горячую объемную калибровку следует подвергать очистке: поковки из титановых сплавов — дробью, поковки из алюминиевых и магниевых сплавов — травлением.

Размеры поковок, подлежащих калибровке, по ширине можно выполнять несколько меньше, а по высоте несколько больше окончательно требуемых. Однако соответствующую подгонку ручья ковочного штампа обычно удается сделать лишь опытным путем.

Горячую объемную калибровку осуществляют при температурах более низких, чем температура конца штамповки. Так, нагрев под объемную калибровку рекомендуется для стали до температуры 700—850° С, для алюминиевых сплавов — 300—400° С, для магниевых сплавов — 230—250° С. Таким образом, данный вид калибровки по существу следует называть «полугорячей» калибровкой, поскольку температуры нагрева лежат лишь немного выше или даже ниже порога рекристаллизации.

Штампы для горячей калибровки по конструкции не отличаются от ковочных штампов, применяемых на соответствующих машинах. Для повышения точности калибровки размеры ручьев следует назначать с учетом усадки при пониженных температурах нагрева. Канавку для заусенца выполняют упрощенной формы, без магазина. Штампы перед работой следует подогревать.

ГЛАВА XIV

ОСОБЕННОСТИ КОВКИ И ШТАМПОВКИ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ

§ 75. НЕКОТОРЫЕ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ И СПЛАВЫ И ИХ НАЗНАЧЕНИЕ

Для ковки и штамповки применяются многочисленные марки высоколегированных сталей и сплавов. При ковке и штамповке необходимо учитывать особенности каждой марки стали или сплава. Однако существуют и общие правила ковки и штамповки как для всех марок сталей и сплавов, так и для отдельных родственных групп. Кроме этого, при ковке и штамповке широкое применение имеют только ограниченные марки сталей и сплавов, поэтому в дальнейшем целесообразно рассмотреть именно эти группы и отдельные марки сталей.

К высоколегированным сталям относят такие, в которых содержание по крайней мере одного из легирующих элементов превышает 5%, а общее содержание их более 10% [122].

Основными легирующими элементами являются кремний, марганец, хром, никель, молибден, вольфрам, бор, алюминий, титан, ванадий, цирконий, ниобий, кобальт и медь. Все они в той или иной степени повышают прочность и твердость стали в холодном состоянии. Кремний, марганец, хром и кобальт снижают пластичность. Остальные элементы либо повышают пластичность, либо оказывают слабое влияние на пластичность в холодном состоянии. При высоких температурах почти все легирующие компоненты повышают сопротивление деформированию.

По назначению высоколегированные стали можно подразделить на высоколегированные инструментальные, инструментальные быстрорежущие, коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные.

Из сплавов большое значение имеют жаропрочные сплавы на никелевой основе.

К высоколегированным инструментальным сталям относятся стали Х12, Х12М, Х12Ф1, 3Х2В8Ф, 4Х2В8.

Стали Х12, Х12М и Х12Ф1 применяют для холодных штампов высокой устойчивости против истирания, например для волочильных досок, матриц и пуансонов вырубных и просечных штампов со сложной формой рабочих частей и т. д.

Стали 3Х2В8Ф и 4Х2В8 используют для изготовления матриц и пуансонов при горячих работах в тяжелых условиях нагрева и т. п.

К инструментальным быстрорежущим сталям относятся стали Р18, Р9, Р9Ф5 и другие. Быстрорежущие стали применяют для изготовления

резцов, фрез, сверл и другого режущего инструмента для механической обработки.

К коррозионностойким сталям относятся стали 2Х13, Х17, Х17Н13М2Т и др. Сталь 2Х13 применяют при изготовлении деталей с ударными нагрузками, таких как клапаны гидравлических прессов, и деталей, подвергающихся действию слабо агрессивных сред (атмосферные осадки, водные растворы солей и т. д.). Сталь Х17 используют для оборудования азотнокислых заводов и заводов пищевой промышленности.

Сталь Х17Н13М2Т рекомендуется для изготовления деталей и конструкций, работающих в условиях действия кипящей фосфорной, муравьиной, молочной и уксусной кислот и т. п.

К жаростойким сталям относятся, например, стали 4Х9С2 и 3Х13Н7С2, из которых изготавливают клапаны автомобильных и тракторных двигателей.

К жаропрочным сталям относятся стали 1Х12Н2ВМФ, 1Х16Н13М2Б, Х23Н18 и др. Первые две марки стали применяют для дисков, лопаток роторов и других нагруженных деталей. Сталь Х23Н18 используют для деталей химической и нефтяной промышленности, для газопроводов и камер сгорания.

Жаропрочные никелевые сплавы используют для изготовления дисков и лопаток газовых турбин, камер сгорания и т. п.

76. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОВКИ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ И СПЛАВОВ

Общие положения [103, 43]. При разработке технологии ковки прежде всего выбирают оборудование. Для ковки высоколегированной стали и сплавов чаще всего следует предпочесть пресс, а не молот. Ввиду малой скорости деформирования при ковке на прессах разупрочняющие процессы, возврат и рекристаллизация, происходят полнее и упрочнение снимается. В противном случае деформация не будет полностью горячей и из-за пониженной пластичности высоколегированных сталей и сплавов материал может перейти в хрупкое состояние [51].

Для каждой марки стали и сплава необходимо выбирать соответствующий общий уков слитка, что во многом определяет последующее качество материала поковок. Большое влияние оказывает качество слитка, которое определяется в основном способом его отливки.

Следует также учитывать и массу слитка. Иногда из слитка получают только одну поковку и масса слитка требуется минимальной. Иногда возможно получить несколько поковок из большого слитка.

Подготовку слитков и заготовок к ковке производят очень тщательно. Все поверхностные дефекты слитка значительно снижают его пластичность и должны быть удалены. Очистку поверхности производят огневой зачисткой или вырубкой пневматическим зубилом, а очень часто поверхность полностью обрабатывают на обдирных станках.

Перед нагревом под ковку слитки и заготовки многих марок высоколегированной стали и сплавов подвергают предварительному отжигу, цель которого — снятие остаточных напряжений в заготовке, повыше-

ние пластичности, снижение неравномерности химического состава и разрушение хрупкой ледебуритной оболочки по границам зерен (в сталях карбидного и аустенитного классов) [110]. Кроме предварительного отжига с той же целью выполняют промежуточный отжиг.

Температурный интервал ковки и штамповки высоколегированных сталей и сплавов узкий, и это необходимо учитывать при ковке. Обычно увеличивают число подогревов при ковке и количество выносов, что требует увеличения количества печей, приданных одному прессу или молоту.

Нагрев перед ковкой производят с предосторожностями, по этапам, с длительной выдержкой в конце нагрева. Из-за низкой пластичности и теплопроводности высоколегированных сталей и сплавов при комнатной температуре и возможности появления различных дефектов на первом этапе нагрева, желательно, чтобы слитки для нагрева под ковку поступали в горячем состоянии сразу же после их отливки, с температурой на поверхности не ниже 600° С.

При ковке следует учитывать пониженную технологическую пластичность. Необходимо правильно выбирать форму и размеры бойков. Следует предпочесть протяжку в вырезных бойках. В некоторых случаях целесообразно применить выдавливание слитков [95].

Первоначальную ковку слитка следует проводить с особыми предосторожностями, так как литая структура менее пластична, чем деформированная. Степени деформации вначале дают очень небольшие.

Стали Х12, Х12М и Х12Ф1 содержат от 1,5 до 2% углерода, около 12% хрома и другие легирующие компоненты. Эти стали обладают низкой пластичностью и высоким сопротивлением деформированию. Масса слитка составляет от 100 до 400 *кг*, но могут быть и более крупные слитки. Температурный интервал ковки узкий, от 1000÷1100 до 900÷850° С. Верхний предел температуры ковки ограничен тем, что в литом состоянии по границам зерен находится сетка хрупкой ледебуритной эвтектики, которая имеет температуру плавления 1150÷1160° С. Задачей ковки является раздробление этой эвтектики, а нагрев выше температуры 1150° С приводит к восстановлению сетки эвтектики по границам зерен. Теплопроводность этих сталей весьма низкая, поэтому продолжительность нагрева резко увеличена. Ковка производится вначале в вырезных бойках с легкими обжатиями. При образовании трещин ковку приостанавливают и трещины вырубают.

Стали 3Х2В8Ф и 4Х2В8 содержат углерода 0,3 ÷ 0,4%, 2% хрома и 8% вольфрама. Они имеют пониженную пластичность и высокое сопротивление деформированию. Масса слитка до 1200 *кг* и более. Температурный интервал ковки составляет 1160 ÷ 850° С. Ковка особых трудностей не вызывает. В связи с большим сопротивлением деформированию необходимо относительно более мощное оборудование. Охлаждение производят в штабелях, так как поковки обычно мелкие.

Стали Р18, Р9 и Р9Ф5 содержат 0,8—1,0% углерода, около 4% хрома и вольфрама соответственно 18,9 и 9%. Сталь Р9Ф5 содержит 5% ванадия, а другие стали 1÷2,5%. Масса слитка от 30 до 400 *кг* и более (до 2000 *кг*). Структура стали в сыром состоянии представляет собой

сорбит, на фоне которого расположены кристаллы карбидов. У литой стали первичные карбиды располагаются по границам зерен. Содержание карбидов увеличивается к середине слитка. Карбидная сетка эта весьма устойчива и термообработкой почти не разрушается.

Основным назначением ковки, как и для сталей типа Х12 является раздробление карбидной сетки и более равномерное размещение карбидов в теле заготовки.

Отлитые слитки вместе с изложницей подвергают медленному охлаждению. После этого дают предварительный отжиг при $t = 850°$ С, который снимает остаточные напряжения в слитке, но карбидов не размельчает. После отжига слитки обдираются на станках, причем снимается слой толщиной 10 ÷ 15 *мм* для удаления наружных дефектов. После обдирки дополнительно тщательно вырубают обнаруженные пороки, трещины. Ширина вырубки должна быть в 3 раза больше ее глубины, а длина примерно в 6 раз больше ширины. Края вырубленной канавки должны быть пологими. Температурный интервал ковки от 1150÷1200 до 900÷1000° С.

Теплопроводность литой быстрорежущей стали примерно в 3 раза меньше теплопроводности низкоуглеродистой стали, поэтому нужен осторожный нагрев, особенно если не было предварительного отжига слитка.

Температура печи перед посадкой слитков и заготовок примерно 600 ÷ 700° С.

Обычно в печи дают несколько выдержек: при посадке в печь; при $t \approx 650°$ (фазовые превращения); при $t = 950°$ С; при ковочной температуре.

Слиток массой 30 *кг* нагревают за 6,5 *ч*, а массой 1200 *кг* — за 35 *ч*.

Кованая или катаная заготовка имеет бóльшую теплопроводность, чем литая сталь. Чувствительность ее к быстрому нагреву меньше, что дает возможность увеличивать скорость нагрева.

Быстрорежущая сталь имеет большую склонность к обезуглероживанию и сильному окалинообразованию, поэтому следует избегать, излишнего пребывания заготовок в печи в зоне высоких температур.

Предварительный обжим при ковке и начало протяжки ведут с небольшой степенью укова, равного 1,1 ÷ 1,2. Это нужно для того, чтобы продеформировать поверхностный слой, более чувствительный к трещинам. После первой легкой проковки слиток возвращают в печь для подогрева, который обеспечивает снятие остаточных напряжений, возникающих при дроблении карбидной сетки.

После подогрева повторную деформацию выполняют с небольшими обжатиями, которые дают дробление карбидной сетки внутри слитка.

Затем следует повторный подогрев, после которого ковка ведется до заданного профиля. При ковке под молотом иногда образуются рванины в углах слитка, которые удаляют при помощи специальных зубил. Возможность удаления трещин на углах слитка в самом начале деформирования является большим преимуществом ковки перед прокаткой. Рванины обычно получаются при ковке заготовок, остывших до температуры 1000—950° С, или при низком качестве слитков. Дальнейшая ковка ведется нормальной протяжкой на квадрат с пред-

варительной обрубкой прибыльной и донной частей. Если при протяжке нужно получить круглое сечение, то дают протяжку с квадрата на круг того же диаметра, что и сторона квадрата.

Желательно предварительную ковку вести в вырезных бойках.

Для лучшей проковки в дальнейшем рекомендуется рубка на заготовки. Рубку производят осторожно, с трех сторон. Затем выполняют первую осадку на диаметр в 1,5 раза больший диаметра заготовки перед осадкой, дают протяжку на прежний диаметр и вторую осадку на тот же диаметр, что и при первой осадке. Наконец выполняют протяжку на прежний диаметр.

После ковки заготовки медленно охлаждают во избежание холодных закалочных трещин в печах или ящиках с горячей золой. Далее заготовки отжигают. Выемку заготовок после охлаждения производят при температуре не выше 150° С.

Из таких заготовок в дальнейшем ведут ковку нужных поковок, например, поковок резцов, фрез и т. д.

Общий уков должен быть не менее 10.

Если ковка проведена правильно, то микроструктура поковки представляет собой сорбит с мелкими зернами карбидов.

Температура окончания ковки предварительно кованой заготовки должна находиться в пределах 900 ÷ 920° С, а слитка — 975 ÷ 1000° С. При температуре ниже 900° С ковка недопустима, так как заготовка разрушается из-за низкой пластичности.

При ковке быстрорежущей стали часто получаются внутренние круговые и крестообразные трещины, которые объясняются грубой карбидной ликвацией, наличием неразрушенной сетки в середине, чрезмерно большими подачами и ковкой с круга на круг.

При ковке желательно не допускать образования острых ребер, углы следует сбивать, чтобы избежать образование поперечных трещин.

Коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные стали. Эти стали принадлежат к разным классам. Сталь Х17 содержит до 0,12% углерода и 17% хрома и принадлежит к ферритному классу. Стали 2Х13, 4Х9С2, 3Х13Н7С2 и 1Х12Н2ВМ содержат 0,15 ÷ 0,4% углерода и принадлежат к мартенситному классу. Стали Х17Н13М2Т, 1Х16Н13М2Б и Х23Н18 содержат до 0,1 ÷ 0,2% углерода и принадлежат к аустенитному классу.

Стали ферритного класса не имеют фазовых превращений. В результате длительных выдержек при нагреве получают крупнозернистое строение, которое сохраняется и при деформировании ввиду высокой скорости рекристаллизации. Поэтому важно соблюдать температурный интервал и режим ковки. Верхний предел температур ковки 1120° С, а нижний предел 820° С. Ферритные стали можно охлаждать на воздухе.

Стали мартенситного класса отличаются повышенным сопротивлением деформированию, однако ковка их не вызывает больших осложнений. Температурный интервал ковки от 1150 ÷ 1200 до 900÷950° С. Охлаждение этих сталей производят в неотапливаемых колодцах с выемкой поковок при температуре не выше 200° С.

Стали аустенитного класса отличаются очень низкой теплопроводностью, которая в 2,5 раза меньше теплопроводности низкоуглеродистой стали. Отсюда требуется медленный нагрев слитков и заготовок.

Стали отличаются большей склонностью к транскристаллизации, когда в слитке образуются крупные кристаллы на всю толщину от периферии к оси. Стали обладают большим сопротивлением деформированию и малой скоростью рекристаллизации. Пластичность и сопротивление деформированию в области температур 1050÷850° С меняется мало. При $t = 1100°$ С пластичность растет, а сопротивление деформированию снижается. Однако рекристаллизация и рост зерен быстро ускоряются при $t = 1150 \div 1200°$ С. При горячей обработке давлением эти стали упрочняются. Нагрев слитков производят до температур 1200÷1220° С, а деформированных заготовок до 1080÷1180° С. Ковку оканчивают при 870÷925° С ввиду высокого сопротивления деформированию. Ковке подвергают слитки массой 800÷1200 *кг*, но есть и более крупные — до 12 *т*. Уков равен 5. Охлаждение аустенитных хромоникелевых сталей производят на воздухе.

Из слитка обычно отковывают заготовку, которая имеет большое количество поверхностных дефектов. Для удаления дефектов дают обдирку.

Жаропрочные аустенитные стали с высоким содержанием хрома и никеля имеют узкий температурный интервал ковки. Температура окончания ковки 900 ÷ 950° С, так как при $t \leqslant 900°$ С пластичность стали сильно снижается, ввиду малой скорости рекристаллизации. Температура начала ковки 1150° С. При температуре выше 1150° С наблюдается красноломкость, вызываемая расплавлением эвтектики, окружающей зерна литой стали. При температуре 1250÷1300° С происходит полное расплавление эвтектики. При ковке сетка эвтектики разрушается, но если кованую заготовку нагреть до температуры 1200° С, то эвтектика образуется вновь. Режим ковки сходен с ковкой быстрорежущей стали. Дают небольшие подачи и легкие нажатия в начале ковки. Охлаждение — на воздухе, так как стали не имеют фазовых превращений.

Жаропрочные никелевые сплавы отличаются высоким сопротивлением деформированию и низкой технологической пластичностью. Поэтому для протяжки рекомендуется применять вырезные бойки с радиусом выреза, близким к радиусу протягиваемого слитка. Это предохраняет от образования продольных трещин. Для предохранения от образования поперечных трещин при протяжке рекомендуется скруглять бойки радиусом $r = (0{,}2 \div 0{,}25)\ R_{заг}$, где $R_{заг}$ — радиус протягиваемой заготовки. Поперечные трещины возникают вследствие растягивающих напряжений в металле в месте перехода от недеформируемой к деформируемой его части. Чем меньше радиус скругления бойков, тем выше эти напряжения [43].

Особое внимание уделяют качеству поверхности слитка. Все дефекты удаляют.

Первые обжатия делают небольшими и по мере проковки слитка их увеличивают. Относительное обжатие за проход, исключая первое,

должно составлять не менее 8%. При меньших обжатиях металл в средней части слитка не будет прокован. Однако слишком большие обжатия приводят к трещинам ввиду малой технологической пластичности сплавов. Поэтому при ковке на прессах рекомендуются обжатия в пределах 8 ÷ 15%, причем при относительно низких температурах обжатия уменьшают. Общая величина обжатия зависит от сплава и лежит в пределах 40 ÷ 80%.

Температура нагрева перед ковкой обычно составляет 1100 ÷ ÷ 1150° С, а температура окончания ковки 950° С.

При ковке особое внимание следует обращать на операции подсечки, пережима и прочие, так как при этих операциях могут возникать трещины. Чтобы избежать этого, обжатия дают небольшие, инструмент хорошо подогревают и рабочие участки на нем выполняют с большими закруглениями. При ковке применяют защитные кожухи для сохранения тепла заготовки.

При изготовлении поковок осадкой, когда например, изготавливают диски, предварительно делают протяжку для того, чтобы разрушить литую структуру, так как даже большая степень осадки не дает нужной проковки. Уков при предварительной протяжке должен быть не менее четырехкратного. Осадку необходимо получить более равномерную, для чего применяют смазки, в том числе содержащие стекло, а также осадку заготовок «стопкой» по нескольку штук одновременно. Иногда применяют нагретые прокладки из листовой низкоуглеродистой стали, играющие роль своеобразной смазки. Степень деформации при осадке должна быть не менее 20 ÷ 25% [43].

§ 77. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ШТАМПОВКИ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ И СПЛАВОВ

Для штамповки используют преимущественно прокатанные или прессованные прутки. Прутки предварительно обрабатывают на обдирных станках для снятия поверхностных дефектов. После этого прутки режут на заготовки. Температурный интервал ковки и штамповки высоколегированных сталей и сплавов и нагрев были рассмотрены выше. При этом следует иметь в виду, что заготовки представляют собой более пластичный, продеформированный материал и имеют небольшие размеры по сравнению со слитками.

При нагреве необходимо предохранить заготовки от окисления. Чаще всего с этой целью применяют стеклянные смазки или газ аргон. В некоторых случаях целесообразно комбинировать применение стеклянных смазок и аргона. Поверхность заготовки покрывают суспензией стеклянной смазки, которая высушивается. При нагреве в печи стеклянная смазка оплавляется и образует плотную защитную пленку. Кроме этого, в печь вводится чистый инертный газ аргон, который дает дополнительную защиту от окисления.

Узкий температурный интервал и высокое сопротивление деформированию ограничивают возможность штамповки жаропрочных сплавов по обычным схемам штамповки [43]. При штамповке поковок с большой разницей в площадях поперечных сечений заготовке предварительно придают требуемую форму при дополнительном одном или нескольких нагревах. При штамповке поковок турбинных лопаток на КГШП предварительно дают высадку утолщения на ГКМ. Часто необходимо применять предварительный ручей, так как степень деформации ограничена. Чтобы повысить равномерность деформации при штамповке применяют подогрев штампов до температуры 200 ÷ ÷ 400° С и различные смазки. Выше упоминались стеклянные смазки. При штамповке применяют также графитомасляные суспензии и суспензии с двусернистым молибденом. Однако последние имеют высокую стоимость [43]. При разработке переходов штамповки необходимо следить за тем, чтобы деформации были выше критических.

Из применяемых схем штамповки наиболее предпочтительна штамповка жаропрочных сталей и сплавов выдавливанием. Особенно можно отметить процесс выдавливания турбинных лопаток. Заготовки отрезают от полосы и за один переход получают лопатки с тонким профилированным пером, а при штамповке в разъемных матрицах — и с закрученным пером. Другими примерами могут служить штамповка выдавливанием выпускных клапанов автомобилей, поршней мотоциклов и т. д.

ГЛАВА XV

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА КОВАНЫХ И ШТАМПОВАННЫХ ПОКОВОК

§ 78. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Качество поковок определяется точностью их геометрической формы и размеров, механическими свойствами, структурой и отсутствием поверхностных и внутренних дефектов. Получение качественных поковок зависит от правильной разработки чертежа поковки, проектирования и выполнения технологического процесса ковки или штамповки, а также организации работы технического контроля, в задачи которого входит не только выявление, но и предупреждение брака. Наряду с производственными операциями, в технологические карты вносятся операции контроля, которые должны разрабатывать технологи, проектирующие технологический процесс.

При разработке чертежа поковки необходимо обеспечить ее технологичность, т. е. такое сочетание основных элементов конструкции поковки, которое наиболее просто обеспечивает ее бездефектное и экономичное изготовление в производстве и высокие качества при последующей эксплуатации деталей. Например, при слишком тонких ребрах и полотнах в поковке, а также недостаточных радиусах закругления, могут возникнуть складки и зажимы на стыках ребер, прострелы (расслоения) и поднутрения у их основания, незаполнение ребер, недоштамповка полотна и т. п. В отдельных случаях, в целях упрощения поковки и облегчения ее изготовления, целесообразно пересмотреть чертеж готовой детали.

Правильной разработкой технологического процесса должны быть обеспечены наилучшие режимы обработки с учетом свойств деформируемых материалов, чтобы избежать нарушений сплошности или получения неоднородной структуры, ухудшающей механические свойства поковок. В сложных случаях штамповки предусматривают подготовку заготовок на ковочных вальцах или применение в качестве заготовки периодического проката с соответствующим распределением металла для устранения возможности появления складок, зажимов и утяжки. Необходимо выполнять требования к толщине заусенца и линии разъема, а также учитывать технологию обработки и рационально конструировать штампы. При разработке процессов автоматической штамповки необходимо предусмотреть выполнение дополнительных требований к промежуточной форме и размерам поковок после предварительной штамповки, чтобы обеспечить их

надежный захват автоматическими устройствами для передачи в следующий ручей штампа.

В производственных условиях причинами брака могут быть: дефекты исходного материала, неправильная резка и нагрев заготовок и отклонения от правильного технологического процесса. Таким образом, даже отлаженный технологический процесс требует непрерывного наблюдения и контроля во всех его звеньях. В крупносерийном производстве целесообразно применять статистический контроль штампованных поковок и режимов их обработки, позволяющий поддерживать высокий уровень качества и однородности изделий без полной проверки многих размеров, применяя лишь выборочную приемку или же пользуясь только статистическими наблюдениями [24, 25, 43].

§ 79. ВИДЫ БРАКА И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА КОВАНЫХ ПОКОВОК

Причиной брака кованых поковок являются наружные и внутренние дефекты стального слитка. Такие дефекты, как трещины, поверхностные включения и раковины, плены, пузыри, усадочная раковина и рыхлость, пористость, инородные включения и флокены при ковке не устраняются и переходят в поковки.

Неправильный нагрев перед ковкой приводит к образованию чрезмерно большого количества окалины (в крупных слитках слой окалины достигает толщины 12—15 *мм*), которая при ковке вдавливается в металл и образует глубокие вмятины на поковках. В случае недогрева заготовок на последних переходах ковки могут возникнуть трещины из-за недостаточной пластичности металла.

Перегрев заготовок или чрезмерная продолжительность их выдержки в печи при ковочной температуре, как и окончание ковки при высоких температурах, приводят к крупнозернистости и снижению механических свойств поковок. Перегретые поковки можно исправить последующей термообработкой.

Нагрев до более высоких температур (для стали 1350° С) ведет к неисправимому браку — пережогу, при котором происходит окисление или оплавление по границам зерен с потерей пластических свойств материала.

В результате выгорания углерода при неправильном нагреве высокоуглеродистой стали на поковке образуется обезуглероженная поверхность глубиной, превышающей припуск на обработку, следствием чего является пониженная твердость поверхности изделия после термообработки.

При ковке возможно образование зажимов (складок) из-за неудаленных заусенцев, оставшихся после рубки прибыльной и донной частей слитка или после горячей рубки заготовок на части. Зажимы образуются также при неправильных приемах протяжки и разгонки. В результате интенсивной протяжки заготовки круглого сечения, недостаточного прогрева заготовки или при малой массе падающих частей молота на концах поковки возникают вогнутые торцы (брак по «голенищу»). При несоблюдении температурного режима ковки

или недоброкачественном исходном материале образуются наружные трещины. Внутренние разрывы (свищи, расслоения) чаще всего возникают вследствие неправильного процесса ковки. При низкой температуре окончания ковки в поверхностных слоях поковки образуется наклеп, приводящий к повышенному короблению и трещинам при последующей обработке резанием. При ковке возможно появление кривизны длинных поковок, смещение осевой зоны слитка, вмятины, а также могут быть не выдержаны размеры и показатели механических свойств. При недостаточной проковке слитков в поковке остается крупная кристаллическая литая структура, обусловливающая низкие механические свойства.

Для измерения размеров поковки в процессе ковки по переходам и контроля готовых поковок используют универсальные и специальные измерительные инструменты. К универсальным инструментам относятся: метрические линейки, рулетки, кронциркули, нутромеры, штихмасы и другие простейшие инструменты. Для контроля поковок, изготовляемых повторяющимися партиями, применяют специальные измерительные инструменты — шаблоны и скобы. Шаблоны бывают прутковые — для измерения общей длины поковок или заготовок, профильные — для контроля размеров между уступами и расположения уступов в осевом направлении и контурные — для проверки основных габаритов и внешнего контура поковок сложной формы. Для замеров толщины горячих поковок в процессе ковки пользуются предельными скобами, укрепляемыми на специальных державках, и регулируемыми скобами. При производстве поковок с большим количеством ковочных переходов применяют специальные шаблоны и скобы, рассчитанные на проверку каждого перехода.

Для контроля механических свойств кованых поковок на них предусматривают напуски для вырезки образцов, по которым определяют предел прочности, предел текучести, относительное удлинение или сжатие, ударную вязкость и твердость и сравнивают полученные значения с заданными ГОСТом или техническими условиями [103, 43].

§ 80. ВИДЫ БРАКА И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ШТАМПОВАННЫХ ПОКОВОК

Исходные заготовки для штамповки поковок получают из проката различных профилей. Причинами брака поковок являются несоответствие химического состава или профиля материала, поверхностные дефекты материала (риски, волосовины, закаты, плены), расслоения, шлаковые включения и флокены.

При резке заготовок возможно несоответствие их по длине при неправильной установке упоров или неполной подаче прутка до упора, а также косой срез, скол, заусенцы и искривление конца заготовки вследствие неправильной величины зазора между ножами. При резке крупных профилей, особенно зимой, появляются торцевые трещины. Их появление можно предотвратить подогревом проката перед резкой до 300° С.

Из-за неправильного нагрева заготовок перед штамповкой возникают те же виды брака, что и при нагреве перед ковкой. Для стальных штампованных поковок характерно состояние перегрева (они штампуются при 1250÷1100° С) и, как правило, все они подвергаются нормализации для исправления последствий перегрева и улучшения механических свойств. При быстром нагреве высоколегированных сталей и цветных сплавов в заготовках образуются трещины.

На штампованных поковках могут быть вмятины от окалины глубиной до 3 *мм* и забоины от механических повреждений при удалении из штампа и перебросе горячих поковок. В результате удара по поковке, неправильно уложенной в нижний штамп, возникает «ломбой». При недостаточных нагреве, количестве ударов или массе падающих частей молота образуется незаполнение чистового ручья у выступов, углов, закруглений и ребер или недоштамповка — увеличение всех размеров поковки по высоте в направлении рабочего хода. Неисправности направляющих в машине и штампе вызывают перекос — смещение одной половины поковки относительно другой в плоскости разъема.

Зажимы образуются из-за резких ударов при протяжке или подкатке заготовок (рис. 293, *а*), несоответствия чернового ручья чистовому (рис. 293, *б*), а также при эксцентричной укладке заготовок в штамповочные ручьи.

На поковках может быть несрезанный остаток заусенца, повышенная кривизна, отклонение от допуска на размер и отклонение по длине.

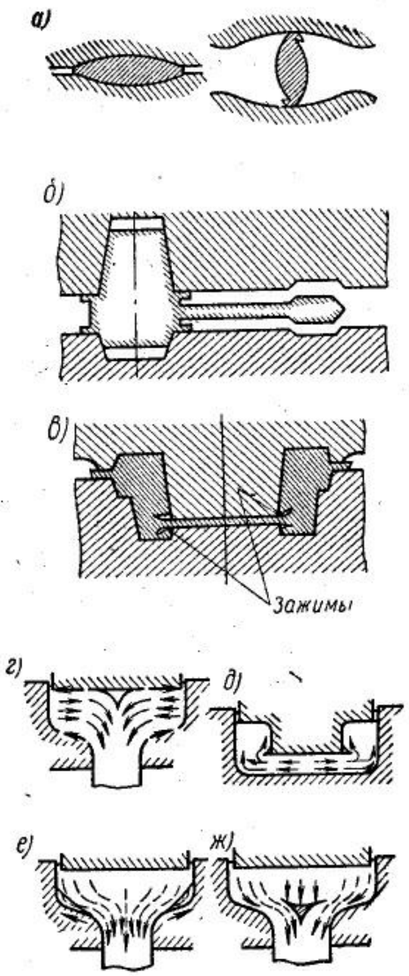


Рис. 293. Виды брака штампованных поковок [43]

При штамповке на КГШП возможно незаполнение полости штампа, коробление поковок при выталкивании, след от толкателя, увеличенный размер из-за повышенного износа штампа в месте наиболее интенсивного течения металла и зажимы типа «прострел» от истечения металла из перемычки или пленки в тело поковки (рис. 293, *в*).

Из-за неправильного течения металла при штамповке выдавливанием возникает «утяжка» (рис. 293, *г*), прострел (рис. 293, *д*), наружные и внутренние сколы (рис. 293, *е*, *ж*).

Брак поковок возникает также из-за ошибок при конструировании штампов, неправильной термообработки и очистки поковок от окалины.

Контроль штампованных поковок производят на всех этапах их изготовления, начиная с контроля исходных заготовок.

Химический состав металла проверяется лабораторным химическим анализом, спектральным анализом с помощью стилоскопов, стиломеров или спектроскопов, сравнительным анализом по искре, возникающей при соприкосновении металла с переносным абразивным кругом и термоэлектрическим анализом [43]. Проверяют размеры профиля и визуально контролируют поверхностные дефекты.

При нагреве контролируют время выдержки. При индукционном нагреве контролируют потребляемую индуктором мощность. Для контроля температуры заготовок применяют оптические пирометры и термопары.

Для контроля размеров штампованных поковок используют измерительные инструменты. Из универсальных инструментов применяются штангенциркули, штангенвысотомеры, штангенглубиномеры, индикаторные кронциркули, радиусомеры, щупы и др. Для всесторонних измерений первых и последних поковок, снимаемых со штампа, производят их разметку на контрольной плите с применением поверочных призм, струбцинок и штангенрейсмуса. Для повышения производительности контроля применяют специальный инструмент — скобы, шаблоны и контрольные приспособления.

Контрольные приспособления состоят из базирующего, зажимного и измерительного устройств и разделяются на наладочные, показывающие фактические размеры поковок, и приемные, фиксирующие лишь попадание размеров поковки в допуск или выход из допуска. Пропускная способность приемных контрольных приспособлений составляет 300—1500 измерений в 1 час.

После термической обработки поковки подвергают контролю твердости по Бринеллю. Из проверенных по твердости поковок отбирают пробы (2 ÷ 5 поковок из партии) для металлографического анализа и механических испытаний наиболее ответственных изделий.

Внешние дефекты на поковках выявляют визуальным осмотром. Для определения внешних дефектов на ответственных поковках применяют магнитный и люминесцентный методы контроля. Последний заключается в следующем. Поковки погружают в смесь автола с керосином, которая проникает в трещины. После чего поковки окунают в бензин на 5 ÷ 10 *сек* и промывают в горячей воде. При этом смесь автола с керосином смывается с поверхности поковки, но остается в глубоких трещинах. Промытые и высушенные поковки опыляют очень тонким порошком окиси магния (магнезией) и в затемненной кабине освещают ультрафиолетовыми лучами (ртутной кварцевой лампой). При освещении автол с керосином в трещинах излучает ярко-белый свет, а вся поковка темнофиолетовый свет.

Применение метода вихревых токов позволяет контролировать химический состав, твердость, трещины, структурное состояние, внутренние напряжения в поковках и размеры их сечения.

Внутренние дефекты в поковках определяют ультразвуковым методом контроля и просвечиванием лучами Рентгена (рентгенодефектоскопией) [103, 24, 43].

ГЛАВА XVI

ПЕРСПЕКТИВЫ СВОБОДНОЙ КОВКИ И ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

Большое значение в развитии технологии свободной ковки и объемной штамповки имеют средства нагрева. Учитывая большую общность нагрева при свободной ковке и объемной штамповке, целесообразно подразделить вопрос о перспективах развития свободной ковки и объемной штамповки на три части: пути развития нагрева перед ковкой и объемной штамповкой; пути развития свободной ковки; пути развития объемной штамповки.

Пути развития нагрева перед ковкой и объемной штамповкой. В настоящее время наиболее широко распространен пламенный нагрев. При свободной ковке другие виды нагрева стальных слитков и заготовок практически не применяют.

При горячей штамповке кроме пламенного нагрева используют индукционный нагрев и контактный нагрев (электросопротивлением).

Основная задача нагрева — снижение угара металла и обезуглероживания поверхностного слоя успешно решается применением индукционного и контактного электронагрева. Однако и пламенный нагрев будет совершенствоваться.

При свободной ковке пламенный нагрев на долгие годы останется основным видом нагрева. Топливом будет служить природный или искусственный горючий газ. Получат развитие скоростной и безокислительный виды пламенного нагрева [74]. Большее применение найдет нагрев в камерных печах электросопротивления, в которых легко создается защитная атмосфера.

Количество пламенных печей, устанавливаемых к молотам и прессам (на единицу оборудования), будет постоянно расти, в связи с применением все более легированных сталей и сплавов и увеличением времени нагрева. Однако шире будут применяться и крупные механизированные методические печи для целых групп молотов и прессов, когда требуется массовое производство кованых поковок.

При объемной штамповке быстрое развитие получат индукционный и, особенно, контактный электронагрев. Эти виды нагрева дают минимальный отход металла на угар и коренным образом улучшают условия и культуру труда в кузнечно-штамповочных цехах.

Контактный электронагрев имеет ближайшую перспективу развития в связи с тем, что в настоящее время найдены материалы для контактов, обладающие большой стойкостью. Контактный электронагрев будет применяться также и при мелкой свободной ковке. Его можно также использовать в качестве встроенного нагрева, действующего в одной системе с ковочной машиной и инструментом, наподобие электровысадочных машин.

Получит развитие скоростной и безокислительный пламенный нагрев. Возможно найдет большее применение нагрев металла в кипящем слое [10], который позволяет резко увеличить скорость нагрева и уменьшить окалинообразование.

Пути развития свободной ковки. Развитие свободной ковки идет в направлении приближения операций ковки к штамповочным операциям и получению большей точности кованых поковок.

Тенденция получения при свободной ковке точных поковок соответствует экономической целесообразности. С развитием свободной ковки все более выгодно становится получать точные поковки, близкие по форме и размерам к готовым деталям, что приводит к уменьшению расхода металла и резко снижает необходимость в последующей обработке резанием, а в конечном итоге — себестоимость деталей. При этом себестоимость поковки может даже возрастать.

Таким образом, главным направлением в развитии свободной ковки является приближение форм и размеров поковок к формам и размерам готовых деталей.

Основными задачами свободной ковки являются: повышение точности кованых поковок, снижение припусков, допусков и напусков; экономия металла; улучшение качества продукции; увеличение производительности труда; улучшение условий труда.

Задача повышения точности кованых поковок, снижения припусков, допусков и напусков решается путем применения специальных устройств для контроля положения траверзы и быстрой остановки гидравлического пресса в фиксированном положении [62, 76].

Повышение точности поковок может быть достигнуто совершенствованием конструкций ковочных прессов, расчетом их параметров на основе более полного учета требований современной технологии ковки [96].

Эта задача решается также применением специализированного ковочного инструмента при ковке и разработкой новых конструкций гидропрессов с остановкой траверзы в заданных фиксированных положениях при ковке. Точность повышается также вследствие применения подкладных штампов, секционных штампов и т. д.

Задача экономии металла решается путем рационализации технологии ковки, применением межзаводской технологии, ковано-сварных и ковано-литых, сварных конструкций поковок, безприбыльных и малоприбыльных слитков и т. д.

Задача улучшения качества продукции связана с получением необходимой уковки и улучшением технологии ковки, обеспечивающей повышенное качество материала поковки и соответствующее работе детали расположение волокон. Улучшения качества можно добиться также более рациональным варьированием термического режима ковки, в частности применением ковки с подстуживанием.

Задача увеличения производительности труда решается, главным образом, механизацией процессов ковки, созданием автоматизированных участков свободной ковки, состоящих из гидравлического пресса с манипулятором, управляемых с пульта управления.

Повышение производительности труда в большой степени зависит от конструкции пресса, увеличения числа его ходов, повышения скорости рабочего хода, применения, кроме продольных, также и поперечных инструментальных столов и других усовершенствований [28].

Большую роль в повышении производительности труда может сыграть специализирование агрегатов по операциям свободной ковки, например специализирование на вытяжных работах.

Улучшение условий труда достигается правильной организацией труда в цехе, строительством новых, более совершенных зданий цехов, оборудованных совершенной аэрацией. Улучшение условий труда достигается также более полной механизацией и автоматизацией процессов ковки.

Пути развития объемной штамповки. Объемная штамповка должна получить более высокие темпы развития, чем свободная ковка. Удельный вес штампованных поковок в ближайшее десятилетие возрастет с 60 до 70—80% от массы кованых и штампованных поковок.

Так же как и при свободной ковке, основным направлением развития объемной штамповки, основной задачей является повышение точности поковок.

Другими задачами в развитии объемной штамповки являются: экономия металла, повышение производительности труда, улучшение качества штампованных поковок и улучшение условий труда.

Задача повышения точности решается, в основном, путем применения более совершенного штамповочного оборудования, обеспечивающего получение повышенной точности при штамповке. Таким оборудованием в настоящее время являются кривошипные горячештамповочные прессы. Кузнечно-штамповочное производство предъявляет к этим прессам требования максимально возможной жесткости и надежности. Повышение точности штамповки прямо зависит от повышения жесткости КГШП.

Точность штамповки будет повышена также и при работе на молотах, для чего найдут применение новые, более точные и жесткие молоты.

Точность штампованных поковок во многом определяется также конструкцией штампов и применяемой технологией. Не последнюю роль при этом играет повышение весовой точности исходных заготовок.

Задача экономии металла при объемной штамповке решается применением таких процессов, как штамповка в закрытых штампах, штамповка выдавливанием, малоотходная штамповка, формовочная вальцовка [70, 7], электровысадка, радиальная ковка, применением штампо-сварных поковок [63] и др.

Задача повышения производительности при штамповке решается механизацией и автоматизацией процесса штамповки. В ближайшее время будет автоматизирована штамповка на КГШП и ГКМ. Более широкое применение найдут многопозиционные штамповочные автоматы и штамповочная вальцовка.

Улучшения качества штампованных поковок можно добиться улучшением технологии, разработкой таких переходов, которые обеспечат наилучшее расположение волокон металла в детали. Этот крупнейший резерв повышения долговечности деталей и облегчения их массы используется явно недостаточно.

Применение штамповочных линий, совмещенных с термообработкой и правкой, а также с последующей механической обработкой позволит повысить производительность, точность и качество поковок и деталей.

Улучшение условий труда при горячей штамповке достигается комплексом мероприятий по росту культуры производства, механизацией и автоматизацией производства. Применение электронагрева и замена ударных машин на безударные (в смысле шума и сотрясений) являются основными мероприятиями по улучшению условий труда.

Наша советская социалистическая промышленность находится на подъеме. Резкое повышение качества выпускаемой продукции является главной задачей промышленности. В выполнении этой задачи крупное значение имеет дальнейшее развитие кузнечно-штамповочного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алтыкис А. В. Определение усилия деформирования при секционной штамповке поковок типа дисков. Кузнечно-штамповочное производство, 1959, № 5.

2. Алтыкис А. В., Шофман Л. А. Способ штамповки крупных деталей типа дисков. Авт. свид. № 103. 958, Бюлл. изобрет. № 7, 1956.

3. Апарович С. А. и Гуревич Р. Е. Безоблойная штамповка на молотах и фрикционных прессах, МДНТП, 1957.

4. Аристов В. М. Работа на ковочных вальцах. Энциклопедический справочник. Т. 6, М., Машгиз, 1947.

5. Атрошенко А. П. Роль Ленинграда в развитии кузнечно-штамповочного производства. Сб. «Кузнечно-штамповочное производство». Под ред. Камнева П. В., Лениздат, 1957.

6. Атрошенко А. П., Стельмаков С. М., Хесин С. М. Прогрессивная технология штамповки на молотах и прессах. М.—Л., «Машиностроение», 1964.

7. Атрошенко А. П. Технология горячей вальцовки. Л., «Машиностроение», 1969.

8. Бабенко В. А., Бойцов В. В., Волик Ю. П. Объемная штамповка. Атлас схем и типовых конструкций штампов. М., «Машиностроение», 1965.

9. Балясный И. М. Исследование уширения при раскатке поковок. «Кузнечно-штамповочное производство», 1961, № 2.

10. Баскаков А. П., Берг Б. В. и др. Исследование горения природного газа в высокотемпературном кипящем слое. «Кузнечно-штамповочное производство», 1970, № 3.

11. Бережковский Д. И. Критерий способности металла к ковке и объемной штамповке. «Вестник машиностроения», 1967, № 4.

12. Березкин В. Г. К расчету вытяжки под плоскими бойками. «Вестник машиностроения», 1954, № 5.

13. Березкин В. Г. Кузнечная вытяжка под плоскими бойками. Сб. трудов МВТУ им. Баумана, Машины и технология обработки металлов давлением. Под ред. Зимина А. И., 1955, № 40.

14. Бобков А. А. Новый метод определения веса заготовки при свободной ковке. Сб. трудов Московского станкоинструментального ин-та. Оборудование и технология штамповки и ковки. Под ред. Мещерина В. Т., М., Машгиз, 1955, № 3.

15. Богдан А. Д. Рецензия на книгу А. Н. Брюханова и А. В. Ребельского. «Горячая штамповка». «Автомобильная и тракторная промышленность», 1954, № 12.

16. Богданов В. Н. Применение сквозного индукционного нагрева в промышленности. М., Машгиз, 1957.

17. Британские патенты № 637—337, 646—691 и 697—734.

18. Брюханов А. Н. Ковка и объемная штамповка. М., Машгиз, 1960.

19. Брюханов А. Н., Ребельский А. В. Горячая штамповка. Конструирование и расчет штампов. М., Машгиз, 1952.

20. Бялковская В. С. Основные направления специализации кузнечного производства. М., Машгиз, 1961.

21. Вязников Н. Ф., Хорошайлов В. Г., Попандопуло А. Н. О нагреве под штамповку стальных заготовок в соляных ваннах. «Вестник машиностроения», 1960, № 2.

22. Ганаго О. А. и Тарновский И. Я. Безоблойная штамповка на молотах. Свердловск. Машгиз, 1955.

23. Горячая штамповка выдавливанием на кривошипных прессах РМ 37—006—67. Рук. темы Н. Л. Соколов, НИИТавтопром, 1967.

24. Гостев В. И. Качество штампованных поковок и методы предупреждения брака в кузнечных цехах. М., Машгиз, 1947.

25. Гостев В. И. Статистический контроль качества продукции. М., «Машиностроение», 1965.

26. Гущина И. И. Безокислительный нагрев сталей и сплавов. «Кузнечно-штамповочное производство», 1965, № 4.

27. Данилевский В. В. Русская техника. Лениздат, 1949.

28. Добринский Н. С. и Прозоров Л. В. Современные направления в развитии ковочных прессов. «Вестник машиностроения», 1959, № 6.

29. Дорохов Н. Н. и Златкин М. Г. Технологические процессы ковки крупных поковок. М. — Свердловск, Машгиз, 1950.

30. Евстратов В. А., Васильченко А. В. О конструировании обрезных штампов. «Кузнечно-штамповочное производство», 1964, № 5.

31. Екимов К. К., Макринов В. Д., Суханов Г. И. Изготовление поковок под ковочными молотами и прессами. Библиотечка кузнеца-новатора. М., Машгиз, 1958.

32. Журавлев А. З. Возможности штамповки детали в закрытых штампах на молотах и кривошипных прессах. «Вестник машиностроения», 1964, № 11.

33. Залесский О. И. Некоторые особенности изготовления поковок методом выдавливания. Сб. «Опытные работы по штамповке выдавливанием». МДНТП, 1958.

34. Залесский В. И., Цвентарный А. М., Корнеев Д. М. и Жуков А. А. Разработка и исследование установки для гидравлического удаления окалины с нагретых заготовок. «Кузнечно-штамповочное производство», 1963, №1.

35. Замбурский И. В. Секционная штамповка крупногабаритных деталей. Министерство тяжелого машиностроения, ЦБТИ, 1956, № 11.

36. Златкин М. Г. Кузнец свободной машинной ковки. М., Машгиз, 1951.

37. Златкин М. Г. и др. Справочник рабочего кузнечно-штамповочного производства, М., Машгиз, 1961.

38. Зуев М. И. и др. Пластичность стали при высоких температурах. Металлургиздат, 1954.

39. Ильин М. М., Михин Т. А. Ускоренный нагрев высоколегированных нержавеющих и жаропрочных сплавов под ковку и штамповку. «Кузнечно-штамповочное производство», 1959, № 4.

40. Камнев П. В. Основные задачи кузнечно-штамповочных цехов ленинградских заводов. Сб. «Кузнечно-штамповочное производство». Под ред. Камнева П. В., Лениздат, 1957.

41. Кирсанова С. Б. Исследование процесса течения металла при осадке в кольцах. Сб. трудов МВТУ им. Баумана. «Машины и технология обработки металлов давлением». Под ред. А. И. Зимина, 1951.

42. Ковка и объемная штамповка стали. Справочник под ред. Сторожева М. В. Т. I, М. «Машиностроение», 1967.

43. Ковка и объемная штамповка стали. Справочник под ред. Сторожева М. В. Т. II, М., «Машиностроение», 1968.

44. Ковка и термическая обработка. Сб. УЗТМ, Машгиз, 1958.

45. Ковка крупных поковок. Под ред. Трубина В. Н., Тарновского И. Я. М., Машгиз, 1962.

46. Ковка крупных поковок. Под ред. Трубина В. Н. и Шелехова В. А. М., «Машиностроение», 1965.

47. Колтун С. И., Боринский М. Л., Катков Л. И. и др. Малая механизация кузнечно-прессовых цехов. М., Машгиз, 1960.

48. Копытов В. Ф. Нагрев стали в печах. М., Металлургиздат, 1955.

49. Копытов В. Ф. Печи безокислительного нагрева металла за рубежом. «Вестник машиностроения», 1959, № 3.

50. Кордюков В. П. Опыт изготовления крупных поковок свободной ковкой, Машгиз, 1965.

51. Корнеев Н. И., Скугарев И. Г. Пластическая деформация высоколегированных сплавов. Оборонгиз, 1955.

52. Корнеев Н. И. и Скугарев И. Г. Основы физико-химической теории обработки металлов давлением. М., Машгиз, 1960.

53. Кузелев М. Я., Скворцов А. А. Нагрев металла под ковку и штамповку в пламенных печах. Судпромгиз, 1960.
54. Куроедов В. А. Безокислительный нагрев стали в печах открытого пламени. «Кузнечно-штамповочное производство», 1959, № 1.
55. Куроедов В. А. Нагрев стали в пламенных печах для ковки и штамповки. НТО Машпром, 1964.
56. Линц В. П. Вопросы точности штамповки на мощных гидравлических прессах. Сб. материалов Всесоюзной научно-технической конференции «Повышение качества, надежности и долговечности кузнечно-прессовых машин», 1966.
57. Линц В. П. Получение штампованных поковок повышенной точности на мощных гидравлических прессах. «Вестник машиностроения», 1966, № 11.
58. Любвин В. М. Обработка деталей ротационным обжатием. Машгиз, 1959.
59. Машина для резки прутков. Французский патент № 1 228 880.
60. Мартынов В. Н. Исследование процесса штамповки в вальцах. М., Машгиз, 1952.
61. Медвинский В. Г. Новое приспособление для прошивки крупных поковок на парогидравлических прессах. «Кузнечно-штамповочное производство», 1966, № 8.
62. Мещерин В. Т. и др. Использование радиоактивных изотопов в кузнечно-штамповочном производстве. Сб. трудов Московского станкоинструментального ин-та. Машгиз, 1962, № 6.
63. Мещерин В. Т. Некоторые положения по штампосварным деталям. Сб. трудов Московского станкоинструментального ин-та «Оборудование и технология штамповки и ковки». Машгиз, 1955, № 3.
64. Морковкин Б. В. Безоблойная штамповка поковок типа шестерен на механических ковочных прессах. «Технология автомобилестроения», 1959, № 4.
65. Мошнин Е. Н. Гибка, обтяжка и правка на прессах. М., Машгиз, 1959.
66. Мошнин Е. Н. и др. Специализированные процессы штамповки. Общественный университет, НТО Машпром, 1962.
67. Мошнин Е. Н., Золотухин Н. М. Определение усилия осадки поковок. «Кузнечно-штамповочное производство», 1960, № 6.
68. Нагрев крупных слитков. ЦНИИТМАШ, кн. 66. Под ред. Куроедова В. А., М., Машгиз, 1954.
69. Нейштадт З. Ф. Условия применения и параметры высадочного ручья при штамповке на молотах. Технология машиностроения. Ковка и штамповка. УЗТМ. Обмен техническим опытом. М., Машгиз, 1952.
70. Никольский Л. Н., Гаврилов М. Е., Кузнецов А. В. и др. Опыт и пути внедрения вальцовки заготовок под последующую штамповку. «Кузнечно-штамповочное производство», 1963, № 8.
71. Оболдуев Г. Т., Петров Л. Н., Суханов Г. И. Ковка под молотами и прессами. М. — Л., «Машиностроение», 1964.
72. Орхименко Я. М. Технология кузнечно-штамповочного производства. М., «Машиностроение», 1966.
73. Передовой опыт ковки. Сб. статей под ред. Камнева П. В. Лениздат, 1959.
74. Подгурский Л. В. Безокислительный нагрев металлов и его применение в промышленности. «Кузнечно-штамповочное производство», 1970, № 9.
75. Покровский В. Б. Дозирование заготовок под штамповку весовым методом. Сб. трудов Московского станкоинструментального ин-та. Под ред. Мещерина В. Т., М., «Машиностроение», 1964, № 7.
76. Полонский М. В. Автоматизация ковочных прессов с помощью измерителя поковок с радиоизотопным датчиком СШТ-11. Сб. Московского станкоинструментального ин-та. Под ред. Мещерина В. Т., М., «Машиностроение», 1964, № 7.
77. Прозоров Л. В. Ковка высоколегированных сталей. Сб. «Прогрессивная технология кузнечно-штамповочного производства», М., Машгиз, 1952, № 31.
78. Радюченко Ю. С. Ротационная ковка, М., Машгиз, 1962.
79. Ребельский А. В., Брюханов А. Н. Конструирование и расчет штампов для горячей штамповки, Т. I, Машгиз, 1947.
80. Рогельберг И. Л., Шпигинецкий Е. С. Диаграммы рекристаллизации металлов и сплавов, М., Металлургиздат, 1950.

81. Розенман Я. А., Борисов А. И. Опыт кузнечных цехов металлургических заводов. Свердловск. Металлургиздат, 1956.
82. Семенов Е. И. Об очаге деформации при штамповке в открытых штампах. Сб. трудов МВТУ им. Баумана «Машины и технология обработки металлов давлением». Под ред. Зимина А. И., Машгиз, 1955, № 40.
83. Семенов Е. И. Об определении необходимого для штамповки номинального усилия кривошипного горячештамповочного пресса. Сб. трудов МВТУ им. Баумана «Машины и технология обработки металлов давлением». Под ред. Зимина А. И., Машгиз, 1955, № 42.
84. Семенов Е. И. Определение усилий при штамповке в открытых штампах на кривошипных горячештамповочных прессах и веса падающих частей молота при штамповке на молотах, ЦИТЭИН, ПНТПО, № М—61—506/17, 1962.
85. Семенов Е. И. Определение веса падающих частей штамповочного молота. «Кузнечно-штамповочное производство», 1966, № 8.
86. Семенов Е. И. и Скородумов С. А. Определение усилий деформирования для секционной штамповки дисков. «Вестник машиностроения», 1966, № 12.
87. Семенов Е. И. и Кондратенко В. Г. Напряженное состояние и определение усилий при штамповке осесимметричных поковок. «Вестник машиностроения», 1968, № 12.
88. Сидоров Н. Е. Ковка полых длинных цилиндров из легированной стали. «Кузнечно-штамповочное производство», 1964, № 12.
89. Сидоров Н. Е. Новая технология свободной ковки поковок типа плит. «Кузнечно-штамповочное производство», 1965, № 1.
90. Склюев П. В. Внутренние пороки крупных поковок. Сб. «Технология машиностроения. Ковка и штамповка». УЗТМ. М., Машгиз, 1952.
91. Сконечный А. И. К расчету технологии вытяжки под плоскими бойками. Сб. трудов Челябинского политехнического ин-та. «Вопросы горячей обработки металлов», М. — Свердловск, Машгиз, 1955, № 6.
92. Скородумов С. А., Семенов Е. И. Расчет исходных заготовок при секционной штамповке дисков. «Кузнечно-штамповочное производство», 1964, № 12.
93. Скородумов С. А., Семенов Е. И. Исследование деформированного состояния при секционной штамповке дисков. «Кузнечно-штамповочное производство», 1965, № 10.
94. Современное состояние кузнечно-штамповочного производства. Под ред. Унксова Е. П. ЦНИИТмаш, Машгиз, SNTL, М. — Прага, 1961.
95. Спурни Франтишек. Новый способ предварительной обработки высоколегированных труднодеформируемых сталей. Перевод из «Хутник» № 12, 1962 в Экспресс-информации «Кузнечно-прессовое производство», 1962, № 33.
96. Сторожев М. В. и Добринский Н. С. О выборе стандартных параметров гидравлических ковочных прессов. «Вестник машиностроения», 1969, № 10.
97. Сторожев М. В. и Попов Е. А. Теория обработки металлов давлением. Изд. 2-е, «Высшая школа», 1963.
98. Сторожев М. В., Семенов Е. И., Кирсанова С. Б. Уточнение формы очага деформации и определение усилия при штамповке. «Вестник машиностроения», 1959, № 4.
99. Сторожев М. В., Середин П. И., Кирсанова С. Б. Технология ковки и горячей штамповки цветных металлов и сплавов. М., «Высшая школа», 1967.
100. Тайц Н. Ю. Технология нагрева стали. Металлургиздат, 1962.
101. Тарновский И. Я., Поздеев А. А. и др. Механические свойства стали при горячей обработке давлением. Свердловск. Металлургиздат, 1960.
102. Тарновский И. Я., Трубин В. Ф., Златкин М. Г. Свободная ковка на прессах. М., Машгиз, 1967.
103. Технологический справочник по ковке и объемной штамповке. Под ред. Сторожева М. В., М., Машгиз, 1959.
104. Томленов А. Д. Определение размеров конусных пуансонов при конструировании штампов для горячей высадки. «Вестник машиностроения», 1950, № 7.
105. Томленов А. Д. Теория пластических деформаций металлов. М., Машгиз, 1951.
106. Трахтенберг Б. Ф. Выбор температурного интервала ковки и штамповки углеродистых сталей. «Кузнечно-штамповочное производство», 1960, № 5.

107. Уиксов Е. П. Инженерная теория пластичности. М., Машгиз, 1959.
108. Хржановский С. Н. Проектирование кузнечных цехов. М., Машгиз, 1954.
109. Черниченко В. П. Штамповка на кривошипных ковочных прессах. М., Машгиз, 1953.
110. Чижиков Ю. М. Прокатка и ковка высоколегированных сталей. М., Металлургиздат, 1941.
111. Шапошников Д. Е. Штампы кривошипных ковочно-штамповочных прессов. М., Машгиз, 1956.
112. Шевелкин Б. Н. и Голованова А. П. Штамповка деталей из цветных металлов и сплавов в закрытых штампах. «Вестник машиностроения», 1956, № 8.
113. Шофман Л. А., Когаловский А. И. Штамповка крупногабаритных деталей на мощных гидравлических прессах в США. «Кузнечно-штамповочное производство», 1961, № 5.
114. Шофман Л. А. Теория и расчеты процессов холодной штамповки. М., «Машиностроение», 1964.
115. Штампы для горизонтально-ковочных машин. Расчеты и конструирование. РТМ 39—61. Стандартгиз, 1964.
116. Штампы для обрезки облоя. Расчеты и конструирование штампов. РТМ 29—61. Стандартгиз, 1962.
117. Штампы молотовые для объемной горячей штамповки. Расчет и конструирование. РТМ 56—62. Стандартгиз, 1964.
118. Энциклопедический справочник «Машиностроение». Т. 6. Машгиз, 1947.
119. Ясногородский И. З. Нагрев металлов и сплавов в электролите. М. Машгиз, 1949.
120. Яшаяев С. Ш. Штамп для резки заготовок методом сдвига с автоматическим зажимом прутка. «Технология машиностроения», 1962, № 10.
121. Burghardt W. Der Temperaturverlauf in runden Stangenabschnitten beim Wärmen in Induktionsspulen und Gasöfen. «Werkstattstechnik», 51, № 12, s. 721÷723, 1961.
122. Chamonard A. Le formage des products massifs dans la construction mecaniguc. Inds frane eguipem, 1968, № 19.
123. Dornin G. A. Sound steel without hot tops at Green River Steel Corp. «Iron and Steel Engineer», XII, V. 33, № 12, p. 125÷133, 1956.
124. Drastik F. Namáháni zapustek při kováni na bucharech. «Strojirenstvi», № 9, Praha, 1959.
125. Drastik F. Experimentálni sledováni tváreni kovú při vysokych deformačnich rychlostech. «Strojnicky sbornik». 17, Praha, 1957.
126. Freiform — und Gesenkschmieden in USA, München, 1957.
127. Heat billets with molten glass. «Iron Age», 1958, V. 182, № 7, p. 87.
128. Lotze H. — G., Tittel G. Die Herstellung von freiformgeschmiedeten Gesenkblöcken. «Fertigungstechnik und Betrieb», № 6, s. 331÷335, 1960.
129. Neuberger F. Rötz L., Möckel L. Zunderfreil Erwärmung in Lithium—Atmosphäre. «Fertigungstechnik», H. 10, s. 453—55, 471, 1957.
130. Semjenow E. J. Untersuchung des Formänderungs — und Spannungszustands beim freien Einsenken. «Fertigungstechnik und Betrieb», № 10, s. 616÷619, 1967.
131. Der Schmiedevorgang in Hammer und Presse, insbesondere hinsichtlich des Streigens von H. — J. Stöter. Zuschriften. Entgegnung des Verfassers. «Werkstattstechnik». H. 12, s. 775—779, 1959.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие 3
Введение 4

Глава I. Исходный материал и его разделка перед ковкой или объемной штамповкой 6

§ 1. Исходный материал для ковки или объемной штамповки 6
§ 2. Разделка исходных материалов на заготовки 11

Глава II. Термомеханический режим ковки и объемной штамповки 20

§ 3. Температурный интервал ковки 20
§ 4. Типы нагревательных устройств, применяемых при свободной ковке и объемной штамповке 24
§ 5. Нагрев в пламенных печах 25
§ 6. Нагрев индукционный, контактный и в печах электросопротивления 38
§ 7. Нагрев в расплавленных солях и стекле 44
§ 8. Охлаждение и термообработка поковок 45
§ 9. Влияние ковки и штамповки на структуру металла и механические характеристики 48

Глава III. Общие сведения о свободной ковке 53

§ 10. Развитие свободной ковки в СССР 53
§ 11. Сущность свободной ковки и область ее применения 53
§ 12. Преимущества и недостатки свободной ковки 55
§ 13. Основные кузнечные операции 56
§ 14. Осадка 56
§ 15. Протяжка 70
§ 16. Прошивка 94
§ 17. Рубка, гибка и закручивание 107
§ 18. Уков и величина осадки 112

Глава IV. Разработка технологического процесса ковки. Примеры ковки на молотах и прессах 115

§ 19. Этапы технологической разработки свободной ковки 115
§ 20. Примеры технологии ковки на молотах и прессах 126

Глава V. Штамповка в подкладных и секционных штампах в цехах свободной ковки 140

§ 21. Штамповка в подкладных штампах 140
§ 22. Секционная штамповка дисков 142
§ 23. Секционная штамповка коленчатых валов 150

Глава VI. Общие сведения об объемной штамповке 155

§ 24. Развитие объемной штамповки в СССР 155
§ 25. Сущность объемной штамповки и область ее применения 156
§ 26. Преимущества и недостатки объемной штамповки 157
§ 27. Основные виды объемной штамповки и штампов 158
§ 28. Основное оборудование для объемной штамповки и других операций в цехах объемной штамповки 160

Глава VII. Штамповка в открытых штампах на молотах 164

§ 29. Способы штамповки 164
§ 30. Течение металла при штамповке на молотах 165
§ 31. Разработка чертежа молотовой поковки 166
§ 32. Виды ручьев, применяемых при штамповке в открытых штампах на молотах 175
§ 33. Штамповочные ручьи молотовых штампов 176
§ 34. Заготовительные ручьи молотовых штампов 185
§ 35. Отрубные ручьи молотовых штампов 194
§ 36. Уравновешивание сдвигающих усилий и направляющие молотовых штампов 195
§ 37. Расположение ручьев в молотовом штампе 199
§ 38. Определение толщины стенок в молотовом штампе и выбор заготовки для штампа 202

Стр.

§ 39. Выбор ручьев молотовых штампов 207
§ 40. Расчет массы и размеров исходной заготовки 227
§ 41. Определение массы падающих частей штамповочного молота 232
§ 42. Примеры штамповки в открытых штампах на молотах [42] 236

Глава VIII. Штамповка в открытых штампах на прессах 245

§ 43. Особенности течения металла при штамповке на прессах 245
§ 44. Штамповка на кривошипных горячештамповочных прессах в открытых штампах 245
§ 45. Штамповка на винтовых фрикционных прессах в открытых штампах 249
§ 46. Штамповка на гидравлических прессах в открытых штампах . . . 250
§ 47. Определение усилий при штамповке на прессах в открытых штампах 252

Глава IX. Штамповка в закрытых штампах на молотах и прессах 256

§ 48. Штамповка в закрытых штампах на молотах 256
§ 49. Штамповка на прессах в закрытых штампах с неразъемной матрицей 261
§ 50. Штамповка на прессах в закрытых штампах с разъемной матрицей 266

Глава X. Штамповка в штампах для прямого и обратного выдавливания и прошивки 271

§ 51. Общие положения 271
§ 52. Штамповка прямым выдавливанием 272
§ 53. Штамповка прошивкой 273
§ 54. Определение усилий при штамповке выдавливанием и прошивкой 278

Глава XI. Штамповка на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ). 279

§ 55. Общие сведения 279
§ 56. Преимущества и недостатки штамповки на ГКМ 280
§ 57. Рекомендации к проектированию технологических процессов штамповки на ГКМ 281
§ 58. Изготовление поковок высадкой и расчет наборных переходов . . . 282
§ 59. Штамповка поковок колец со сквозной прошивкой 289
§ 60. Ручьи штампов ГКМ 291
§ 61. Определение усилий при штамповке на ГКМ 293
§ 62. Примеры штамповки на ГКМ 293

Глава XII. Специализированные процессы получения поковок и заготовок 298

§ 63. Общие сведения 298
§ 64. Штамповка на горизонтально-гибочных машинах 298
§ 65. Штамповка на вертикально-ковочных машинах 303
§ 66. Штамповка на ротационно-обжимных и радиально-обжимных машинах 304
§ 67. Высадка на электровысадочных машинах 311
§ 68. Штамповка на высокоскоростных молотах 312
§ 69. Вальцовка 315
§ 70. Раскатка кольцевых заготовок 318

Глава XIII. Отделочные операции после объемной горячей штамповки 320

§ 71. Обрезка заусенца и прошивка отверстий 320
§ 72. Очистка поковок от окалины 324
§ 73. Правка поковок 325
§ 74. Калибровка поковок 326

Глава XIV. Особенности ковки и штамповки высоколегированных сталей и сплавов 330

§ 75. Некоторые высоколегированные стали и сплавы и их назначение 330
§ 76. Технологические особенности ковки высоколегированной стали и сплавов 331
§ 77. Технологические особенности штамповки высоколегированной стали и сплавов 336

Глава XV. Контроль качества кованых и штампованных поковок 338

§ 78. Общие сведения 338
§ 79. Виды брака и контроль качества кованых поковок 339
§ 80. Виды брака и контроль качества штампованных поковок 340

Глава XVI. Перспективы свободной ковки и объемной штамповки 343
Литература 346