

МАТЕРИАЛЫ И ЗАГОТОВКИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ШТАМПОВКЕ

1. ДЕФОРМИРУЕМЫЕ ЛЕГКИЕ СПЛАВЫ

Из материалов, штампуемых на гидравлических прессах, наибольшее распространение получили алюминиевые и магниевые сплавы, а также титан и сплавы на его основе.

Алюминиевые сплавы подразделяют на деформируемые и литейные. Первые характеризуются хорошей обрабатываемостью резанием, разнообразием механических и физических свойств и используются для получения полуфабрикатов обработкой давлением. Вторые имеют повышенную жидкотекучесть и используются для изготовления отливок.

Деформируемые алюминиевые сплавы (химический состав приведен в ГОСТе 4784—65) подразделяют на две основные группы: неупрочняемые и упрочняемые термообработкой. Сплавы обеих групп упрочняются при легировании. Кроме того, сплавы второй группы упрочняются еще за счет распада пересыщенных твердых растворов при закалке и естественном или искусственном старении, а также при нагартовке, осуществляемой в промежутках между закалкой и старением или после старения. При этом снижается пластичность, а следовательно, ухудшается обрабатываемость сплавов давлением. Эффект упрочнения снимается отжигом.

Сплавы первой группы дополнительно упрочняются только нагартовкой, причем незначительно из-за довольно резкого снижения пластичности. В качестве термообработки этих сплавов применяется только отжиг.

По механическим свойствам упрочняемые сплавы условно могут быть подразделены на сплавы высокопрочные ($\sigma_s = 40 \div 67 \text{ кг/мм}^2$) и средней прочности ($\sigma_s = 30 \div 50 \text{ кг/мм}^2$) [14].

Неупрочняемые сплавы могут быть отнесены к мягким сплавам ($\sigma_s = 8 \div 30 \text{ кг/мм}^2$).

В табл. 1 приведены основные механические свойства некоторых деформируемых алюминиевых сплавов [20].

Рассмотрим основные показатели термомеханического режима штамповки различных алюминиевых сплавов.

Температурный интервал обработки мягких сплавов составляет $260 \div 510^\circ \text{C}$. Скорость деформирования практически не влияет на пластичность этих сплавов. Поэтому их можно обрабатывать и на молоте, и на прессе. Допустимая деформация таких сплавов достигает 80%.

Механические свойства некоторых деформируемых сплавов

Механические свойства		Сплавы														
		Маткине (низкой прочности)					среднепрочные*					высокопрочные				
АД	АМц	АМг2	АМг3	АМг5М	АМг6М	АВ	АК2	АК4	АК6	АК8	В-93*	В-94*	В-95*	В-96**	В-99***	
σ_B в $кг/мм^2$	8—15	13—22	19—25	19—24	12—33	30	44	39—43	42	48	52	52	52	56—60	67	
$\sigma_{0,2}$ в $кг/мм^2$	3—10	5—18	8—21	9—10	12—28	15	28	32—36	30	38	48	48	44	53—55	63	
δ в %	6—35	5—23	6—23	15—20	16—30	18	9	20—25	13	10	25	25	15	8	7	
ψ в %	60—80	50—70	64	—	20—65	—	—	—	40	25	25	25	45	12	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

* В закаленном и искусственно состаренном состоянии.
** Только профили в закаленном и искусственно состаренном состоянии.
*** Штампованные поковки, при нагреве до 300—350° С предел прочности для различных сплавов до 4—17 $кг/мм^2$.
предел текучести — до 3,5—14 $кг/мм^2$.

Среднепрочные сплавы обрабатывают при температурах 350–460°С, высокопрочные — при 380–450°. Те и другие сплавы целесообразнее деформировать под прессом, нежели под молотом. Ударное воздействие молота при больших деформациях приводит к охрупчиванию сплава. Поэтому деформация за один переход при использовании молота не должна превышать 50–65%.

Магниеые сплавы обла-
дают наиболее низким удель-
ным весом по сравнению с дру-
гими конструкционными ма-
териалами. Их удельная проч-
ность (отношение предела
прочности σ_a к удельному
весу γ) при нормальной тем-
пературе примерно такая же,
как и у алюминиевых сплавов
($\frac{\sigma_a}{\gamma} = 15 \div 18$), а при боль-
шей температуре значительно
выше. Например, при 350°C
удельная прочность магни-
евых сплавов $\frac{\sigma_a}{\gamma} = 5,6 \div 6,1$,
алюминиевых сплавов $\frac{\sigma_a}{\gamma} \approx$
 $\approx 4,0$.

Для штамповки наибольшее применение получили деформируемые магниевые сплавы (их химический состав приведен, например, в работе [20]), подразделяемые условно на следующие три группы.

1. Малолегированные сплавы системы магний—марганец (МА1, МА8). Они могут быть отнесены к мягким сплавам ($\sigma_s = 17 \div 25 \text{ кг/мм}^2$, $\sigma_0 = 9 \div 16 \text{ кг/мм}^2$, $\delta = 2 \div 12\%$).

2. Средне- и высоколегированные сплавы системы магний — алюминий — цинк (МА2, МА2-1, МА3, МА5) и сплавы системы магний — марганец — алюминий — кальций (МА9). Они могут быть отнесены к сплавам средней прочности ($\sigma_{\theta} = 24 \div 30 \text{ кг/мм}^2$, $\sigma_{0,2} = 10 \div 20 \text{ кг/мм}^2$, $\delta = 3 \div 13\%$).

3. Высоколегированные сплавы системы магний—цинк—цирконий (ВМ65-1, ВМД3). По механическим свойствам они могут быть отнесены к высокопрочным ($\sigma_a = 26 \div 32 \text{ кг/мм}^2$, $\sigma_{0,2} = 25 \text{ кг/мм}^2$, $\delta = 6 \div 8\%$). При температуре 300°C σ_a магниевых сплавов уменьшается до $6,5\text{--}7 \text{ кг/мм}^2$, а σ_T — до $3,5 \text{ кг/мм}^2$. Необходимо отметить, что малолегированные сплавы чаще используют для листовой штамповки, чем для объемной.

Средне- и высоколегированные сплавы системы магний—алюминий—цинк в отдельных случаях чувствительнее к скорости деформирования, чем алюминиевые сплавы. Большие скорости, развиваемые при обработке на молотах, значительно уменьшают температурный интервал деформации и ограничивают ее величину. Например, деформация сплава ВМ65-1 при малых скоростях деформирования (обработка на прессах) может достигнуть 90% при температурах 300—400° С. При ударном воздействии допустимая деформация уменьшается в 2 раза, а температурный интервал — до 340—410° С.

Оптимальная температура при штамповке на гидравлическом прессе из прессованной заготовки сплава МА2 составляет 420—320° С, сплава МА2-1 400—300° С. При штамповке на молоте температурный интервал уменьшается соответственно до 430—340° С и 400—340° С. Оптимальная температура штамповки на гидравлическом прессе составляет 390—250° С, а на молоте — всего 390—360° С [20].

Механические свойства изделий из алюминиевых и магниевых сплавов повышаются с увеличением степени деформации, при этом одновременно уменьшается их анизотропия. У алюминиевых сплавов наиболее высокие механические свойства и наименьшая анизотропия в продольном и поперечном направлениях достигаются при деформации, равной примерно 75%; у магниевых сплавов — при 90—95% (самые низкие свойства и наибольшая их анизотропия при деформации 50—75%). Если сопоставить эти величины деформаций с приведенными выше данными допустимых деформаций алюминиевых и магниевых сплавов при использовании молота и пресса, то можно сделать вывод о том, что для получения более прочных изделий обработка под гидравлическим прессом предпочтительнее обработки под молотом.

В последние годы все более широкое применение получают штампованные детали из **титана и сплавов на его основе**. Основные преимущества титана перед другими конструкционными материалами — сочетание малой плотности ($4,5 \text{ г/см}^3$) с высокими механическими свойствами в большом интервале температур (например,

при $t = 20^\circ \text{C}$ σ_g достигает 100 кг/мм^2 , а также коррозионная стойкость и жаропрочность.

Известны две аллотропические модификации титана: α -титан с гексагональной уплотненной решеткой (до 885°C) и более пластичный β -титан с кубической объемно-центрированной решеткой (после 885°C).

Исходя из этого сплавы на основе титана подразделяют на четыре группы.

1. Сплавы α -структурой (BT1-00, BT1-1, BT5, BT5-1), характеризующиеся хорошей пластичностью и высокой прочностью при низких температурах, нечувствительностью к упрочняющей термообработке, высоким сопротивлением ползучести.

Однако эти сплавы имеют низкую пластичность при $t = 20^\circ \text{C}$.

2. Бетированные сплавы с α -структурой (до 2% β -стабилизаторов), обладающие теми же достоинствами, что и сплавы первой группы, имеют повышенную пластичность, к ним относятся сплавы OT4-0, OT4-1, OT4, BT4, OT4-2, AT3, AT4.

3. Двухфазные сплавы, содержащие более 2% β -стабилизаторов, обладают хорошей пластичностью после отжига или закалки и высокой прочностью после закалки и старения. К ним относятся сплавы BT6C, BT6, BT8, BT9-1, BT14, BT16.

4. Сплавы с β -структурой (BT15) очень пластичны при $t = 20^\circ \text{C}$. Поэтому их можно обрабатывать давлением и без нагрева при комнатной температуре. Вместе с тем им свойственно сильное упрочнение при термообработке.

Механические свойства некоторых титановых сплавов при комнатной температуре даны в табл. 2 [20].

Таблица 2
Механические свойства некоторых титановых сплавов

Сплав	σ_g в кг/мм^2	$\sigma_{0,2}$ в кг/мм^2	$\delta_{11,3} \sqrt{F} (\delta_5)$ в %
OT4	83	71,8	14,3
OT4-1	68	56,8	16,5
BT4	88	81	23,0

Ниже приведен температурный интервал при штамповке различных титановых сплавов.

Сплав	OT4-1	OT4	BT4	BT5	BT5-1	BT6C	BT6	BT3-1	BT8	BT14
Температура горячей обработки давлением в $^\circ \text{C}$	1050—750	1050—800	1100—800	1100—850	1050—800	1050—800	1050—800	1050—850	1100—850	1050—750

При 500°C σ_g снижается в среднем до $45\text{—}47 \text{ кг/мм}^2$, а $\sigma_{0,2}$ до $30\text{—}40 \text{ кг/мм}^2$. Пластичность этих сплавов снижается при обработке под молотом по сравнению с таковой под прессом при температурах от $800\text{—}900^\circ \text{C}$ до $950\text{—}1000^\circ \text{C}$. Следовательно, обработка титановых сплавов под прессом имеет преимущества перед обработкой под молотом с точки зрения увеличения пластичности сплава, уменьшения сопротивления деформированию и повышения производительности.

2. ЗАГОТОВКИ

Первоначальной формой заготовки являются слитки. Однако исходным материалом для штамповки на мощных гидравлических прессах, как правило, служит металл, предварительно деформированный ковкой, прокаткой или прессованием. Дело в том, что во-первых, форма и размеры заготовки должны максимально соответствовать будущей штампованной поковке, а слиток не удовлетворяет этим требованиям. Во-вторых, металл слитка не обладает нужными свойствами, что может отражаться на качестве штампуемой детали. При деформации же разрушается крупнозернистая структура слитка, повышается плотность металла за счет упрочнения пустот и т. д. При этом значительно улучшаются пластические свойства и в 1,5—2 раза увеличивается прочность заготовки.

В качестве заготовок под штамповку таких деталей, как панели, используют в основном плиты и полосы толщиной до 100 мм . Их получают на высокопроизводительных многокатетовых станах непрерывной прокатки. В процессе прокатки зерна металла, измельчаясь, ориентируются в одном направлении. Металл получает волокнистую макроструктуру, характеризующуюся ярко выраженной анизотропией механических свойств вдоль и поперек волокна.

Из прессованных изделий в качестве заготовок для последующей объемной штамповки применяют прутки и полосы из алюминиевых и магниевых сплавов.

При этом используют наиболее мощные прессы усилием $12\,000$ и $20\,000 \text{ Т}$ конструкции УЗТМ, на которых можно получать заготовки в виде полос длиной до 9 м с площадью поперечного сечения до 950 см^2 (толщиной $50\text{—}100 \text{ мм}$, шириной $500\text{—}950 \text{ мм}$), а также в виде прутков длиной до 13 м с площадью поперечного сечения до 2000 см^2 (максимальный диаметр 500 мм).

Конструкция мощных горизонтальных прессов и контейнеров позволяет осуществлять деформирование сплавов при удельном усилии на пресс-шайбу до 5500 кг/см^2 .

Прессованные заготовки так же, как и катаные, имеют волокнистую макроструктуру. Однако наряду с анизотропией их свойств вдоль и поперек волокна наблюдается неравномерность свойств по длине и сечению. Так, ближе к оси и у заднего конца

ПРИМЕНЕНИЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ШТАМПОВАННЫХ ПОКОВОК И ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЕ

1. ПРИМЕНЕНИЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ШТАМПОВАННЫХ ПОКОВОК

Крупногабаритные штампованные поковки из легких сплавов прежде всего широко используют в самолетостроении в качестве силовых элементов планера, деталей шасси, двигателей, винтовых групп [40].

Монолитные детали, полученные из штампованных заготовок, имеют преимущества перед конструкциями, которые состоят из большого числа мелких деталей (соединенных клепкой, сваркой или с помощью болтов), и перед монолитными деталями, полученными фрезерованием из поковки, катаных заготовок и т. д.

На рис. 1 [49] показаны сборная (а) и цельноштампованная (б) балки из алюминиевого сплава. Цельноштампованная балка обладает большей прочностью благодаря уменьшению числа соединений и устранению концентраторов напряжений — отверстий под заклепки. Все это способствует уменьшению массы детали и одновременно повышает ее надежность.

Примером использования крупногабаритных штампованных поковок из алюминиевого сплава в качестве силовых деталей фюзеляжа может служить узел центроплана транспортного самолета, показанный на рис. 2. Он составлен из цельноштампованных деталей, размеры которых достигают нескольких метров. Каждая поковка заменяет сборную конструкцию из деталей, соединенных болтами.

Штампованные поковки типа панелей (см. рис. 12) используют, в частности, как элементы крыльев. Подmotorные рамы (рис. 3), заготовки деталей типа рычагов, кронштейнов (рис. 4, а, б) и т. п. выполняют штампованными.

Двигатели включают большое число деталей, отштампованных на прессах: кольца, диски (рис. 5, а), крыльчатки (рис. 5, б) из алюминиевых и титановых сплавов, лопасти из алюминиевых сплавов и т. д.

Одной из крупнейших деталей когда-либо изготовленных на мощных прессах, является лопасть вентилятора градирни (рис. 6) из алюминиевого сплава (площадь проекции $3,3 \text{ м}^2$). В химической промышленности используют и другие штампованные поковки больших размеров: сферические и эллиптические днища (рис. 7), элементы обшивки емкостей и т. д. Все более широкое применение

прочность прутка повышается. Для прессованных заготовок характерны несплошности вследствие втягивания в металл окислений, загрязнений поверхности слитка или попадания газов.

Заготовки (из алюминиевых и магниевых сплавов и из титана), кованные из слитков, используют для наиболее крупных штампованных поковок. При вытяжке в трех взаимно перпендикулярных направлениях или осадке с последующей вытяжкой заготовка получает наилучшие свойства. Следует отметить, что ковке подвергают и прессованные заготовки. При этом устраняются недостатки их макроструктуры, о которых упоминалось выше.

Ковку производят на паровоздушных молотах с весом падающих частей 3—5 Т и на гидравлических прессах усилием 1000—10 000 Т. На этом оборудовании изготавливают поковки любой простой геометрической формы массой до 3 т и в виде колец с максимальным диаметром 3500 мм при высоте до 500 мм и минимальной толщине до 50 мм.

Технологический процессковки на гидравлическом прессе заготовок под штамповку состоит из следующих операций: резки слитка и отрезки темплетов для контроля макроструктуры; обточки слитков; торцовки слитков; нагрева иковки.

Первую операцию осуществляют на дисковых пилах; вторую — на обдирочных и токарных станках; третью — на специальных торце-фрезерных станках.

Подготовленные слитки загружают (четвертая операция) в конвейерную двухкамерную электропечь, оборудованную устройством для принудительной циркуляции воздуха. В такой печи обеспечивается минимальный перепад температур (не более 50—60°C) по длине и сечению слитка. Следует отметить, что перед загрузкой в печь проверяют внешний вид и соответствие размеров слитков. Для промежуточных (во времяковки — пятая операция) подогревов обычно предусматривают садовые электропечи с подвижным подом.

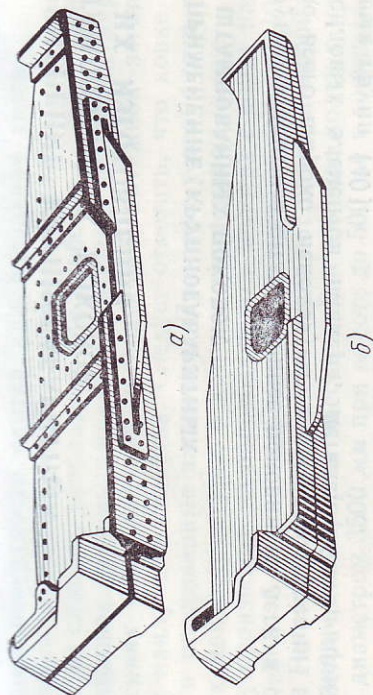


Рис. 1. Балка:

a — сборная (клепаная); *б* — цельноштампованная

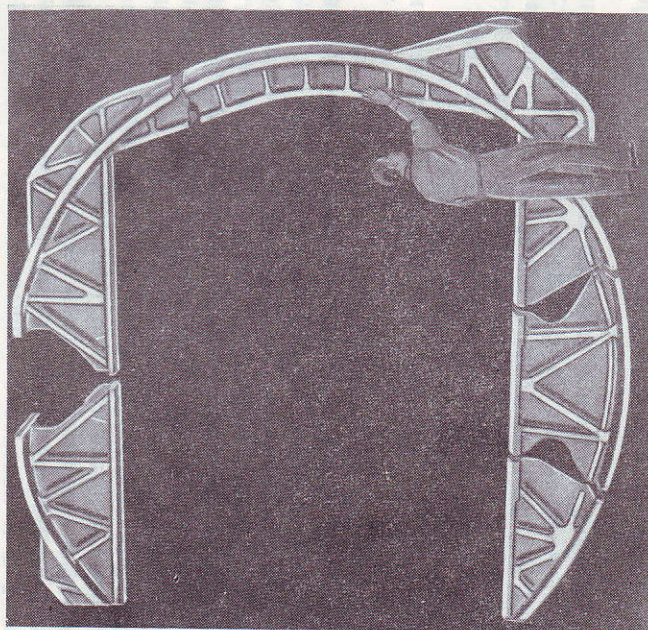


Рис. 2. Узел центроплана современного транспортного самолета, составленный из штампованных деталей

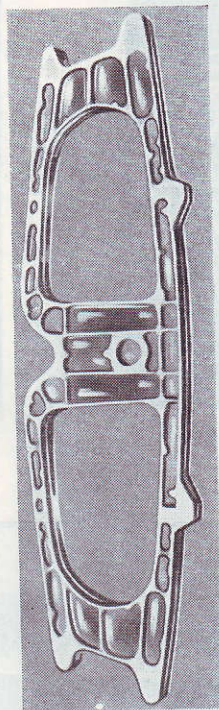
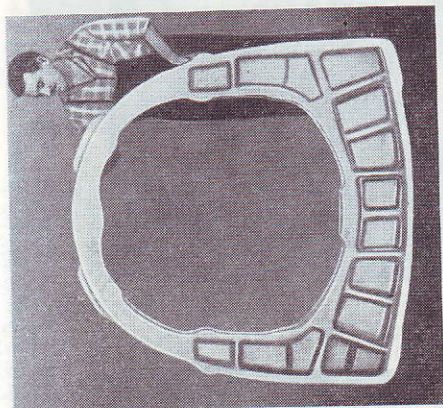


Рис. 3. Примеры штампованных рам

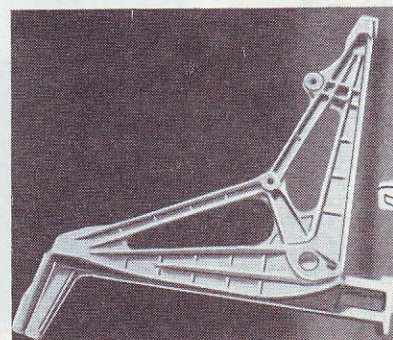


Рис. 4. Штампованная поковка:
a — кронштейн; *б* — стойки шасси

цельноштампованные детали находят в судостроении (например, лопасти гребных винтов, каркасные детали), в вагоностроении (люки, рамы дверей, каркасные детали), в автомобильной и трак-

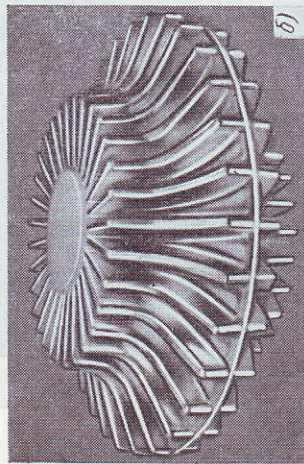
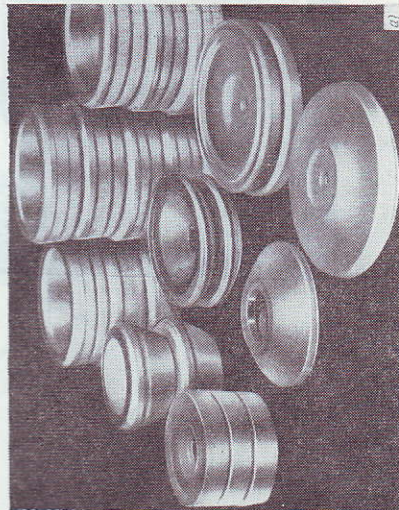


Рис. 5. Штампованные поковки:

а — диски из титанового сплава; б — крыльчатка из алюминиевого сплава (диаметр 775 мм, высота 212 мм, масса 120 кг)

торной промышленности и т. д. При этом наряду со штамповкой деталей из легких сплавов на гидравлических прессах получают распространение штампованные детали сложной формы из стали и других труднодеформируемых материалов (рис. 8, а, б).

Штампованные детали имеют более высокую прочность, чем монолитные детали, фрезерованные из катаных плит или поковок свободной ковки.

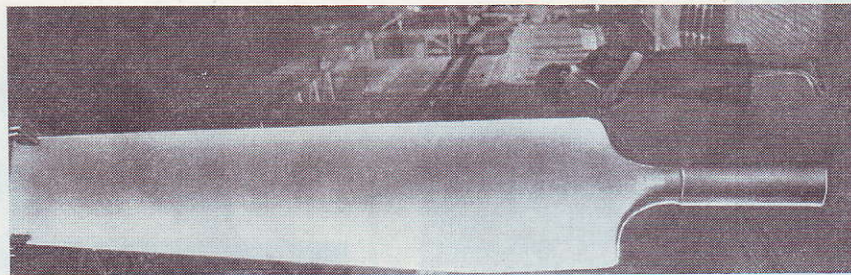


Рис. 6. Штампованная поковка лопасти вентилятора градирни

Для изготовления штампованных поковок применяют пред-

варительно деформированные заготовки меньших размеров и массы, чем для получения поковок свободной ковки. Это приводит к уменьшению вероятности появления различных дефектов в металле, а следовательно, и в штампованной поковке. Направление волокон штампованной поковки соответствует конфигурации детали, в то время как в поковке, полученной свободной ковкой, или в катаной плите волокно имеет долгое направление и при механической обработке перерезается (рис. 9).

Ориентирование волокон штампованной поковки и равномерная мелкозернистая структура способствуют повышению долговечности детали. Эти качества деталей, полученных штамповкой, в отличие от качества деталей, полученных дру-

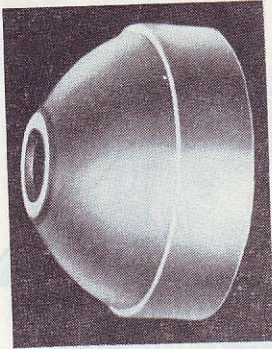


Рис. 7. Штампованное днище (титановый сплав) с размерами 1346×914 мм, массой 578,3 кг

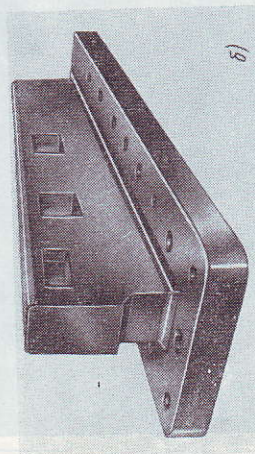
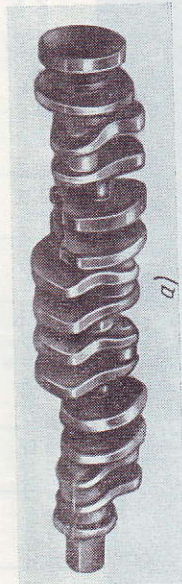


Рис. 8. Штампованные поковки, выполненные из стали:

а — коленчатый вал длиной 1600 мм, массой 360 кг; б — стойка направляющей якорной цепи с габаритными размерами $2700 \times 965 \times 760$ мм, массой 7700 кг

гими способами, видны на примере макро- и микроструктуры штампованной поковки лонжерона (рис. 10).

Применение штампованных заготовок уменьшает трудоемкость изготовления изделий из-за сокращения сборочных работ (это видно на примере изготовления одного из лонжеронов, рис. 11) и механической обработки (на 40—50%) вследствие меньших припусков по сравнению с заготовками, полученными другими способами обработки.

При изготовлении деталей из штампованных заготовок коэффициент использования металла составляет 20—90%, для поковок или катаных заготовок — 8—10%. Например, масса готовой панели

крыла самолета (рис. 12) составляет 48 кг, катаной заготовки 220 кг, а штампованной всего 52 кг [49].

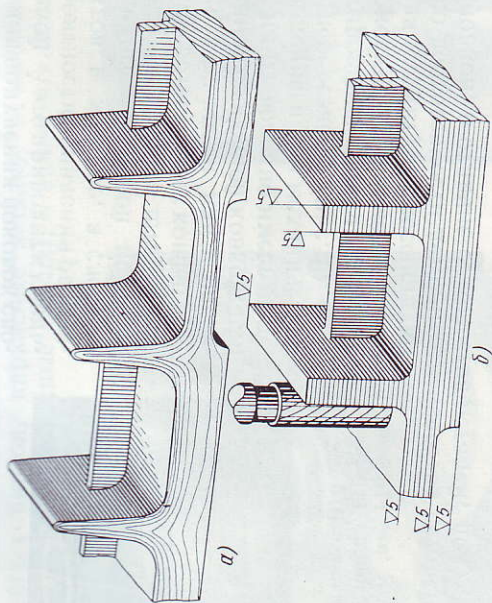


Рис. 9. Схема расположения волокон в штампованных поковках (а) и обрабатываемых резанием деталях из катаных и кованых заготовок (б)

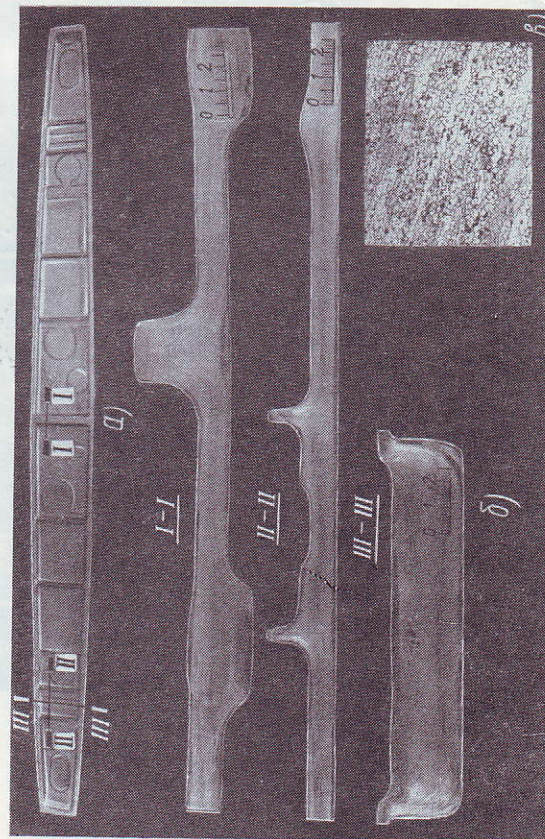


Рис. 10. Штампованная поковка лонжерона:
а — общий вид; б — макроструктура; в — микроструктура. $\times 100$

Эффективность применения крупногабаритных штампованных заготовок взамен поковок показана в табл. 3.

Таблица 3

Эффективность применения штампованных заготовок взамен поковок

Наименование детали	Масса в кг			Трудоемкость изготовления в чел.-час		Коэффициент использования металла в %		Примечание
	Детали	поковки	штампованной заготовки	из поковки	из штампованной заготовки	поковки	штампованной заготовки	
Стойка шпангоута	229	3000	600	650	450	7,7	35	Деталь большой длины с развигнутым оребрением с двух сторон То же
Низ шпангоута	146	2250	570	655	400	6	25	
Балка	16,5	855	55	370	160	2	30	Деталь с вытянутым отрезком (типа балалайки)
Угол	253	2600	825	600	300	7,5	28	Квадратная деталь с развигнутым оребрением с двух сторон и одним скошенным углом
Рычаг	125	1500	425	600	300	8	29	—

Вопрос о применении штампованных заготовок вместо других видов полуфабрикатов должен решаться в каждом конкретном случае с учетом двух основных факторов: технической эффективности (повышение прочности детали, уменьшение ее массы и т. п.) и стоимости изготовления детали.

Первый фактор можно оценить сопоставлением результатов, полученных от использования штампованных поковок, с данными их стоимости.

Например, условно примем, что 1 кг силового каркаса машины стоит 200 руб. Предположим, что экономия от использования монолитной детали вместо сборного узла составляет 5 кг. Тогда общая масса машины из-за уменьшения массы двигателя, сокращения запаса топлива и т. д. уменьшится на 50 кг. Следовательно, общая экономия составит 10 000 руб.

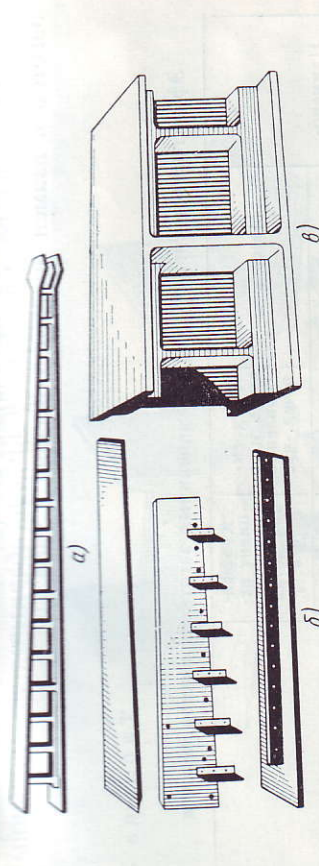


Рис. 11. Примеры изготовления лонжерона (а) из отдельных элементов (б) и часть цельноштампованной заготовки (в) [49]

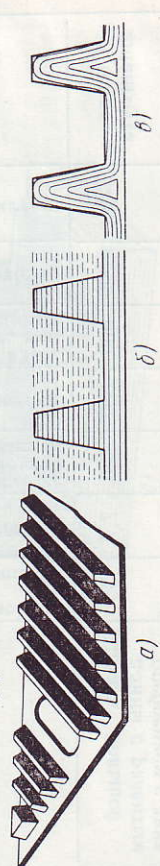


Рис. 12. Панель с поперечным оребрением (а); сечения панелей, полученных фрезерованием катаной плиты (б) и из штампованной поковки (в) [49]

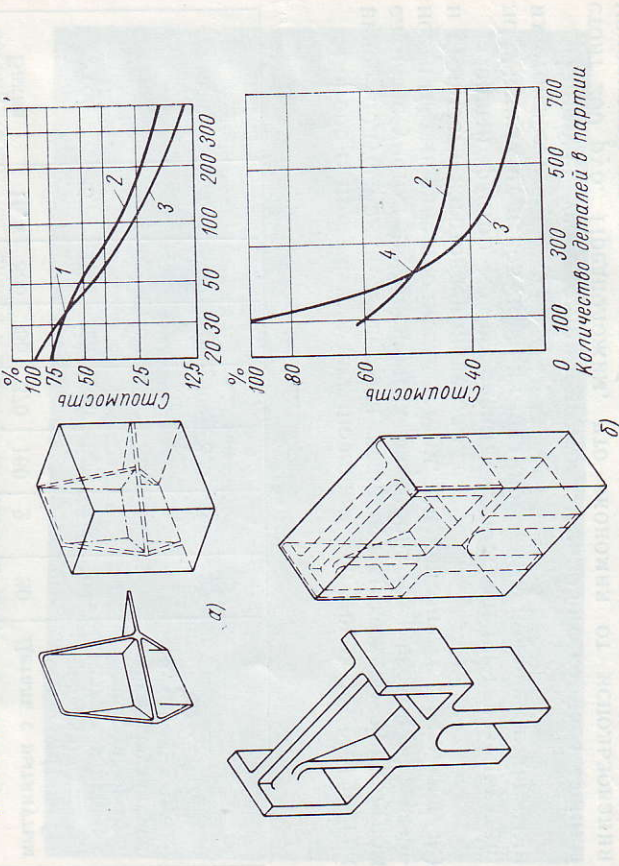


Рис. 13. Стоимость изготовления детали из штампованной заготовки и поковки в зависимости от величины партии:

а — при наличии большой экономии металла; б — при относительно небольшой экономии металла; 1 — равные затраты (при штамповке и ковке) при партии из 43 деталей; 2 — при изготовлении из ковковой и 3 — из штампованной заготовки; 4 — равные затраты (при штамповке и ковке) при партии из 215 деталей

Заводская стоимость штампованной заготовки может быть определена из выражения

$$C_{ш} = C_m + \frac{C_{осн}}{n} + C_z + H_p + C_{эл}$$

где C_m — стоимость материала;
 $C_{осн}$ — стоимость инструментальной оснастки (штампа);
 n — количество изделий в партии;
 C_z — заработная плата производственных рабочих;
 H_p — цеховые и заводские накладные расходы;
 $C_{эл}$ — стоимость электроэнергии.

При сравнении стоимости детали, полученной из штампованной заготовки, со стоимостью детали из поковки основными критериями являются показатели C_m и n .

При достаточной большой экономии металла, получаемой за счет использования штампованной детали, штамповка может оказаться экономически оправданной даже при изготовлении деталей небольшими партиями (рис. 13, а).

Если при штамповке экономия металла невелика (рис. 13, б) по сравнению с ковкой, то целесообразность применения одного из этих технологических процессов определяется величиной из-готовляемой партии изделий [49].

2. ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ШТАМПОВАННЫХ ПОКОВОК

Штампованные поковки, получаемые на мощных гидравлических прессах, можно классифицировать по двум признакам: геометрии и соотношению толщины и размеров в плане.

Исходя из первого признака принятой нами классификации имеем:

1. Штампованные поковки, форма которых в плане близка к квадрату. Сюда относятся так называемые панели (рис. 12). Панели бывают с продольным и продольно-поперечным («вафельным») оребрением. При этом ребра могут быть расположены с одной и с обеих сторон панели.

2. Штампованные поковки, форма которых в плане близка к прямоугольной с различным отношением ширины к длине. Это лонжероны (рис. 10, 11), балки и т. п. Они также могут быть с оребренными поверхностями.

3. Штампованные поковки в виде круга: диски (см. рис. 5, а), крыльчатки (см. рис. 5, б), некоторые типы шпангоутов. К ним же можно отнести детали типа чаш (см. рис. 7).

4. Детали сложной формы. Например, лопасти (см. рис. 6), некоторые панели (рис. 14), рамы (см. рис. 3), кронштейны (см. рис. 4), рычаги и т. п.

Исходя из второго признака принятой нами классификации штампованные поковки можно условно подразделить на: тонко-

Если тонкопоскостные детали можно получать при малых ходах прессы, то для изготовления деталей пространственной конфигурации, например показанных на рис. 7, необходимы большие размеры штампового пространства и большая величина хода.

3. СХЕМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ

Штампованные поковки из алюминиевых сплавов. Технологический процесс штамповки на гидравлических прессах состоит из следующих операций: нагрева, предварительной штамповки, обрезки заусенца, травления, зачистки дефектов, нагрева, окончательной штамповки; обрезки заусенца, правки, старения, травления, контроля качества, сдачи готового изделия.

Заготовки, предназначенные для штамповки, нагревают до температуры $400-460^{\circ}\text{C}$ в предварительно разогретых конвейерных электропечах. Нагрев производят и вне зоны открытого пламени в газовых конвейерных печах с максимальными размерами $4,2 \times 15,5 \times 0,9 \text{ м}^2$ (контролируемая температура в интервале $150-540^{\circ}\text{C}$) [45, 47]. Перед загрузкой в печь проверяют внешний вид и соответствие размеров заготовки (поверхность заготовки должна быть чистой во избежание зашламповки стружки, песка и т. д., а также быстрого износа штампа). После этого производится штамповка. Для изделий сложной конфигурации предусматривают несколько операций (переходов) штамповки: одна — две предварительные и окончательная.

Если предварительных операций несколько, то их осуществляют с одного нагрева или нагревают заготовку перед каждой операцией. Иногда предварительные и окончательную операции осуществляют на разных прессах. В случае недооформления штампованной поковки, дефектов ее поверхности или нарушения формы производят дополнительные жимы.

В качестве технологической смазки рабочих поверхностей штампа и заготовки используют смесь графита с маслом Випор-Т или с веретенным маслом (при окончательной штамповке) в соотношении приблизительно 1:2. Удельный расход смазки составляет $5-6 \text{ кг}$ на 1 т поковок.

Необходимо отметить, что указанная смазка имеет ряд недостатков. Так, при ее нанесении масло воспламеняется и сгорает. Остаточный неравномерный слой графита недостаточно уменьшает трение, вследствие чего поковка может прилипнуть к поверхности штампа и ее трудно удалить, несмотря на наличие штамповочных уклонов до 7° , что приводит к снижению производительности оборудования.

Кроме того, на поверхности поковки образуются задиры и царапины. Наконец, графит и остатки масла проникают в тело поковки. Все это вызывает необходимость травления и последующей зачистки поковки. На этих операциях занято большое коли-

плоскостные (с тонким полотно), т. е. такие, у которых толщина значительно меньше других размеров; массивные, т. е. такие, у которых толщина соизмерима с размерами в плане.

Конструктивными особенностями каждого из перечисленных типов штампованных поковок обусловлены различные требования к штамповой оснастке и оборудованию, используемому для их изготовления.

Для получения тонкого полотна с высокими ребрами при штамповке тонкопоскостных деталей необходимо создать в полости

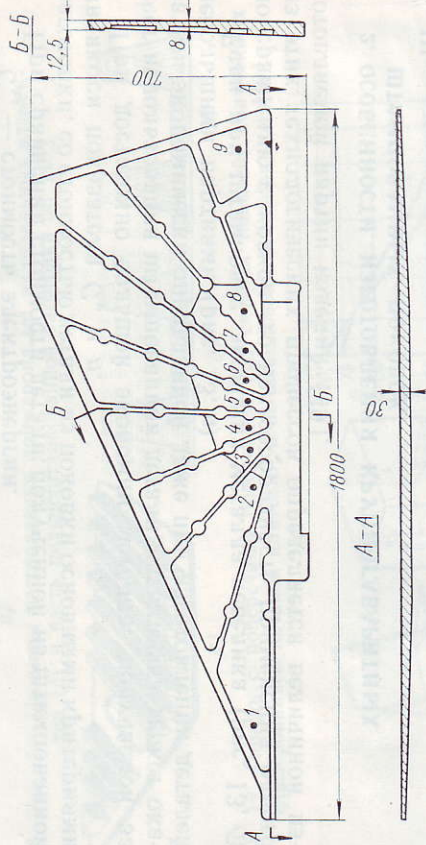


Рис. 14. Штампованная поковка панели:

1—9 — контрольные точки измерения толщины

штампа очень большие удельные усилия. При этом наиболее тяжелые условия (по напряженному состоянию штампового набора и элементов конструкции прессы) имеют место при штамповке квадратных или круглых в плане деталей из-за максимального сосредоточения нагрузок. Вместе с тем возможный эксцентриситет приложении нагрузки в этих случаях является минимальным, так как при симметричной форме деталей определение центра давления не вызывает особых затруднений.

При штамповке протяженных деталей вероятность большой величины эксцентриситета возрастает, поскольку на большой длине трудно обеспечить равномерность нагрева, смазки и т. д. Наибольший эксцентриситет возникает при штамповке асимметричных деталей, имеющих к тому же разнотолщинность по длине и ширине (см., например рис. 6, 14). Причина этого заключается прежде всего в трудности точного определения центра давления. Наличие эксцентриситета неблагоприятно сказывается на точности штампующей детали и на напряженном состоянии прессы и оснастки.

чество людей, при этом дополнительно расходуются материалы и инструмент. Изыскание негорючих смазок и более совершенного способа их нанесения продолжает оставаться одной из важнейших задач.

Отштампованные поковки с помощью специальных манипуляторов укладывают на транспортер-холодильник, доставляющий их в термодаточный отдел цеха, где производят обрезку заусенца (в основном на ленточных пилах), травление в 25%-ном щелочном растворе с последующим осветлением в 15%-ном растворе азотной кислоты и промывкой, а также контроль и зачистку дефектов. После этого детали, нуждающиеся в окончательной штамповке, подают к нагревательным печам.

Штампованные поковки после окончательной штамповки и обрезки заусенца подвергают отжигу или закалке в электрических закалочных агрегатах с вертикальным расположением деталей. Температура отжига составляет 200—250° С, температура закали — 470—530° С.

Коробление после закалки и отжига при вертикальном расположении штампованных поковок меньше, чем при горизонтальном расположении. Коробление устраняется правкой на правильных гидравлических прессах усилием 100—400 Т. Иногда правку производят в специальном штампе на штамповочном прессе. Полость этого штампа аналогична полости для окончательной операции, но имеет припуск, соответствующий величине деформации при правке [46].

Далее штампованные поковки в зависимости от марки сплава проходят естественное или искусственное старение в электропечах с выдвигаемыми тележками (температура нагрева 150—200° С, выдержка 8—16 ч).

После этого производят травление и контроль качества, заключающийся в проверке механических свойств, макро- и микроструктуры, геометрии, состояния поверхности, внутренних дефектов (ультразвуком, рис. 15) и т. д. Затем отштампованные детали сдают на склад готовой продукции.

Панели из магниевых сплавов. В качестве заготовок при штамповке панелей, как правило, используют катаные плиты. Технологический процесс штамповки в этом случае состоит из следующих операций: получения заготовки — катаной плиты, резки заготовки, нагрева, предварительной штамповки, обрезки заусенца, травления, нагрева, окончательной штамповки, обрезки заусенца и вырезки образцов, травления, зачистки дефектов, контроля качества, оксидирования, правки и сдачи готового изделия.

Резку катаных плит на заготовки производят на быстросходных ленточных пилах. Для нагрева заготовок, как и при штамповке алюминиевых сплавов, используют конвейерные электропечи с принудительной циркуляцией воздуха (температура нагрева до 420° С). В качестве технологической смазки применяют стеарат натрия.

Штампованные поковки из титановых сплавов. При использовании слитка в качестве исходной заготовки технологический процесс штамповки состоит из следующих операций: получения слитков диаметром до 1000 мм и длиной до 1500 мм, нагрева,ковки, механической обработки кованых заготовок, контроля качества, нагрева, штамповки, обрезки заусенца, контроля качества и сдачи готового изделия.

Для нагрева слитков диаметром до 500 мм используют индукционные методические печи, работающие в автоматическом режиме. Темп выдачи нагретых слитков задается реле времени в зависимости



Рис. 15. Контроль ультразвуком внутренних дефектов штампованной балки

от применяемого сплава и размеров слитка. Режим нагрева крупногабаритных слитков в специальной электропечи контролируется счетчиком импульсов (температура нагрева 1050—1150° С). Используют также пламенные газовые печи карусельного и камерного типов. Максимальный диаметр эксплуатируемых карусельных печей 9,1 м, а максимальные габаритные размеры камерных печей $4,2 \times 4,6 \times 1,8$ м³. В таких печах можно нагревать заготовки массой соответственно 9 и 22,5 т [45, 47].

Применение защитных обмазок при нагреве, а также высокая скорость последнего позволяют снизить потери на угар (с 3 до 0,5%), а также уменьшить толщину альфированного слоя.

С выходного рольганга индукционной печи нагретый металл подается мостовым краном на ковочный пресс. Из вертикальных постов электропечи слитки в вертикальном положении устанавливаются на тележку с электрическим приводом. При приближении тележки к прессу слиток захватывается манипулятором, кантуется в горизонтальное положение и подается в пресс. В случае необходимости подогрев слитков осуществляют в электропечах сопротивления или в печах с выдвигаемым подом.

Послековки заготовки проходят механическую обработку, проверку качества ультразвуковым дефектоскопом, а затем поступают на штамповку.

Ниже в качестве примера описан технологический процесс изготовления штампованной поковки лонжерона длиной 3700 мм, шириной 460 мм, минимальной толщиной полотна 4,25 мм из алюминиевого сплава на прессе усилием 31 500 Т [161].

Ковку заготовки выполняют на прессе усилием 7000 Т, штамповку — на прессе усилием 31 500 Т в три перехода. Перед каждым из них производят нагрев заготовки. После каждого перехода обрезку заусенца осуществляют на прессе усилием 2700 Т, установленном между прессами 31 500 и 45 000 Т, а для удаления остатков смазки производят травление. Вслед за окончательной штамповкой поковка лонжерона в течение нескольких часов подвергается термообработке в камерной печи, причем в третьей камере при температуре 470°С он находится в течение 3 ч, после чего его вынимают и мгновенно охлаждают в воде. Коробление лонжерона устраняют правкой на гидропрессе усилием 300 Т. Затем следует вторая ступень термообработки — искусственное старение в течение 24 ч, при температуре 115°С. Контроль качества штамповки осуществляют с помощью ультразвука. Кроме этого, контролируют размеры и твердость по Бринеллю.

4. ВЫБОР ЗАГОТОВКИ И ИСХОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ШТАМПОВКИ

При штамповке надо добиваться получения таких заготовок, форма и размеры которых максимально приближались бы к готовым деталям. Геометрические размеры штампованных заготовок отличаются от таковых размеров деталей на величину припусков и допусков. Численные значения последних назначаются в зависимости от требуемой точности деталей. Установлено шесть классов точности для штампованных поковок. Так, штампованные поковки, подвергаемые плоскостной калибровке, выполняют по 1-му и 2-му классам точности; штампованные поковки, подвергаемые горячей плоскостной калибровке для получения более точных размеров на отдельных участках, — по 3-му классу; штампованные поковки, изготовленные обычными способами горячей штамповки с последующей горячей калибровкой, — по 4-му классу, а штампованные поковки, изготовленные без калибровки, — по 5-му и 6-му классам. В настоящее время на прессах больших усилий получают детали из алюминиевых и магниевых сплавов в основном по 4-му и 5-му классам точности.

Припуски на механическую обработку назначают исходя из необходимости получения у готовой детали поверхности хорошего качества, т. е. заданной чистоты, равномерности структуры и т. д. Припуски устанавливают в зависимости от материала штам-

пованной поковки, наибольшего ее размера и требуемой чистоты обработки. Например, у штампованных заготовок поковок из алюминиевых и магниевых сплавов, которые не имеют склонности к окалинообразованию, снимаемый слой меньше, чем у штампованных поковок из титановых сплавов.

Припуски на каждую обрабатываемую поверхность назначаются в зависимости от класса чистоты обработки. Величины припусков обуславливаются также габаритными размерами штампованных поковок. У штампованных поковок, получаемых на мощных прессах, наибольшие габаритные размеры достигают 500—8000 мм.

Для титановых сплавов величины припусков колеблются от 2,75—3,75 мм, если штампованная поковка имеет габаритные размеры 500—630 мм, и до 11—13 мм, если ее габаритные размеры достигают 6300—8000 мм. В этом и последующих случаях первое значение припуска относится к 4-му а второе — к 8-му классам чистоты обработки. Величины припусков для алюминиевых и магниевых сплавов (габаритные размеры штампованных поковок 6300—8000 мм) изменяются от 2,5—3,5 мм (габаритные размеры штампованных поковок 500—630 мм) до 10—12 мм. Величины припусков указаны в приложении (табл. I).

Отметим, что приведенные припуски не распространяются на штампованные поковки, обрабатываемые в собранном виде, при стыковке агрегатов и т. п. В этих случаях припуски назначаются индивидуально по согласованию с технологами по механической обработке.

Допуски определяют возможные отклонения линейных размеров штампованных поковок, а также отклонения размеров между необрабатываемыми поверхностями.

Эти отклонения могут возникнуть из-за погрешностей в выборе заготовки и в процессе самой штамповки. Так, отклонения вертикальных размеров штампованной поковки, т. е. размеров, перпендикулярных к плоскости разреза штампов, выражаются в виде так называемой недоштамповки. Недоштамповка может быть вызвана неправильно выбранным объемом заготовки, неточностью выполнения фигуры штампа, упругими и пластическими деформациями инструментальной оснастки (штампа и подштамповых плит) при нагружении пресса, упругими деформациями элементов пресса, перекосом штампа и т. д. Если вертикальные размеры штампованной поковки (H , h , h_1 , рис. 16) определяют ее толщину и обуславливают двусторонний износ штампов, то допуски на них устанавливают в зависимости от площади проекции поковки на плоскость разреза штампа.

При штамповке из алюминиевых и магниевых сплавов сравнительно небольших поковок с площадью проекции 800—1250 см² допуск составляет от $-0,7 \div +1,4$ мм (4-й класс точности) до $-0,8 \div +2,1$ мм (5-й класс точности). При штамповке деталей с площадью пресекции 20 000—25 000 см² величина допуска увели-

числяется до $-2,6 \div +5,3$ мм (4-й класс точности) и до $-3,7 \div +7,8$ мм (5-й класс точности).

Допуски на вертикальные размеры поковок из титановых сплавов имеют следующие значения: для поковок с площадью проекции $480-800 \text{ см}^2$ $0,8 \div +1,5$ мм (4-й класс точности) и $-1,5 \div +3,5$ мм (6-й класс точности); для поковок с площадью проекции $4000-5300 \text{ см}^2$ $-2,4 \div +5,0$ мм (5-й класс точности) и $-3,0 \div +7,5$ мм (6-й класс точности).

Значения допусков на вертикальные размеры различных типов размеров штампованных поковок из алюминиевых, магниевых и титановых сплавов даны в приложении (табл. II).

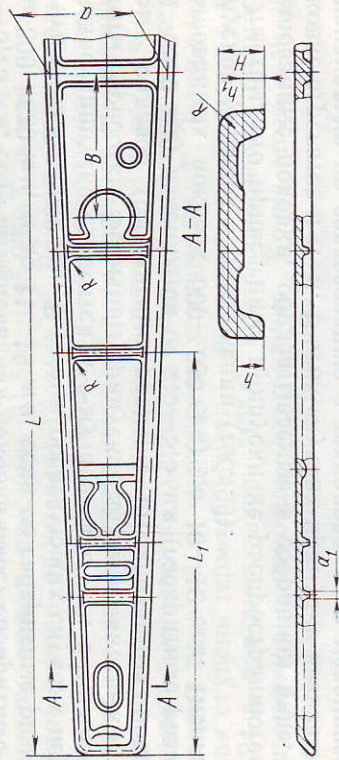


Рис. 16. Схема расстановки размеров штампованной поковки лонжерона

Величина допуска для размеров, обуславливающих износ штампов в одном направлении (h и h_1), определяется в зависимости от площади проекции поковки. Если дно углубления h не удаляется при последующей обработке, то допуск определяется по приложению (табл. III). Если дно углубления h_1 впоследствии будет удалено, допуск определяют также по приложению (табл. III), но величину его берут со знаком, обратным взятому в первом случае.

Отклонения горизонтальных размеров, т. е. размеров (длины и ширины поковки или выемок в ней, толщины ребер) в плоскости штампа, обуславливаются его износом, деформациями при нагружении и т. п. Допуски на ширину и длину штампованной поковки или ее элемента (например, ребра) устанавливают в зависимости от величин этих размеров. Например, допуск 4-го класса точности на размер $1000-1250$ мм составляет: для алюминиевых и магниевых сплавов $-2,0 \div +3,0$ мм, а для титановых сплавов $-2,8 \div +3,5$ мм. Допуски на габаритные горизонтальные размеры даны в приложении (табл. IV). Что касается других горизонтальных размеров, то в случае, если они обуславливают двусторонний износ штампа (a , a_1 на рис. 16), допуски на них принимаются по приложению (табл. IV), но с обратным знаком. Если же размеры L

обуславливают односторонний износ штампа, то для них принимается половинный допуск (приложение, табл. IV), но при этом величину размера удваивают ($2L$ или $2L_1$). Для размеров L и L_1 допуски надо брать с противоположными знаками. Допуски на горизонтальные размеры, определяющие расстояния между центрами B ребер или бобышек, принимают в зависимости от величины этих расстояний по приложению (табл. V).

В процессе штамповки вследствие неправильной установки штампа или стола пресса, сдвигов одной половины штампа относительно другой и т. д. заготовки могут смещаться в плоскости разреза штампа. Допуски на эти смещения (приложение, табл. VI) дополнительно к другим допускам устанавливают в зависимости от площади проекции штампованных поковок на площадь разреза. Величина этих допусков колеблется в пределах $0,8-4,0$ мм (4-й класс точности), $1,8-6,0$ мм (6-й класс точности) независимо от материала штампуемой заготовки.

Чтобы облегчить выемку готовой поковки из штампа, ее боковым поверхностям придают так называемые штамповочные уклоны. Величина их зависит, в частности, от эффективности действия системы выталкивателей, которыми оборудуются прессы, и составляет $3-15^\circ$. Допуски ($0^\circ 30' - 3^\circ$) на уклоны зависят от величины уклона и класса точности штампованной поковки (приложение, табл. VII).

Допуски на радиусы закругления R определяют по приложению (табл. VIII) в зависимости от номинального размера радиуса ($2,5-40$ мм) и класса точности штампованной поковки.

Тонкоплоскостные штампованные поковки после остывания и термообработки могут искривляться и коробиться. В связи с этим предусмотрены допуски на коробление (приложение, табл. IX), устанавливаемые по наибольшему габаритному размеру и классу точности штампованной поковки. Величина этих допусков от других допусков не зависит.

Для оценки точности массы заготовки введен специальный критерий, называемый коэффициентом использования металла (к. и. м.). Он может быть выражен отношением

$$K = \frac{G_d}{G_w},$$

где G_d — масса готовой детали;

G_w — масса штампованной поковки.

К. и. м. характеризует величину потерь металла в процессе превращения заготовки (штампованной или полученной свободной ковкой) в готовую деталь. Чем больше величина к. и. м., тем точнее заготовка. К. и. м. кованых заготовок составляет $0,05-0,1$, штампованных заготовок $0,2-0,95$.

Необходимо иметь в виду, что в отдельных случаях, в частности при изготовлении тонкоплоскостных изделий, оценка точно-

сти штампованной поковки только посредством к. и. м. может оказаться недостаточной. Например, изготовление детали типа па- нели со сложным оребрением и с полотно малой толщины обеспе- чивает высокий к. и. м. Действительно, к. и. м. при одинаковых площадях штампованной поковки и готовой детали будет зависеть от отношения их толщин. Однако для получения тонкого полотна с оребрением необходимы высокие удельные усилия, которые могут вызвать пластическую деформацию фигуры штампа. Поэтому при изготовлении подобных дета- лей допуски на размеры ребер мо- гут оставаться большими при ма- лых допусках на толщину полотна. В этом случае трудоемкость меха- нической обработки будет больше таковой при малых допусках на ребра и больших — на полотно. Общие затраты на изготовление де- тали из штампованной поковки свысоким к. и. м., но с более слож- ной последующей механической обработкой могут оказаться выше затрат на изготовление детали из штампованной поковки с более низким к. и. м., но с менее слож- ной механической обработкой.

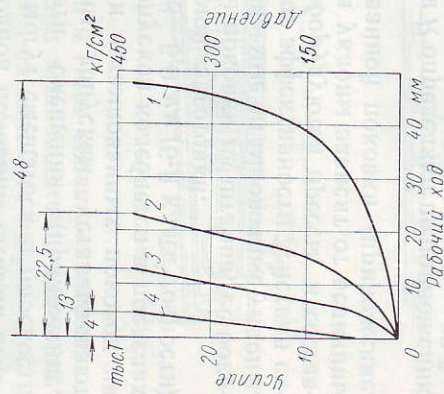


Рис. 17. Изменение усилия пресса в процессе рабочего хода при штам- повке подмоторной рамы [24]:

1 — предварительной; 2 — первой окон- чательной; 3 — второй окончательной; 4 — при повторном нажатии после вто- рой окончательной штамповки

пованные поковки панелей, лонжеронов и т. п., выполненные с большой геометрической точностью (по 4-му классу), могут иметь низкий к. и. м., если требуется механическая обработка их плос- кой поверхностью.

Вопрос о классе точности, по которому должно быть изгото- влено изделие, решается при выборе заготовки под штамповку. Форма и размеры заготовки должны соответствовать будущей штампованной поковке. Так, для панелей используют катаные плиты, для массивных деталей — прессованные и кованные заго- товки.

Объем заготовки рассчитывают по методике, изложенной, на- пример, в работе [38].

Важным моментом при разработке технологического процесса штамповки является расчет потребного усилия пресса.

Усилие пресса зависит от формы и размеров заготовки и штам- пуемой поковки, от механических свойств деформируемого ме-

талла, температуры нагрева заготовки и штампов, от состава при- меняемой смазки, чистоты обработки рабочих поверхностей штампа и т. д.

Величина удельных усилий при штамповке алюминиевых и магниевых сплавов составляет в среднем $20-80 \text{ кг/мм}^2$. В связи с возрастающими требованиями к точности штампованных по- ков увеличиваются и применяемые удельные усилия, причем наи- большее распространение получили усилия $50-60 \text{ кг/мм}^2$. Удель- ные усилия при штамповке титановых сплавов достигают 100 кг/мм^2 и более.

Усилие пресса изменяется в про- цессе рабочего хода, причем харак- тер этого изменения зависит от вида производимой операции, параметров заготовки, упругости гидросистемы и т. д.

На рис. 17 показаны типовые диаграммы изменения усилия в про- цессе рабочего хода на различных операциях штамповки рамы (подобная деталь изображена на рис. 3). Штам- повка производилась на прессе уси- лием $30\,000 \text{ Т}$ «Шлеман». Рабочий ход на диаграммах складывается из умень- шения начальной толщины заготовки при пластическом деформировании и из упругих деформаций деталей пресса и инструмента. При штамповке деталей другого типа характер изменения уси- лий в большинстве случаев сохраняется.

Диаграммы, приведенные на рис. 17, с достаточной для прак- тических целей точностью могут быть описаны следующим прибли- женным уравнением [24]:

$$P_x \approx P_{\max} \left(\frac{x}{H} \right)^n, \quad (1)$$

где P_x и x — соответственно усилие и рабочий ход в текущий момент штамповки;

$P_{\max}$ и H — соответственно максимальное усилие и полный рабочий ход (сумма деформации заготовки и упругих деформаций элементов пресса и инструмента).

Принципиально другой вид имеет диаграмма удельных усилий при штамповке диска (рис. 18).

На этом же рисунке показаны характерные стадии процесса штамповки. Диаграмма состоит из трех участков. На начальном

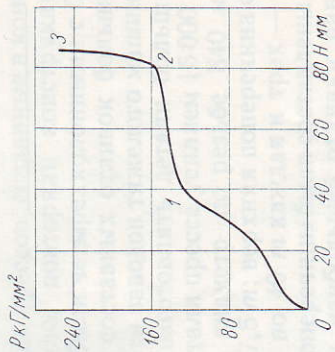
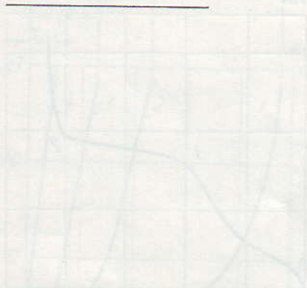


Рис. 18. Изменение удельных усилий p пресса в процессе ра- бочего хода H при штамповке диска [24]

участке 0—1 усилие плавно увеличивается; на участке 1—2, который соответствует процессу выдавливания, усилие почти постоянно. Заключительная стадия с истечением металла в тонкий кольцевой заусенец характеризуется вторым подъемом усилия на участке 2—3.

Знание возникающих усилий по ходу поперечины позволяет решать вопросы, связанные с выбором рационального привода и числа ступеней мощных гидравлических прессов.



ПРЕССЫ ДЛЯ ОБЪЕМА ЛЕГКИХ СПЛАВОВ

1. КОНСТРУКЦИИ

Конструкции первых штамповочных прессов 30-х, начале 40-х годов, как мощных ковочных прессов, так и прессов для штамповки деталей в виде цельных литых масс. Производственные сооружения в то время не позволяли строить прессов с большими массами и габаритными размерами (рис. 19). Например, колонны пресса имели длину 14 480 мм, масса каждой из пяти отливок: две по 82 т каждая. Подвижная и неподвижная плечи пресса состояли из трех отливок каждая, причём масса каждой составляла 105 т.

Пресс усилием 30 000 Т. Он состоит как бы из двух прессов усилием 15 000 Т. Эти пресса соединены между собой нижней (основанием) поперечной балкой. Диаметр колонн 1500 мм.

Характеристика мощных прессов «Шлеман» приведена в табл. 1.

Во Франции в 1939 г. фирмой «Шлеман» был построен габаритный штамповочный пресс усилием 30 000 Т, у которого рабочие цилиндры установлены на колоннах. Остальные колонны являются направляющими. Пресс имеет две поперечины, массу 64 500 кг/см². Размеры стола 3960 × 1830 мм, наибольшая высота хода 1500 мм.

В Англии фирма Леви в 1939 г. построила пресс усилием 12 000 Т (рис. 22): стол 3960 × 1830 мм, открытая высота 3050 мм, общая высота пресса 4300 мм.

В 1955 г. в США были построены два пресса усилием 31 500 Т.

Фирмы Юнайтед и Мест в 1955 г. построили соответственно пресса усилием 30 000 Т (рис. 24), в которых с некоторыми изменениями применены конструкции прессов фирмы «Шлеман».