

**КОВКА
И ШТАМПОВКА
ЦВЕТНЫХ
МЕТАЛЛОВ**

СПРАВОЧНИК



КОВКА И ШТАМПОВКА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

СПРАВОЧНИК



ИЗДАТЕЛЬСТВО «МАШИНОСТРОЕНИЕ»
Москва 1972

Ковка и штамповка цветных металлов. Справочник. Колл. авторов. М., «Машиностроение», 1971. стр. 232.

В справочнике приведены сведения о химическом составе, физических и механических свойствах, термомеханических параметрах, технологических процессахковки и штамповки цветных металлов и сплавов на их основе.

Справочник предназначен для инженеров-технологов и конструкторов. Он может быть полезен студентам и преподавателям вузов. Табл. 166, илл. 207, библи. 90 назв.

АВТОРЫ

Корнеев Н. И., д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки и техники; *Аржаков В. М.*, канд. техн. наук; *Бармашенко Б. Г.*, инж.; *Емельянов В. Б.*, инж., *Клейменов В. Я.*, канд. техн. наук; *Некрасова Г. А.*, инж.; *Никольский Л. А.*, канд. техн. наук; *Певзнер С. Б.*, канд. техн. наук; *Сазонова Т. Н.*, инж.; *Скугарев И. Г.*, д-р техн. наук; *Тимохина Е. Н.*, инж.; *Эйфир Е. М.*, канд. техн. наук; *Яценко К. П.*, канд. техн. наук.

Рецензент д-р техн. наук А. И. Колпашиников

Глава 1

МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

ВИДЫ СПЛАВОВ, ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПРИМЕНЕНИЕ

Алюминиевые сплавы

Классификация, химический состав, физические и механические свойства и технологические характеристики приведены в табл. 1—5 и на рис. 1—26.

могут быть использованы при расчетах времени нагрева и охлаждения поковок и штамповок.

Магниевые сплавы

Классификация и назначение, химический состав и механические свойства приведены в табл. 6—14 и на рис. 27—56. Магниевые сплавы имеют малую плотность, высокую способ-

1. Классификация по прочности алюминия и сплавов на его основе

Группа	Прочность и пластичность	Сплав	Механические свойства	
			σ_b в кг/мм ²	δ в %
I	Мягкие, пластичные	АД, АВ; АМц, АМг1, АМг2; АД31, АД33	Менше 30	5—22 (в зависимости от степени нагартовки)
II	Средней прочности и пластичности	Д1, АК2, АК4; АК4-1; АК6; АК6-1; ВД17, АМг6	30—45	10—15
III	Высокой прочности с пониженными технологическими свойствами	АК8, В93, В95; В96; ВАД23	Более 45 (до 60 и выше)	5

При конструировании поковок и штамповок наряду с прочностью надо учитывать и удельный вес, определяющий плотность металла. Следует учитывать также термический коэффициент линейного расширения и возможность понижения коррозионной стойкости пар (деталей из алюминия и сплавов на его основе, контактирующих с деталями и узлами из других металлов).

Значения коэффициента теплопроводности и удельной теплоемкости

ность поглощать энергию удара и вибрационные колебания.

Положительным свойством магниевых сплавов является также их высокая удельная теплоемкость. Температура поверхности деталей из этих сплавов при одинаковом количестве поглощенного тепла в 2 раза ниже по сравнению с температурой поверхности деталей из малоуглеродистой стали и на 15—20% ниже, чем у деталей из алюминиевых сплавов.

2. Химический состав алюминия и сплавов на его основе

Сплав	Легированные элементы в %						Вредные примеси в % (не более)									
	Cu	Mg	Mn	Si	Другие	Si	Fe	Cu	Mn	Ni	Zn	Mg	Прочие	Сумма Fe+Si или Fe+Ni	Сумма всех примесей	
Алюминий																
АД1	-	-	-	-	-	0,35	0,3	0,05	-	-	-	-	0,1	0,1	0,6Fe+Si	0,7
АД	-	-	-	-	-	0,55	0,5	0,1	-	-	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0Fe+Si	1,2
Алюминиево-марганцевые сплавы																
АМц	-	-	1,0-0,6	-	-	0,6	0,7	0,2	-	-	0,1	0,05	0,1	-	-	1,75
АМц2	-	0,8-1,3	0,9-1,4	-	-	0,7	0,7	0,1	-	-	-	-	-	0,1	-	1,6
Магналии																
АМг1	0,5-1,8	-	-	-	-	0,05	0,05	0,01	-	-	-	-	-	0,07	-	0,18
АМг2	1,8-2,8	0,2-0,6	-	-	-	0,4	0,4	0,1	-	-	-	-	-	-	0,6Fe+Si	-
АМг3	3,2-3,8	0,3-0,6	-	-	-	-	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
АМг4	3,8-4,8	0,5-0,8	-	-	-	0,05-0,25Cr	-	0,05	-	-	0,2	-	0,1	-	-	-
АМг5П	4,7-5,7	0,2-0,6	-	-	-	0,02-0,1Ti; 0,0001-0,0005Be	0,4	0,4	0,2	-	-	-	-	-	0,6Fe+Si	1,2
АМг6	5,8-6,8	0,5-0,8	-	-	-	0,02-0,1Ti; 0,0001-0,0005Be	-	0,1	0,1	0,2	-	-	-	-	-	-
Закалочные сплавы																
Д18П	2,2-3,0	0,2-0,5	-	-	-	0,5	0,5	-	0,2	0,1Ti	0,1	-	0,1	-	-	1,4
В65	3,9-4,5	0,15-0,3	0,3-0,5	-	-	0,25	0,2	0,1Ti	-	-	-	-	-	0,45Fe+Si	0,65	-
Дуралюмины																
Д1	3,8-4,8	0,4-0,8	0,1-0,8	-	-	0,7	0,7	-	-	0,1	0,3	-	-	0,1	0,6Fe+Si	1,2
ВД17	2,6-3,2	2,0-2,4	0,45-0,7	-	-	0,3	0,3	-	-	-	0,1	-	-	-	-	0,8

Жаропрочные сплавы

ЛД20	6-7	-	0,4-0,8	-	0,3	0,3	0,1	0,05	-	1,05
АК2	3,5-4,5	0,4-0,8	-	0,5-1,0	-	-	-	-	-	0,6
АК4	1,9-2,5	1,4-1,8	-	0,5-1,2	-	-	-	-	0,2	0,95
АК4-1	4,9-5,8	-	0,4-0,8	-	0,35	0,3	0,1	0,1	-	0,6
ВАД23	4,9-5,8	-	0,4-0,8	-	0,3	0,3	0,15	0,1	-	-
САП-1	-	6-9	} Al ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-
САП-2	-	9-13		-	-	-	-	-	-	-
САС-1	-	-	-	25-30	-	-	-	-	-	-
										0,25 жир-0,1H ₂ O

Ковочные сплавы

АК6	1,8-2,6	0,4-0,8	0,4-0,8	0,7-1,2	-	-	-	-	-	-
АК6-1	4,9-4,8	0,4-1,0	0,4-1,0	0,6-1,2	-	0,7	0,1	0,3	0,1	0,7Fe+Ni
АК8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1
										1,2

Высокопрочные сплавы

В93	0,8-1,2	1,6-2,2	-	-	0,2	-	0,1	0,1Ti	-	-	0,5
В95	1,4-2,0	1,8-2,8	0,2-0,6	-	0,5	0,5	-	-	0,1	1,0Fe+Si	1,1
В96	2,2-2,8	2,5-3,2	0,2-0,5	-	0,3	-	-	-	-	-	0,9

Коррозионностойкие сплавы

АВ	0,2-0,6	0,45-0,9	0,15-0,35	0,5-1,2	-	-	-	-	-	-	0,8
АД31	-	0,4-0,9	-	0,3-0,7	0,5	0,1	0,1	0,2	0,1	-	1,15
АД33	0,15-0,4	0,9-1,2	-	0,4-0,8	-	-	0,15	0,15Ti	0,25	0,15	1,4
АД35	-	0,8-1,4	0,5-0,9	0,08-1,2	0,5	0,1	-	0,2	0,1	0,1	-

3. Физические свойства алюминия и сплавов на его основе

Сплав	Плотность в $г/см^3$	Удельное электро- сопротивление в ом·мм ² /м	Коэффициент теплопроводности* в кал/см·сек·°С	Коэффициент линейного расширения* α·10 ⁻⁶ в 1/°С	Удельная теплоемкость* в кал/г·°С
АД1	2,71	59% (АМ); 57%* (АН) (Удельная электропро- водность в % от электропроводности)	0,52 (20) АН 0,54 (20) АМ	22 (от -50 до +20) 25,6 (20-300)	0,26 (100) 0,31 (400)
АД	2,73	40% (АМГН); 50% (АМЦМ)	0,43 (25); 0,45 (400) АМЦМ	21,6 (от -50 до +20) 25,0 (20-300)	0,23 (100), 0,26 (400), 0,22 (100)
АМЦ2	2,68	0,0476	0,37 (25); 0,38 (100)	22,2 (от -5 до +20) 24,3 (20-200)	0,26 (400)
АМГ1	2,7	0,0541	0,44 (25); 0,45 (400)	26,2 (20-400)	0,23 (100) 0,26 (400)
АМГ2	2,68	0,0476	0,37 (25); 0,40 (400)	22,2 (от -50 до +20) 25,8 (20-300)	0,23 (100) 0,25 (400)
АМГ3	2,67	0,0496	0,35 (25); 0,38 (400)	23,5 (20-100) 26,1 (20-400)	0,22 (100)
АМГ4	2,65	0,0609	0,32 (25); 0,33 (100)	24,3 (20-100)	0,26 (400)
АМГ5В	2,65	0,0640	0,29 (25); 0,35 (400)	—	0,22 (100) 0,26 (400)
АМГ6	2,64	0,0710	0,28 (25); 0,33 (400)	24,7 (20-200) 26,5 (20-400)	0,22 (100) 0,26 (400)
Д1811	2,76	0,039	0,39 (25); 0,46 (400)	23,4 (20-100) 25,2 (20-300)	0,22 (100) 0,28 (400)
В65	2,8	0,0504	0,36 (25); 0,44 (400)	—	0,23 (100)
Д1	2,75	0,054 (Д1Г)	0,28 (25); 0,42 (400)	21,8 (от -50 до +20) 25,0 (20-300) 23,6 (20-100)	0,19 (100); 0,23 (300) 0,20 (100)
ВД17	2,75	0,055	0,32 (25); 0,41 (400)	26,9 (300-400)	0,23 (400)
М40	2,75	0,0613 (М40Г)	0,29 (25); 0,34 (300)	24,2 (20-100)	—

ДЛ2	—	0,0610	0,33 (25); 0,35 (200) 0,38 (400)	22,6 (20—100); 30,2 (300—400)	—
АК2	2,8	0,047	0,37 (25); 0,43 (400)	22,3 (20—100) 24,2 (20—300)	0,18 (100) 0,24 (400)
АК4	2,77	0,05	0,35 (25); 0,41 (400)	21,8 (20—100) 24,9 (20—300)	0,20 (100); 0,25 (400)
АК4-1	2,8	0,055	0,34 (25); 0,39 (400)	19,6 (20—100) 24,7 (300—400)	0,19 (100); 0,22 (350)
ВАЛ23	—	0,0912	0,23 (100); 0,29 (400)	24 (20—100); 29,9 (300—400)	0,23 (100) 0,31 (400)
САП-1	2,7	0,39	0,42 (20); 0,40 (400)	21,2 (20—100)	0,21 (100); 0,27 (200)
САП-2		0,04		22,9 (100—200)	—
САС-1	2,75	0,105	0,21 (25)	14,5—15,5 (20—100)	0,1 (100); 0,19 (300)
АК6	2,76	0,041	0,42 (25); 0,45 (400)	21,4 (20—100)	0,19 (50)
АК6-1				35,6 (400—500)	0,24 (400)
АК8	2,8	0,043	0,38 (25); 0,43 (400)	25,5 (20—100) 24,5 (20—300)	0,20 (100); 0,26 (400)
В93	2,84	0,0408	0,39 (25); 0,39 (400)	24,1 (20—100) 40,7 (300—400)	0,19 (20); 0,27 (400)
В95	2,85	0,042 (В95Г)	0,37 (25); 0,38 (400)	22 (от —50 по +20) 26,2 (20—300)	—
В96	2,89	0,0579 (В96Г)	0,27 (25); 0,39 (300)	22,84 (20—100) 24,66 (100—200)	0,19 (100)
АВ	2,7	0,055 (АВТ и АВТ1)	0,37 (25)	21,8 (от —50 по +20)	0,23 (300)
АД31		0,0344	0,45 (25); 0,45 (400)	24,3 (20—200) 26,7 (20—400)	0,22 (100) 0,25 (400)
АД33	2,71	0,0438	0,34 (25); 0,41 (300)	24,1 (20—200) 25,0 (20—300)	0,225 (100) 0,25 (300)
АД35	2,69	0,038	0,44 (25)	24 (20—200)	0,21 (100)

* В скобках указана температура в °С.

4. Механические свойства полуфабрикатов из алюминия и сплавов на его основе

Сплав	Полуфабрикат	Состояние поставки	σ_d в кг/мм ²		$\sigma_{0,2}$ в кг/мм ²		$\delta_{1,0}$ в %	
			Направление вырезки образца					
			вдоль	поперек	вдоль	поперек	вдоль	поперек
АД1 и АД	Прутки всех размеров	Нагартованный Отожженный	15 8—11		10 3		6 25—35 $l=5d$	
АМЦ		Отожженный или термически не обработанный	Не более 17				20 $l=5d$	
АМг1	Штамповки Поковки	Отожженный	17				15 $l=5d$	
АМг2	Прутки всех размеров			16—23				10 $l=5d$
		Полунагартованный	25		21		6	
АМг3	Штамповки Поковки	Отожженный	19		7 17		15	
АМг5	Штамповки Поковки		28		15			
АМг6	Штамповки Поковки		Отожженный (в зависимости от веса)	29—32		12—16		11—15
Д18П	Прутки и проволока	После закалки и естественного старения Отожженный	30 16		17 6		24	τ_{cp} 20 —
В65	Проволока	После закалки и естественного старения	40		—		20	τ_{cp} 25—26
Д1	Штамповки Поковки	После закалки и старения	38 36	36 34	20 —	18 —	12 10	6 5
			40	—	26			
ВД17	Штамповки	После закалки и искусственного старения	40	—	38	28	10 $l=5d$	8
М40	Поковки		38	37	26	10	4	
Д20	Штамповки Поковки		38	37	26			
Д21	Штамповки Поковки		40	38	27 26	—	7 6	4 3
			37 36	—	24 —		5 4	—

Продолжение табл. 4

Сплав	Полу- фабрикат	Состояние поставки	σ_e в кг/мм ²		$\sigma_{0,2}$ в кг/мм ²		δ_{10} в %	
			Направление вырезки образца					
			вдоль	попе- рек	вдоль	попе- рек	вдоль	попе- рек
АК4	Штамповки Поковки	После закалки и искусствен- ного старения	38 36	—	26 —	—	4 3	—
АК4-1	Штамповки Поковки		40 38	38	26 —	—	5	4
ВАД-23	Прутки		55—56	—	50—52	—	4	—
САП-1	Прутки и полосы	Термической обработке не подвергаются	29—31	—	20	—	7—9 $l=5d$	—
САП-2			32	—	—	—	4	
САС-1	Прутки		22—24	—	21—23	—	$d=5$ 0,5	
В95	Штамповки Поковки	После закалки и искусствен- ного старения	52 50	46 45	41 42	—	6 5	4 3
В93	Штамповки Поковки		49 48	49 48	44	44 43	6	3,5
В96	Штамповки		60	54	54	—	5	3
	Поковки		57	52	50	—	4	—
АВ	Штамповки		30	27	22	—	12	—
	Поковки		28	—	—	—	10	—
АК6	Штамповки		39	37	28	25	8	7
	Поковки		37	35	—	—	8	6
АК6-1	Штамповки		39	37	28	25	10	7
	Поковки		37	35	—	—	8	6
АК8	Штамповки		44	40	32	—	10	—
	Поковки		42	36	—	—	8	4
АД31	Прутки всех размеров	После закалки и естественного старения	14	—	7	—	13	—
		После закалки и искусствен- ного старения	20	—	15	—	8	—
АД33	Прутки всех размеров	После закалки и естественного старения	18	—	11	—	15	—
		После закалки и искусствен- ного старения	—	—	23	—	10	—
АД35	Прутки и полосы	После закалки и естественного старения	27	—	20	—	10—15	—
		После закалки и искусствен- ного старения	33	—	28	—	8	—

5. Технологические характеристики алюминиевых сплавов

Сплав	Прочность при 20°	Максимальный диаметр слитка в мм	Степень сложности получаемых штамповок	Температура применения в °С
АК6; АК6-1 АК8	Средняя Высокая	1100—1200	Наиболее сложные Средней сложности	150—180
АК4-1	Средняя			До 250
В-93	Высокая	1100	Средней сложности	До 100—120
А-В	Малая	500—600		
АД31 АД33 АД35	Малая, невысокая, средняя	500—1100	Наиболее сложные	До 150—180
АД; АД1 АМг1 АМг2 АМг3 АМг4 АМг5В АМг6				
Д1	Средняя	До 800	Средней сложности	До 150
В95; В96	Высокая	300—500		До 100—120
ВАД-23		500—600	Несложные	До 160—180
Д20	Средняя	1100		До 300
САП-1 САП-2	Невысокая и средняя	—	Средней сложности	300—500

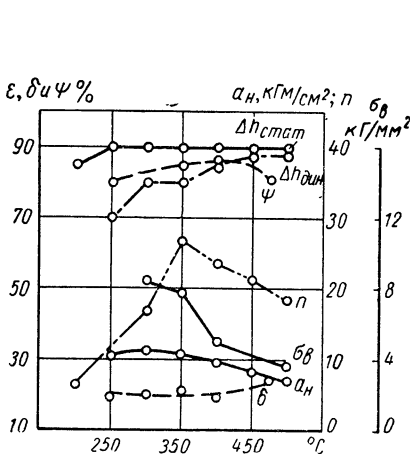


Рис. 1. Диаграмма пластичности алюминиевого сплава АМц (прессованный)

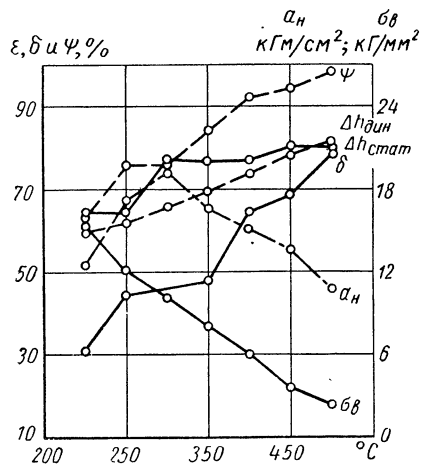


Рис. 2. Диаграмма пластичности алюминиевого сплава АМг (прессованный)

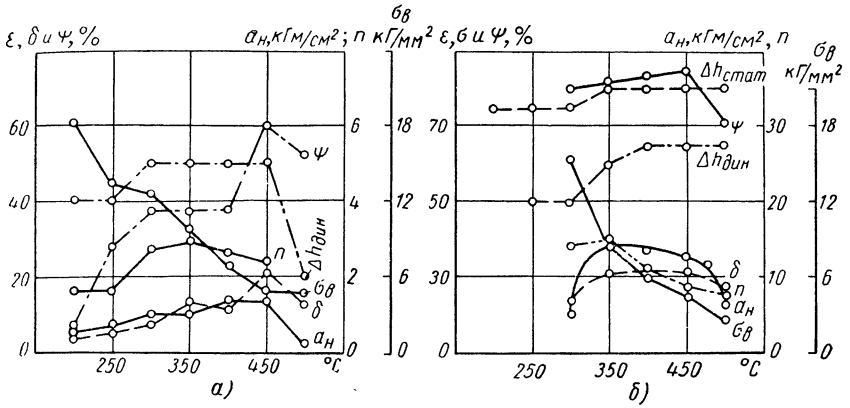


Рис. 3. Диаграмма пластичности алюминиевого сплава АК6: а — литой; б — деформированный

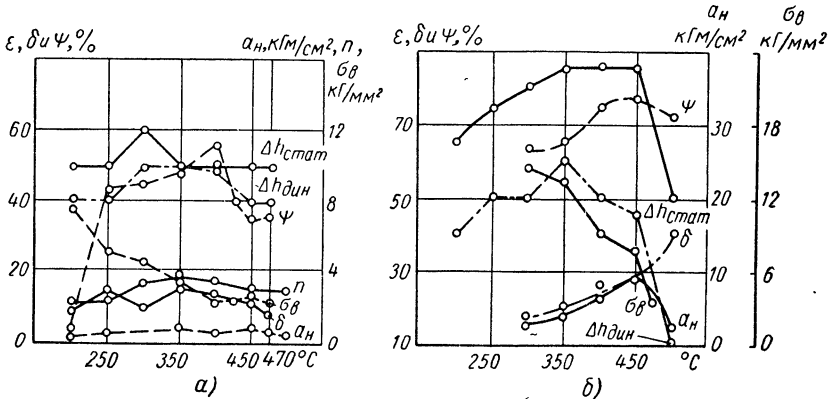


Рис. 4. Диаграмма пластичности алюминиевого сплава АК8: а — литой; б — деформированный

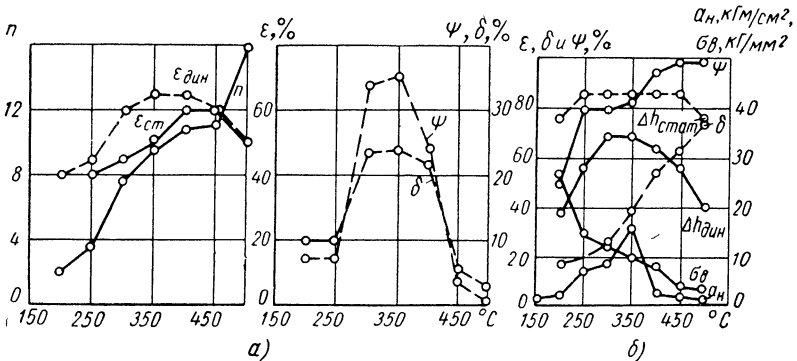


Рис. 5. Диаграмма пластичности алюминиевого сплава В93: а — слиток Φ 145 мм; б — деформированный

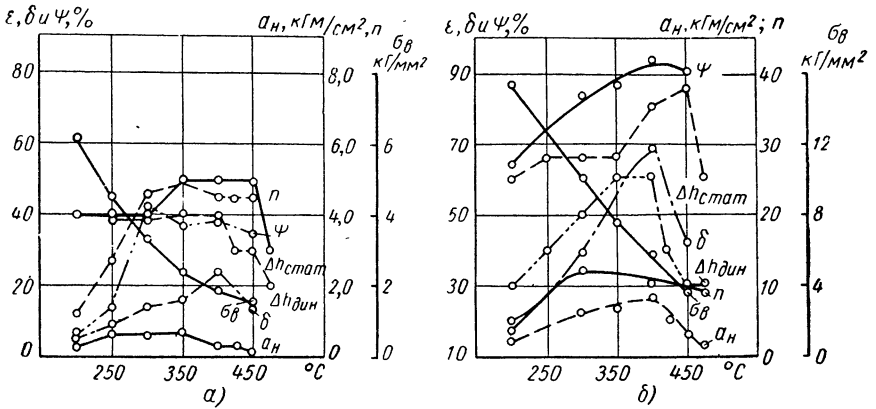


Рис. 6. Диаграмма пластичности алюминиевого сплава В95: а—литой; б—деформированный

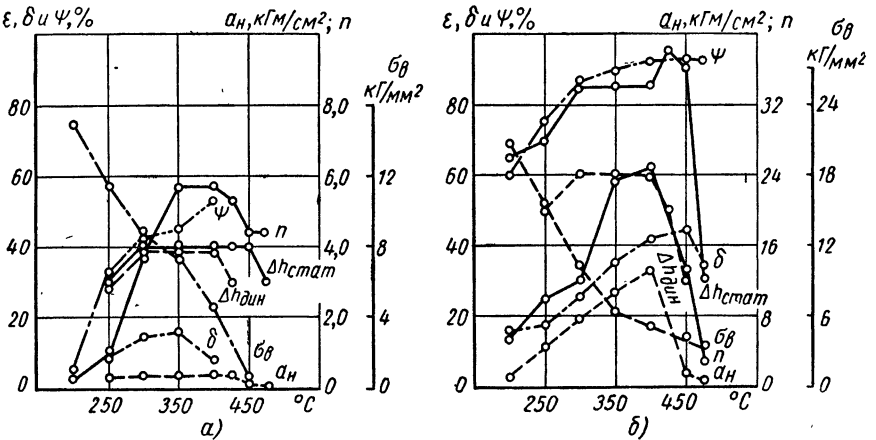


Рис. 7. Диаграмма пластичности алюминиевого сплава В96: а—литой; б—деформированный

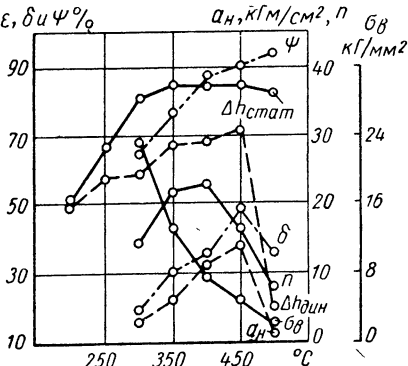


Рис. 8. Диаграмма пластичности алюминиевого сплава ВД17 (прессованный)

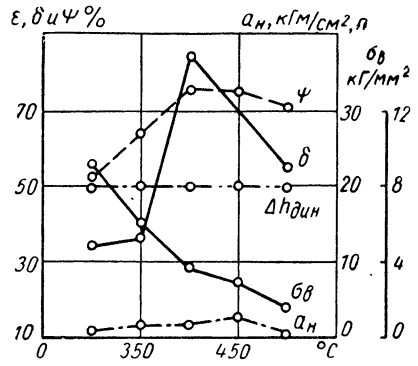


Рис. 9. Диаграмма пластичности алюминиевого сплава АК4 (прессованный)

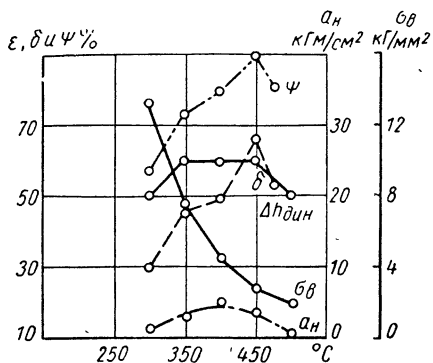


Рис. 10. Диаграмма пластичности алюминиевого сплава АК4-1 (прессованный)

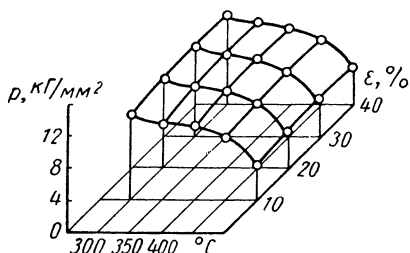


Рис. 11. Кривые течения алюминиевого сплава АМц (копер)

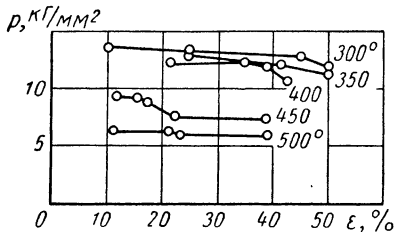


Рис. 12. Кривые течения алюминиевого сплава АК6 (копер)

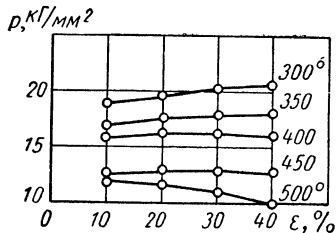


Рис. 13. Кривые течения алюминиевого сплава В95 (копер)

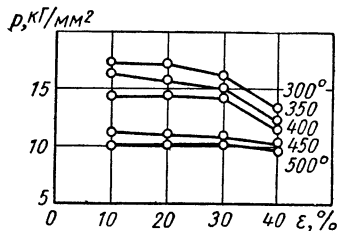


Рис. 14. Кривые течения алюминиевого сплава ВД17 (копер)

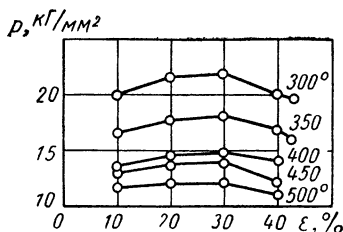


Рис. 15. Кривые течения алюминиевого сплава АК4 (копер)

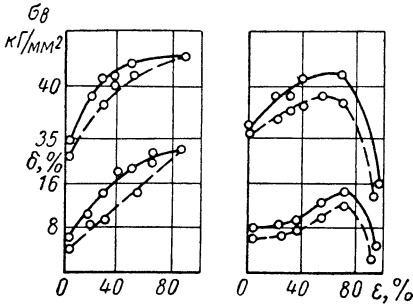


Рис. 20. Влияние общей деформации на механические свойства алюминиевого сплава Д1 (Ливанов В. А.): — центр; --- периферия

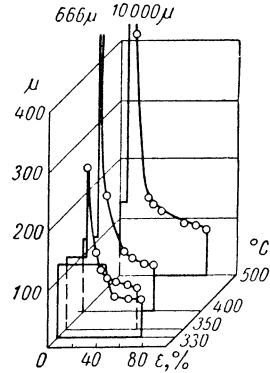


Рис. 21. Диаграмма рекристаллизации обработки алюминия ($\text{Si}=0,13\%$; $\text{Fe}=0,2\%$). Катаные прутки, горячее осаживание, отжиг при температуре осаживания в течение 20 мин в соляной ванне

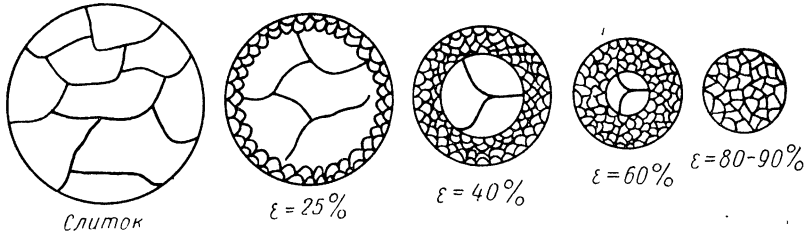


Рис. 22. Изменение макроструктуры прессованного прутка из алюминиевого сплава в зависимости от общей деформации (схема)

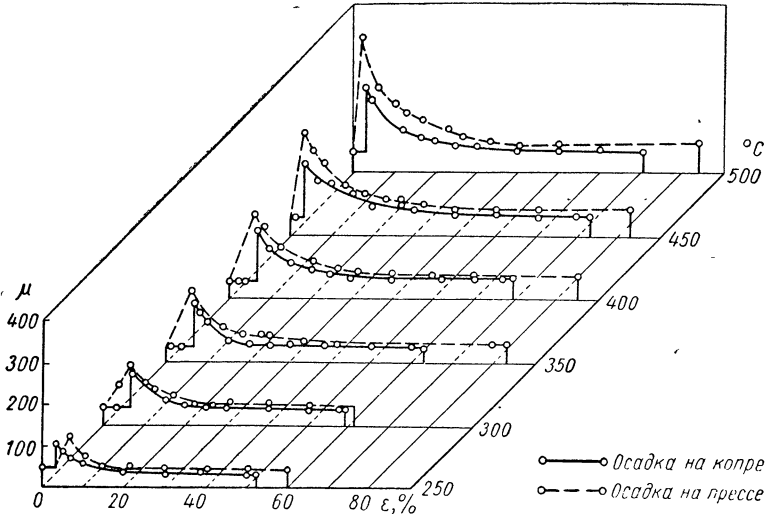


Рис. 23. Диаграмма рекристаллизации дуралюмина Д1 отжиг при 500°C в течение 3 ч

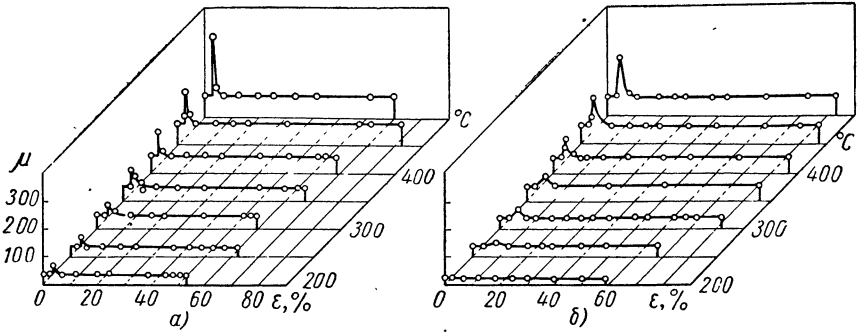


Рис. 24. Диаграмма рекристаллизации алюминиевого сплава ВД17: а — осадка на прессе; б — осадка на копке

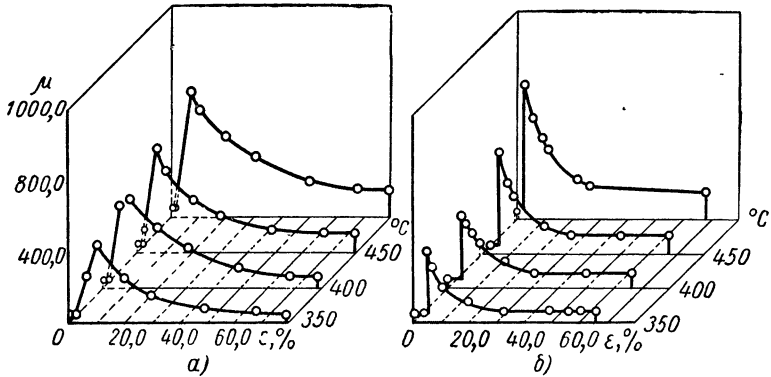


Рис. 25. Диаграмма рекристаллизации алюминиевого сплава АК6: а — осадка на прессе; б — осадка на копке

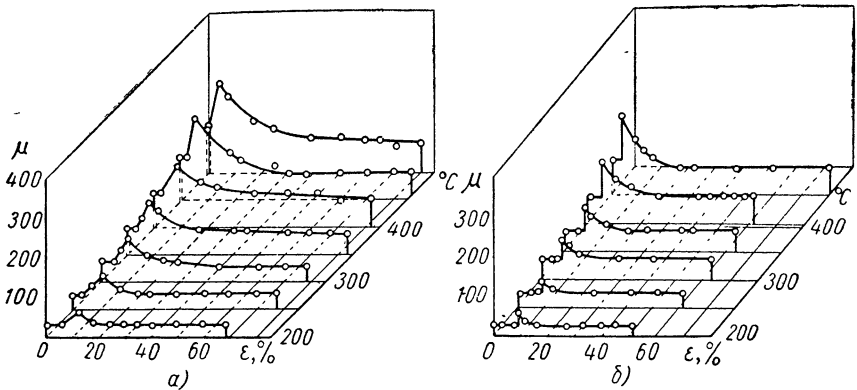


Рис. 26. Диаграмма рекристаллизации алюминиевого сплава АК8: а — осадка на прессе; б — осадка на копке

6. Классификация и назначение магниевых сплавов

Группа	Прочность σ_b в кг/мм ²	Сплав	Система сплава	Пластичность в интервале температуры горячей деформации	Рабочая температура деталей в °С (не более)		Назначение
					при длительной работе	при кратковременной работе	
I	Невысокой прочности 17—23	МА1	Mg — Mn	Высокая	До 150	До 200	Штамповки несложной конфигурации, не несущие больших перегрузок Все виды деформируемых полуфабрикатов и штамповки для деталей средней прочности и сложные по форме Прессованные полуфабрикаты для деталей средней прочности Кованые и штампованные детали сложной формы для работы в условиях средних нагрузок Все виды деформированных полуфабрикатов для деталей сложной формы. Применение свободнойковки ограничено Штамповки заготовок для нагруженных деталей по форме средней сложности. Свободнаяковка — не рекомендуется Штамповки нагруженных деталей по форме средней сложности. Свободнойковкой не обрабатываются Имеет наиболее широкое применение в промышленности для изготовления крупногабаритных нагруженных деталей сложной формы. Допускаются простые операции свободнойковки
		МА8	Mg — Mn — 0,2%Ce	Хорошая	До 200	До 250	
		МА9	Mg—Mn—0,5Al—0,2Ca				
		МА2	Mg — Al — Zn — Mn				
II	Средней прочности 23—26	МА2-1	Mg — Al — Zn — Mn	Удовлетворительная	До 150	До 200	
		МА3*	Mg — Al — Zn — Mn				
		МА5*	Mg — Al — Zn — Mn				
		ВМ65-1	Mg — Zn — Zn				
III	Высокой прочности 26—34	ВМ17	Mg — Ce — Mn	Хорошая	125—150	До 200	
		МА11*	Mg — Nd — Mn — Ni				
		МА13*	Mg — Th — Mn				
		ВМД1	Mg — Th — Mn				
IV	Жаропрочные	ВМ17	Mg — Ce — Mn	Удовлетворительная	До 200	До 250	
		МА11*	Mg — Nd — Mn — Ni				
		МА13*	Mg — Th — Mn				
		ВМД1	Mg — Th — Mn				
Примечания: 1. Сплавы МА1, МА3 и МА5 применяются ограниченно. 2. Сплавы МА9, МА11, МА13, ВМД1 и ВМ17 применяются для изготовления деталей, работающих в условиях повышенных температур. 3. Сплавы МА13 и ВМД1 содержат в своем составе радиоактивный торий, поэтому все виды обработки должны осуществляться в соответствии со специальными правилами. * Имеют пониженную пластичность, особенно в литом состоянии.							

7. Химический состав магниевых сплавов

Сплав	Легированные элементы в %				Примеси в % (не более)							
	Al, Cd, Nd, Th	Mn, Zr	Zn, Ca, Ni, Ag		Al	Cu	Be	Ni	Zn	Si	Fe	Прочие
МА1	0,3Al	—	—	—	—	—	0,2	—	0,3	—	—	0,2
МА8	—	1,5—2,5Mn	0,15—0,35Ce	0,3	—	—	—	0,01	—	—	—	0,3
МА9	0,4—0,8Al	1,0—1,8Mn	0,08—0,3Ca	—	—	—	—	—	0,1	0,15	—	0,03
МА2	3,0—4,0Al	0,15—0,5Mn	0,2—0,8Zn	—	—	—	—	—	—	—	0,05	—
МА2-1	3,8—5,0Al	0,4—0,8Mn	0,8—1,5Zn	0,1Ca	0,05	—	0,02	0,005	—	—	—	0,3
МА3	5,5—7,0Al	0,15—0,5Mn	0,5—1,5Zn	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ВМ17	2,5—3,5Cr	1,4—2,2Mn	—	0,2	—	—	0,01	0,01	0,2	0,2	—	—
МА5	7,8—9,2Al	0,15—0,5Mn	0,2—0,8Zn	—	—	—	—	—	—	0,15	0,03	—
ВМД3	1,2—2,0Cd	0,45—0,9Zr	2,5—3,5Zn	—	0,03	—	—	—	—	—	—	—
ВМ65-1	—	0,3—0,9Zr	5,0—6,0Zn	0,05	—	—	—	—	—	0,05	0,05	—
МА11	2,5—3,5Nd	1,5—2,5Mn	0,13—0,25Ni	—	0,03	—	0,02	0,005	0,2	0,05	0,03	0,3
МА13	1,7—2,0Th	0,4—0,8Mn	—	0,2	—	—	—	—	—	—	—	—
ВМД1	2,5—3,5Th	1,2—2,0Mn	—	—	0,05	—	—	—	—	0,15	—	—
МА10	7,8—8,8Al 7,0—8,0Cd	0,2—0,8Mn	2,0—2,4Ag	—	0,03	—	—	—	0,3	—	0,05	—

8. Физические свойства магния

Наименование показателей	Показатели
Плотность в $Г/см^3$ при температуре в $^{\circ}C$:	
20	1,74
650 (твердый)	1,64
650 (жидкий)	1,57
700	1,54
Точка плавления в $^{\circ}C$	650
Точка кипения в $^{\circ}C$	1120
Теплота плавления в $кал/г$	88,8
Теплота испарения в $кал/г$	1300
Теплота сгорания в $кал/моль$	145 000
Удельная теплоемкость при $25^{\circ}C$ в $кал/г \cdot ^{\circ}C$	0,25
Коэффициент теплопроводности в $кал/см \cdot сек \cdot ^{\circ}C$	0,376
Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^{-6}$ в $1/^{\circ}C$ при температуре в $^{\circ}C$:	
20—100	25,8
20—300	27,0
20—500	29,9
Удельное электросопротивление в $мккал/см$ при температуре в $^{\circ}C$:	
20	4,46
300	10
650 (твердый)	15
650 (жидкий)	35
1000	39

9. Физические свойства магниевых сплавов

Наименование показателей	Показатели по сплавам				
	МАЗ, МА5	МА2	ВМДЗ	ВМ65-1	МА9
Плотность при $20^{\circ}C$ в $Г/см^3$	1,82	1,78	1,83	1,80	1,77
Точка плавления в $^{\circ}C$	600	615	627	649	618
Удельное электросопротивление при $20^{\circ}C$ в $мком/см$	16	11,5	10	—	12,5
Коэффициент теплопроводности при $20^{\circ}C$ в $кал/см \cdot сек \cdot ^{\circ}C$	0,16	0,23	0,27	0,28	0,35
Коэффициент линейного расширения при $20-100^{\circ}C$ $\alpha \cdot 10^{-6}$ в $1/^{\circ}C$	26	26	25,9	20,9	25,5
Удельная теплоемкость при $25^{\circ}C$ в $кал/г \cdot ^{\circ}C$	0,27	0,27	0,24	0,25	—

12. Типичные механические свойства поковок из магниевых сплавов при 20° С*

Сплав	Состояние поставки	σ_{θ}	$\sigma_{0.2}$	δ В %
		в кг/мм ²		
МА1	Без термо-обработки	19	—	6
МА2		27	16	10
МА2-1		28	—	—
МА3	Отжиг 340° С Закалка	30	22	12
МА5		31	24	10
МА8		22	16	8
ВМ 5-1	Искусственное старение	31	25	12

* Механические свойства поковок зависят от расположения образца (разрывного) относительно направления металла при деформировании. Наиболее высокие механические свойства имеют образцы, ось которых параллельна направлению максимального течения материала, т. е. чаще всего по длине поковки, свойства по ширине поковки несколько меньше, а по толщине — минимальные.

В сравнении с алюминиевыми магниевые сплавы дают значительно большую усадку и обладают более низкой теплопроводностью.

При конструировании деталей и узлов следует избегать острых надрезов и резких переходов сечений. Целесообразно учитывать анизотропию механических свойств поковок и штамповок, с тем чтобы действие максимальных напряжений в деталях совпадало с направлением максимальных механических свойств штамповок.

При соединении деталей из магниевых сплавов с деталями из других материалов необходимо учитывать возможность контактной коррозии, а при соединении с неметаллическими материалами — агрессивность последних.

Некоторые деформируемые магниевые сплавы (МА3, МА5) подвержены коррозии под напряжением (коррозионному растрескиванию).

Несоблюдение температуры концаковки и штамповки (при слишком высокой температуре конца деформации) приводит к образованию крупнозернистой структуры и снижению механических свойств или (при слиш-

ком низкой температуре конца деформации) к перенаклепу и трещинам.

Результаты статистической обработки значений механических свойств крупногабаритных серийных штамповок из сплава ВМ65-1 приведены на рис. 27 в виде кривых нормального распределения механических свойств штамповок, изготовленных на гидравлических прессах, причем на рис. 27, а даны результаты по пределу прочности, а на рис. 27, б для значений относительного удлинения. Предел прочности аналогичных по форме деталей, но отличающихся по весу при исследовании трех весовых групп (I группа до 30 кг, II группа от 31 до 100 кг и III группа — от 101 до 250 кг) практически имеют близкие значения предела прочности с небольшим преимуществом у деталей I группы и минимальными у III группы; уровень значений механических свойств II группы занимает промежуточное положение. Характеристики относительного удлинения, исследуемые на всех трех весовых группах деталей, изменяются с той же закономерностью, т. е. значения относительно удлинения I группы 16%, II группы 12%, и III группы 10%.

Полученная зависимость значений предела прочности и относительного удлинения объясняется меньшей степенью деформации металла в штамповках большого веса. На конструктивную прочность нагруженных деталей, изготовленных из штамповок, большое влияние оказывает характер расположения волокна по сечению штамповки, определяемый по макроструктуре.

На рис. 28 приведен фотоснимок общего вида штамповки, а на снимках, расположенных правее, ее макроструктура в зонах А и Б, которая характеризуется нормальным расположением волокна соответствующим конфигурации детали. Такая макроструктура характерна для штамповок, изготавливаемых с уменьшенными припусками на механическую обработку. На рис. 29 приведена макроструктура, наблюдаемая на темплетях (вырезанных из тех же зон А и Б, но из штамповки, изго-

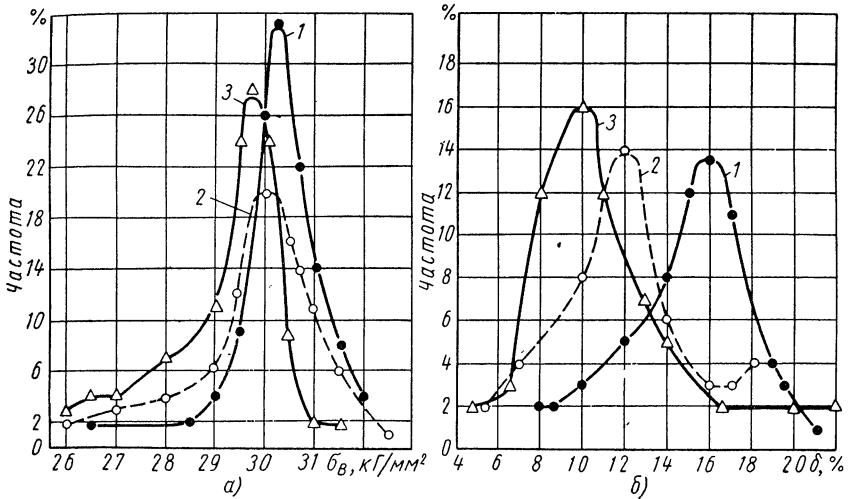


Рис. 27

13. Типичные механические свойства штамповок из магниевых сплавов при 20° С

Сплав	Полуфабрикаты в состоянии поставки	σ_e	$\sigma_{0,2}$	δ в %	σ_{-1} в кг/мм ² на базе $5 \cdot 10^7$ циклов	НВ в кг/мм ²	a_H в кг/см ²
		в кг/мм ²					
МА1	Штамповка без термообработки	18	—	4	11,0	62—66	1,2—1,5
МА8		22	—	8			
МА2		26	15	12			
МА2-1		27	17	10			
МА2-1	Штамповка весом 50 кг без термообработки	26	14	19	10,5	—	—
МА3		29	24	12			
МА5	Штамповка — закаленная	30	22	7	14,0	68—73	0,4—0,6
	Штамповка весом 50 кг без термообработки	28	21	10			
	Штамповка весом 30 кг (старение 185° — 24 ч)	30,5	22	7			
ВМ65-1	Штамповка весом до 2 кг состаренная	32	26	14	12,0	70—76	0,7—1,2
	Штамповка весом 50 кг состаренная	29	22	16			
ВМ17	Штамповка (крыльчатка без термообработки)	26	16	10	8,0	—	0,4

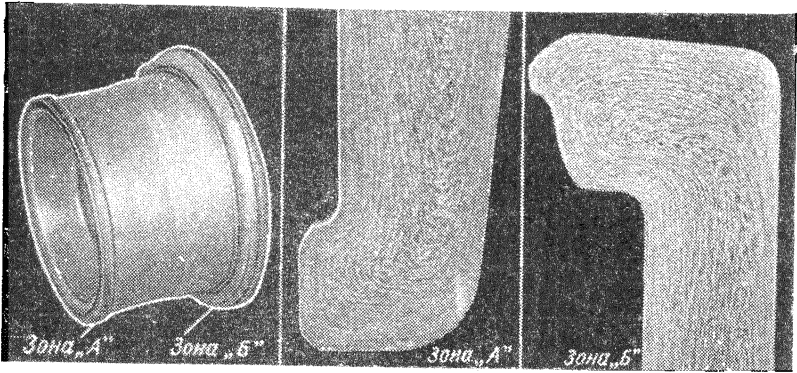


Рис. 28

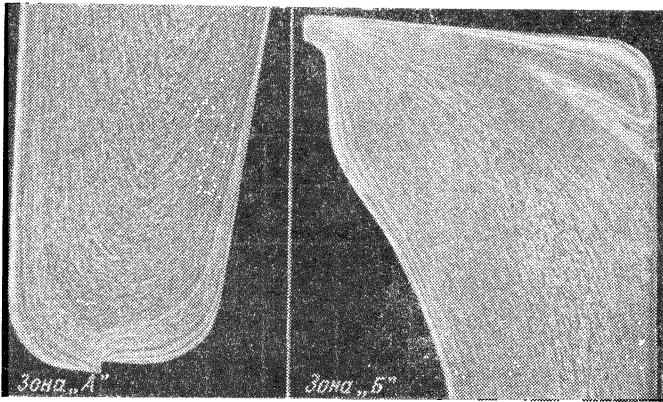


Рис. 29

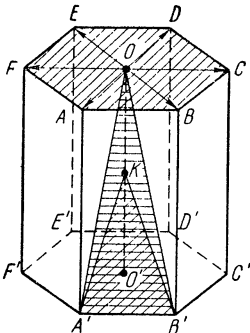


Рис. 30. Модель кристаллической решетки магния и основные плоскости и направления скольжения: $ABCDE$ — плоскость базиса (0001); OB — направление скольжения; $A'OB'$ — плоскость пирамиды первого рода первого порядка (1011); $A'KB'$ — плоскость пирамиды первого рода второго порядка (1012); OO' — гексагональная ось

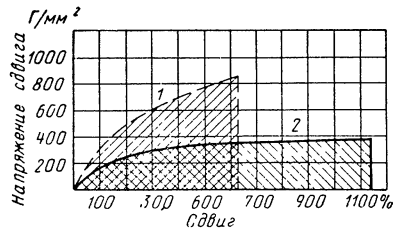


Рис. 31. Кривые упрочнения монокристалла магния при температуре 250° С и различных скоростях деформации

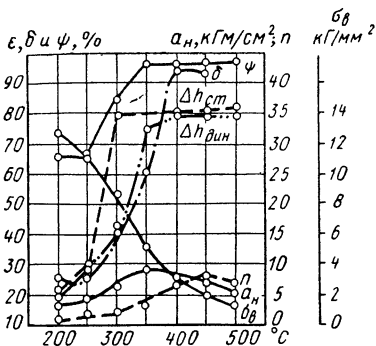


Рис. 32. Диаграмма пластичности сплава МА8

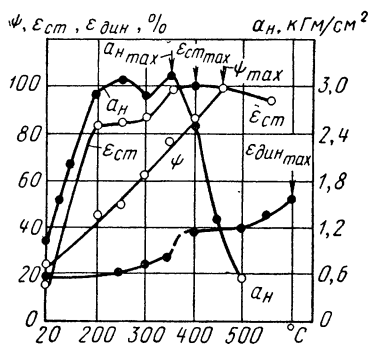


Рис. 33. Диаграмма пластичности сплава МА2

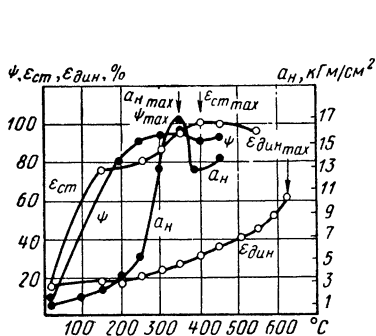


Рис. 34. Диаграмма пластичности сплава МА3

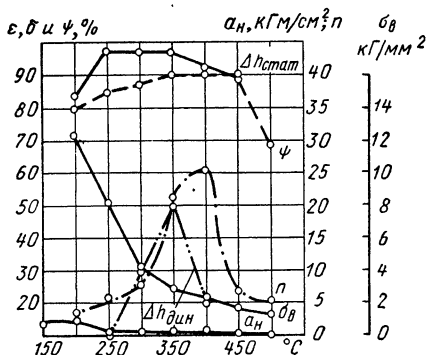


Рис. 35. Диаграмма пластичности сплава BM65-1

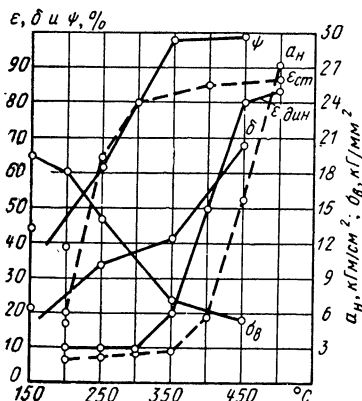


Рис. 36. Диаграмма пластичности сплава типа BM3

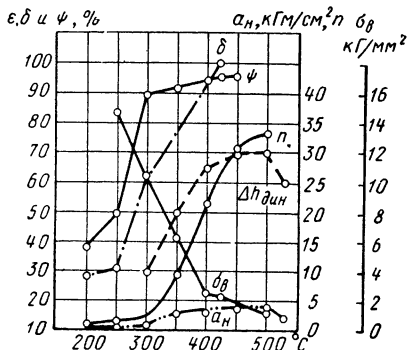


Рис. 37. Диаграмма пластичности сплава BM17

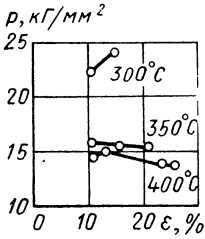


Рис. 38. Удельные давления сплава МА1 при динамическом нагружении ($V_0 = 4,4 \div 8,5$ м/сек)

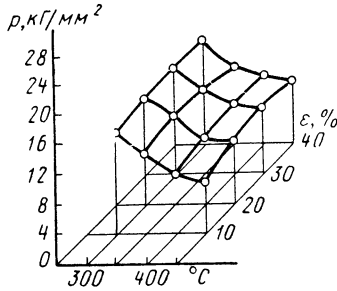


Рис. 39. Удельные давления сплава МА8 при динамическом нагружении (Ф. И. Филатов)

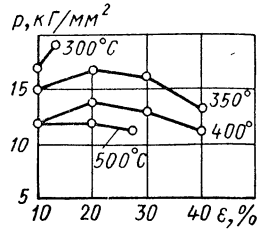


Рис. 40. Удельные давления сплава ВМ65-1 при динамическом деформировании (Ф. И. Филатов)

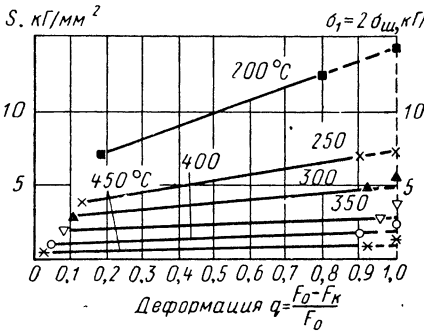


Рис. 41. Ориентировочная прямая истинных напряжений магния

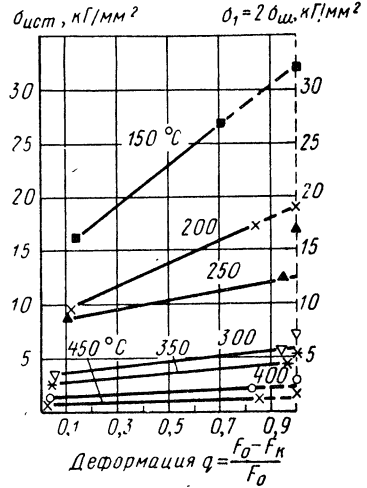


Рис. 42. Ориентировочная прямая истинных напряжений сплава МА3 (С. И. Губкин, Е. М. Совицкий)

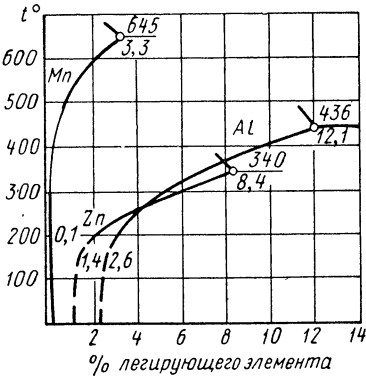


Рис. 43. Область твердых растворов в системах

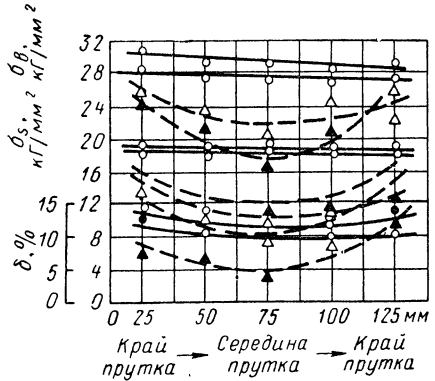


Рис. 44. Распределение механических свойств по сечению прутка с общей степенью деформации 75% (А. А. Луконин)

○—○ МА-2 Вдоль волокон
 ●—● МА-7
 △—△ МА-2 Поперек волокон
 ▲—▲ МА-7

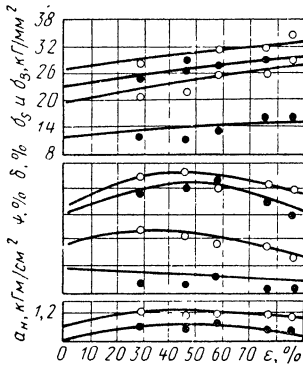


Рис. 45. Изменение механических свойств сплава МА2 в зависимости от степени деформации при ковке в фигурных бойках пресса (А. А. Луконин)

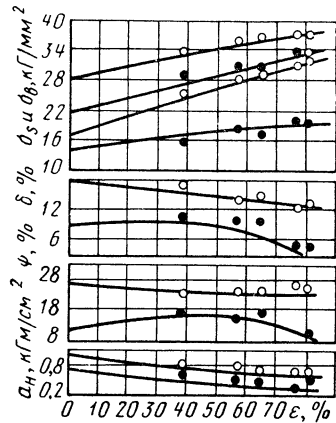


Рис. 46. Изменение механических свойств сплава МА3 в зависимости от степени деформации при ковке в фигурных бойках пресса (А. А. Луконин): ○—° вдоль волокна; ●—● поперек волокна

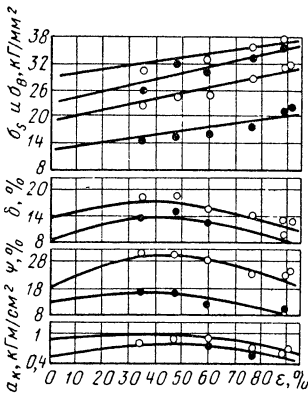


Рис. 47. Изменение механических свойств сплава МА7 в зависимости от степени деформации при ковке в фигурных бойках пресса (А. А. Луконин)

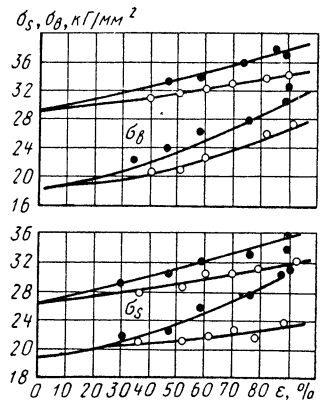


Рис. 48. Изменение механических свойств сплавов МА2 и МА7 в зависимости от степени деформации при ковке на плоских ○—° и фигурных бойках ●—●

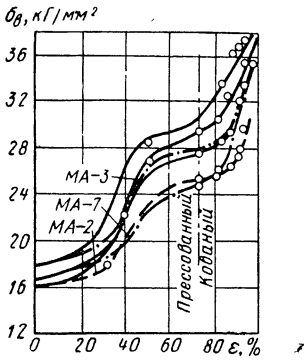


Рис. 49. Изменение предела прочности магниевых сплавов в зависимости от степени деформации при прессовании и последующей ковке (А. А. Луконин)

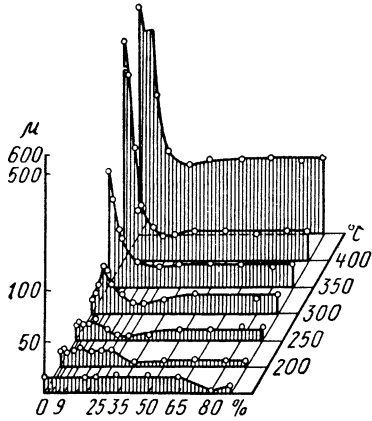


Рис. 50. Диаграмма рекристаллизации магния при осаживании на гидравлическом прессе

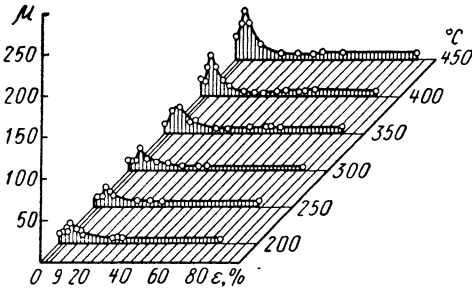


Рис. 51. Диаграмма рекристаллизации сплава МА2 при осаживании на гидравлическом прессе

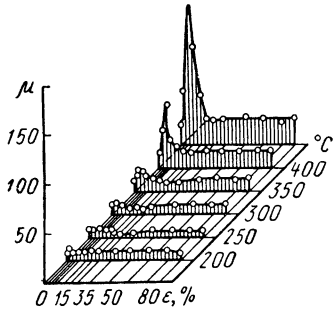


Рис. 52. Диаграмма рекристаллизации сплава МА3 при осаживании на гидравлическом прессе

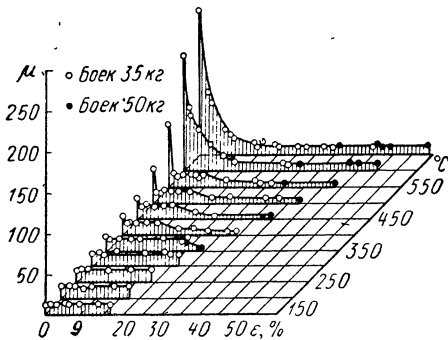


Рис. 53. Диаграмма рекристаллизации магния, деформированного на вертикальном копре

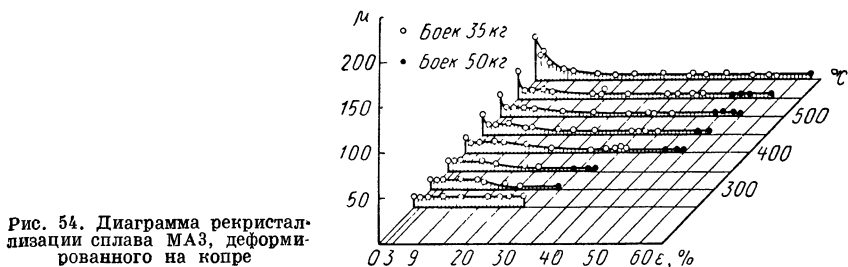


Рис. 54. Диаграмма рекристаллизации сплава МА3, деформированного на копре

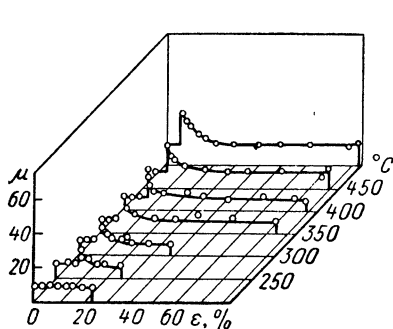


Рис. 55. Диаграмма рекристаллизации сплава МА8 при осаживании на прессе

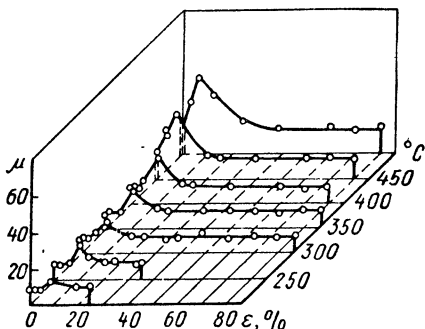


Рис. 56. Диаграмма рекристаллизации сплава МА8, деформированного на копре

товленной по технологии, предусматривающей большие припуски на обработку), в которых характер расположения волокна не соответствует конфигурации детали. Детали, изготовленные из штамповок с большими припусками вследствие неизбежного перерезания волокна при механической обработке, имеют меньшую конструктивную прочность, пониженную надежность и долговечность изделия.

14. Твердость штамповок из сплавов МА2 и МА3, изготовленных на фрикционном прессе

Сплав	НВ в кг/мм ²	
	Стержень детали	Головка детали
МА2	65,5	64,3
	65,5	65,1
	62,4	63,8
МА3	68,5	66,4
	66,5	67,1
	68,8	65,5

Наиболее высокую прочность имеет сплав ВМ65-1, в то же время его достаточно высокие пластические свойства дают возможность проводить деформирование как на прессах, так и на молотах. Поэтому сплав ВМ65-1 получил наиболее широкое промышленное применение для деталей различного назначения.

Из магниевых сплавов, деформируемых методомковки и штамповки, в промышленности находят широкое применение сплавы МА2, МА2-1, МА8. Сплавы МА1, МА3 и МА5 применяются ограниченно, сплавы МА9, МА11, МА13, ВМД1 и ВМ17 находят применение в промышленности и используются в соответствии с их назначением для изготовления деталей, работающих в условиях повышенных температур.

При соединении деталей из магниевых сплавов с деталями из других материалов необходимо учитывать возможность контактной коррозии, а при соединении с неметаллическими

материалами — агрессивность последних.

Некоторые деформируемые магниевые сплавы (МАЗ, МА5) подвержены коррозии под напряжением (коррозионному растрескиванию).

Титановые сплавы

Данные о химическом составе, физических и механических свойствах приведены в табл. 15—27 и рис. 57—81*.

В зависимости от назначения и прочности при комнатной температуре титановые сплавы делятся на следующие группы.

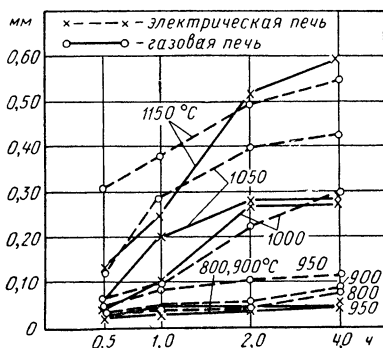


Рис. 57. Глубина альфированного слоя сплава ВТ8 в зависимости от температуры и времени нагрева

Деформируемые сплавы малой прочности (не более 60 кг/мм^2) технический титан ВТ1-0, ВТ1-1, ВТ1-00 и малолегируемый сплав ОТ4-1. Эти сплавы применяют для изготовления деталей сложной конфигурации, не испытывающих больших нагрузок. Сплавы пригодны для листовой штамповки.

Деформируемые сплавы средней прочности ($60—100 \text{ кг/мм}^2$): среднелегированные титановые сплавы ОТ4, ВТ4, сплавы ВТ6 и ВТ6С, а также сплавы с α -структурой ВТ-5-1 и ВТ5. Они обладают удовлетворительной технологической пластичностью и их применяют в конструкциях без упрочняющей термической обработки. На-

ибольшее применение для изготовления поковок и штамповок нашёл сплав ОТ4. Сплавы ВТ5 и ВТ6 применяются в тех случаях, когда требуется умеренная жаропрочность при удовлетворительной свариваемости.

Деформируемые высокопрочные сплавы: а) с пределом прочности выше 100 кг/мм^2 : ВТ14 и ВТ20 и опытные сплавы ВТ15, ВТ16, которые применяют в термически обработанном состоянии; б) сплав ОТ4-2 с пределом прочности в отожженном состоянии $\sigma_b = 95 \div 120 \text{ кг/мм}^2$ (термической обработкой не упрочняется). Сплавы ВТ14 и ВТ16 двухфазные, а сплавы ВТ15 и ВТ20 однофазные.

Пластичность сплава ВТ14 при горячей обработке давлением удовлетворительная. Сплавы ВТ15 и ВТ20 при обработке давлением менее пластичны по сравнению со сплавом ВТ14. Пластичность сплава ОТ4-2 при обработке давлением аналогична сплаву ВТ14.

Деформируемые жаропрочные титановые сплавы: ВТ3-1, ВТ8, ВТ9 и ВТ18. Первые три сплава имеют двухфазную ($\alpha + \beta$) - структуру, а сплав ВТ18 имеет в основе однофазную α -структуру. Более высокой жаропрочностью обладают сплавы ВТ9 и ВТ18. Сплав ВТ3-1 наиболее распространён, применяется главным образом для деталей компрессоров реактивных двигателей. Для деталей, работающих при температуре выше 400°C , предпочтительно применять сплав ВТ8, обладающий более высокой прочностью и термической стабильностью, чем сплав ВТ3-1. Сплавы ВТ3-1 и ВТ8 имеют удовлетворительную пластичность при горячей обработке давлением.

Сплав ВТ18 имеет пониженную пластичность при обработке давлением по сравнению со сплавами ВТ3-1 и ВТ8. Пластичность сплава ВТ9 удовлетворительная; его можно обрабатывать давлением (ковкой, прокаткой, прессованием и др.).

Медные сплавы

Данные о химическом составе, физических и механических свойствах приведены в табл. 28—37 и на рис. 82—95.

* Рис. 61—67 исходное состояние — предварительно деформированное.

15. Химический состав титановых сплавов

Сплав	Легированные элементы в %						Примеси в % (не более)						
	Al	Mn, Sn, Cr	V, Cr, Zr	Si	Fe, Nb	C	Fe	Si	Zr	O	N	H	Прочие
OT4-0	0,2-1,4	0,2-1,3 Mn	-	-	-	0,40	0,30	0,15	0,30	-	-	-	-
OT4-1	0,7-2,2	0,5-1,8 Mn	-	-	-	0,40	0,30	0,15	-	0,15	0,012	-	-
OT4	3,0-4,5	0,8-2,0 Mn	0,5-2,5 Zr	-	-	0,40	0,30	0,15	0,30	0,20	-	-	-
OT4-2	5,5-7,0	1,0-2,3 Mn	-	-	-	0,03	0,25	-	-	0,15	0,05	0,015	0,30
BT4	4,5-6,0	0,8-2,0 Mn	3,5-4,5 V	-	-	0,03	0,30	-	-	0,15	-	-	-
BT5-1	4,0-6,0	2,0-3,0 Sn	4,0-5,8 V	-	-	0,03	0,30	-	-	0,15	-	-	-
BT5	4,3-6,2	-	1,0-2,5 Cr	0,15-0,40	0,2-0,7 Fe	0,40	0,30	0,15	0,50	0,18	-	-	-
BT6C	4,3-5,8	-	0,8-2,5 Zr	0,20-0,40	-	0,40	0,30	0,15	-	0,15	-	-	-
BT6	5,5-7,0	-	0,5-1,5 V	0,20-0,35	-	0,40	0,30	0,15	0,30	0,12	0,012	-	-
BT3-1	5,2-6,8	2,0-3,0 Mo	10,0-12,0 Zr	-	0,05-0,18	0,40	0,30	0,15	0,30	0,15	-	-	-
BT8	5,8-7,0	2,8-3,8 Mo	1,5-2,5 V	-	-	0,40	0,30	0,15	-	0,15	-	-	-
BT9	5,8-7,0	2,8-3,8 Mo	0,8-2,5 Zr	0,20-0,35	-	0,40	0,30	0,15	-	0,15	-	-	-
BT14	3,5-6,0	2,5-3,8 Mo	0,5-1,5 V	-	-	0,40	0,30	0,15	0,30	0,12	0,012	-	-
BT15	2,3-3,6	6,8-8,0 Mo	9,5-11,0 Cr	-	-	0,40	0,30	0,15	0,30	0,12	0,012	-	-
BT16	1,6-3,0	4,5-5,5 Mo	4,0-5,0 V	-	-	0,40	0,30	0,15	0,30	0,12	0,012	-	-
BT18	7,2-8,2	0,2-1,0 Mo	10,0-12,0 Zr	0,05-0,18	0,5-1,5 Nb	0,40	0,30	0,15	0,30	0,15	0,015	-	-
BT20	6,0-7,5	0,3-2,0 Mo	1,5-2,5 V	-	-	0,40	0,30	0,15	-	0,15	-	-	-

16. Физические свойства титана

Показатели	Наименование показателей		Показатели	
	Наименование показателей	Наименование показателей	Показатели	Показатели
Плотность в г/см ³	4,507	Кoeffициент теплопроводности (25°С) в кал/см · сек · °С	1690	0,41
Точка плавления в °С	1690	Удельное электропроводление (20°С) в мком · см	353	47,8
Точка кипения в °С	3680	Температура аллотропического превращения в °С	106,3	882
Теплота возгонки (25°С) в ккал	106,3	α-титан, гексагональная плотнотупакованная решетка, 25°С	7,24	λ = 2,9504
Теплота заточки (25°С) в ккал/г · °С	0,1386	β-титан 900°С	8,5	α = 3,3065
Энтропия (25°С) кал/моль · °С	7,24			
Кoeffициент линейного расширения (25°С) α · 10 ⁻⁶ в 1°С	8,5			

18. Возможное упрочнение титановых сплавов кислородом и углеродом

Элемент	Содержание в %	Повышенные пределы прочности в кг/мм ² на
Кислород	0,05	6,0
Азот		12,5
Углерод		3,5

19. Механические свойства поковок и штампов из титановых сплавов при нормальной температуре

Сплав	σ_B в кг/мм ²	δ и ψ		σ_{H1} в кг/мм ²
		в %		
<i>Поковки, штамповки и прутки кованные диаметром до 100 мм отожженные</i>				
BT1-0	45—60	—	45,0	7
OT4-0	60—75	15	35,0	4,5
OT4	70—90	10	30,0	3,5
BT4	85—105		25,0	3,0
BT5	75—95			4,0
BT5-1	80—100		30,0	3,0
BT6	95—110		35,0	5,0
BT14 *	90			
<i>Диски и кольца, штампованные и кованные отожженные</i>				
BT14	85	8	25,0	4,0
<i>Прутки прессованные диаметром до 100 мм отожженные</i>				
BT14	90	10	35,0	5,0
<i>Прутки прессованные диаметром до 100 мм закаленные и состаренные</i>				
BT14	110	4	8	2
<i>Прутки и поковки диаметром 100 мм закаленные</i>				
BT15	90	12	—	4,0

Продолжение табл. 19

Сплав	σ_B в кг/мм ²	δ и ψ		σ_{H1} в кг/мм ²
		в %		
<i>Прутки и поковки закаленные и состаренные</i>				
BT15	135	4	—	—
<i>Прутки диаметром 10—20 мм отожженные</i>				
BT16	90—100	12	40,0	—
<i>Прутки диаметром 10—100 мм закаленные и состаренные</i>				
BT16	105—125	5	20,0	—
<i>Штамповки, поковки и кованные прутки диаметром до 100 мм после изотермического отжига при 870—650 °С, охлаждаемые на воздухе</i>				
OT4-2	95—100	8	25,0	—
BT3-1	100	10	25,0	3
<i>Прутки кованные диаметром более 100 мм после изотермического отжига при 870—650 °С, охлаждаемые на воздухе</i>				
BT3-1	90	8	20,0	3
<i>Диски и кольца</i>				
BT3-1	90	8	20,0	3
BT3-1	100	10	30,0	3
<i>Поковки, штамповки, прутки кованные отожженные</i>				
BT8	105	9	30,0	3
<i>Заготовки для изготовления лопаток отожженные</i>				
BT8	105	9	30,0	3
<i>Прутки, полосы, поковки, штамповки отожженные</i>				
BT9	105	9	25,0	3
<i>Прутки, полосы, поковки, штамповки отожженные</i>				
BT18	95	8	20,0	2

* Закаленные и состаренные соответственно 115; 6; 20; 2,5.

20. Механические свойства кованых (по АМТУ 531-67) и прессованных прутков при нормальной температуре диаметром или стороной квадрата от 65 до 100 мм

Сплав	σ_6 в кг/мм ²	δ в %		ψ в %	σ_H в кг/мм ²	НВ (диаметр отпечата) (10/3000) в мм
		δ	ψ			
ВТ1-00*	30-45	25	55	12	4,9-5,5	
ВТ1-0*	40-55	20	50	10	4,7-5,2	
ОТ4-0*	50-85	15	45	7	3,8-4,3	
ОТ4*	70-90	10	30	4	3,5-4,0	
ОТ4-1*	80-75	15	35	4,5	3,8-4,2	
ОТ4-2*	95-110	8	25	3	3,3-3,7	
ВТ4*	85-105	30	30	3,5	3,4-3,8	
ВТ3-1*	100-120	10	25	3	3,3-3,7	
ВТ5*	75-85			4	3,4-3,9	
ВТ5-1*	80-100			3	3,4-3,8	
ВТ6*	92-107		30	3	3,3-3,7	
ВТ6**	110-125	факультативны		2,5	3,1-3,4	
ВТ6С*	85-100	6	20	4	3,4-3,8	
ВТ6С**	105-120	10	25			
ВТ8*	100-120	6	20			
ВТ9*	105-125	9	25	3	3,3-3,5	
ВТ14**	90-110	10	35	5	3,4-3,8	
ВТ14**	не менее 110	4	8	2	3,5-3,4	

*; ** Состояние поставки соответственно: отожженные; закаленные и состаренные.
Примечание. Образцы для испытания вырезались в продольном направлении.

21. Механические свойства кованых (отожженных) прутков при нормальной температуре диаметром или стороной квадрата более 100 мм (по АМТУ 534-67)

Сплав	σ_6 в кг/мм ²	δ в %		ψ в %	σ_H в кг/мм ²	НВ (диаметр отпечата) (10/3000) в мм
		δ	ψ			
ВТ1-00**	27-45	27	36	36	6	4,9-5,5
ВТ1-00**		25	34			
ВТ1-0**	36-55	17	32,5	32,5	5	4,7-5,2
ВТ1-0**		15	30			
ОТ4-0*	45-65	17				3,8-4,3
ОТ4*	65-90	8,5	20	20	3,5	3,5-4,0
ОТ4-1*	55-75	12	23	23	4	3,8-4,2
ОТ4-2*	90-110	7			3	3,3-3,7
ВТ4*	80-105	8,5	20	20		3,4-3,8
ВТ3-1*	95-120	8				3,3-3,7
ВТ5*	73-95		16	16	5	3,4-3,9
ВТ5-1*	76-100	6			4,5	3,4-3,8
ВТ6*	85-107				3	3,3-3,7
ВТ6С*	77-100			20	4	3,4-3,8
ВТ8**	95-120	7,5				3,3-3,5
ВТ8***		7,0	16	16	3	
ВТ9***	100-125					
ВТ9***	95-125	6		14		
ВТ14***	88-110	8,5	23	23	4,5	3,4-3,8
ВТ14***	85-110	8	20	20	4	

*; **; *** Диаметр или сторона квадрата соответственно: 101-250; 101-150; 151-250 мм.
Примечание. Образцы для испытания вырезались в поперечном направлении волокон.

23. Механические свойства штамповок и поковок толщиной до 100 мм

Сплав	σ_B в кг/мм ²	δ при $l = 5d$ в % не менее	ψ в % не менее	α_H в кг/см ²	НВ (диаметр отпечатка 10/300) в мм
ВТ1-00 *	30—45	25	55	12	4,9—5,5
ВТ1-0 *	40—55	20	50	10	4,7—5,2
ОТ4-0 *	50—65	20	45	7	4,2—4,8
ОТ4-1 *	60—75	15	35	4,5	3,8—4,2
ОТ4 *	70—90	10	30	3,5	3,5—4,0
ОТ4-2 *	95—110	8	25	3	3,3—3,7
ВТ4 *	85—105	30	30	3,5	3,4—3,8
ВТ5 *	75—95			3	3,4—3,9
ВТ5-1 *	80—100	10	25	4	3,4—3,8
ВТ6 *	92—110			3	3,3—3,7
ВТ6 **	Не менее 110	6	20	2,5	Не менее 3,0
ВТ6С *	85—100	10	25	4	3,4—3,8
ВТ6С **	Не менее 105	6	20	3	Не менее 3,1
ВТ3-1 *	100—120	10	25		3,2—3,7
ВТ3-1 **	Не менее 120	6	20	2	Не менее 3,0
ВТ8 *	100—120	9	25	3	3,2—3,7
ВТ8 **	Не менее 120	6	20	3	Не менее 3,0
ВТ9 *	105—125	9	25	2	3,2—3,7
ВТ9 **	Не менее 120	6	20	2	Не менее 3,0
ВТ14 *	90—110	9	30	5	3,4—3,8
ВТ20 *	95—115	10	25	4	3,3—3,8
ВТ22 *	110—130	7	20	3	3,1—3,7

* Отожженные. ** Закаленные и состаренные.

Примечание. Механические свойства определены на образцах диаметром 5 мм с пятикратной расчетной длиной, вырезанных в продольном направлении волокон.

22. Механические свойства качалых прутков диаметром до 60 мм при нормальной температуре (по АМТУ 451—67)

Сплав	σ_B в кг/мм ²	δ при $l = 5d$ в % не менее	ψ в % не менее	α_H в кг/см ²	НВ (диаметр отпечатка) (10/3000) в мм
ВТ1-00 *	30—45	25	55	12,0	4,9—5,5
ВТ1-0 *	40—55	20	50	10,0	4,7—5,2
ОТ4-0 *	50—65	20	45	7,0	3,8—4,3
ОТ4-1 *	60—75	15	35	4,5	3,8—4,2
ОТ4 *	70—90	11	30	4,0	3,5—4,0
ОТ4-2 *	90—105	8	25	3,0	3,3—3,7
ВТ4 *	85—105	10	30	3,5	3,4—3,8
ВТ3-1 *	100—102			3,0	3,3—3,7
ВТ3-1 **	Не менее 120	6	20	2,0	3,0—3,3
ВТ5 *	75—95			5,0	3,4—3,9
ВТ5-1 *	80—100	10	25	4,0	3,4—3,8
ВТ6 *	92—107			3,0	3,3—3,7
ВТ6 **	Не менее 110	6	20	2,5	3,1—3,4
ВТ6С *	85—100	10	30	4,0	3,4—3,8
ВТ6С **	Не менее 105	6	25	3,0	3,2—3,5
ВТ8 *	100—120	9	30		3,3—3,7
ВТ8 **	Не менее 120	6	20	2,0	3,0—3,3
ВТ9 *	105—125	9	30	3,0	3,3—3,7
ВТ9 **	Не менее 120	6	20	2,0	3,0—3,3
ВТ14 **	90—105	10	35	5,0	3,4—3,8
ВТ16 **	Не менее 112	8	12	2,0	3,1—3,4
ВТ16 *	80—100	8	40	3,0	3,4—3,8
ВТ16 **	Не менее 110	6	30	3,0	3,1—3,4

* Отожженные. ** Закаленные и состаренные.

Примечание. Образцы для испытания вырезались в продольном направлении.

24 Механические свойства отожженных штамповок и поковок толщиной более 100 мм.

Сплав	σ_{σ} в кг/мм ²	δ в % не менее		ψ	a_n в кг/мм ²	НВ (диаметр опечатка 10/3000) в мм
		21 19	36 34			
ВТ1-00 **	27-45	21	36		6	4,9-5,5
ВТ1-00 **		19	34			
ВТ1-0 *	36-55	17	32,5			
ВТ1-0 **		15			5	4,7-5,2
ОТ4-0 ***	45-65	17	30			4,2-4,8
ОТ4-1 *	55-75	12			4	3,8-4,2
ОТ4-1 ***		10	23			
ОТ4 ***	65-80	8,5			3,5	3,5-4,0
ОТ4-2 ***	85-105	7	20		3	3,3-3,7
ВТ4 ***	80-105	8,5				3,4-3,8
ВТ5 ***	73-95		16		5	3,4-3,9
ВТ5-1 ***	76-100				4,5	3,4-3,8
ВТ5 ***	85-107	6			3	3,3-3,7
ВТ8С ***	77-100		20		4	3,4-3,8
ВТ8-1 ***		8				
ВТ8 **	95-120	7	16			3,2-3,7
ВТ9 **	100-125	6	14		3	
ВТ9 ***	95-125					
ВТ14 **	88-110	8	23		4,5	3,4-3,8
ВТ14 ***	85-110		20		4	
ВТ20 ***	90-115	6			3	3,3-3,7
ВТ22 **	110-130		14			3,1-3,7

*, **, *** Толщина в мм соответственно 101-150; 151-250; 101-250.
 Примечание. Механические свойства определялись на образцах диаметром 5 мм с пятикратной расчетной длиной, вырезанных в поперечном или хордовом направлениях волокон.

25. Механические свойства отожженных поковок типа колец из титановых сплавов

Сплав	σ_{σ} в кг/мм ²	δ при $l = 3d$ в %		ψ	a_n в кг/мм ²	НВ (диаметр отпечатка 10/3000) в мм
		10	25			
ОТ4	67	10	25		3,0	3,5-4,0
ВТ3-1	95	8				3,2-3,7
ВТ8	100			20	2,5	
ВТ9	75	9				3,4-4,0
ВТ5					3,0	3,4-3,8
ВТ5-1				25		3,3-3,7
ВТ6	90	8	20			3,3-3,8

Примечание. Механические свойства определялись на образцах диаметром 5 мм с пятикратной расчетной длиной, вырезанных в хордовом направлении волокон.

26. Механические свойства отожженных штамповок типа дисков

Сплав	Вес штамповки в кг	σ_{σ} в кг/мм ²	δ в % не менее		ψ	НВ в кг/мм ²
			9	20		
ВТ3-1	До 25	98			22	3
	26-100	96			20	
	101-200	95			22	
ВТ8	До 25	100			18	3
	26-50	98			20	
	51-100	95			22	
ВТ9	До 25	105			16	2,5
	26-50	103			20	
	51-100	100			18	

Примечание 1. НВ (диаметр отпечатка 10/3000) для всех образцов составляет 3,2-3,7 мм.
 Примечание 2. Механические свойства определялись на образцах диаметром 5 мм, с пятикратной расчетной длиной, вырезанных в хордовом направлении волокон.

27. Механические свойства штамповок типа лопаток компрессора

Сплав	σ_B в кг/мм ²	δ при $l = 5d$	ψ	a_n в кг/м/см ²	НВ (диаметр отпечатка 10/3000) в мм
		в %			
не менее					
ОТ4	70*	10	30	3,5	3,5—4,0
ВТ3-1	100*		25	3,0	3,2—3,7
	125**	6	20	2,5	3,1—3,3
ВТ5	75*	10	25	3,0	3,4—3,9
ВТ5-1	80*				3,4—3,8
ВТ6	95*	9	30	3,0	3,3—3,7
ВТ8	105*				20
	120**	6	20	2,5	3,1—3,3
ВТ9	105*	9	25	2,5	3,2—3,7
	120**	6	20		3,1—3,3
ВТ18	95*	10	25	1,6	—

*; ** Состояние образцов соответственно: отожженные; ВТМО.

Примечание. Механические свойства определялись на образцах диаметром 3 или 5 мм с пятикратной расчетной длиной, вырезанных в продольном направлении волокон.

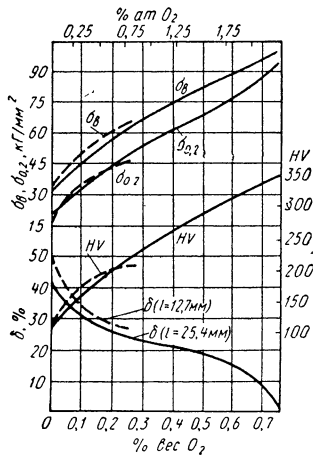


Рис. 58. Изменение предела прочности, текучести и удлинения в зависимости от содержания кислорода в титане

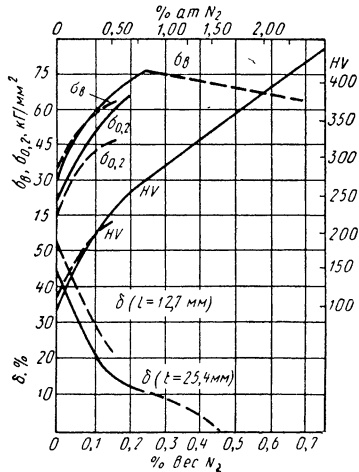


Рис. 59. Изменение пределов прочности, текучести и удлинения в зависимости от содержания азота в титане

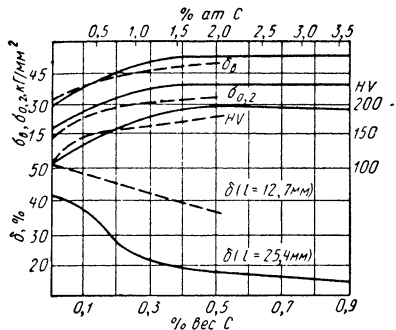


Рис. 60. Изменение пределов прочности, текучести и удлинения в зависимости от содержания углерода в титане

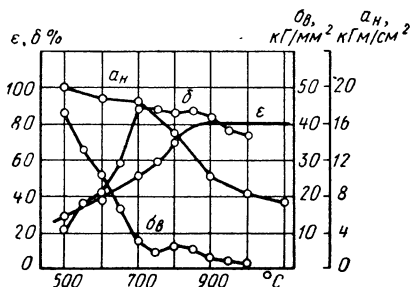


Рис. 61. Диаграмма технологической пластичности сплава ОТ4

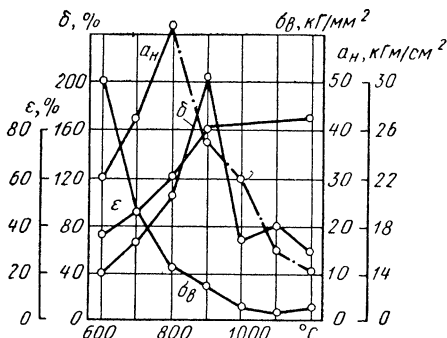


Рис. 62. Диаграмма технологической пластичности сплава BT3-1

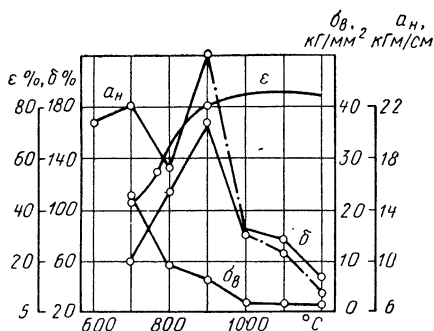


Рис. 63. Диаграмма технологической пластичности сплава BT5-1

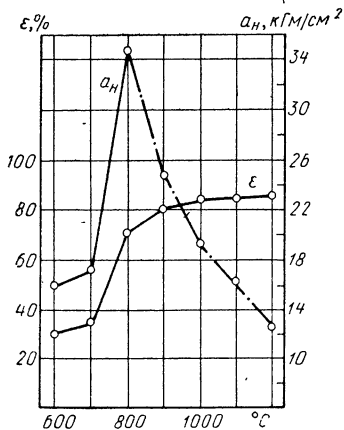


Рис. 64. Диаграмма технологической пластичности сплава BT6

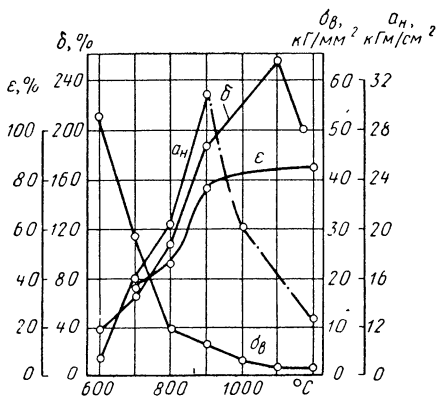


Рис. 65. Диаграмма технологической пластичности сплава BT8

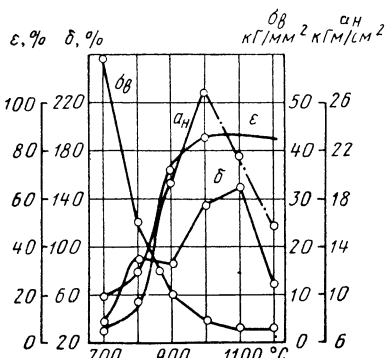


Рис. 66. Диаграмма технологической пластичности сплава ВТ9

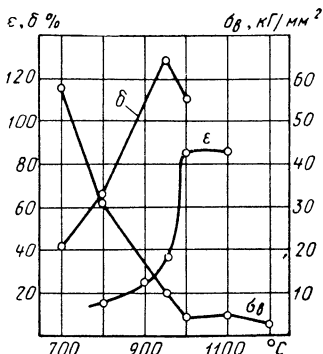


Рис. 67. Диаграмма технологической пластичности сплава ВТ18 (По данным В. Я. Клейменова, Т. Н. Сазоновой и В. М. Аржакова)

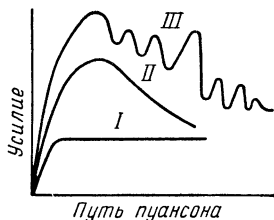


Рис. 68. Различные типы кривых удельного давления течения (Н. С. Курнаков, С. Ф. Жемчужный)

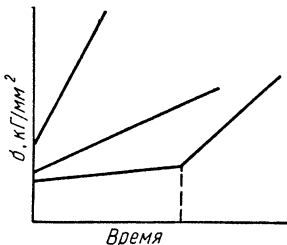


Рис. 69. Возможные кривые удельного давления течения для малопластичных материалов (Н. И. Корнеев, И. Г. Скугарев)

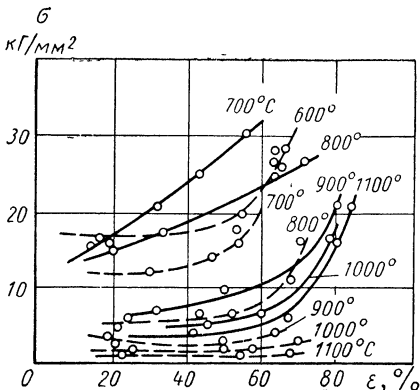


Рис. 70. Среднее удельное давление для сплава ВТ1 (кованое состояние): — динамическое деформирование; - - - статическое деформирование

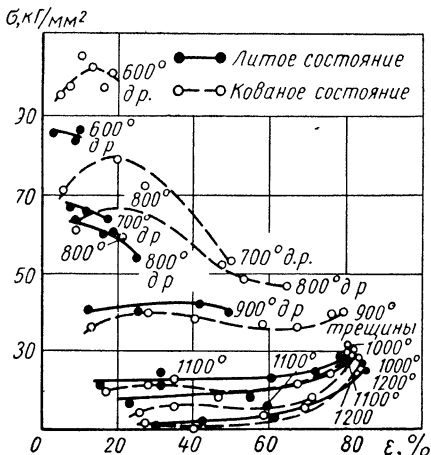


Рис. 71. Среднее удельное давление сплава ВТ3-1 в литом и кованом состояниях при динамическом деформировании

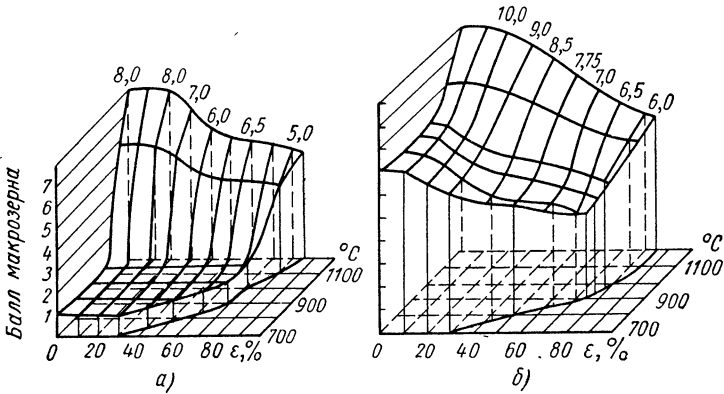


Рис. 78. Диаграмма рекристаллизации сплава ВТ3-1 (по макрозерну): а — температура полного $\alpha + \beta \rightleftharpoons \beta$ -превращения 990°C (исходная структура равноосная); б — температура полного $\alpha + \beta \rightleftharpoons \alpha + \beta$ -превращения 990°C (исходная микроструктура — игольчатая $\alpha + \beta$)

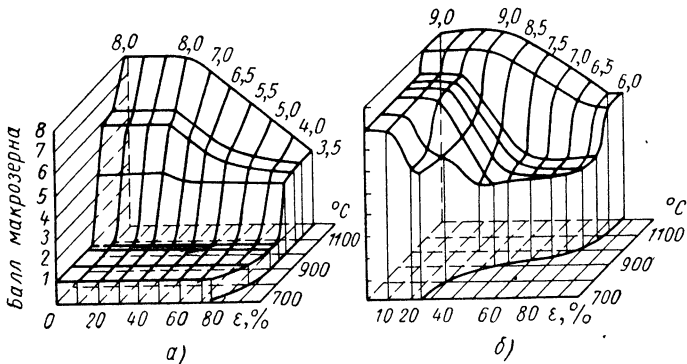


Рис. 79. Диаграмма рекристаллизации сплава ВТ8 (по макрозерну): а — температура полного $\alpha + \beta \rightleftharpoons \beta$ -превращения $980\text{--}1000^\circ\text{C}$ (исходная микроструктура равноосная); б — температура полного $\alpha + \beta \rightleftharpoons \alpha + \beta$ -превращения $980\text{--}1000^\circ\text{C}$ (исходная микроструктура игольчатая)

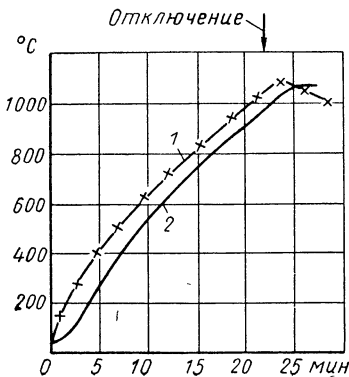
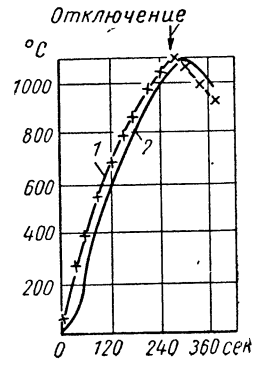


Рис. 80. Нагрев заготовок диаметром 150 мм на промышленной чистоте в трехслойном индукторе: 1 — температура поверхности заготовки; 2 — температура середины заготовки

Рис. 81. Нагрев заготовок диаметром 55 мм на частоте 2500 гц: 1 — температура поверхности заготовки; 2 — температура середины заготовки



28. Химический состав латуни

Сплав	Основные элементы в % *		Примеси в % не более							Всего приме-сей
	Cu	Al, Si, Sn, Pb, Mn	Pb, Ni, Mn	Fe, Sn	Sb, Mn	Bi	P	Sn, As		
Простые (двойные) латуни										
Л196	95-97		0,03 Pb	0,10 Fe	0,005 Sb	0,002	0,01			0,20
Л190	88-91			0,20 Fe						0,30
Л185	84-86			0,07 Fe	0,002 Sb		0,005	0,005 As		0,20
Л180	79-81			0,10 Fe	0,005 Sb		0,01			0,30
Л175	75			0,07 Fe						—
Л170	69-72			0,15 Fe	0,005 Sb		0,002			0,5
Л168	67-70			0,3 Fe						—
Л166	64,5-67,5		0,30 Pb	0,07 Fe						—
Л162	60,5-63,5		0,08 Pb	0,15 Fe	0,005 Sb		0,01			0,5
Л159	57-60		0,5 Pb	0,3 Fe	0,01 Sb	0,003		0,20 Sn		0,9
Многокомпонентные (специальные) латуни										
Алюминиевые										
ЛА 85-0,5	84-86	0,4-0,7 Al	0,03 Pb	0,01 Fe	0,005 Sb	0,002				0,30
ЛА 77-2	76-79	1,75-2,50 Al	0,07 Pb	0,10 Fe			0,01			—
ЛЛЖ 60-1-1	58-61	0,75-1,50 Al		0,75 Fe	0,1-0,6 Mn					—
ЛЛАН 59-3-2	57-60	2,50-3,50 Al	2,0-3,0 Ni	1,50 Fe						—
ЛЛЖМЦ 59-1-1	57-60	0,1-0,2 Al	0,5-0,8 Mn; 0,2 Pb	0,3-0,7 Sn	0,01 Sb	0,003	0,01			0,25

Продолжение табл. 28

Сплав	Основные элементы в % *			Примеси в % не более								Всего при- месей
	Cu	Al, Si, Sn, Pb, Mn	Pb, Ni, Mn	Fe, Sn	Sb, Mn	Bi	P	Sn, As				
ЛК 80-3 ЛКС 63-1,5-3	79-81 63,5-66,5	2,5-4,0 Si 1-2 Si 2,5-3,5 Pb	0,1 Pb 0,1 Ni	0,6 Fe 0,15 Fe	0,05 Sb 0,005 Sb	0,003 0,002	0,02 0,01	0,2 Sn	1,5 0,5			
ЛМп 58-2 ЛМЦА 57-3-1	57-60 55-58,5	1,0-2,0 Mn 2,5-3,5 Al	0,1 Pb 0,2 Pb	1,0 Fe	0,005 Sb	0,002	0,01	0,5-1,5 Al	1,2 1,3			
ЛН 65-5	64-67	5-6,5 Ni	0,03 Pb	0,15 Fe	0,005 Sb	0,002	0,01	-	0,3			
ЛО 90-1	88-91	0,25-0,75 Sn	0,03 Pb	-	-	-	-	-	0,2			
ЛО 70-1	69-71	1-1,5 Al	0,07 Pb	0,10 Fe	0,005 Sb	0,002	0,01	-	0,3			
ЛО 62-1	61-63	0,7 Al	0,10 Pb	-	-	-	-	-	1,0			
ЛО 60-1	59-61	1-1,5 Al	0,3 Pb	-	-	-	-	-	1,0			
ЛС 74-3	72-75	2,4-3,0 Pb	-	0,10 Fe	0,005 Sb	0,002	0,01	-	0,25			
ЛС 64-2	63-66	1,5-2,0 Al	-	0,15 Fe	0,005 Sb	0,002	0,01	-	0,30			
ЛС 63-3	62-65	2,4-3,0 Al	-	0,5 Fe	0,010 Sb	0,003	0,02	-	0,25			
ЛС 60-1	59-61	0,6-1,0 Al	-	-	-	-	-	-	0,50			
ЛС 59-1	57-60	0,8-1,9 Al	-	0,5 Fe	0,010 Sb	0,003	0,02	-	0,75			

* Остальное цинк.

29. Химический состав бронзы в %

Сплав	Основные компоненты *						Примеси										Сумма приме-сей по болес
	Al, Be, Si, Cr	Fe	Mn	Ni	As, Al	Sb	Sn	Si	Ni	Pb	P	Fe	Zn	Mn	Al		
Бр. А5	4-6 Al	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,5	0,5	0,5	-	1,6		
Бр. А7	6-8 Al	-	-	-	-	-	-	0,5	0,02	0,01	-	1,0	0,5	-	1,7		
Бр. АЖ 9-4	8-10 Al	-	1-2	-	-	-	0,1	-	0,03	0,1	-	0,5	-	-	0,75		
Бр. АЖМЦ 10-3-1,5	9-11 Al	2-4	-	-	0,002	0,1	0,1	-	0,02	-	-	0,3	0,3	-	0,80		
Бр. АЖН 10-4-4	9,5-11 Al	3,5-5,5	-	3,5-5,5	-	-	-	-	0,01	-	0,5	1,0	-	-	1,70		
Бр. АМЦ 9-2	8-10 Al	-	1,5-2,5	-	0,001	-	-	0,5	0,03	-	-	-	-	-	-		
<i>Алюминиевые</i>																	
Бр. Б2	1,9-2,2 Be	-	-	-	0,15 Al	-	-	0,15	-	0,005	-	0,15	-	-	0,5		
Бр. Б2,5	2,3-2,6 Be	-	-	0,2-0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Бериллиевые</i>																	
<i>Кремниевые</i>																	
Бр. КМц3-1	2,75-3,5 Si	-	1,0-1,5	-	0,002	0,25	-	0,2	0,03	0,05	0,3	0,5	-	-	1,1		
Бр. Н1-3	0,6-1,1 Si	-	0,1-0,4	2,4-3,4	-	0,1	-	-	0,05	0,01	0,1	0,1	-	0,02	0,4		
Бр. КНО5-2	0,3-0,8 Si	-	-	1,2-2,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5		
<i>Меркаптурные</i>																	
Бр. Мц5	-	-	4,5-5,5	-	0,01	0,002	0,1	0,1	0,5	0,03	0,01	0,35	0,4	-	0,9		
<i>Хромовые</i>																	
Бр. Х0,5	0,4-1,0 Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

* Остальное медь.

30. Физические свойства латуни

Сплав	Плотность в $\Gamma/\text{см}^3$	Теплопровод- ность $\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град})$	Коэффициент линей- ного расширения $\alpha \cdot 10^{-6}$ в $1/^\circ\text{C}$ при температуре испы- тания в $^\circ\text{C}$		Тепло- емкость C в $\text{кал}/\text{г} \cdot ^\circ\text{C}$	Удельное электро- сопротив- ление ρ в $\text{ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$	Темпера- турный коэффи- циент электро- сопротив- ления
			20—300	20			
Простые (двойные)							
Л93	8,85	0,585	18	17	0,093	0,043	0,0027
Л90	8,73	0,0005	18,2	—	0,09	0,040	0,00186
Л85	8,75	0,36	18,7	—	—	0,047	0,0016
Л80	8,66	0,34	—	18,8	0,093	0,054	0,0015
Л75	8,63	—	19,6	—	—	—	—
Л68	8,60	0,26—0,28	19	—	0,093	0,071	0,0015
Л66	8,47	0,286	20,1	—	0,09	0,069	—
Л62	8,43	0,26	20,6	—	0,0925	0,072	0,0017
Л59	8,40	0,18	—	21	0,012	0,067	0,0025
Многокомпонентные (специальные)							
Алюминиевые							
ЛА85-0,5	8,60	0,26	—	18,6	—	—	—
ЛА77-2		0,27	18,3	18,3	—	0,075	—
ЛАЗ60 1-1	8,20	—	—	21,6	—	0,090	—
ЛАН59-3-2	8,40	0,20	—	19	—	0,0785	—
ЛЖМц59-1-1	8,50	0,241	—	22	—	0,093	—
Кремнистые							
ЛК80-3	8,60	0,1	17	—	—	0,2	—
ЛКС65-1,5-3	8,50		17,2	—		0,25	
Марганцовые							
ЛМц58-2	8,50	0,168	—	21,2	—	0,118	—
ЛМцА57-3-1	8,54	0,172	—	21,4	—	0,119	
Никелевые							
ЛН65-5	8,65	0,14	—	18,2	—	0,146	—
Оловянные							
ЛО90-1	8,8	0,30	18,4	—	—	0,054	—
ЛО70-1	8,58	0,218	19,7	—	—	0,0722	
ЛО62-1	8,54	0,26	—	—	—	0,0721	
ЛО60-1	8,45	0,24	21,4	—	—	0,070	
Свинцовые							
ЛС74-3	8,7	0,29	19,8	17,5	—	0,078	—
ЛС64-2		0,28	—	20,3		0,066	
ЛС63-3	8,5	0,25	20,8	—	—	0,064	0,0026
ЛС60-1			—	20,6		0,065	
ЛС59-1			—	—		—	

31. Физические свойства бронзы

Сплав	Плотность в $\Gamma/\text{см}^3$	Теплопроводность в $\text{кал}/\text{см}\cdot\text{сек}\cdot^\circ\text{C}$	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^{-6}$ при $^\circ\text{C}$		Теплоемкость в $\text{кал}/\text{г}\cdot^\circ\text{C}$	Удельное электро-сопротивление в $\text{ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$	Температурный коэффициент электросопротивления
			25—300	20			
<i>Алюминиевые</i>							
Бр. А5	8,2	0,25	—	18,2	1	0,0995	0,0008
Бр А7	7,8	0,19	17,8	—		—	0,120
Бр. АЖ 9-4	7,5	0,14	16,2	—			
Бр. АЖМц10-3-1,5			—	16		0,189	—
Бр. АЖН 10-4-4	7,6	0,18	—	17,1			
Бр. АМц 9-2			0,17	17		—	0,11
<i>Бериллиевые</i>							
Бр. Б2; Бр. Б2,5	8,23	0,25	16,6	—	0,10	0,10	—
<i>Кремнистые</i>							
Бр. КМц 3-1	8,40	0,08—0,11	—	15,8	—	0,15	—
Бр. КН 1-3 и Бр. КН 0,5-2	8,6	—	—	18	—	0,046	—
<i>Марганцовые</i>							
Бр Мц 5	8,6	0,26	20,4	—	—	0,197	—
<i>Хромовые</i>							
Бр. Х 0,5	8,9	—	—	—	—	0,03	0,0025

32. Классификация меди по твердости

Состояние	Свойства	Показатели свойств	Состояние	Свойства	Показатели свойств
Мягкая	σ_s в $\text{кг}/\text{мм}^2$	7	Литая	a_k в $\text{кг}/\text{см}^2$	18
Твердая	σ_s в $\text{кг}/\text{мм}^2$	38	Мягкая	НВ в $\text{кг}/\text{мм}^2$	35—40
»		20—24			
»	δ в %	40—50	Твердая	σ_s в $\text{кг}/\text{мм}^2$	90—120
»	ψ в %	50	»	На базе 10^8	6,7
		6	»	циклов	11
		75			
		35			

33. Классификация латуни

Сплав	σ_{σ}	$\sigma_{0,2}$	E	δ	ϵ	НВ	Классификация по твердости
	в кг/мм ²			в %			
<i>Простая (двойная)</i>							
Л96	40	39	11 400	2	—	—	Твердая (наклеп 50%)
Л93	60	30	9 150		60	130	Твердая
Л85	52,5	50,4	10 500	4	—	120—130	»
Л80	56	36	15 350	10	40	145	»
Л75	59—68	51—57	10 500	5—7	—	—	»
Л70	52	—	—	21	58	—	Холоднотянутая
Л68	52	—	11 500	12	52	150	Твердая
Л66	70	—	10 500	4	—	—	Твердая (наклеп 60%)
Л62	68	48	10 000	3—4	—	140	»
Л59	50	20	10 600	10	40	163	Твердая
<i>Многокомпонентная специальная</i>							
<i>Алюминиевая</i>							
ЛА85-0,5	30—40	—	—	60	50	54	Мягкая
ЛА77-2	58	—	—	10	—	50	Твердая (наклеп 50%)
ЛАЖ60-1-1	76	—	10 500	9	30	170	»
ЛАН59-3-2	70	—	10 000	10	20	182	Твердая
ЛЖМц59-1-1	60	—	10 600	—	15	160	»
<i>Кремнистая</i>							
ЛК80-3	30—50	10,5	9 800	15—40	—	90—110	В литом состоянии
ЛКС65-1,5-3	70	16	9 800	8	—	160	Деформированная
<i>Марганцевая</i>							
ЛМц58-2	60	—	10 000	10	—	120	Твердая
ЛМцА57-3-1	—	—	—	—	—	—	Твердая
<i>Никелевая</i>							
ЛН65-5	80	—	11 200	1,5	—	—	Твердая (наклеп 80%)
<i>Оловянная</i>							
ЛО90-1	28	9	10 500	40	55	55	Мягкая
ЛО70-1	58	—	10 600	10	28	142	»
ЛО62-1	44	38	—	25	—	146	Твердая
ЛО60-1	56	42	10 500	10	—	—	»
<i>Свинцовая</i>							
ЛС74-3	60—70	52—61	—	2—5	—	—	Твердая
ЛС64-2	58—67	45—50	—	4—6	—	100—120	»
ЛС63-3	58	45	10 500	—	—	—	»
ЛС60-1	65	56	—	5	—	—	»

34. Механические свойства бронзы

Сплав	σ_{σ}	$\sigma_{0,2}$	E	δ	ψ	НР	Примечание
	в кг/мм ²			в %			
<i>Алюминиевая</i>							
Бр. А5	80	50	11 000	4	—	200	Твердая
Бр. А7	100	—	11 500	3—10	40	154	
Бр. АЖ 9-4	55	35	11 600	5	—	160—200	
Бр. АЖМц 10-3-1,5	60	19	10 000	20	—	120—140	
Бр. АЖН 10-4-4	77	—	13 000	9	11	225	
Бр. АМц 9-2	60	50	9 200	25	—	160	
<i>Бериллиевая</i>							
Бр. Б2	95	85—90	11 700	1—2	—	350—400	Твердая, обогащенная
<i>Кремнистая</i>							
Бр. КМц 3-1	90	54	12 000	0,5	—	—	Наклеп 50%
Бр. КН 1-3 и Бр. КН 0,5-2	60	52	—	12	28	150—200	—
<i>Марганцовая</i>							
Бр. Мц 5	60	50	10 500	2	—	160	Твердая
<i>Хромовая</i>							
Бр. Х 0,5	50	40	138 000	11	40	130—150	—

35. Влияние кислорода на свойства меди

Содержание кислорода в %	σ_{σ} в кг/мм ²	δ	ψ	σ_{-1} в кг/мм ²
		в %		
<i>Медь, деформированная и отожженная при 700° С, 30 мин</i>				
0,016	22,7	54	77	7,7
0,040	22,4	50	72	9,4
0,060	22,7	56	70	9,1
0,090	23,1	53	65	8,4
0,170	24,1	49	57	7,7
0,360	25,9	55	39	
<i>Медь холоднотянутая</i>				
0,036	26,2	30	73	12,9
0,049		29	68	12,2
0,094	26,6	27	63	13,3
0,220			49	11,9

36. Влияние фосфора на свойства меди

Содержание фосфора в %	σ_{σ} в кг/мм ²	δ	ψ	σ_{-1} в кг/мм ²
		в %		
0,014	24,1	62	73	7,7
0,030	22,4	59	82	8,4
0,045	22,7	50	86	8,7
0,096	23,1	62	80	9,9
0,148	23,8	63	85	10,5
0,178	24,5	61	85	9,2
0,254	24,8	63	84	9,4
0,494	26,9	62	90	10,8
0,690	26,9	63	84	11,5
0,790	28,0	64	81	12,2
0,950	28,0	66	85	11,9

37. Влияние сурьмы на свойства меди

Содержание сурьмы в %	σ_{σ} в кг/мм ²	δ	ψ	σ_{-1} в кг/мм ²
		в %		
0,004	22,2	62	74	5,4
0,020	22,6	61	74	5,9
0,046	22,5	66	72	5,8
0,092	23,4	48	78	5,9
0,22	23,6	—	—	7,0
0,47	23,4	58	66	7,8

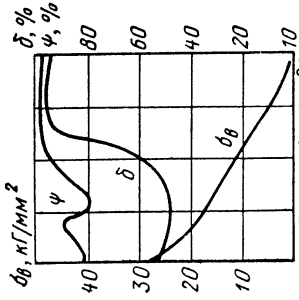


Рис. 82. Изменение механических свойств свинцовой латуни при высоких температурах

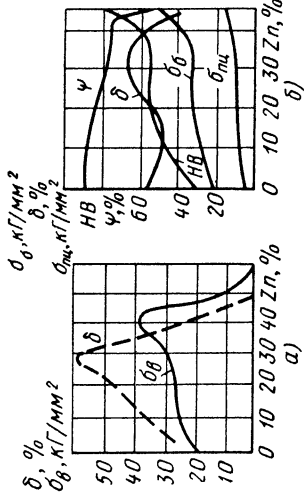


Рис. 83. Зависимость механических свойств латуней от содержания цинка

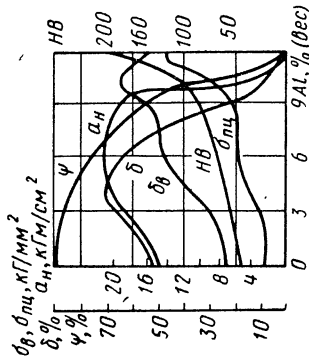


Рис. 84. Изменение механических свойств алюминиевых бронз в зависимости от содержания алюминия

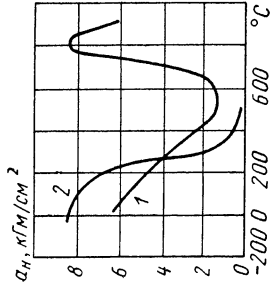


Рис. 85. Изменение ударной вязкости латуни (20% Cu) в зависимости от содержания свинца (1 — без свинца; 2 — содержащая 0,5% Pb)

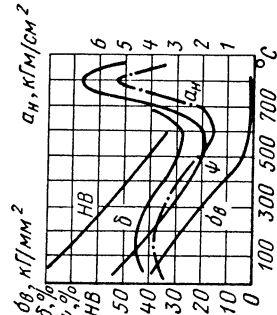


Рис. 86. Диаграмма пластичности латуни Л96

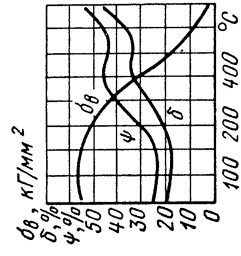


Рис. 87. Диаграмма пластичности латуни Л90

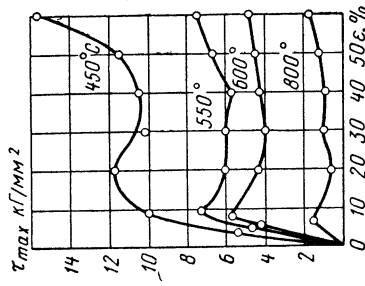


Рис. 88. Диаграмма пластичности латуни Л189

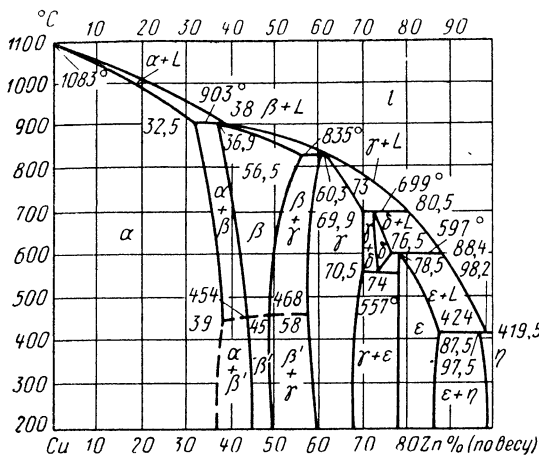


Рис. 89. Диаграмма состояния Cu—Zn

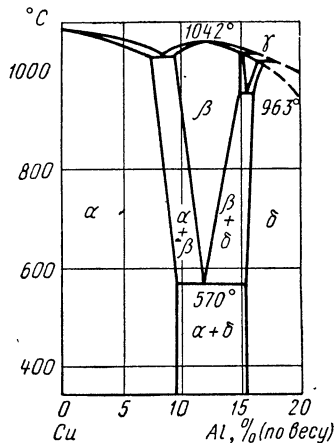


Рис. 90. Диаграмма состояния Cu—Al

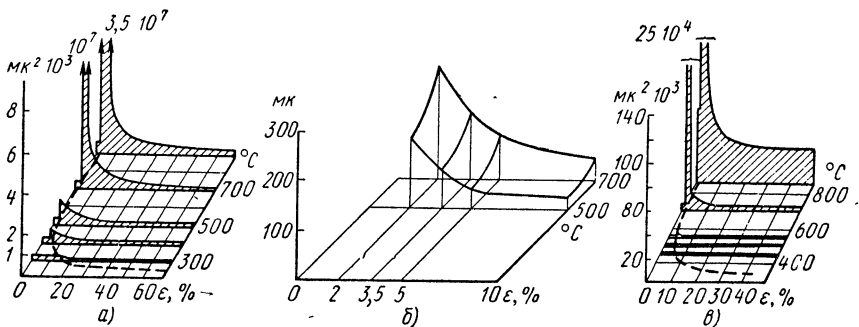


Рис. 91. Диаграммы рекристаллизации обработки: а — электролитической меди; б — латуни типа Л62; в — латуни типа Л68

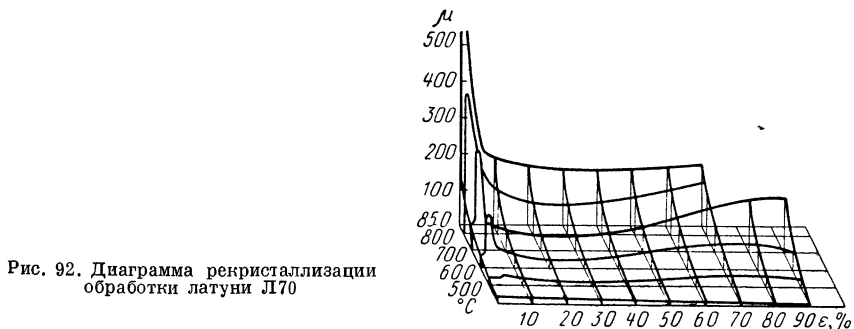


Рис. 92. Диаграмма рекристаллизации обработки латуни Л170

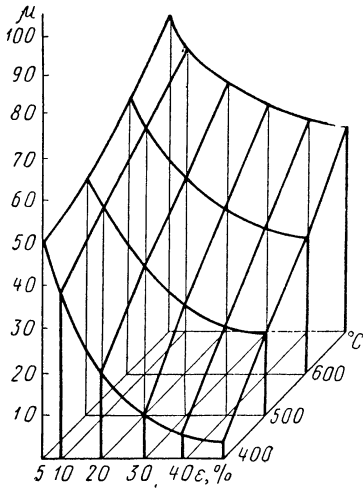


Рис. 93. Диаграмма рекристаллизации обработки латуни Л1070-1

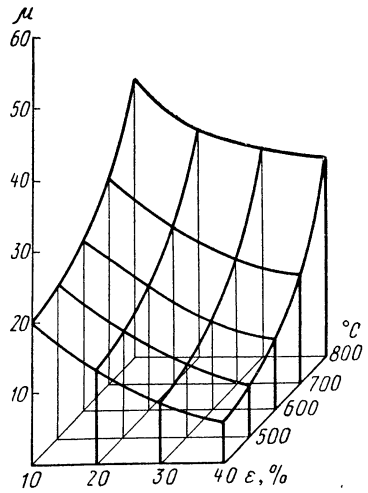


Рис. 94. Диаграмма рекристаллизации обработки латуни Л159

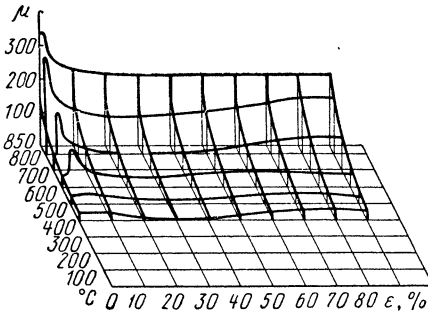


Рис. 95. Диаграмма рекристаллизации обработки латуни Л185

МЕТОДЫ И ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КОВКИ И ШТАМПОВКИ

МЕТОДЫ КОВКИ И ШТАМПОВКИ

Предварительно деформированные прессованием сплавы цветных металлов обладают достаточным запасом пластичности и их можно обрабатывать давлением даже при напряженных состояниях с наличием растягивающих деформаций и напряжений. Однако слитки большинства сплавов и предварительно деформированные высокопрочные сплавы следует обрабатывать, по возможности, при более мягких напряженных состояниях прессованием в контейнерах и штамповкой в открытых штампах с ограниченным уширением, а также в закрытых штампах.

Высоколегированные сплавы обладают пониженной пластичностью при наличии в деформируемом объеме растягивающих напряжений и отсутствии сил, препятствующих разрушению. Поэтому такие сплавы в виде прессованных прутков надо обрабатывать в открытых штампах с ограниченным уширением, а также в закрытых штампах с вертикальными поверхностями гравюр, не имеющими углов наклона, например, на горизонтальных ковочных машинах или под молотом или прессом в закрытых штампах с выталкивателем.

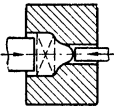
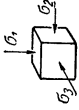
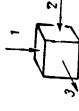
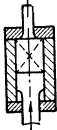
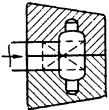
Малопластичные и хрупкие сплавы следует обрабатывать прессованием с противодавлением, когда пластическая деформация осуществляется при неравномерном всестороннем сжатии с высокими главными сжимающими напряжениями и при малых деформациях и напряжениях растяжения.

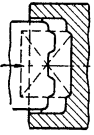

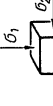
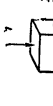
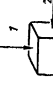
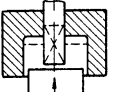

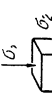
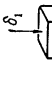
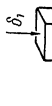
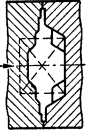
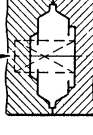
Классификация методов ковки и штамповки в зависимости от пластичности сплавов приведена в табл. 1 и 2.

1. Группы методов обработки давлением

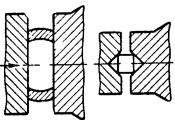
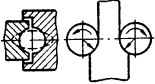
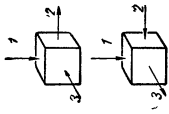
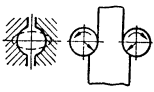
Группа	Методы обработки
1. Методы, которые могут приводить к крупному состоянию	<ol style="list-style-type: none"> 1. Свободная ковка на плоских бойках 2. Свободная ковка в плоских ручьях многоручьевых штампов 3. Прокатка на гладких валках 4. Волочение
2. Методы, повышающие пластичность	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ковка в фигурных бойках 2. Ковка в пластичной оболочке 3. Ковка в фигурных ручьях многоручьевых штампов 4. Штамповка в открытых штампах со свободным уширением 5. Прокатка в калибрах
3. Методы, значительно повышающие пластичность	<ol style="list-style-type: none"> 1. Прессование выдавливанием 2. Штамповка в открытых штампах с ограниченным уширением 3. Штамповка в закрытых штампах с ограниченным уширением 4. Штамповка в закрытых штампах без уширения 5. Прессование выдавливанием с противодавлением 6. Штамповка в закрытых штампах с противодавлением 7. Штамповка в пластичной оболочке

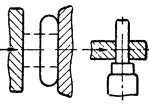
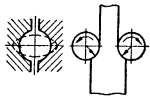
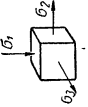
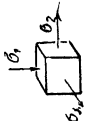
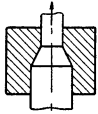

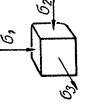
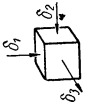
2. Классификация методов обработки давлением по напряженно-деформированному и пластическому состояниям обрабатываемого металла (Корнеев Н. И.)

Группа	Методы обработки давлением	Схемы методов обработки давлением	Величина главных напряжений. Вид напряженного состояния			Величина главных деформаций. Вид деформированного состояния			Величина пластичности и сопротивляемости деформированию. Допустимая степень деформации за каждое обжатие в %
			σ_1	σ_2 и σ_3	δ_1	δ_2	δ_3		
I	Прессование выдавливанием и штамповка под прессом в закрытых штампах без уширения с противодавлением		Очень большие			Большие			Очень высокие. 75 и выше
									
II	1. Прессование выдавливанием без противодавления в контейнерах								
	2. Штамповка в закрытых штампах без уширения и противодавления								

	<p>1. Штамповка в закрытых штампах с ограниченным уширением на молотах и прессах (безобойная штамповка)</p> 	<p>Большее</p> <p><i>Первый период</i>  <i>Второй период</i> </p>	<p>Большее и среднее</p> <p>—</p> <p>Большее</p>  	<p>Высокие. До 75</p>
<p>III</p>	<p>2. Штамповка на горизонтально-ковочных машинах в закрытых штампах</p> 	<p>Среднее</p> <p><i>Первый период</i>  <i>Второй период</i> </p>	<p>Среднее</p> <p>Большее</p>  	<p>Средние. 50—60</p>
<p>IV</p>	<p>3. Штамповка в открытых штампах с ограниченным уширением на молотах и прессах</p> 	<p>Штамповка в открытых штампах с неограниченным уширением на молотах и прессах</p> 		

Продолжение табл. 2

Группа	Методы обработки давлением	Схемы методов обработки давлением	Величина главных напряжений. Вид напряженного состояния		Величина главных деформаций. Вид деформированного состояния			Величина пластичности и сопротивления деформированию. Допустимая степень деформации за каждое обжатие в %
			σ_1	σ_2 и σ_3	δ_1	δ_2	δ_3	
V	1. Ковка с боковым давлением (осадка в оболочке и вымятка в фигурных бойках)		Средние		Среднее	Малое	Большое	Средние 40—50
	2. Прокатка сорта в закрытых ручьях		Первый период σ_1 σ_2 σ_3 Второй период σ_1 σ_2 σ_3					
	3. Прокатка сорта в открытых ручьях с ограниченным уширением							

VI	<p>1. Свободная ковка без бокового давления (осадка и вытяжка) на плоских бойках</p> 		<p>Малые</p> 	<p>Среднее</p>	<p>Большие</p> 	<p>Малые. 40—50 (30 для мало-пластинчатых сталей и сплавов).</p>
VII	<p>Волочение</p> 		<p>Малые</p> 	<p>Малое</p>	<p>Среднее</p> 	<p>Малые. 30</p>

В методах обработки давлением, в которых деформация складывается из свободного течения металла при свободном уширении и течения металла при действии бокового давления, пластическую деформацию необходимо разделять на два периода: 1) пластическая деформация протекает при свободном уширении; 2) действует боковое давление и происходит значительное повышение величины главных сжимающих напряжений.

В первый период степень деформации можно применять только в пределах, допустимых деформаций для данного металла или сплава. Для хрупких металлов она составляет 10—25%; для малопластичных 30—50%, а для металлов и сплавов, обладающих средним и высоким запасом пластичности, она может быть > 60%.

При переходе от методов обработки давлением, вызывающих хрупкое состояние деформируемого металла, к методам, повышающим пластичность и значительно повышающим пластичность, вследствие роста главных сжимающих напряжений, увеличивается сопротивление деформированию.

Каждому методу соответствуют определенное напряженно-деформированное состояние, величина главных сжимающих напряжений, пластическое состояние деформируемого металла, структура и механические свойства.

Предложенная классификация методов обработки металлов и сплавов состоит из групп, каждая из которых характеризуется видом напряженно-деформированного состояния; величиной главных напряжений; сопротивлением деформированию; видом деформированного состояния; величиной главных деформаций; пластичностью деформируемого металла, определяемой допустимой деформацией.

По мере накопления количественных данных классификация будет дополняться новыми группами, новыми количественными показателями, что позволит еще более точно производить оценку напряженного

и пластического состояний деформируемого металла и научное обоснование методов обработки давлением в зависимости от запаса пластичности металлов и сплавов.

Группа I. Пластическая деформация металла происходит в условиях гидростатического сжатия, при котором с самого начала обработки давлением металл подвергается воздействию всестороннего сжатия с высокими главными сжимающими напряжениями, а растягивающие деформации и напряжения крайне малы. При этом с увеличением противодействия доля растягивающих деформаций и напряжений резко уменьшается, а технологическая пластичность деформируемого металла возрастает. Напряженное состояние соответствует неравномерному всестороннему сжатию, а деформированное состояние разноименной схеме с двумя деформациями сжатия и одной — растяжения.

При прессовании с противодействием и штамповке в закрытом штампе без уширения с противодействием хрупкие и малопластичные сплавы деформируются без признаков хрупкого состояния и образования трещин. Величина противодействия должна быть для каждого сплава строго определенной. При недостаточной величине противодействия хрупкость металла или сплава может быть и не устранена. Величину противодействия можно определять из соотношения

$$p = 0,1P,$$

где P — давление прессы.

Для каждого металла и сплава величины противодействия устанавливаются экспериментально.

С увеличением противодействия главные напряжения, сопротивление деформированию и пластичность повышаются. Следовательно, повышение пластичности при рассматриваемых методах обработки давлением достигается за счет увеличения сопротивления деформации и затраты большей работы на обработку давлением.

Группа II характеризуется механической схемой деформации, со-

ответствующей неравномерному всестороннему сжатию, и наличием бокового давления с самого начала деформации. Такой механический режим деформирования при прессовании выдавливанием и при штамповке соблюдается на протяжении всего периода обработки. Исключение составляет применение в начале прессования так называемой подпрессовки — операции, при которой металл в контейнере подвергается обычному свободному осаживанию для повышения степени деформации сердцевины сечения заготовки. Введение этой операции устраняет недостаток прессования выдавливанием, при котором средняя часть сечения деформируется, как и периферия сечения, только при высоких деформациях. Степень деформации при подпрессовке в среднем не превышает 25%, что не вызывает хрупкого состояния деформируемых сплавов.

При обработке металлов и сплавов методами данной группы главные сжимающие напряжения, действующие в деформируемом металле, достаточно высокие, а растягивающие напряжения относительно невелики. Вид напряженного состояния соответствует неравномерному всестороннему сжатию, а деформированное состояние характеризуется разнотипной схемой, в которой две деформации сжатия, действующие от деформирующей силы и бокового давления со стороны стенок контейнера и одна деформация растяжения, возникающая при истечении металла из очага матрицы. Последняя и приводит во многих случаях прессования выдавливанием к понижению пластичности прессуемого металла, а при определенных условиях обработки (при повышении скорости и понижении температуры прессования) — к образованию трещин в прессуемых прутках, профилях, трубах и штамповках. Таким образом, напряженно-деформированное состояние металла при прессовании выдавливанием с соблюдением установленного термомеханического режима делает пластическую деформацию металлов и сплавов этим методом, протекающей при благоприятном нагружении.

Поэтому методы обработки второй группы находят широкое применение для холодной и горячей обработки давлением относительно малопластичных сплавов (алюминиевых, магниевых, титановых и др). При обработке давлением этими методами пластичность обрабатываемых металлов и сплавов оказывается достаточно высокой. Процесс обработки осуществляется на одной машине за одну-две операции, без образования заусенцев и при значительных деформациях. Последнее исключает возможность обработки давлением при критических деформациях и обеспечивает получение в деформированном металле правильно ориентированной в направлении течения металла макроструктуры и высоких механических свойств. Вследствие возрастания сопротивления деформированию при данном напряженном состоянии и применении высоких деформаций во многих случаях целесообразно применять для обработки давлением такими методами ковочно-штамповочные, кривошипные и гидравлические прессы, а также горизонтально-ковочные машины и машины для импульсных методов обработки.

Группа III. В начале обработки, в первый период деформации, до наступления контакта металла со стенками штампа и возникновения бокового давления, деформация осуществляется при свободном уширении и значительной поперечной деформации. Это создает в металле опасные деформации и напряжения растяжения.

Последующий, второй период, относится к тому моменту деформации, когда возникает боковое давление со стороны стенок штампа, непрерывно возрастающее по мере заполнения штампа и к концу обработки достигающее наибольшей величины. После возникновения бокового давления или реакции со стороны жестких стенок штампа, процесс деформации методами третьей группы изменяется, и значительная доля растягивающих деформаций и напряжений заменяется сжимающими.

Таким образом, особенность данной группы методов обработки

является разделение процесса пластической деформации на два периода: первый период, отличающийся крайне жестким напряженно-деформированным состоянием, в течение которого деформируемый металл находится под воздействием опасных напряжений и деформаций растяжения, что во многих случаях может вызывать хрупкое состояние металла; второй период, когда в напряженно-деформированном состоянии значительная доля растягивающих напряжений и деформаций заменяется на сжимающие, и пластичность обрабатываемого металла резко повышается.

Поэтому напряженно-деформированное состояние металла при обработке давлением методами третьей группы должно описываться двумя различными для первого и второго периодов обработки механическими и деформационными схемами.

В первый период обработки действует напряженное состояние в виде неравномерного всестороннего сжатия с малыми по величине сжимающими напряжениями, а деформационная схема — разноименная, с одной деформацией сжатия и двумя растягивающими деформациями.

Во второй период обработки в напряженном состоянии, соответствующем неравномерному всестороннему сжатию, значительно увеличиваются сжимающие напряжения, а в деформационной разноименной схеме только одна деформация остается растягивающей, а две другие являются деформациями растяжения.

Основным условием, которое должно соблюдаться при обработке давлением методами третьей группы, для предупреждения резкого падения пластичности и разрушения деформируемого металла, является ограничение деформации в первый период обработки со свободным уширением до возникновения контакта штампуемого металла со стенками штампа. В этот период можно применять только допустимые по величине для данного металла деформации. Допустимые деформации для малопластичных сплавов не должны превышать 30—50%, для сплавов

средней пластичности 60%, а для высокопластичных сплавов они могут достигать 70% и более.

Группа IV. В процессе штамповки значительная деформация протекает в течение первого периода обработки со свободным уширением. В деформируемом металле возникают растягивающие деформации и напряжения во многих случаях большой величины. Поэтому метод применяется для обработки давлением металлов и сплавов средней и высокой пластичности.

Снижение деформаций и напряжений растяжения и повышение пластичности производится, как это указывалось при анализе методов обработки третьей группы, также ограничением деформации в первый период обработки со свободным уширением, не превышая указанных допустимых деформаций для сплавов разной пластичности. Это может быть достигнуто штамповкой фасонных заготовок, близких по геометрической форме к готовому изделию и уменьшением поперечной деформации. Особенно это должно учитываться при штамповке сплавов, обладающих относительно невысокой пластичностью (алюминиевых, магниевых и медных сплавов).

После возникновения контакта обрабатываемого металла со стенками штампа возникает второй период деформации в открытых штампах. Этот период характеризуется резким изменением механической схемы деформации, в сторону увеличения главных сжимающих напряжений, что приводит к повышению пластичности металла.

Напряженно-деформированные состояния металла в обоих периодах деформации здесь будут аналогичны тем, которые были подробно изложены для методов обработки третьей группы.

Группа V. Пластическая деформация осуществляется при ограниченном уширении и поперечной деформации и значительной продольной деформации. Это имеет место, потому что в продольном направлении ручьи при ковке в бойках и штампах являются открытыми. Поэтому в продольном направлении происходит свобод-

ное без бокового давления течение металла. Течению металла в продольном направлении препятствуют лишь силы трения, которые обычно невелики.

Описанный характер течения металла при ковке в ручьях определяет благоприятное напряженно-деформированное состояние металла, действующее при обработке этими методами.

Вследствие свободного течения металла в начале деформации в поперечном и продольном направлениях процесс обработки осуществляется при относительно низких главных сжимающих напряжениях, особенно второго и третьего главных напряжений, которые в этот период деформации равны силам трения.

Схема деформаций в первый период обработки разноименная с двумя растягивающими (продольной и поперечной) и одной сжимающей, от деформирующей силы.

Такое напряженно-деформированное состояние металла в первый период обработки рассматриваемыми методами обуславливает значительное падение пластичности деформируемого ковкой металла, что должно учитываться при разработке переходовковки.

Во второй период деформации, когда создается контакт обрабатываемого металла и боковое давление, в схеме деформаций одна деформация растяжения заменяется сжимающей и в деформационной схеме действуют уже две сжимающие и одна растягивающая деформации. При этом происходит увеличение и второго главного сжимающего напряжения, что приводит к значительному повышению пластичности металла во второй периодковки.

Методыковкиданной группы находят широкое применение при изготовлении фасонных заготовок перед штамповкой сплавов даже с относительно малым запасом пластичности.

Для повышения пластичности малопластичных сплавов методами обработки пятой группы необходимо применять возможно меньшие деформации в первый период и наоборот высокие во второй период, когда

поперечная деформация относительно невелика и когда действует боковое давление.

Поскольку данные методы обработки в отношении напряженно-деформированного состояния имеют значительные преимущества перед свободной ковкой на плоских бойках, необходимо свободную ковку слитков и заготовок на плоских бойках заменять на ковку в фигурных бойках или ручьях многоручьевых штампов, состоящих из ручьев для предварительнойковки заготовок и ручьев для штамповки.

Группа VI. Обработка металлов осуществляется при неравномерном всестороннем сжатии с невысокими сжимающими главными напряжениями и значительно более высокими, чем во всех предыдущих методах обработки, растягивающими напряжениями и деформациями. Первое главное сжимающее напряжение в этих методах обработки действует от деформирующей силы, а второе и третье — от силы трения, по величине, обычно значительно меньшей по сравнению с силой, осуществляющей деформацию. Поэтомуковка при таких напряженных состояниях происходит практически без бокового давления.

Поскольку при таком напряженном состоянии деформация происходит при неограниченном свободном уширении и отсутствии бокового давления со стороны жестких стенок инструмента, а следовательно, при малых сжимающих напряжениях, препятствующих разрушению, то при свободной ковке на плоских бойках, особенно малопластичных сплавов, во многих случаях создается хрупкое состояние деформируемого металла с образованием трещин.

Созданию хрупкого состояния металла в процессе обработки способствует также и разноименная деформированная схема, действующая при таких методах обработки, в которой лишь первая главная деформация — сжимающая, а две другие, вторая и третья, — растягивающие (от значительной поперечной деформации при свободном уширении и отсутствии бокового давления).

Повышение пластичности сплавов при обработке ковкой на плоских бойках возможно только снижением степени и скорости деформации, а также применением широких бойков при ковке для увеличения силы трения и повышения сжимающих напряжений. Но обработка при таких условиях деформирования понижает производительность.

Методы обработки шестой группы целесообразно применять дляковки высокопластичных и обладающих средним запасом пластичности сплавов.

При необходимости обработки малопластичных сплавов ковку на гладких бойках следует производить с ограничением уширения и заменять ковкой в фигурных бойках и в пластичных оболочках. Целесообразно применять также предварительную деформацию слитков прессованием, выдавливанием без противодействия и при наличии его, после которой пластичность металлов и сплавов значительно повышается.

Группа VII содержит такие технологические процессы обработки давлением, как волочение, напряженно-деформированное состояние которых характеризуется разнородным видом. В таком напряженно-деформированном состоянии одно главное напряжение и одна главная деформация — растягивающие. Наличие растягивающих напряжений и деформаций при волочении делают этот технологический процесс крайне «застылым».

Изменение напряженного и пластического состояния при переходе от первой группы методов обработки к шестой характеризуется падением пластичности, уменьшением допустимой деформации, понижением сопротивления деформации или деформирующей силы.

Поэтому первые две группы и особенно первая группа методов обработки давлением выгодны с точки зрения высокой пластичности и почти неограниченной допустимой деформации обрабатываемого металла и невыгодны в силу необходимого при-

менения машин большой мощности, так как сопротивление деформации обрабатываемого металла при таких напряженных состояниях значительно возрастает. Большим преимуществом данных методов обработки является также стабильность процессов деформации в отношении постоянства основных термомеханических параметров обработки давлением (скорости, степени и температуры деформации) и равномерности деформации.

Третья и особенно четвертая группы методов обработки, наоборот, выгодны в отношении возможного применения машин сравнительно небольшой мощности и затраты небольшой работы на деформацию и не выгодны по причине возможности понижения пластичности обрабатываемого металла и малой деформации, которая может быть допущена при обработке. Следует учитывать также существенные недостатки этих методов, заключающиеся в трудности соблюдения постоянства термомеханического режима деформации и неизбежной неравномерной деформации.

Поэтому методы обработки первой и второй групп следует применять там, где необходимо повысить пластичность обрабатываемых сплавов и однородность свойств, изготавливаемых полуфабрикатов. Методы же обработки третьей и четвертой групп следует применять для обработки сплавов с большим запасом пластичности и когда от деформируемых полуфабрикатов не требуется верхний предел механических свойств.

Из классификации следует, что обработку малопластичных сплавов ковкой и горячей штамповкой надо производить в фигурных бойках и ручьях штампов, вместо применяемых плоских бойков и ручьев с возможно меньшим свободным уширением металла как при свободной ковке, так и при штамповке; инструментом с возможно меньшими углами наклона рабочих поверхностей; в закрытых штампах вместо применяемых открытых штампов.

Алюминиевые сплавы. Технический алюминий (АЛ1 и АЛ) имеет высокую пластичность. Он может деформироваться холодной и горячей ковкой и штамповкой при разных видах нагружения. При этом изменение скорости деформации не вызывает значительного понижения пластичности алюминия. Технический алюминий подвергают ковке и штамповке на прессах, ковочных машинах и молотах преимущественно на плоских бойках и в открытых штампах.

Алюминиевые сплавы мягкие (АВ, АМц, АМг1, АМг2, АД31, АД32 и др.) и средней прочности (Д1, АК2, АК4, АК6, ВД17, АМг6 и др.) имеют хорошую пластичность. Они обрабатываются ковкой и горячей штамповкой при напряженно-деформированных состояниях, в которых действуют деформации и напряжения растяжения. Ковка сплавов этих групп производится на молотах и гидравлических прессах на плоских бойках и в открытых и полузакрытых штампах. Горячую штамповку мягкой и средней прочности сплавов выполняют на молотах, ковочных машинах, кривошипных и гидравлических прессах.

Мелкие и средние детали машин штампуют на кривошипных прессах, а крупные — на гидравлических прессах. Крупные штамповки могут штамповаться и на молотах. Алюминиевые сплавы высокопластичные и средней пластичности могут обрабатываться давлением при напряженно-деформированном состоянии от самых жестких (осадка с свободным уширением) до мягких (штамповка в закрытом штампе без уширения) механических схем деформации.

Алюминиевые сплавы высокой прочности (В93, В95, В96, АК3, ВАД23 и др.) имеют пониженную пластичность по сравнению со сплавами других групп.

Эти сплавы обрабатывают ковкой и горячей штамповкой при более мягких напряженно-деформированных состояниях и преимущественно на гидравлических и кривошипных прессах. Обработка сплавов с та-

кой скоростью деформирования при соблюдении установленных параметров ковки и горячей штамповки не переводит их в хрупкое состояние.

Штамповку мелких и средних размеров деталей производят на кривошипных прессах, крупных — на гидравлических прессах. Сплавы высокой прочности могут обрабатываться ковкой и горячей штамповкой и на молотах.

Для обработки малопластичных сплавов необходимо применять закрытые и полузакрытые методы деформации.

Хрупкие алюминиевые сплавы, например, типа системы Ве — А1 и «САП» должны обрабатываться новыми методами прессования и штамповки с противодавлением и с применением пластичных оболочек.

Деформация слитков всех алюминиевых сплавов, как правило, для исключения действия значительных растягивающих напряжений и деформаций должна производиться прессованием на деформацию 50—60%.

Определение методов ковки и штамповки и вида напряженно-деформированного состояния в зависимости от пластичности алюминиевых и других сплавов должно производиться по классификации методов обработки давлением по напряженному и пластическому состояниям обрабатываемого сплава.

Магниеые сплавы. Сплавы системы магний — марганец с небольшими добавками церия (МА1, МА8) обладают высокой пластичностью при горячей и холодной обработке давлением и подвергаются деформации при мягких и жестких напряженных состояниях (ковке, штамповке и др.).

Сплавы магния с различным содержанием алюминия и добавками небольших количеств цинка и марганца (МА2, МА2-1, МА3, МА5) имеют более высокие прочностные характеристики и пониженный запас пластичности. Пластичность этих сплавов существенно понижается с увеличением содержания в них алюминия. Наибольшей пластичностью

в горячем состоянии обладает сплав МА2, который удовлетворительно подвергается ковке и горячей штамповке даже и при жестких механических схемах деформации. Однако скорость деформации при этом не должна быть высокой. Примерно такая же закономерность установлена и для сплава МА3, который при таких видах нагружения или ковке и штамповке обладает удовлетворительной пластичностью. Сплав МА5 имеет пониженный запас пластичности и горячую обработку давлением производят при мягких видах напряженно-деформированного состояния (прессование в контейнере, штамповку в закрытых штампах и др.).

Сплавы магния с цирконием (ВМ65-1 и др.) относятся к группе малопластичных сплавов. Ковку и горячую штамповку сплавов этой группы производят также при мягких видах напряженно-деформированного состояния с минимальными растягивающими напряжениями.

Высоколегированные сплавы, обладающие низким запасом пластичности, необходимо подвергать ковке и горячей штамповке методом прессования — штамповки с противодавлением, обеспечивающим деформацию с высокими главными сжимающими напряжениями.

Титановые сплавы. Технический титан (ВТ1) при осадке на прессе при комнатной температуре не разрушается до деформации 50%; при повышении температуры пластичность повышается и он может деформироваться без образования трещин при 600° С на 80%, а при 900° С на 90%.

Титановые сплавы ВТ3-1 и ВТ5 при комнатной температуре без перевода в хрупкое состояние деформируются статической осадкой на 10—15%. В случае осадки на прессе при 600° С допустимая деформация составляет 60%, а при 900° С — увеличивается до 90%.

В случае динамического деформирования под молотом пластичность титановых сплавов снижается на 10—20%. Так, для сплавов

ВТ3-1 и ВТ5 при осадке под молотом при 600° С допустимая деформация равна 50%, а при 900° — 80%.

Титан при холодной свободной ковке осадкой и штамповкой допускают ограниченные деформации. Допустимые деформации при холодной обработке могут быть увеличены применениемковки в вырезных бойках и штамповке в закрытых и открытых штампах с ограниченным уширением, когда действуют напряженно-деформированные состояния, при которых деформации и напряжения растяжения относительно невелики.

При горячем деформировании и, особенно, при температурах 900° С и выше, когда развиваются разупрочняющие процессы, титан и титановые сплавы имеют достаточно высокую пластичность. Из титановых сплавов ковкой и горячей штамповкой изготавливаются сложные по геометрической форме детали машин (лопатки, диски компрессоров и другие детали).

Титан и титановые сплавы мало- и среднелегированные могут обрабатываться ковкой и горячей штамповкой всеми применяемыми методами, практически при многих видах нагружения. Эти сплавы при изменении напряженно-деформированного состояния, в пределах применяемых технологических процессов ковки и штамповки, сохраняют достаточно высокую технологическую пластичность.

Для трудно деформируемых титановых сплавов могут применяться полужакрытые и закрытые методы ковки и горячей штамповки — вытяжки в фигурных бойках, осадка в пластичной оболочке, штамповка в закрытых штампах с уширением и без уширения. Такие методы с мягким напряженным состоянием допускают ковку и штамповку с большими деформациями. Кроме возможности обработки с большой деформацией и повышения технологической пластичности, такой технологический процесс обработки давлением обеспечивает более равномерную деформацию и получение

мелкозернистой структуры и высоких и равномерных механических свойств.

Пластичность титана и титановых сплавов резко понижается при наличии на поверхности альфированного слоя. Были проведены опыты по ковке — осадкой титановых сплавов, имевших на поверхности остатки альфированного слоя.

Испытанию на осадку подвергались образцы, у которых после отточки альфированного слоя остались на поверхности вдоль образующей черновины — необработанные полоски. Образцы осаживались на механическом кривошипном ковочном прессе на неподогретых штампах при 1000°C .

После осадки со степенью деформации выше 50% на боковой поверхности заготовок, где оставался альфированный слой, появлялись широкие трещины. Причина появления трещин на боковой поверхности заключается в том, что более хрупкий, чем основной металл, альфированный слой, в результате растяжения боковой поверхности образца в начале осадки разрушается, образуя сетку мелких трещин. Эти трещины как концентраторы напряжений, с увеличением степени деформации способствуют разрушению основного металла. Глубина таких трещин находится в пределах 1—2 мм.

Образование трещин при осадке образцов из титановых сплавов с альфированным слоем происходит при покрытии образца густыми смазками (жидкого стекла, графита и др.). Появление трещин в случае применения густых смазок объясняется тем, что пленка смазки между контактными поверхностями создает значительные растягивающие напряжения. Хрупкий альфированный слой этих напряжений не выдерживает и разрушается. С другой стороны гладкие без трещин образцы получаются после деформирования осадкой без смазки и с применением жидких смазок — мазута, машинного масла, компрессорного масла и др.

Смазки жидкой консистенции не вызывают значительной величины

поперечной деформации и напряжений растяжения.

Наличие альфированного слоя резко снижает технологическую пластичность титана и титановых сплавов. Металл, имеющий альфированный слой, крайне чувствителен при ковке и горячей штамповке к изменению напряженно-деформированного состояния с увеличением напряжений и деформаций растяжения. Поскольку, практически, при всех методахковки и штамповки действуют растягивающие напряжения и деформации, при нагреве под горячую механическую обработку титана и титановых сплавов следует избегать образование альфированного слоя. Это достигается нагревом под ковку и штамповку в нагревательных печах с нейтральной или безокислительной атмосферой. Наиболее подходящей средой для нагрева титана и титановых сплавов является аргон.

Титан и титановые сплавы нагреваются в воздушных печах с открытым заготовок эмальями.

Медные сплавы имеют узкий интервал температурковки и горячей штамповки, невысокий запас пластичности при свободной ковке и высокую теплопроводность в конечной стадии обработки, вследствие чего эти сплавы приобретают пониженную пластичность. Поэтому для медных сплавов следует применять вид нагружения при ковке и горячей штамповке с возможно наименьшими растягивающими деформациями и напряжениями. Руководствуясь этим, слитки медных сплавов деформируют преимущественно прессованием в ковшейнерах, а горячую штамповку обычно производят или закрытым методами обработки (штамповка в закрытых штампах), или полуоткрытыми методами, или открытыми, но с ограниченным уширением. При этом технологические процессы применяют с возможно наименьшим числом операций, а в большинстве случаев штампуют детали на одно давление или один удар молота. Для повышения пластичности металла койнтайнеры и штампы подогревают до $300\text{—}500^{\circ}\text{C}$.

ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КОВКИ И ШТАМПОВКИ

Термомеханические параметрыковки и штамповки цветных металлов и сплавов (температуры начала и конца обработки; общие деформации; допустимые деформации, не вызывающие разрушения металла при обработке; деформации, определяющие кинетику рекристаллизации обработки; скорости деформации; скорость нагрева, скорость охлаждения и напряженно-деформированное состояние металла при обработке), устанавливаются по результатам комплекса испытаний, приведенных в табл. 3, руководствуясь данными табл. 2 и рисунков 1—95, приведенных в гл. 1.

Температуры, скорости и степени деформации

Повышенная температура началаковки и повторные промежуточные подогревы между операциями позволяют значительно увеличить степень деформации сплавов. Большие скорости деформации при значительных обжатиях за один удар вызывают преждевременное разрушение заготовки не только при низких температурах началаковки, но даже и при повышенных.

Наибольшая анизотропия и пониженные механические свойства пресованных полуфабрикатов наблюдаются при деформации в пределах 50—75%. В случае общей деформации не менее 95% получаются более однородные механические свойства вдоль и поперек волокон, а также повышается общий уровень свойств пресованных полуфабрикатов. Поэтому при пресовании профилей, прутков, а также заготовок для поковок и штамповок необходимо обеспечивать наибольшую деформацию, которая должна составлять 60—65% для пресованных прутков, предназначенных дляковки и штамповки и 95% для пресованных прутков и штамповок, назначаемых для изготовления деталей машин.

Алюминиевые сплавы. Температурные интервалыковки и штамповки определяются по диаграммам пластичности, кривым течения и диаграммам состояния соответствующих систем сплавов. Для отдельных алюминиевых сплавов эти интервалы следует выбирать в пределах, указанных в табл. 4.

Степени деформации. Наиболее высокие механические свойства и наименьшая анизотропия этих свойств получаются при общей деформации сплавов в 65—75%. Поэтому в случае обработки давлением слитков на заготовки, поковок, штамповки и другие полуфабрикаты общая степень деформации должна быть минимальной.

Из диаграмм рекристаллизации обработки различных алюминиевых сплавов следует, что критические деформации составляют 12—15%. С целью исключения рекристаллизации сплавов с образованием крупного зерна, ковку и штамповку их производят с обжатием 15—20% и более за каждый ход машины.

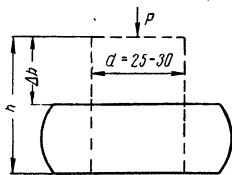
Допустимая же степень деформации за рабочий ход машины, определяемая по диаграммам пластичности, для отдельных групп сплавов находится в пределах, приведенных в табл. 2.

Скорость деформации. Анализ диаграмм пластичности по изменению допустимых деформаций алюминиевых сплавов в зависимости от скорости обработки показывает, что с повышением скорости деформации технологическая пластичность сплавов заметно не понижается. Лишь у отдельных высоколегированных сплавов при переходе к высоким скоростям обработки допустимые деформации понижаются за каждый ход машины с 80 до 40%. Кроме этого при переходе от статических к динамическим скоростям сопротивление деформации сплавов возрастает в 1,5—3 раза, в зависимости от их легирования. Поэтому алюминиевые сплавы можно обрабатывать ковкой и штамповкой как при малых, так и высоких скоростях деформации.

Однако, руководствуясь необходимо повышением допустимых

3. Методы испытаний сталей и сплавов для определения температур и других параметров обработки давлением (Корнеев Н. И.)

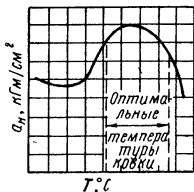
А. Испытание на пластичность свободной осадкой



$h \leq 2,5d$,
 $\Delta h = 30 \div 50\%$,
 $T^\circ C$ — через каждые 25—50° в исследуемом интервале температур

Оценка пластичности производится по появлению первой трещины в деформируемом образце. Определяются T , v , ε .

Б. Испытание на пластичность ударным изгибом

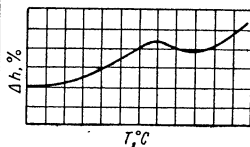


Ударные образцы Менаже.
 $T^\circ C$ — через каждые 25—50° в исследуемом интервале температур

Оценка пластичности производится по максимумам и минимумам на кривых в координатах: $a_n - T^\circ C$.
 Определяется T

В. Определение сопротивления деформированию

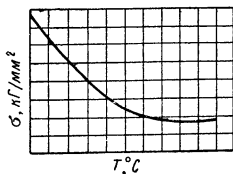
а) Определение относительного сопротивления деформированию свободной осадкой (в %)



G — вес падающих частей или давление;
 $G = \text{const}$;
 H — высота падения;
 $H = \text{const}$;
 Δh — степень деформации через каждые 5% в интервале 0—60%;
 $T^\circ C$ — через каждые 50° в исследуемом интервале температур;
 d образцов — 10—25 мм

Оценка сопротивления деформированию производится по величине осадки (в %) при данной температуре на кривой в координатах: $\Delta h - T^\circ C$.
 Определяются T , v , ε

б) Определение удельного сопротивления деформированию (в кг/мм²)

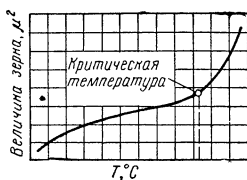


Определяется изменением сопротивления деформирования при осадке или других методах обработки мессдозами или другими измерительными приборами
 Δh — степень деформации при испытании осадкой через каждые 5% в интервале 0—60%;
 $T^\circ C$ — через каждые 50° в исследуемом интервале температур

Оценка сопротивления деформированию производится по величине его при данной температуре на кривой в координатах: $\sigma - T^\circ C$.
 Определяются T , v , ε

Продолжение табл. 3

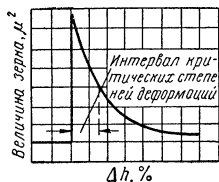
Г. Определение критической температуры роста зерна при нагреве (собирательная рекристаллизация)



$T^{\circ}\text{C}$ — через каждые 50° в исследуемом интервале температур;
 d — диаметр образца 15–30 мм.
 Величина зерна определяется одним из применимых методов

Критическая температура роста зерна при нагреве соответствует началу интенсивного роста зерна на кривой в координатах: μ (величина зерна) — $T^{\circ}\text{C}$.
 Определяется T , ε , v

Д. Определение интервала критических степеней деформации при осадке (рекристаллизация обработки)



$T^{\circ}\text{C}$ — через каждые 50° в исследуемом интервале температур;
 Δh — степень деформации, через каждые 2–5% в интервале 0–60%;
 d — диаметр образцов, равный 15–30 мм

Критические степени деформации соответствуют началу и концу интенсивного роста зерна при данной температуре на кривой в координатах: μ (величина зерна) — Δh .
 Определяются T , ε

Е. Определение фазового состава

Фазовый состав определяется по диаграммам плавкости соответствующих систем стали и сплавов

Диаграмма системы

Cu—Zn

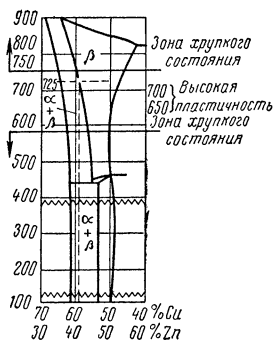


Диаграмма системы

Fe—Fe₃C

Обработка стали и сплавов давлением по возможности должна производиться в однофазном состоянии, так как при гомогенной структуре отдельные кристаллиты подвергаются более равномерной деформации.
 В случае же гетерогенной структуры деформация может быть неравномерной, вследствие различных свойств кристаллитов разных фаз.

Определяются T , ε , v , $\varepsilon_{\text{обш}}$

4. Температуры начала и конца, допустимые степени и скорости деформации алюминиевых сплавов ковкой и штамповкой

Сплав	Температурный интервалковки и штамповки в °С		Скорость деформации в м/сек и применяемое оборудование	Допустимые степени деформации в %	
	Начало	Конец		Молот	Пресс
АМц, АМг, АВ, АК6, АК6-1, АД31, АД33	470—420	350	8—0,3. Молот, пресс	АМц и АМг 80 и более АК6 и АК6-1 Литой 40—50 > 50 Деформированный 50—65 До 80	
Д1, АК8, ВД17	470—440	400	0,3. Пресс	Литой 40 40—50 Деформированный 50—70 До 80	
	450—420	380	8. Молот		
АК2, АК4, АК4-1 АМг5В, АМг6	470—420	350	8—0,3. Молот, пресс	50—60 Более 60	
	430—400	320			
В92, В95, В96, В93	430—400	350	0,3 Пресс	Литой 30—40 40—50 Деформированный 50—60 80 -	
	400—370	320	8. Молот		

степеней деформаций легких сплавов при обработке и производительности, снижения сопротивления деформированию и увеличения текучести сплавов при заполнении гравюр штампов, при ковке и штамповке сплавов более целесообразно применять обработку их на прессах. В настоящее время все больше укрепляется тенденция применения статических скоростей деформации для штамповки, особенно крупных поковок из легких сплавов. При прессовании выдавливанием надо применять высокие скорости, поскольку с повышением скорости значительно повышаются производительность и температура.

Для обработки малопластичных сплавов необходимо применять закрытые и полузакрытые методы деформации.

Хрупкие легкие сплавы, например типа системы алюминий — бериллий и «САП», надо обрабатывать новыми методами прессования и штамповки с противодавлением и с применением пластичных оболочек.

Деформацию слитков всех алюминиевых сплавов, как правило, надо производить прессованием.

Методыковки и штамповки и вид напряженно-деформированного состояния в зависимости от пластичности сплавов надо определять руководствуясь классификацией методов обработки давлением по напряженному и пластическому состояниям обрабатываемого сплава.

Магниеые сплавы. Температурные интервалыковки и штамповки приведены в табл. 5—7.

При горячей обработке давлением учитывается большая зависимость пластичности магниевых сплавов от температуры. Высокая температура окончания деформирования позволяет использовать наибольший запас пластичности сплавов, но при этом образуется более крупнозернистая структура, что, в свою очередь, вызывает снижение уровня механических свойств и уменьшение анизотропии материала. Степень разрушения штамповок из сплава ВМ65-1, изготовленных на штамповочных молотах, приведена на рис. 1, а сплава МА2 на рис. 2. Снижение механических свойств, как это видно из приведенных данных, при высоких тем-

5. Режим ковки магниевых сплавов на молотах и прессах

Марка сплава	Температура ковки в °С				Максимально допустимая степень деформации за нагрев при осадке в %		Допустимая степень деформации при протяжке в %
	Молот		Пресс		Молот	Пресс	
	Начало	Конец	Начало	Конец			
МА1, МА2, МА8 МА2-1	430	340	420	300	60	80	25 15
	420		400		50	70	
МА3, МА5 ВМ65-1	400	300	390	280	35	60	— 20
	410	340	400	300	60	75	
МА13, ВМД1 ВМ17	480	400	450	380	50	70	—
	420	350	400	340	45	65	

6. Температуры штамповки магниевых сплавов на штамповочных молотах и ковочных прессах

Сплав	Температурный интервал деформации в °С			
	Штамповка на молотах и механических ковочных прессах		Нагревка на штамповочных молотах	
	Начало	Окончание	Начало	Окончание
МА1, МА2, МА8	430	320	250	230
	420	300	280	250
МА2-1 МА3, МА5	400		—	—
ВМ65-1	410	320	270	240
ВМ17 МА13, ВМД1	420	350	—	—
	480	400		

7. Температуры штамповки магниевых сплавов на гидравлических прессах

Марка сплава	Температурный интервал деформации в °С			
	Штамповка на гидравлических прессах		Нагревка	
	Начало	Окончание	Начало	Окончание
МА1, МА2, МА8	420	300	250	230
	400		280	250
МА3, МА5 ВМ65-1	390	280	—	—
	400	310	270	240
МА13, ВМД1 ВМ17 МА11	450	380	—	—
	420	390		
	480	380		

пературах нагрева и деформации происходит в результате рекристаллизации структуры, что и обуславливает разупрочнение.

Исключение из технологии факторов, обуславливающих разупрочнение материала при горячем деформировании, является очень важным вопросом, так как магниевые сплавы

МА2, МА2-1, МА3 и МА8 термической обработкой не упрочняются, а эффект упрочнения сплавов МА5 и ВМ65-1 при термической обработке незначителен (рис. 3).

Для повышения уровня механических свойств штамповок рекомендуется применять полугорячую нагревку (доштамповку) на молотах

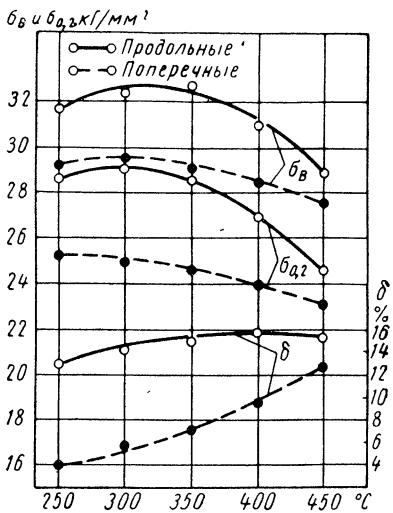


Рис. 1

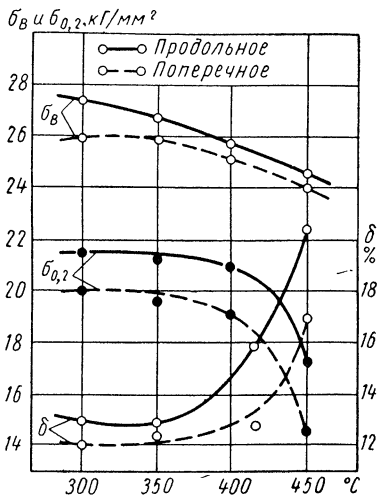


Рис. 2

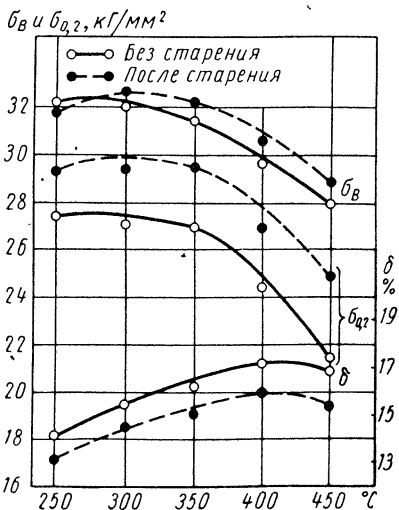


Рис. 3

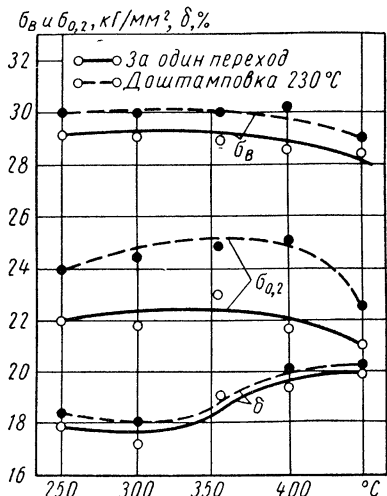


Рис. 4

и прессах при температурах, приведенных в табл. 7 и степенях деформации в пределах 10—15%. Повышенные механические свойства штамповок из сплава МА2, изготовленных за один переход с последующей нагартовкой при 230° С на молоте, показано на рис. 4. Применение техно-

логической операции доштамповки обеспечивает упрочнение сплавов, сопровождающееся образованием мелкой однородной структуры.

Эти данные показывают, что у штампованных изделий механические свойства повышаются с уменьшением величины зерна. Наилучшая струк-

тура сплава и высокие механические свойства получаются при штамповке на прессах с последующей доштамповкой на молоте при 230—250° С.

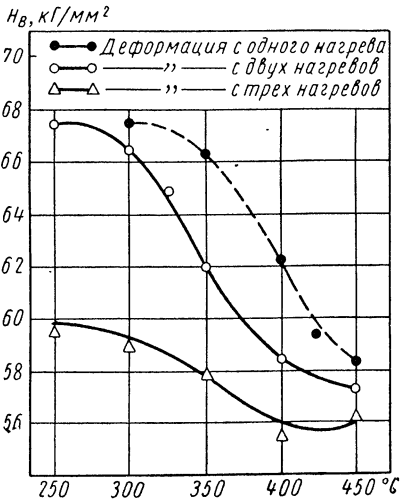


Рис. 5

Изменение твердости штамповок из сплава МА2 от температуры деформации и в зависимости от количества нагревов (или числа переходов при штамповке) показывает характер разупрочнения сплава (рис. 5). В результате длительных нагревов, т. е.

более длительного нахождения сплава при температуре, процесс рекристаллизации проходит полнее и магниевые сплавы получают разупрочнение.

Учитывая относительно невысокий запас технологической пластичности большинства магниевых сплавов, ковку и штамповку их рекомендуется производить на гидравлических и кривошипных прессах при пониженной скорости деформации. В этом случае при температуре конца деформации не ниже 300° С магниевые сплавы практически мало упрочняются и механизм деформации подобен горячей деформации.

Магниевые сплавы значительно лучше деформируются при обработке с низкими скоростями, поэтому на гидравлических прессах можно получать штамповки малых и больших размеров весом до 250—300 кг из всех марок деформируемых магниевых сплавов.

Для повышения текучести при деформации и лучшего заполнения полостей штамповку следует вести при температурах, соответствующих верхнему пределу, установленному для данного сплава. Чтобы создать условия, при которых проявляется наибольшая пластичность, производят штамповку в закрытых (безоблойных) штампах.

В процессе штамповки в предварительных или окончательных (чисто-

8. Степень деформации для разных схемковки

Сплав	Температураковки в °С		Схемыковки (см. табл. 16 в гл. 5)					
	Началокковки	Концековки	I		II	III	IV	V
			а протяжка без кантовки	б протяжка на квадрат или прямоугольник				
Максимально допустимые степени деформации (в %) на молотах с весом падающих частей до 2Т включительно								
МА2	430	350	55	25	70	80	80	50
МА3	420	340	35	15	55	—	55	—
ВМ65-1	420	300	40	20	65	—	65	—
МА5	380	300	—	—	50	—	—	—

вых) штампах на прессах, обеспечивающих наиболее благоприятные скоростные условия деформации, степень деформации не ограничивается при оптимальном температурном режиме.

Степень деформации (см. табл. 4 и 8).

Изменения механических свойств поковок из сплава МА2 в зависимости от степени вытяжки приведены на рис. 6, из которого видно, что с увеличением вытяжки заготовки из

показана на рис. 7. Поковка размером $36 \times 380 \times 1050$ мм получена из прессованной заготовки размером

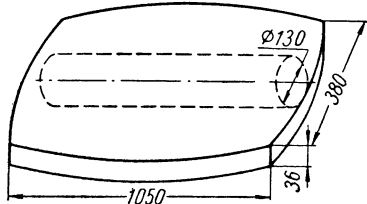


Рис. 7

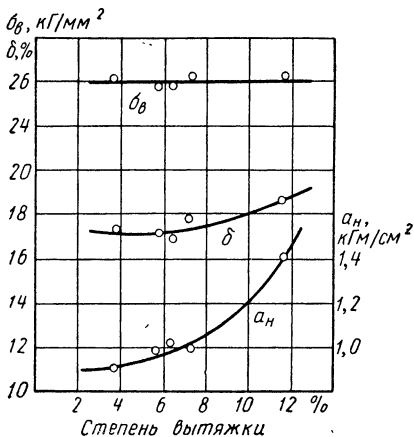


Рис. 6

прутка сплава МА2 характеристики пластичности (δ , a_n) повышаются, а предел прочности практически не изменяется. Повышение значений ударной вязкости и относительного удлинения объясняется увеличением степени деформации предварительно прессованного материала.

Разновидностью вытяжки является операция расплющивания, выполняемая в случаековки на молотах с большой подачей без кантовки или с кантовкой, при которой сглаживается волнистость по ширине. В случае расплющивания (вытяжки) на прессе при деформации металла перпендикулярно оси заготовки операцию проводят за один ход пресса.

Схема изготовления поковок из сплава МА2 вытяжкой в направлении, перпендикулярном оси заготовки,

показана на рис. 7. Поковка размером $36 \times 380 \times 1050$ мм на гидравлическом прессе 10 000 т за один ход пресса. Нагрев мерных заготовок перед протяжкой производился в электрической печи при $380-360^\circ \text{C}$, в течение 5 ч. Коэффициент степени вытяжки по ширине заготовки составил 3,0, а деформация по высоте заготовки 72%. Механические свойства образцов показаны на рис. 8.

Величина суммарной деформации при ковке оказывает положительное влияние на механические свойства поковок из сплавов рис. 9. По мере увеличения суммарной деформации вдоль волокна наибольших значений достигает предел прочности и твердость. Предел текучести с увеличением деформации изменяется незначительно и относительное удлинение достигает максимальных значений при деформации 50—70%, а при больших деформациях (80—90%) оно значительно понижается.

Примерно такая же закономерность изменения механических свойств от величины деформации имеет место и при поперечном направлении волокна (рис. 10).

Изменения механических свойств сплава МА2 в зависимости от степени деформации при ковке под прессом приведены на рис. 11. Все значения прочностных механических свойств с увеличением деформации возрастают и показатели пластичности уменьшаются.

Как следует из диаграмм рекристаллизации обработки магниевых сплавов, критические деформации, вызы-

вающие значительный рост зерна, не превышают 10%.

Скорость деформации (см. табл. 4). При малой скорости

структуры и исключения рекристаллизации магниевых сплавов, ковку и штамповку их производят с обжатиями за проход более 15%.

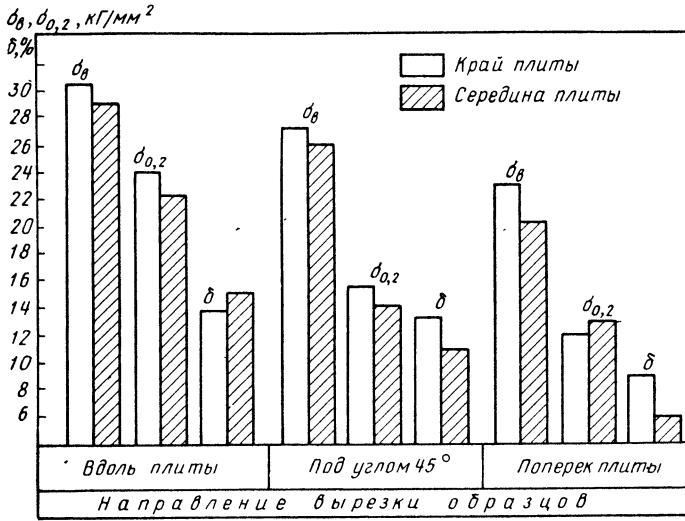


Рис. 8

деформации процесс рекристаллизации успевает заметно развиться лишь с 350°C , тогда как при большой ско-

Диаграммы пластичности магниевых сплавов и степень допустимых деформаций показывают, что сплавы

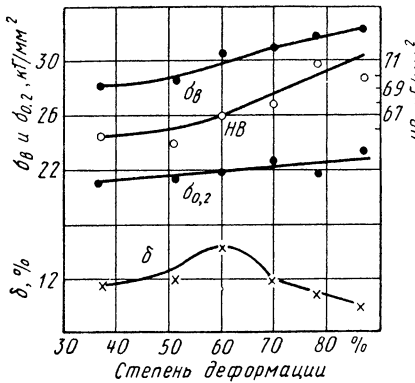


Рис. 9

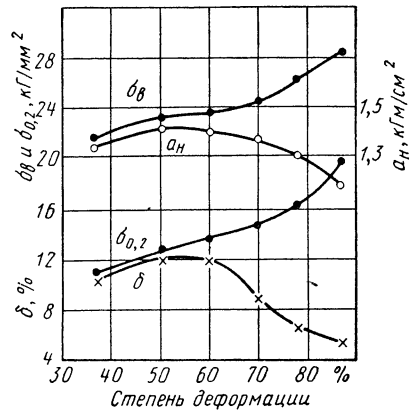


Рис. 10

рости деформации рекристаллизация развивается при температуре выше 350°C . Для получения однородной

с повышенным содержанием легирующих элементов обладают пониженным запасом технологической пла-

стичности и степень деформации определяется скоростью деформации. При обработке на молоте допустимая степень деформации большинства сплавов не превышает 30—50%, тог-

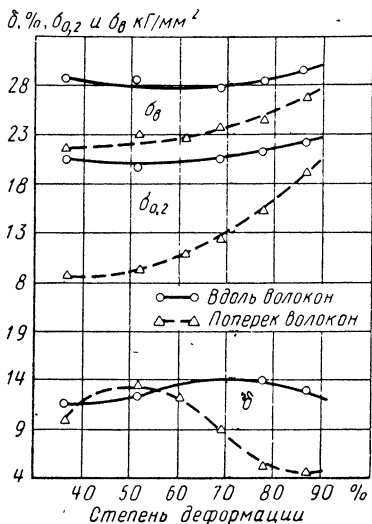


Рис. 11

да как при обработке на гидравлическом прессе их пластичность значительно возрастает и степень деформации может быть повышена до 70—90%.

Малолегированные сплавы типа МА1, МА8 менее чувствительны к скорости деформации. Они хорошо обрабатываются давлением как на прессах, так и на молотах с большими деформациями. Кроме того, сопротивление деформированию сплавов при малой скорости деформации примерно в 1,5—2,0 раза меньше по сравнению с обработкой при динамической скорости.

Титановые сплавы. Температурные интервалыковки и штамповки приведены в табл. 9—11.

Последующую расковку слитка и ковку предварительно деформированной заготовки для получения более равномерной структуры и более высоких механических свойств следует производить методом двух-, трех-

9. Температурный интервалковки и штамповки титановых сплавов

Сплав	Температурный интервал в °С			
	Слиток		Предварительно деформированная заготовка	
	Начало (не выше)	Конец (не ниже)	Начало (не выше)	Конец (не ниже)
BT1-00 BT1-0 OT4-0	1000	750	950	700
OT4-1		800		
OT4	1020	820	1000	800
OT4-2	1100	900	1050	
OT4 BT3-1	1050	850	1020 1000	850
BT5	1150	900	1080	
BT5-1	1100		1050	
BT6C BT6	1050	850	950 980	800
BT8 BT9	1100 1150	900	1020	850
BT14	1050	850	950	800
BT15	1150*	950	1000** 1050**	850
BT16	1000	750	900	700
BT18 BT20	1150	950	1080 1050	950
BT22	1000	850	950	800

Примечания: 1. При ковке слитка под ковочным гидравлическим прессом нижний предел температурыковки разрешается снижать против указанного в таблице на 50°С.

2. При ковке предварительно деформированной заготовки под ковочным гидравлическим прессом температурный интервалковки можно соответственно снизить на 50°С.

3. При ковке методом двойной-тройной осадке-протяжке температура началаковки (графа 4) при первой осадке-протяжке должна быть повышена для сплавов (в °С): BT3-1 до 1030, BT6C до 980, BT6 до 1010, BT8 до 1050, BT9 до 1050, BT14 до 980.

* Слитки сплава BT15 следует деформировать только под прессом. Деформацию обязательно начинать с операции осадки.

** Диаметр не более 150 мм.

кратной осадки-протяжки со сменой граней и углов с постепенным снижением температурыковки из β -области до температурыковки в области $\alpha + \beta$, т. е. нагрев металла под деформацию производят выше (область β) или ниже (область $\alpha + \beta$) полного $\alpha + \beta \rightarrow \beta$ превращения сплава (табл. 10).

10. Температура фазового превращения титановых сплавов

Сплав	t полного $\alpha + \beta \rightarrow \beta$ превращения °C ± 20°	Сплав	t полного $\alpha + \beta \rightarrow \beta$ превращения °C ± 20°
BT1-0, BT1-00 OT4-0	900	BT6C	940
		BT6	970
OT4-1 OT4 OT4-2 BT4 BT3-1	920 940 980 960 970	BT8 BT9	990
		BT14 BT15 BT16	940 800 840
		BT18 BT20	1000
		BT22	860
BT5-1 BT5	1020		

локнистость), обусловленная одно-сторонней деформацией.

Чистота сплавов также оказывает значительное влияние на анизотропию свойств. Существующие методы плавки позволяют получать исходный металл необходимой чистоты, но последующий нагрев и высокотемпературная деформация на воздухе при-

11. Температураковки и горячей штамповки основных титановых сплавов

Сплав	Структура сплава	Температура в °C		
		свободнойковки	штамповки	
			на прессах	на молотах
BT1	α	950—700	950—700	1000—700
BT5 BT5-1		1080—850 1050—850	1100—850 1050—850	1100—850 1080—850
OT4-1 OT4 OT4-2	$\alpha + \beta$	1000—800	950—800	1020—800
BT4 BT6 BT8		1020—850 980—850 1020—850	1000—800 960—800 1000—850	1030—850 980—800 1040—850
BT3-1		1000—850	980—850	1030—850
BT15		—	900—870	1000—900

Степень деформации. Титановые сплавы деформируются крайне неравномерно и для получения однородной структуры и механических свойств металл должен подвергаться большой общей деформации. В отличие от других металлических материалов при недостаточной пластической деформации эти сплавы обнаруживают склонность к анизотропии механических свойств (разница свойств между продольными и поперечными образцами), которая может быть значительно уменьшена, если общая деформация будет наибольшей. Другой из возможных причин, вызывающих анизотропию свойств полуфабрикатов из этих сплавов, является преимущественная ориентировка кристаллитов (во-

водят металл к окислению и интенсивному насыщению газами (кислородом, азотом, водородом) и другими вредными примесями (углеродом), которые даже в относительно малом количестве, снижают механические и технологические свойства, деформируемость и повышают анизотропию свойств металла.

Исследованиями показано, что при общей деформации примерно 75—80% и температурековки в интервале 1000—800° C анизотропия механических свойств сплава типа BT1 получается наименьшая (табл. 12).

Общая деформация около 75% обеспечивает разрушение литой дендритной структуры и при этом повышаются механические свойства сплава: увеличиваются пределы прочности и

12. Анизотропия механических свойств сплава ВТ-1

Исходное состояние	Величина общей деформации в %	Механические свойства				
		σ_b	σ_s	δ	ψ	α_n
		в кг/мм ²		в %		в кг/мм/см ²
Литой слиток	—	32,5—40,2	27,1—31,7	12,6—15,0	17,1—20,6	1,9—1,3
Кованое продольное направление волокна	75—80	43,5—46,5	34,9—35,9	26,4—24,6	48,0—26,0	2,6—2,5
Кованое поперечное направление волокна		44,4—53,5	34,5—44,5	22,0—22,4	39,8—40,0	2,5

текучести; повышаются (примерно в 2 раза, по сравнению с литым состоянием) характеристики пластичности и величина ударной вязкости. При такой общей деформации механические свойства продольных и поперечных образцов практически одинаковы, т. е. анизотропия свойств минимальна. В этом случае микроструктура металла однородна и характеризуется достаточной проработкой по всему сечению заготовки.

Аналогичные закономерности по влиянию общей деформации на структуру и механические свойства получены для легированных сплавов типа ВТЗ-1, ВТ5 и др. Однородная структура и минимальные значения анизотропии свойств в этих сплавах могут быть достигнуты при более высокой общей деформации порядка 90%. С повышением легирования сплава общая деформация для достижения однородной структуры и механических свойств должна быть в пределах 85—90%.

При разработке технологических процессовковки и горячей штамповки и определении температур и деформаций для отдельных операций обработки давлением необходимо руководствоваться объемными диаграммами рекристаллизации, которые показывают изменение величины зерна деформируемого металла в зависимости от степени деформации и температуры.

Температура начала рекристаллизации обработки чистого титана равна 600°С. При увеличении степени деформации с 10 до 40% она

снижается до 550°С, а при деформации 80% — до 450—500°С. Для титановых сплавов эта температура выше. Так, у сплава ВТ5 (5% Al) она составляет 800°С, у сплавов ВТЗ-1, ВТ8 и ВТ9 она равна 900—975°С.

Критические деформации, при которых происходит значительный рост микрзерна, у титановых сплавов находятся в пределах 2—12%. При деформациях, превышающих 85%, на диаграммах рекристаллизации этих сплавов наблюдается второй максимум. Образование текстуры при таких высоких деформациях делает кристаллографическую ориентировку кристаллитов очень близкой. Согласно закону срастания кристаллов кристаллиты с мало отличающейся ориентировкой при высоких температурах срастаются. Второй максимум образуется вследствие развития процесса собирательной рекристаллизации, когда металл подвергается высоким деформациям.

В соответствии с диаграммами рекристаллизации обработки деформации за каждый ход машины при ковке и штамповке должны превышать критические и приниматься равными 15—20% и более, но не выше 85%. Из диаграммы рекристаллизации обработки титанового сплава ВТЗ-1 также следует, что с повышением температурыковки и штамповки интервал критических деформаций расширяется и максимумы критических деформаций увеличиваются.

Из этого можно сделать вывод, чтоковка и штамповка чистого титана

и титановых сплавов при слишком высоких температурах приводит к увеличению величины зерна в поковках и штамповках. Крупнокристаллическая структура в поковках и штампованных деталях машин понижает их механические свойства. Руководствуясь такой кинетикой роста зерна при ковке и штамповке титановых сплавов при различных температурах обработки, на практике температуру началаковки и горячей штамповки двухфазных сплавов выше $920-980^{\circ}\text{C}$ не применяют.

При этом надо учитывать, что в случае неполного завершения рекристаллизации обработки в процессековки и штамповки, а также при охлаждении с температур конца обработки, разупрочнение полностью не снимается и технологическая пластичность сплавов понижается. В целях сохранения пластичности не следует допускать снижения температуры концаковки и штамповки этих сплавов ниже температур начала рекристаллизации. Следовательно, кинетика рекристаллизации определяет пластичность металла при обработке.

С другой стороны, и температуры, и деформации в процессековки и штамповки надо принимать в таких пределах, которые создавали бы термомеханические условия получения заданной структуры. Структура может быть или не рекристаллизованной с деформированными кристаллитами в направлении течения металла, имеющими механическое упрочнение, или рекристаллизованной, в которой механическое упрочнение практически полностью снимается в процессе рекристаллизации и кристаллиты приобретают округлую форму.

Видом получающейся при ковке и штамповке макро- и микроструктуры определяются механические свойства поковок и штамповок из титановых сплавов.

Следовательно, степень развития процесса рекристаллизации обработки при ковке и штамповке, охлаждении после обработки давлением и термической обработке определяются технологическая пластичность, макро- и микроструктура и механические свойства деформированных ти-

тановых сплавов. Это должно учитываться при разработке технологических процессовковки и штамповки.

Скорость деформации. При ковке и штамповке под молотом во многих случаях рекристаллизация обработки не успевает завершиться. Пластичность деформируемых при такой скорости титановых сплавов понижается. При изготовлении сложных по конфигурации поковок и штамповок под молотом металл может переходить в хрупкое состояние и с понижением его пластичности гравюры штампов заполняются не полностью. Понижение скорости деформации при ковке и штамповке и применение прессов вместо молотов оказывается с технической стороны более оправданным. Рекристаллизация обработки в таких термомеханических условиях протекает с большим завершением и пластичность металла в процессековки и штамповки практически не понижается.

Кинетика рекристаллизации обработки при ковке и штамповке показывает, что пластичность, структура и механические свойства деформируемого металла определяются температурно-скоростными условиями обработки и принятой степенью деформации. Степень деформации за каждый ход машины следует применять более высокую, а скорость деформации не слишком большой. В связи с этим штамповку титановых сплавов надо производить на гидравлических и кривошипных прессах при температурах не выше $950-980^{\circ}\text{C}$.

Медные сплавы. Температурные интервалыковки и штамповки (табл. 13). Наибольшей пластичностью медь обладает в интервале температур $800-950^{\circ}\text{C}$. При этих температурах медь хорошо поддается ковке, горячей штамповке и прессованию. Ковку меди целесообразно производить при $820-860^{\circ}\text{C}$. Оптимальными температурамиковки и горячей штамповки являются: $730-820^{\circ}\text{C}$ для латуни Л59, $750-850^{\circ}\text{C}$ для латуни Л62. Вследствие того что при прессовании напряженное состояние более мягкое по сравнению с ковкой и горячей

13. Температуры горячего деформирования медных сплавов

Сплав	Температура в °С		Сплав	Температура в °С	
	ковки-штамповки	прессования		ковки-штамповки	прессования
<i>Медь</i>			<i>Бронза</i>		
М1, М2, М3	800—950	775—925	Бр А5	750—900	830—880
<i>Латунь</i>			Бр. А7	760—900	850—900
Л96	700—850	830—880	Бр. АМц 9-2	800—960	750—850
Л90	800—900	820—900	Бр АЖ 9-4	750—900	
Л80, Л85, Л70	—	820—870	Бр АЖМц 10-3-1,5		700—850
Л68	700—850	750—830	Бр АЖН 10-4-4	800—900	830—880
Л62		650—850	Бр Б2	650—800	720—660
ЛА 77-2	—	700—830	Бр. Б2,5	720—800	825—875
ЛАЖ 60-1-1	700—750	700—750	Бр КМц 3-1	600—780	
ЛАН 59-3-2		750—850	Бр КН 1-3	800—910	850—900
ЛН 65-5	650—820	650—750	Бр. ОФ 4-0,25	750—800	
ЛЖМц 59-1-1	600—750	625—700	Бр ОФ 6,5-0,4		680—770
ЛМц 58-2	600—730	850—900	Бр. Х 0,5	800—920	—
ЛМцА 57-3-1	850—900		850—900	МНц 15-20	750—825
ЛО 90-1	650—750	650—750	НМЖМц 28-2,5-1,5	850—950	
ЛО 70-1	680—750	700—750			
ЛО 62-1	700—820	780—820			
ЛС 60-1	640—780	640—780			

штамповкой, интервал температур прессования может быть расширен до 650—850°С. Температура горячей механической обработки латуни Л68 находится в интервале 650—830°С. Наибольшая пластичность сплавов при указанных температурах связана с тем, что сплавы эти при таких температурах имеют фазовый состав, состоящий из $\alpha + \beta$ фаз или только из одной β -фазы, которые обладают достаточно высоким запасом пластичности.

Бронза Бр. АЖ 9-4 имеет наиболее высокую пластичность при 850°С, а допустимый интервал температур обработки сплава должен выдерживаться в пределах 800—900°С, когда бронза находится в однофазном состоянии. Поскольку в процессе штамповки происходит более интенсивное охлаждение деформируемого металла стенками штампа, то ковку этой бронзы производят при 850°С, а горячую штамповку при 900°С. Го-

рячая обработка давлением медных сплавов при более высоких температурах сопровождается понижением пластичности по причине чрезмерного роста в латуни и бронзе кристаллитов β -фазы и ослаблением прочности кристаллитов. С понижением температуры, начиная с 450°С и более низких, образование в латуни мало пластичной β' -фазы, пластичность этих сплавов во время обработки резко понижается. Кроме того, деформация при таких температурах приводит к значительному возрастанию сопротивления деформированию. Так, обработка латуни Л59-1 при 600°С с обжатием 40% вызывает увеличение сопротивления деформированию уже в 4 раза. Аналогичное снижение пластичности наблюдается и у бронзы Бр.АЖ 9-4. Более низкая пластичность латуни и бронзы с понижением температуры объясняется так же, как уже указывалось выше, наличием зон хрупкости у латуни

при 300—700° С, а у бронзы Бр. АЖ 9-4 при 650—700° С.

Степень деформации. Процесс рекристаллизации медных сплавов с образованием крупного зерна протекает в случае горячей механической обработки при критических деформациях, которые для этих сплавов находятся в пределах 10—15%. Рекристаллизация обработки с образованием мелкого зерна происходит тогда, когдаковка и штамповка осуществляются при более высоких закритических деформациях и при установленных температурах обработки для меди 800—950° С и для латуни и бронзы 750—850° С. На основании этого штамповку меди и медных сплавов необходимо производить с обжатием, превышающим 15% за каждый ход машины.

Скорость деформации. Узкий интервал температурковки и штамповки меди и медных сплавов вызывает необходимость производить обработку их давлением с наименьшим количеством операций и переходов, т. е. закрытыми методами. При обработке закрытыми методами сопротивление деформированию возрастает. С другой стороны, повышение скорости обработки также увеличивает сопротивление деформированию. Учитывая эти закономерности изменения сопротивления деформированию в зависимости от напряженного состояния металла и скорости деформации, штамповку следует вести преимущественно на кривошипных и фрикционных прессах; допускается также обработка при динамической скорости и на гидравлических прессах.

Нагрев заготовок

Процесс нагрева мерных заготовок должен обеспечивать оптимальную скорость достижения требуемой температуры в заготовках и достаточно равномерное распределение ее по сечению. Чем выше скорость нагрева (т. е. чем меньше его продолжительность), тем экономичнее (рентабельнее) нагрев. Однако при чрезмерно быстром нагреве в результате значительного

температурного градиента по сечению заготовки в металле могут возникать термические напряжения. Поэтому различают технически возможную и допустимую скорости нагрева.

Время нагрева может быть рассчитано по следующей формуле, выведенной теоретическим методом.

$$t = \frac{S^2}{2\alpha\Delta t k_1} (t_{кон}^{cp} - t_{нач}^{cp}),$$

где t — время нагрева; $t_{кон}^{cp}$ и $t_{нач}^{cp}$ — средние конечная и начальная температуры металла; Δt — разность температур по сечению нагреваемой заготовки при постоянной скорости нагрева

$$\Delta t = \frac{c_k S^2}{2k_1 \alpha} = t_{нов}^{нач} - t_{вен}^{нач},$$

где скорость нагрева $c = \frac{t_{кон} - t_{нач}}{t}$;

S — толщина пластины нагреваемого металла; α — скорость нагрева поверхности в $m^2/ч$, определяемая по диаграмме (стр. 404, фиг. 135, *Металлургические печи*, *Металлургия*, 1951 г.) k_1 — коэффициент формы (для различных форм тел выбирается по таблице).

При повторных операцияхковки время нагрева заготовок, остывших до нижнего предела установленных температур, можно уменьшить на 50%.

Охлаждение поковок

Поскольку легкие сплавы имеют высокую теплопроводность, охлаждение их после обработки давлением осуществляется на открытом воздухе.

Скорость охлаждения после горячей обработки давлением разделяется на два периода: до температур начала рекристаллизации и с температур ниже температур начала рекристаллизации.

Первый период можно проводить с высокой скоростью. Вследствие протекания рекристаллизационных процессов в этом интервале температур температурные напряжения небольшие, фазовые превращения только начинаются, объем-

ные изменения и возникающие от них напряжения достигают малой величины. Механическое упрочнение при протекании рекристаллизации отсутствует и пластичность металлов и сплавов достаточно высокая. Поэтому в первый период охлаждения металл находится в таком состоянии, которое не может перевести его в хрупкое состояние.

Второй период должен протекать с заданной скоростью. В районе таких температур при высокой скорости охлаждения могут быть значительными температурные напряжения и напряжения, возникающие от фазовых превращений, поскольку в процессе охлаждения в интервале этих температур металл проходит через критические точки. Могут образоваться напряжения значительной величины от давления водорода в стали, когда скорость охлаждения определяется для поковок и штамповок из стали. Скорость охлаждения в этот период следует определять аналитическим или экспериментальным методами и строго контролировать по установленному режиму.

Аналитическим методом скорость охлаждения определяют на основании следующих расчетов: перепада температуры деформации в процессе обработки давлением; температурных напряжений; остаточных напряжений; напряжений от объемных изменений при фазовых превращениях, неравномерной деформации и механического упрочнения; определения скорости охлаждения, обеспечивающей диффузию водорода из стали и исключение образования флокенов (для случая охлаждения стали). Расчет падения температуры деформации в каждый данный момент в процессе охлаждения производят для определения температуры, начиная с которой наступает начало охлаждения, по формуле

$$Z_m = \frac{t_n - t_k}{t_n} \cdot \frac{g}{F},$$

где Z_m — время охлаждения поковки или штамповки в минутах от температуры t_n до температуры t_k ; g — вес поковки или штамповки в

кг; F — средняя поверхность поковки или штамповки в процессе вытяжки, осадки или штамповки.

Эту температуру можно устанавливать и по показателям пирометра, если она определяется для текущего производства.

Расчет температурных напряжений производят следующими методами.

Если цилиндр с начальной разностью температур Δt_n нагревается с постоянной скоростью C_n^0 в час, то величина осевых напряжений определяется из уравнения

$$\sigma_z = \frac{\beta E}{1-V} \left[\frac{c_n R^2}{8a} \left(1 - 2 \frac{r^2}{R^2} \right) + \left(\frac{c_n R^2}{a} - 4\Delta t_0 \right) f \left(\frac{a\tau}{R^2}; \frac{r}{R} \right) \right],$$

где β — коэффициент линейного расширения; E — модуль упругости; V — Пуассоново отношение; c_n — скорость нагрева; R — радиус цилиндра; a — температуропроводность $0,02 \text{ м}^2/\text{ч}$; r — координаты или расстояние теплового потока от поверхности нагреваемого металла; Δt_0 — начальная разность температур; f — обозначение суммы бесконечного ряда; τ — промежуток времени.

Исследуя решения этого уравнения, можно показать, что при достаточно большом промежутке времени, а именно, при $\tau \geq 0,5 \frac{R^2}{a}$, функцию f вследствие малости ее значения можно не принимать во внимание.

Для такого же нагрева пластины уравнение температурного напряжения имеет вид:

$$\sigma_y = \sigma_x = \frac{\beta E}{1-V} \left[\frac{c_n S^2}{6a} \left(1 - 3 \frac{x^2}{S^2} \right) + \left(\frac{c_n S^2}{a} - 2\Delta t_0 \right) f \left(\frac{a\tau}{S^2}; \frac{x}{S} \right) \right],$$

где S — толщина пластины; x — координата или расстояние теплового потока от поверхности нагреваемого металла.

В этом уравнении также при некотором достаточно большом значении $\tau \geq \frac{S^2}{a}$ функция f принимает

столь малые значения, что ею можно пренебречь.

Остаточные напряжения в цилиндрических прутках и толстостенных трубах определяют путем снятия концентрических слоев, измерения деформаций трубы или прутка и расчеты напряжений ведут по формулам:

продольных

$$\sigma_e = \frac{E}{1 - \mu^2} (F_{нар} - F) \frac{d\varepsilon_l + \mu d\varepsilon_o}{dF};$$

касательных

$$\sigma_o = (F_{нар} - F) \frac{E}{1 - \mu^2} \left(\frac{d\varepsilon_o + \mu d\varepsilon_e}{dF} \right);$$

радиальных

$$\sigma_r = \frac{E}{1 - \mu^2} \cdot \frac{F_{нар} - F}{2F} (\varepsilon_o + \mu\varepsilon_l),$$

в которых E — модуль упругости первого рода; μ — коэффициент Пуассона; $F_{нар}$ — площадь по наружному диаметру; F — площадь внутреннего сечения трубы; ε_l — относительное изменение длины; ε_o — относительное изменение диаметра; R — внутренний радиус трубы (для прутка $R=0$).

Остаточные напряжения в дисках определяют путем вырезки колец, измерения их диаметров и вычисления остаточных напряжений (тангенциальных — σ_o и радиальных σ_r) по формулам (осевые напряжения в дисках при отрезке снимаются).

$$\sigma_r = \frac{\delta}{\rho_n} (\sigma_o - \sigma_r),$$

где δ — толщина кольца, ρ_n — радиус наружного волокна;

$$\sigma_o = \mu\sigma_r + \frac{\Delta D}{D} E;$$

ΔD — изменение диаметра кольца, принимают отрицательным при уменьшении диаметра после резки.

Если температурные и остаточные напряжения в сумме не превышают предела текучести деформируемого сплава, то наличие таких напряжений допустимо и напряжения такой величины не могут вызвать образования трещин при охлаждении послековки и горячей штамповки.

ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ ПОКОВОК И ИНСТРУМЕНТА, МОЩНОСТИ МАШИН

Основным оборудованием дляковки цветных металлов и сплавов на их основе являются гидравлические и кривошипные прессы, обеспечивающие наиболее благоприятные скоростные условия деформации. Однако алюминиевые, медные, титановые и магниевые сплавы МА2 и ВМ65-1 могут подвергаться ковке и на молотах.

Основными операциямиковки являются осадка, вытяжка, прошивка, гибка и рубка.

ОСАДКА

Осадку (рис. 1) применяют:

для получения кованых заготовок с значительными поперечными размерами при относительно малой высоте (шестерни, диски, фланцы) исходных заготовок меньшего поперечного сечения;

как предварительную операцию перед прошивкой при изготовлении кольцевых заготовок;

как предварительную операцию для разрушения литой структуры и соответствующего повышения механических свойств;

для повышения степени уковки при последующей вытяжке.

Средний диаметр заготовки в любой момент осаживания (рис. 1, а)

$$d = d_0 \sqrt{\frac{h_0}{h}}$$

Степень деформации при осадке

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h}{h_0} = \frac{\Delta h}{h_0}$$

или

$$\varepsilon = 100 \frac{h_0 - h}{h_0} = 100 \frac{\Delta h}{h_0} \%$$

Главная деформация

$$\delta = \ln \frac{h_0}{h} = - \ln (1 - \varepsilon).$$

При $\frac{h_0}{h} < 1,2$ или $\varepsilon < 20\%$ с достаточной для практических целей точностью можно считать, что $\delta = \varepsilon$.

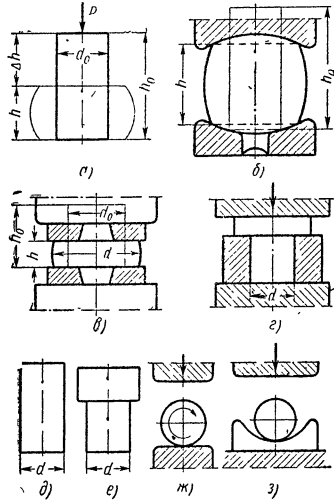


Рис. 1. Схема осадки

Смещенный объем $V_c = V \ln \frac{h_0}{h}$; при $\frac{h_0}{h} < 1,2$ (при $\varepsilon < 20\%$) с ошибкой в пределах 10% можно считать, что $V_c = V \frac{\Delta h}{h_0}$, где V — объем осаживаемой заготовки.

Усилие, необходимое для осадки в горячем состоянии под прессом (см. рис. 1),

$$P = m \sigma_\varepsilon F,$$

где m — коэффициент, зависящий от условий осадки $m = 1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{d}{h}$; μ — коэффициент трения в данном случае $\mu = 0,5$; σ_ε — предел прочности

1. Ориентировочные значения предела прочности σ_g в $\kappa\Gamma/\text{мм}^2$ некоторых сплавов при ковочных температурах (по графикам [24, 47])

Сплав	Температура в °С					Сплав	Температура в °С				
	300	350	400	450	500		700	800	900	1000	1100
<i>Алюминиевые сплавы</i>						<i>Медные сплавы</i>					
АМц	—	8	5	4	3,5	Br АЖ 9-4	5,7	3,8	—	—	—
Д16	—	14	9	5	—						
АК6	15	9	6	4,5	2	Br. Б 2	10	4,6	—	—	—
АК8	14	13	9	7,5	—						
В95	—	7,5	5,5	3,5	—	<i>Титановые сплавы</i>					
АК4	—	6	4	3	2	BT1	7,5	3,5	2,5	—	1
<i>Магниеые сплавы</i>						BT3	22	7,5	7	2,5	2
МА2	7	5	3,5	2	—	BT3-1	23	10	7,5	—	—
МА3	12	6	4	—	—	BT4	14	11	5	2	—
BM65-1	4	3	2	1,5	—	BT5	25	10	6	3	2
ВД-17	—	5	2,5	2	1,5	BT8	28	—	5	—	—

материала при температуре осадки (табл. 1); F — площадь поперечного сечения осажённой заготовки; d и h — соответственно диаметр и высота осажённой заготовки.

П р и м е р. Определить усилие прессы для осадки заготовки из сплава АК6, $d_0 = 200$ мм и $h_0 = 480$ мм на высоту $h = 250$ мм.

Средний диаметр после осадки

$$d = d_0 \sqrt{\frac{h_0}{h}} = 200 \sqrt{\frac{480}{250}} \approx 280 \text{ мм}$$

Температура осадки 400°C ; $\mu = 0,5$; $\sigma_g 400^\circ = 6 \text{ кг/мм}^2$.

$$m = 1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{d}{h} = 1 + \frac{0,5}{3} \cdot \frac{280}{250} \approx 1,2;$$

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi 280^2}{4} = 61544 \text{ мм}^2;$$

$$P = m \sigma_g F = 1,2 \cdot 6 \cdot 61544 = 443117 \text{ кг}.$$

Следовательно, осадка может быть произведена на прессе усилием 500 т.

Потребная энергия удара для горячей осадки

$$L_m = \frac{A_k}{\eta_y},$$

где η_y — коэффициент полезного действия удара, равный 0,8—0,9;

A_k — работа деформации за последний удар;

$$A_k = \omega m \sigma_g \epsilon_k V;$$

ω — скоростной коэффициент. При ударном воздействии сил $\omega = 3+4$; ϵ_k — степень деформации, принимаемая для последнего удара.

Обычно ее выбирают меньше критической. Для алюминиевых сплавов можно принимать $\epsilon_k = 0,03 \div 0,05$.

Для получения A_k в $\kappa\Gamma\text{м}$ следует подставлять σ_g в $\kappa\Gamma/\text{мм}^2$; V в см^3 .

Необходимое число ударов молота

$$n = \frac{A}{\eta_y L_m},$$

где A — работа деформации за весь процесс осадки;

$$A = \omega m_1 \sigma_g V;$$

$$m_1 = \ln \frac{h_0}{h} + \frac{2}{9} \mu \frac{d_0}{h_0} \left[\sqrt{\left(\frac{h_0}{h}\right)^3} - 1 \right]$$

(подставляя L_m в $\kappa\Gamma\text{м}$, σ_g в $\kappa\Gamma/\text{мм}^2$, V в см^3).

П р и м е р. Определить вес падающих частей молота для осадки заготовки из сплава АК6 на высоту $h = 100$ мм; $d = 160$ мм; $h_0 = 300$ мм. Средний

диаметр после осадки $d = d_0 \sqrt{\frac{h_0}{h}} =$

$= 160 \sqrt{\frac{300}{100}} = 279 \text{ мм}$. Температура осадки 400°C ; $\mu = 0,5$; $\sigma_\sigma = 6 \text{ кг/мм}^2$;

$$m = 1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{d}{h} = 1 + \frac{0,5}{3} \cdot \frac{279}{100} = 1,465;$$

$$V = \frac{\pi d_0^3 h_0}{4} = \frac{\pi \cdot 16^3 \cdot 30}{4} = 6050 \text{ см}^3.$$

При $\omega = 3$ и $\varepsilon_\kappa = 0,04$

$$A_\kappa = \omega m \sigma_\sigma \varepsilon_\kappa V = 3 \cdot 1,465 \cdot 6 \cdot 0,04 \times 6050 = 6383 \text{ кгМ}.$$

Принимая $\eta_y = 0,8$, получаем

$$L_m = \frac{A_\kappa}{\eta_y} = \frac{6383}{0,8} = 7978 \text{ кгМ}.$$

Средняя скорость v_0 бабы паровоздушного ковочного молота в момент удара равна $6,5 \text{ м/сек}$, тогда

$$L_m = \frac{G v_0^2}{q 2} = \frac{G 6,5^2}{9,81 \cdot 2} = 2,15 G,$$

где G — вес падающих частей молота;

$$G = \frac{L_m}{2,15} = \frac{7978}{2,15} = 3700 \text{ кг}.$$

Выбираем молот с $G = 3000 \text{ кг}$.

Тогда $L_m = 3000 \cdot 2,15 = 6450 \text{ кгМ}$;

$$m_1 = \ln \frac{h_0}{h} + \frac{2}{9} \mu \frac{d_0}{h_0} \left[\sqrt{\left(\frac{h_0}{h}\right)^3} - 1 \right] =$$

$$= \ln \frac{300}{100} + \frac{2}{9} \cdot 0,5 \cdot \frac{160}{300} \left[\sqrt{\left(\frac{300}{100}\right)^3} - 1 \right] = 1,78;$$

$$A = \omega m_1 \sigma_\sigma V = 3 \cdot 1,78 \cdot 6 \cdot 6050 = 193 600 \text{ кгМ};$$

$$n = \frac{A}{\eta_y L_m} = \frac{193 600}{0,8 \cdot 6450} \approx 35 \text{ ударов}.$$

Высота исходной заготовки для осадки должна быть не более $2,5$ ее диаметров. При $h_0 > 2,5 d_0$ у заготовки появляется склонность к предельному изгибу, устранение которого связано с выполнением дополнительных операций.

Осадку цилиндрических заготовок на гладких бойках применяют

при работе под прессом или молотом, как правило тогда, когда следующей операцией является прошивка.

Высота заготовок, осаживаемых под молотом, ограничивается ходом подвижных частей. Если h_0 — высота исходной заготовки, а H — полный ход подвижных частей молота, то для правильного течения процесса осадки необходимо, чтобы $(H - h_0) > 0,25 H$.

Осадку заготовок с хвостовиком (рис. 1, б) применяют при работе под прессом; когда следующей операцией является вытяжка. В данном случае торцы заготовки после осадки получаются выпуклыми, что препятствует образованию вогнутых торцов при последующей вытяжке заготовки.

Осадку в подкладных кольцах (рис. 1, в) применяют для изготовления заготовок шестерен, дисков и других поковок со ступенчатой частью небольшого диаметра, но значительной высоты. В данном случае оттяжка концов заготовки на диаметр ступенчатой части не рациональна в связи с большой разницей в диаметрах исходной заготовки и ступенчатой части поковки. Внутренние поверхности подкладных колец выполняют с уклоном $5-7^\circ$, что обеспечивает легкий съем колец с поковки. Для поковки с одной бо- бышкой используют одно подкладное кольцо.

Осадку в кольце (рис. 1, г) применяют для поковок типа стержень с утолщением, когда диаметр исходной заготовки может быть выбран равным диаметру стержня или несколько меньшим (рис. 1, д), а также если заготовку можно предварительно оттянуть до диаметра стержня (рис. 1, е).

Отделочную операцию — обкатку по диаметру выполняют для исправления бочкообразности боковой поверхности поковки после осадки легкими ударами молота или жимами пресса при вращении заготовки, установленной на ребро, вокруг оси (рис. 1, ж). Иногда при этом применяют подкладки или обжимки (рис. 1, з).

ВЫТЯЖКА

Вытяжку осуществляют рядом последовательных обжимов. Параметрами каждого n -го обжима являются (рис. 2):

относительное обжатие — коэф-

относительное уширение или степень деформации по ширине

$$\begin{aligned}\varepsilon'_n &= \frac{a_n - a_{n-1}}{a_{n-1}} = \frac{\Delta a_n}{a_{n-1}} = \\ &= \frac{1}{I_n(1 - \varepsilon_n)} - 1;\end{aligned}$$

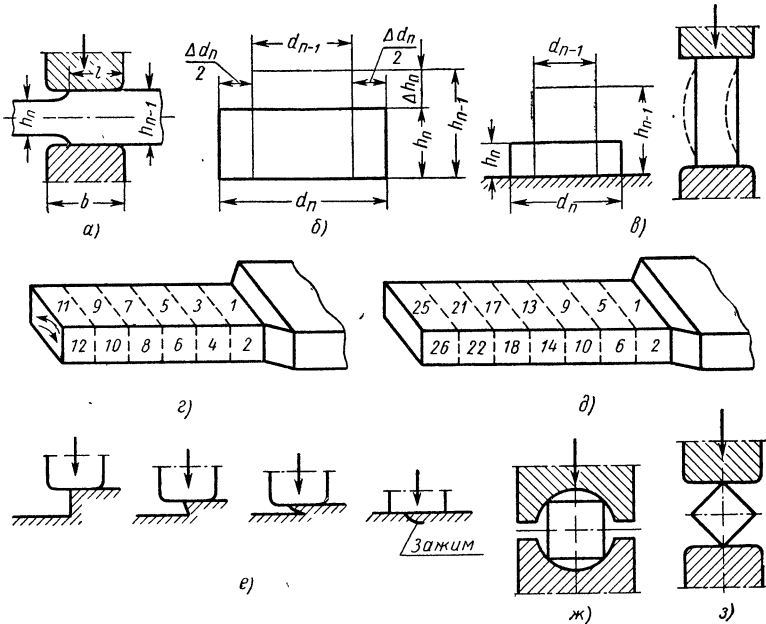


Рис. 2. Схема вытяжки

фициент обжатия или степень деформации по высоте

$$\begin{aligned}\varepsilon_n &= \frac{h_{n-1} - h_n}{h_{n-1}} = \frac{\Delta h_n}{h_{n-1}}; \\ \Delta h_n &= h_{n-1} \varepsilon_n; \\ h_n &= h_{n-1} (1 - \varepsilon_n);\end{aligned}$$

степень уковки

$$\begin{aligned}I_n &= \frac{F_{n-1}}{F_n} = \frac{l_n}{l}; \quad l_n = U_n; \\ \Delta l_n &= l_n - l = l(I_n - 1).\end{aligned}$$

После одного обжима по всей длине l_{n-1} заготовки полная ее длина

$$\begin{aligned}l_n &= l_{n-1} I_n; \quad \Delta l_n = l_n - l_{n-1} = \\ &= l_{n-1} (I_n - 1);\end{aligned}$$

откуда $\Delta a_n = a_{n-1} \varepsilon'_n$ или

$$\begin{aligned}\Delta a_n &= a_{n-1} \left[\frac{1}{I_n(1 - \varepsilon_n)} - 1 \right]; \\ a_n &= a_{n-1} (1 + \varepsilon'_n) = a_{n-1} \frac{1}{I_n(1 - \varepsilon_n)}; \\ a_n &= \frac{F_n}{h_n};\end{aligned}$$

коэффициент перехода или отношение ширины поковки к ее высоте после данного обжима

$$\begin{aligned}\varphi &= \frac{a_n}{h_n} = \frac{a_{n-1} + \Delta a_n}{h_{n-1} - \Delta h_n} = \\ &= \frac{a_{n-1}}{h_{n-1}} \cdot \frac{1}{I_n(1 - \varepsilon_n)^2}.\end{aligned}$$

Величину обжима при вытяжке выбирают такой, чтобы при необ-

ходности последующей кантовки коэффициент ϕ не превышал 2—2,5 (рис. 2, *е*).

Степень уковки за несколько обжимов равна произведению степеней уковки за каждый обжим. Степень уковки за всю операцию

$$I = \frac{F_0}{F_{кон}} = I_1 I_2 \dots I_{n-1} I_n;$$

$$l_{кон} = l_0 I; \Delta l = l_{кон} - l_0 = (I - 1) l_0.$$

Чем меньше ущирение и чем больше удлинение заготовки при каждом обжиме, тем больше степень уковки, т. е. тем интенсивнее протекает процесс вытяжки. Интенсивность вытяжки увеличивается при уменьшении ширины b бойка или величины l подачи, а также уменьшении коэффициента трения. С применением вырезных или закругленных бойков, а также обжимом интенсивность вытяжки возрастает.

Правила вытяжки. Вытяжку без обжимок, непосредственно под бойками можно производить с кантовкой на 90° (рис. 2, *е*) или по винтовой линии (рис. 2, *д*). Второй способ применяют при ковке сплавов, имеющих низкую скорость рекристаллизации при температурековки.

При первом способе кантовка после каждого удара или жима не обязательна. Можно деформировать одну сторону заготовки, подавая ее вдоль оси и после этого сделать кантовку. Относительное обжатие ϵ должно быть меньше величины, при которой коэффициент перехода ϕ превосходит 2—2,5 и возможно образование зажимов (см. рис. 2, *е*). Например, при ковке слитков под прессами абсолютная величина обжатия $\Delta h \leq 150$ мм. Величина относительного обжатия на последнем обжиме должна быть больше или меньше критической степени деформации обрабатываемого сплава при данной температуре для предупреждения роста зерна. Подача для получения гладкой поверхности должна быть меньше разности $b - \Delta l$; практически $l = (0,4 \div 0,75) b$ (где b — ширина бойка по табл. 2).

Для получения поковки круглого сечения заготовку сначала вы-

2. Ориентировочная ширина бойков ковочных молотов и гидравлических прессов

Вес падающих частей в кг	Ширина бойка молота в мм		Усилие пресса в Т	Ширина бойка в мм
	пневматического	паровоздушного		
100	70—80		900	180—200
150	80—95		800	220—260
200	95—110	—	1000	250—300
300	100—125		1200	280—320
400	110—130		1500	320—360
500	120—150	140—230	2000	360—420
750	130—160	150—250	2500	400—480
1000	140—175	150—280	3000	450—520
1500	160—200	200—300	4000	500—600
2000		200—350	5000	550—700
2500		220—350	6000	600—750
3000	—	280—400	8000	700—850
4000		330—400	10000	800—950
5000				

тягивают на квадрат, сечение которого несколько больше требуемого круглого сечения. Затем обжимом по диагонали (рис. 2, *ж*) затуляют углы и полученный восьмигранник закатывают на круг. Окончательную осадку производят в обжимках или вырезных бойках. Такие бойки весьма эффективны и для сбивания углов квадрата (рис. 2, *з*).

Выбор пресса и молота. Пресс для вытяжки данной заготовки можно выбрать по табл. 3, а потребное усилие его определить по формуле

$$P = \gamma m \sigma_e a l,$$

где γ — коэффициент, учитывающий влияние схемы деформации. Для вытяжки в плоских бойках $\gamma=1$, а в вырезных $\gamma=1,25$;

$$m = 1 + \frac{3c - e}{6c} \mu \frac{l}{h};$$

если $a > l$, то $c = a$ и $e = l$; если $a < l$ то $c = l$ и $e = a$; здесь a — ширина или диаметр заготовки, l — подача.

Для определения усилия можно принимать начальные значения a , h и l .

Пример. Выбрать пресс для вытяжки в плоских бойках заготовки из сплава АК6 с размерами $a_0 = h_0 = 1000$ мм. Заготовка максимальная для пресса 1200 т и минимальная для пресса 3000 т (см. табл. 2). Среднее значение соответствует прессу в 2000 т.

Проверка. Принимаем температуруковки 400°C ; тогда $\sigma_{\epsilon, 400} = 6$ кг/мм², $\mu = 0,5$; ширина бойка для пресса 2000 т $b = 420$ мм (см. табл. 2), $l = 0,75 b = 0,75 \cdot 420 = 315$ мм;

3. Зависимость усилия пресса от диаметра заготовки

Усилие пресса в т	Диаметр исходной заготовки в мм		Усилие пресса в т	Диаметр исходной заготовки в мм	
	максимальный	минимальный		максимальный	минимальный
500	200	550	3 000	1000	1600
800	300	800	4 000	1200	1900
1 000	400	900	5 000	1400	2100
1 200	500	1000	6 000	1600	2300
1 500	600	1150	8 000	1900	2800
2 000	700	1300	10 000	2100	2800
≥ 500	850	1500			

При данных a_0 и l получаем $c = a_0 = 1000$; $e = l = 315$;

$$m = 1 + \frac{3c - e}{6c} \mu \frac{e}{h} =$$

$$= 1 + \frac{3 \cdot 1000 - 315}{6 \cdot 1000} \cdot 0,5 \cdot \frac{315}{1000} = 1,07;$$

$$P = m \sigma_{\epsilon} a_0 l = 1,07 \cdot 6 \cdot 1000 \cdot 315 =$$

$$= 2 022 300 \text{ кг},$$

откуда $P = 2022$ т.

Следовательно, пресс 2000 т применим для выполнения этой операции.

Молот для вытяжки можно выбирать по табл. 4, а потребное усилие его определить и проверить расчетным путем, исходя из назначения или оценки степени деформации, получаемой за один удар, по формуле

$$\eta_y L_m = A_0.$$

4. Вес падающих частей ковочного молота для вытяжки

Вес падающих частей в т	Сторона квадрата или диаметр исходной заготовки в мм		
	мин.	сред.	макс.
<i>Для пневматических молотов</i>			
100	30	—	90
150	40	—	110
200	50	—	120
300	65	—	140
400	75	—	160
500	80	—	180
<i>Для паровоздушных молотов</i>			
500	80	120	180
750	95	140	200
1000	110	150	230
1500	125	180	260
2000	140	200	280
2500	150	215	310
3000	165	230	330
4000	180	250	370
5000	200	275	400

Работа деформации за один удар

$$A_0 = \omega \mu \sigma_{\epsilon} \epsilon F l.$$

Для получения A в кгм следует подставлять σ_{ϵ} в кг/мм²; F в см²; l в см.

Пример. Выбрать паровоздушный ковочный молот для вытяжки в плоских бойках заготовки из сплава АК6 с размерами $a_0 = h_0 = 200$ мм. Заготовка максимальная для молота 750 кг и минимальная для молота 5000 кг (табл. 4). Среднее значение соответствует молоту 2000 кг.

Проверка. Принимаем температуруковки 400°C ; $\sigma_{\epsilon, 400} = 6$ кг/мм², $\omega = 3$; $\gamma = 1$; $\mu = 0,5$; ширину бойка для молота 2000 кг (табл. 2) $b = 250$ мм; $l = 0,4 b = 0,4 \cdot 250 = 100$ мм.

При данных a_0 и l получаем $c = a_0 = 200$ мм; $e = l = 100$ мм;

$$m = 1 + \frac{3c - e}{6c} \mu \frac{e}{h} =$$

$$= 1 + \frac{3 \cdot 200 - 100}{6 \cdot 200} \cdot 0,5 \cdot \frac{100}{200} = 1,09;$$

$$F_0 = 20 \cdot 20 = 400 \text{ см}^2;$$

$$A = 3 \cdot 1 \cdot 1,09 \cdot 6 \cdot 400 \cdot 100 = 75 000 \text{ э.}$$

Принимаем $\eta_y = 0,8$; $L_m = 2,15 G$.

Тогда для двухтонного молота $L_m = 4300$ кгм; $\eta_y L_m = 75 000 \text{ э.}$

$$0,8 \cdot 4300 = 75\,000 \text{ з, откуда } \varepsilon = \frac{0,8 \cdot 4300}{75\,000} \approx 0,046.$$

Такая степень деформации для первого обжима удовлетворительна.

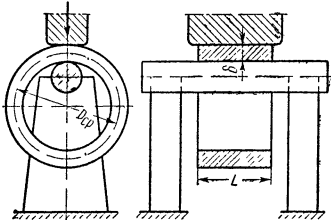


Рис. 3. Схема раскатки кольца на оправке

Основные операции. Р а с п л ю щ и в а н и е. Каждый жим или удар при расплющивании должен обеспечивать наибольшее уширение при

Раздача на оправке (рис. 3). Ковка ведется с вращательной подачей заготовки. Длинная сторона бойка параллельна оси поковки. Уковка

$$I = \frac{F_3}{F_k} = \frac{\delta_0 l_0}{\delta_k l_k} = \frac{D_{к ср}}{D_0 ср}.$$

Вспомогательные операции. О т я ж к а х в о с т а (рис. 4, а) применяется главным образом при ковке слитка со стороны прибыльной части. Длина его примерно в 2 раза больше диаметра.

Н а м е т к а — нанесение на поверхности заготовки разметочных углублений (рис. 4, б) осуществляется круглыми раскатками небольшого диаметра.

П е р е ж и м — увеличение разметочных углублений до образования шейки определенной толщины су-

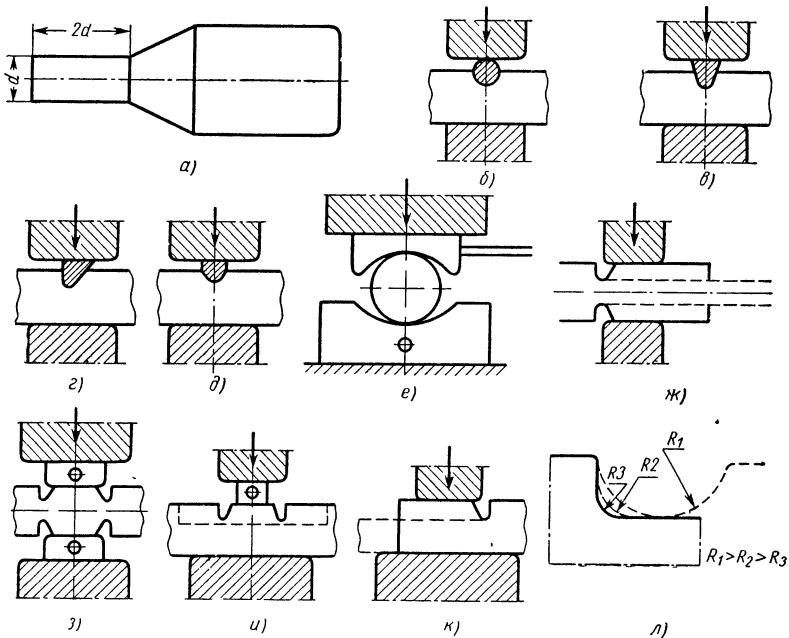


Рис. 4. Схема вспомогательных операций при ковке

наименьшем удлинении. Эту операцию целесообразно производить широким плоским бойком с наибольшей подачей l .

существляется, в зависимости от требуемого профиля различными раскатками, пережимками (рис. 4, в, г, д). Пережим круглой заготовки следует

выполнять в полукруглой обжимке (рис. 4, е), постепенно поворачивая заготовку вокруг оси.

Образование уступов и выемок осуществляется в следующей последовательности: наметка, пережим на глубину уступа или выемки, вытяжка уступа или выемки. Если длина участка заготовки, где выполняется уступ или выемка, значительна, то вытяжку производят непосредственно бойками (рис. 4, ж). При малой длине участка вытяжку предварительно ведут с применением плоских или овальных раскаток (рис. 4, з). Если уступ или выемка односторонние, то во избежание прожимов с гладкой стороны вытяжку выполняют раскатками (рис. 4, и) или бойками установленными накрест (рис. 4, к).

Чтобы не перерезать волокна в зоне образования выступа, применяют раскатки с постепенно уменьшающимся радиусом (рис. 4, л).

Шлифовка или проглаживание по длине выполняется для устранения неровностей после вытяжки легким ударом молота или жимами прессы. Подача назначается наибольшей для применяемых бойков $\approx b$.

ПРОШИВКА

Прошивка без подкладного кольца применяется для образования сквозных и глухих отверстий в поковках (рис. 5, а, б, в). При таком способе прошивки имеет место искажение формы заготовки (уменьшение ее высоты, увеличение диаметра, появление бочкообразности, а также выпуклости на одном торце и вогнутости на другом (рис. 5, г и д). Отношение $\frac{H}{h_0}$

может быть определено по табл. 5, а наибольший диаметр заготовки после прошивки по формуле

$$D_{\max} = 1,13 \times$$

$$\times \sqrt{\frac{1,5}{H} [V + f(H - h) - 0,5F_0]},$$

где V — объем заготовки в мм^3 ; f — площадь поперечного сечения прошивки в мм^2 ; F_0 — площадь по-

перечного сечения заготовки в мм^2 ; H и h — в мм (рис. 5).

5. Отношение $\frac{H}{h_0}$ в зависимости от отношения $\frac{d}{D_0}$ и $\frac{h}{h_0}$

$\frac{d}{D_0}$	H/h_0 при h/h_0				
	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5
0,2	0,90		0,92	0,93	0,94
0,4	0,85		0,86	0,88	0,90
0,5	0,80		0,82	0,83	0,85
0,6	0,72		0,74	0,76	0,80
0,7	0,64		0,66	0,70	0,76
0,8	0,53		0,58	0,63	0,68

Усилие, потребное для прошивки, определяют по формуле

$$P = m\sigma_e f,$$

где

$$m = \left(1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{d}{h}\right) \left(1 + 1,15 \ln \frac{D}{d}\right).$$

Прошивка в подкладных кольцах выполняется для

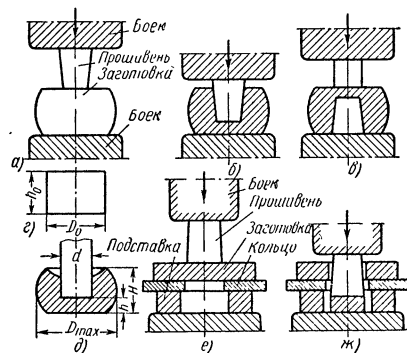


Рис. 5. Схема прошивки

образования отверстий в заготовках небольшой высоты (рис. 5, е и ж). В данном случае образуемый при этом отход (выдра) больше, чем при прошивке без подкладного кольца, но искажение формы меньше.

Образование отверстий диаметром > 400 мм преимущественно в слитках осуществляется пустотелыми прошивными.

При этом удаляется сердцевина слитка, что является большим преимуществом.

РУБКА

Применяют два способа рубки заготовок: рубку с одной стороны

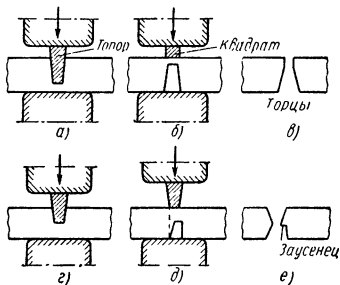


Рис. 6. Схема рубки

(рис. 6, а, б, е,) и рубку с двух сторон (рис. 6, г, д, е).

ГИБКА

Гибка сопровождается искажением первоначальной формы поперечного сечения заготовки и уменьшением его площади в зоне изгиба

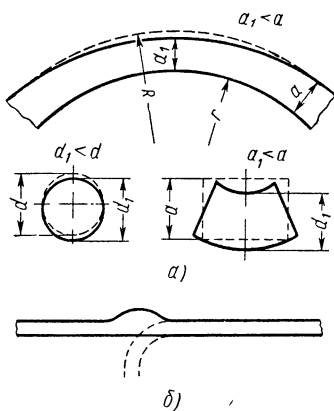


Рис. 7. Схема искажения первоначальной формы заготовки при гибке

ба (рис. 7). Радиус в месте изгиба заготовки не должен быть меньше полутора толщин ее сечения. Для предотвращения уменьшения се-

чения в зоне изгиба на заготовке в нужном месте выполняют утолщение (рис. 7, б).

СОСТАВЛЕНИЕ ЧЕРТЕЖА КОВАННОЙ ЗАГОТОВКИ

Исходным документом для разработки чертежа поковки является чертеж чистой детали, контуры которой наносят на чертеж поковки условным пунктиром.

По табл. 6 в зависимости от длины детали, формы и размеров ее сечения определяют припуски на механическую обработку и допуски на размеры. Под каждым размером поковки, в скобках, проставляют соответствующий размер чистой детали. Если разубка является последней операцией технологического процессаковки, то торцы поковки оставляют скошенными (см. эскиз в табл. 6). Угол скоса не должен превышать 10° . Если поковка имеет прямоугольное сечение, то припуски и допуски назначают по максимальному размеру сечения.

В чертежах на поковки для деталей ответственного назначения обычно указывают нужное направление волокна, которое должно быть обеспечено технологическим процессом.

В чертежах на поковки для особо ответственных деталей иногда предусматривают специальный технологический припуск, из которого вырезают образцы для механических испытаний и металлографических исследований. Поковки могут иметь специальные технологические припуски, предусмотренные технологическим процессом последующей механической обработки. Во всех случаях форма и размеры технологических припусков должны быть согласованы с соответствующими специалистами.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КОВКИ

Технологические процессыковки заготовок из сплавов цветных металлов в части выбора исходных

6. Припуски на механическую обработку и допуски на размеры кованных заготовок, изготавливаемых на молотах и прессах

Длина детали L в мм	Размеры детали, на которые назначаются припуски и допуски	Припуски a и b и отклонения при диаметре D , или размеры сечения A и B в мм					
		25—50	50—80	80—120	120—180	180—260	260—360
До 250	D, A, B	$4 \pm 1,5$	5 ± 2	6 ± 3	—	—	—
		12 ± 5	15 ± 5	20 ± 7			
250—500	D, A, B	5 ± 2	6 ± 2	7 ± 3	8 ± 3	12 ± 4	14 ± 4
		15 ± 5	20 ± 6	23 ± 8	26 ± 8	32 ± 10	36 ± 10
500—800	D, A, B	6 ± 2	8 ± 2	9 ± 3	11 ± 3	12 ± 4	13 ± 4
		18 ± 5	22 ± 7	25 ± 8	30 ± 10	35 ± 10	49 ± 12
800—1250	D, A, B	7 ± 2	9 ± 3	11 ± 3	12 ± 4	14 ± 4	15 ± 5
		22 ± 6	26 ± 8	30 ± 10	35 ± 10	40 ± 12	45 ± 12
1250—2000	D, A, B	8 ± 2	10 ± 3	12 ± 4	13 ± 4	15 ± 5	16 ± 5
		26 ± 8	30 ± 8	36 ± 10	38 ± 10	45 ± 12	45 ± 12
2000—2500	D, A, B	10 ± 3	12 ± 3	14 ± 4	16 ± 5	17 ± 5	—
		30 ± 8	33 ± 8	38 ± 10	45 ± 12	45 ± 12	

заготовок, баланса металла, содержания и последовательности операций и оформления практически ничем не отличаются от технологических процессовковки стальных заготовок. Исключения составляют потери металла на угар, которые при ковке сплавов цветных металлов не учитываются, термомеханические режимы деформирования и нагревательные устройства.

Для бесперебойной работы ковочного агрегата последний должен обслуживаться двумя нагревательными установками, из которых заготовки выдаются последовательно. Величины садок должны быть связаны со временем нагрева и ритмом работы, таким образом, чтобы нагревательные устройства не лимитировали ковочного агрегата.

ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ ШТАМПОВОК И ИНСТРУМЕНТА, МОЩНОСТИ МАШИН

ШТАМПОВКА В ОТКРЫТЫХ ШТАМПАХ

При проектировании деталей из сплавов цветных металлов, изготовляемых из штампованных заготовок, необходимо учитывать: технологические особенности и физические свойства материала и возможность изготовления детали с минимальными затратами металла и труда; специфические особенности горячей штамповки, т. е. указывать штамповочные уклоны на необрабатываемых поверхностях, не лежащих в плоскости разреза; назначать нужные радиусы сопряжений, переходов и закруглений; правильно выбирать соотношения между толщиной и шириной полотна, высотой и толщиной ребра.

Детали, изготовляемые из штампованных заготовок, должны иметь плавные переходы от одного сечения к другому. Особенно важно, чтобы детали не имели большой разницы площадей сечений, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга.

Подготовительные операции осуществляются главным образом свободной ковкой, которая трудоемка и не обеспечивает распределения материала с необходимой точностью. В связи с этим при штамповке заготовок для деталей с большой разницей в сечениях наблюдается повышенный расход металла. Большой объем металла, вытесняемого из полости, приводит к быстрому износу штампов, а неравномерное распределение облоя по контуру детали вызывает неравномерные напряжения и деформации штампа, перекос и смещение, приводящие к искажению формы штампуемой заготовки.

Элементы конструкции штамповок

При разработке чертежа штамповки необходимо выбрать разъем

штампа, установить оптимальные соотношения конструктивных элементов, наметить припуски на механическую обработку и допуски на размеры, выбрать штамповочные уклоны.

Разъем штампа. При выборе линии разреза штампа необходимо руководствоваться следующими общими положениями:

желательно, чтобы линия разреза лежала в одной плоскости или максимально к этому приближалась. При этом оснастка отличается простотой и низкой стоимостью, процесс штамповки протекает легче и с меньшим количеством брака, чем при штамповке с разъемом по ломаной линии;

заготовки с ломаной линией разреза следует располагать в штампе так, чтобы участки ее были наклонены к горизонтальной плоскости под углом, не превышающим 60° (рис. 1, а). Такое расположение линии разреза улучшает условия штамповки и обрезки облоя;

в штамповках с двухсторонними выступами, ребрами или выемками линию разреза следует намечать по середине боковой поверхности наибольшего периметра детали (рис. 1, б, в). Это облегчает контроль возможного смещения одной половины штамповки относительно другой;

в штамповках коробчатой формы и подобных им — линия разреза должна проходить через вершины стенок (рис. 1, г, д, е, ж). При этом получается такое направление волокон, при котором штамповки обладают лучшими механическими свойствами и у стенок их не образуется зажимов, прострелов и других дефектов;

при выборе линии разреза необходимо стремиться к расположению

штамповки в одном бойке штампа (рис. 1, а, и.) Это значительно снижает стоимость последнего и повышает точность штамповки;

в общих случаях желательно, чтобы линия разреза проходила по наибольшему периметру штамповки.

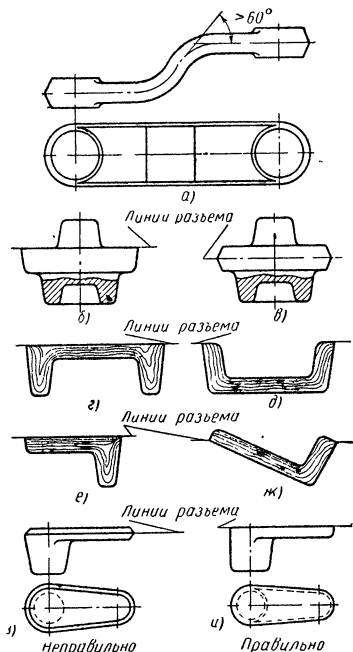


Рис. 1. Линии разреза в заготовках

При этом глубина полостей штампа минимальная, благодаря чему облегчается их заполнение и достигается оптимальная производительность; величина напуска для создания штамповочного уклона уменьшается, благодаря чему снижается расход металла и трудоемкость последующей механической обработки.

Толщина полотна является основным конструктивным элементом штампованной заготовки как с точки зрения влияния на весовые характеристики детали без механической обработки полотна, так и с точки зрения сложности полу-

чения полотна малой толщины методами горячей штамповки.

Возможность получения полотна минимальной толщины определяется сопротивлением металла деформированию, скоростью остывания заготовки в процессе штамповки, температурой деформирования и коррозионными свойствами металла.

По данным Е. П. Унксова среднее удельное сопротивление деформированию:

при свободной осадке круглых заготовок

$$q = \sigma_T \left(1 + 0,17 \frac{d}{h} \right);$$

при осадке без уширения прямоугольных заготовок

$$q = \sigma_T \left(1 + 0,25 \frac{a}{h} \right),$$

где σ_T — предел текучести при температуре деформирования; d — диаметр заготовки после осадки; a — меньшая сторона прямоугольника; h — толщина осаженой заготовки.

Из этих формул следует, что удельное сопротивление деформированию возрастает за счет увеличения предела текучести в связи с остыванием заготовки и за счет изменения формы, т. е. увеличения отношения d/h или a/h .

По тем же данным истинное сопротивление деформированию, в 2—3 раза превышающее среднее, определяют по формуле

$$\sigma_y = \sigma_T e^{\frac{2\mu}{h} \left(\frac{a}{2} - x \right)},$$

где x — расстояние от центра образца, до точки где определяется напряжение, или по более простой формуле, получающейся из предыдущей путем разложения в ряд и упрощения,

$$\sigma_y = \sigma_T \left[1 + \frac{2\mu}{h} \left(\frac{a}{2} - x \right) \right].$$

Максимальное напряжение (в центре полотна при $x=0$)

$$\sigma_y^{\max} = \sigma_T \left(1 + \frac{\mu a}{h} \right).$$

Принимая $\mu=0,5$ для случая, когда касательные напряжения τ дос-

тигают максимального значения, обусловленного уравнением пластичности, получим

$$\sigma_y^{\max} = \sigma_T \left(1 + 0,5 \frac{a}{h} \right).$$

Минимальное напряжение (с края полотна при $x = \frac{a}{2}$)

$$\sigma_y^{\min} = \sigma_T.$$

Таким образом, с увеличением отношения $\frac{a}{h}$ повышается не только среднее удельное сопротивление, но и разность напряжений между

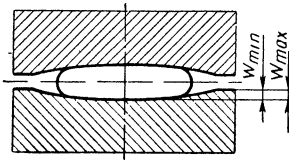


Рис. 2. Схема упругой деформации штампа

серединой и краем полотна, что, в свою очередь, увеличивает разность упругих деформаций ($w_{\max} - w_{\min}$) в соответствующих местах штампа (рис. 2). Величина упругих деформаций по формуле Бусинекса равна

$$w = \frac{P(1 - \lambda^2)}{\pi E s},$$

где P — внешние силы, вызывающие деформацию; λ — коэффициент Пуассона; E — модуль упругости; s — расстояние от точки приложения силы до точки, в которой определяется упругая деформация.

Разность упругих деформаций в различных местах полости штампа и приводит соответственно к различной толщине полотна — наибольшей в середине и наименьшей по краям (так называемая чечевицеобразная форма). Следовательно, предельной толщиной полотна, получаемого горячей штамповкой, является толщина, для получения которой необходимое удельное давление не превышает предела упру-

гости стали, из которой сделаны штампы. Кроме того, толщина не подвергающихся последующей механической обработке полотен регламентируется разностью толщин в центре и по краям.

Учитывая увеличение толщины полотна в результате износа штампов, зависящего в основном от сопротивления деформированию, и изменения величины усадки вследствие нестабильности термического прогиба штампов, упругий прогиб штампов не должен превышать некоторой части половины допустимого положительного отклонения на толщину полотна (имея в виду утолщение полотна в обе стороны за счет упругих деформаций, износа и пр. верхнего и нижнего бойков штампа). т. е.

$$w_{\max} - w_{\min} \leq \xi \frac{\Delta h}{2},$$

где ξ — коэффициент, учитывающий, какая часть половины допускаемого положительного отклонения может быть использована на искажение формы полотна (чечевицеобразность) от упругой деформации бойка (для алюминиевых, магниевых и медных сплавов $\xi=0,6$; для титановых $\xi=0,5$); Δh — допускаемое положительное отклонение на толщину полотна в мм.

В формуле не учитываются упругие деформации штампуемого материала, которыми можно пренебречь ввиду высокой пластичности металла при горячей деформировании.

Если величина упругого прогиба окажется больше $w_{\max} - w_{\min}$, то это указывает на то, что требуемую толщину полотна получать штамповкой нецелесообразно и ее следует увеличить. Это уменьшит упругий прогиб и износ штампов вследствие сопротивления деформированию. Окончательный размер полотна получается путем механической обработки.

В некоторых случаях минимальная толщина полотна определяется не техническими возможностями ее получения методами горячей штамповки, а физическими свойствами

материала. Так, например, у магниевых сплавов минимальные толщины конструктивных элементов определяются коррозионной стойкостью.

При определении толщины полотна на существенное значение имеют фи-

В практике горячей штамповки почти не встречаются заготовки, состоящие из одного тонкого полотна. Обычно оно является элементом конструкции детали. В сочетании с ребрами полотно образует открытые

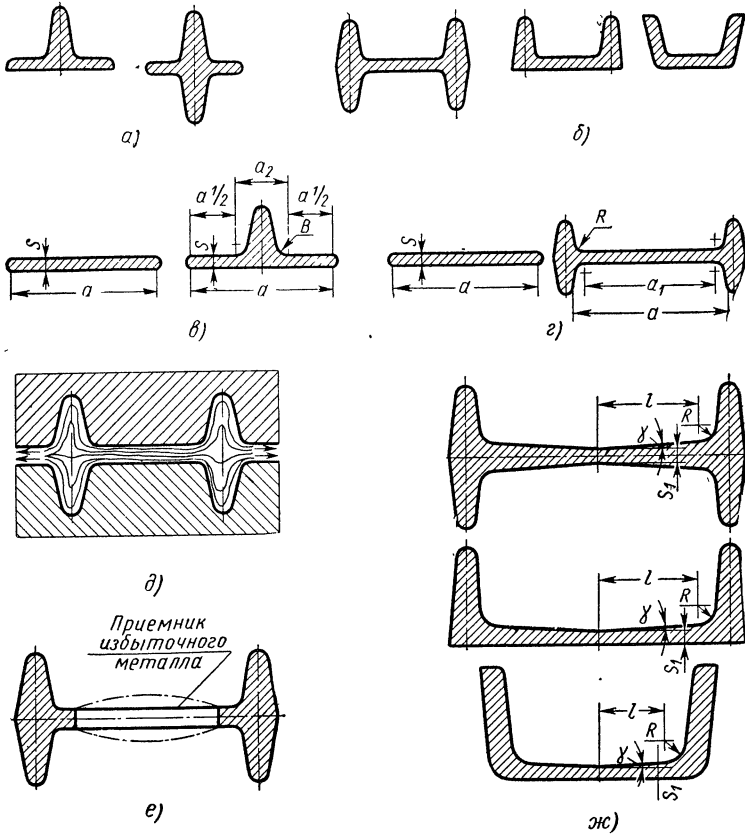


Рис. 3. Форма линий заготовок с тонким полотном

зические и технологические свойства материала, отношение ширины полотна к толщине, площадь полотна и отношение длины его к ширине. Чем больше площадь полотна, при прочих равных условиях, тем больше и должна быть толщина полотна, а чем больше отношение длины к ширине полотна, тем толщина полотна может быть меньше.

(рис. 3, а) и закрытые (рис. 3, б) сечения, форма которых оказывает существенное влияние на толщину полотна. В открытом сечении ширина полотна (рис. 3, а) уменьшается от наличия ребра и фактически равна $a_1 = a - a_2$, а $a_1/s < a/s$ в плоском сечении такой же ширины. Кроме того, ребро открытого сечения способствует сохранению тепла в полот-

не и тем самым улучшает условия штамповки. Следовательно, при прочих равных условиях, толщина полотна открытого сечения может быть меньше, чем плоского.

В закрытом сечении ширина a_1 (рис. 3, *г*) полотна также уменьшается от наличия ребер, но условия образования тонкого полотна здесь значительно сложнее, чем в открытом сечении. Расположенные по краям ребра затрудняют вытеснение избыточного металла из полотна в облой (рис. 3, *д*). Поэтому с достаточной степенью точности можно считать, что условия образования тон-

кого полотна в плоском и закрытом сечениях аналогичны.

Отверстие облегчения на полотне закрытого сечения используется как дополнительный приемник избыточного металла (рис. 3, *е*) и фактически уменьшает ширину полотна. В этом случае можно считать, что условия образования тонкого полотна в закрытом и открытом сечениях одинаковы.

Для эффективного использования отверстия облегчения в качестве приемника избыточного металла площадь его должна составлять не менее 50% площади тонкого полотна.

1. Толщина полотен s для различных сечений

		Сплавы											
		Алюминиевые и медные		Магниевые								Титановые	
Площадь проекции штампованной заготовки на плоскость разреза в см ²		Группы сечений											
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
		s в мм											
До 25		1,5	2,0	1,5	2,0	1,5	2,0	4,0	4,0	7,0	7,0	1,5	2,0
Св. 25 до 80	80	2,0	2,5	2,0	2,5	2,5	3,0					2,5	3,0
» 80 » 160		2,5	3,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5				3,5	4,0
» 160 » 250		3,0	3,5	3,0	3,5	4,0	5,0		5,0	7,5	7,5	4,5	5,0
» 250 » 500		4,0	4,5	4,0	4,5	5,0	6,0	5,0	6,0			5,0	6,0
» 500 » 850		5,0	5,5	5,0	5,5	6,0	8,0	6,0	8,0			6,0	8,0
» 850 » 1180		5,5	6,5	5,5	6,5	7,5	10,0	8,0	10,0	8,0	10,0	8,0	10,0
» 1180 » 2000		7,0	8,0	7,0	8,0	9,0	12,0	10,0	12,0	10,0	12,0	10,0	12,0
» 2000 » 3150		8,0	9,0	8,0	9,0								
» 3150 » 4500		9,0	10,5	9,0	10,5								
» 4500 » 6300		10,5	12,0	10,5	12,0								
» 6300 » 8000		11,5	13,0	11,5	13,0								
» 8000 » 10000		12,5	14,0	12,5	14,0								
» 10000 » 12500		13,5	15,0	13,5	15,0								
» 12500 » 16000		15,0	16,5	15,0	16,5								
» 16000 » 20000		16,5	18,0	16,5	18,0								
» 20000 » 25000		18,0	20,0	18,0	20,0								

В табл. 1 приведены значения толщин полотен в зависимости от площади штамповок для различных форм сечений.

Для облегчения течения металла в закрытых сечениях с большим расстоянием между ребрами полотна иногда выполняют утолщающимися от середины по направлению к ребрам (рис. 3, ж). В этом случае толщину полотна в средней части сечения определяют по формулам:

для двутавровых сечений

$$s_1 = s - (L + R) \operatorname{tg} \gamma;$$

для швеллерных сечений

$$s_1 = s - \frac{1}{2} (L + R) \operatorname{tg} \gamma,$$

где s — толщина полотна, определяемая по табл. 1; γ — угол наклона полотна, определяемый по табл. 2; L и R — размеры, обычно указываемые на чертеже.

Штамповочные уклоны на поверхностях штамповок, перпендикулярных к плоскости разреза, необходи-

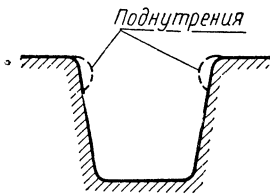


Рис. 4. Схема образования поднутрений в полостях штампа

мы для удаления заготовки из полости штампа. Различают штамповочные уклоны: наружные α , располагающиеся по внешнему контуру детали, и внутренние β , располагающиеся по контуру выемок.

Небольшие штамповочные уклоны вызывают образование поднутрений в полости штампа (рис. 4), являющихся результатом больших напряжений, возникающих в зоне облойного мостика от деформирования вытекающего в облой металла.

Образующееся поднутрение вызывает застревание заготовки в штампе.

Величина внутренних штамповочных уклонов зависит от конфигурации и материала штампуемой заготовки, а также от применяемого оборудования и инструмента (наличия выталкивающих приспособлений).

Величина усилия P , необходимого для удаления заготовки из полости штампа (усилие выталкивания), характеризуется формулой

$$P = \Sigma F \sigma (\mu - \operatorname{tg} \beta),$$

где F — боковая поверхность выемки в штамповке, охватывающей его выступ; σ — напряжения на контактной поверхности штамповки и выступа штампа, возникающие в результате усадки; μ — коэффициент трения деформируемого металла о штамп при температуре выталкивания; β — внутренний штамповочный уклон; Σ — знак, указывающий на то, что если штамповка имеет несколько углублений, то боковые поверхности их суммируются.

Как это следует из приведенной формулы $P = 0$, когда

$$\mu = \operatorname{tg} \beta.$$

В конкретных случаях, когда конфигурация, габаритные размеры и материал штамповки известны, величины штамповочных уклонов зависят от формы сечения и отношения высоты h детали, или элемента детали, которому придается штамповочный уклон, к ширине b (рис. 5).

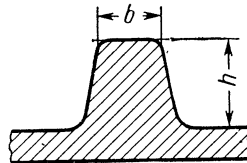


Рис. 5. Элемент детали, которому придается штамповочный уклон

При производстве штамповок в штампах с выталкивателями должны быть выбраны такие уклоны, чтобы возникающие при выталкивании напряжения не вызывали коробления

(деформации) отштампованных заготовок.

Практически не всегда бывает целесообразно назначать разные штамповочные уклоны на наружных и внутренних поверхностях штампов. Так, например, разные штамповочные уклоны на двутавровых и швеллерных сечениях усложняют изготовление штампа. Разные штамповочные уклоны на наружных и внутренних поверхностях можно применять для штампов или элементов штампов, имеющих форму тел вращения, для которых полость штампа обрабатывают на токарном расточном станке, а не фрезерованием.

Наиболее распространенными для сплавов цветных металлов являются штамповочные уклоны в 3—7°.

Если на отдельных местах штамповки получаются разные штамповочные уклоны, то их нужно унифицировать, сделав разные уклоны только в местах, не вызывающих затруднения при изготовлении штампов.

Наружные уклоны штампов большой высоты, имеющих форму

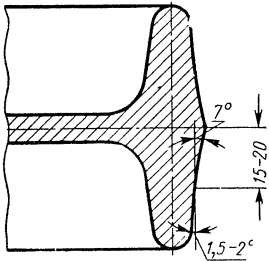


Рис. 6. Схема переменного штамповочного уклона

тел вращения, целесообразно выполнять переменными (рис. 6). В этом случае штамповочный уклон, выходящий на линию разреза, делают равным 7° на глубину ∼ 15—20 мм, а при большей глубине — 1,5—2°. Это дает ощутимую экономию металла и несколько снижает объем последующей механической обработки. Оптимальные значения штамповочных уклонов приведены в табл. 2.

2. Штамповочные уклоны α (наружные) и β (внутренние) в град

Для заготовок из алюминиевых, магниевых и медных сплавов

а) Открытые сечения

$h/2R_1$ или h/b	Толщина ребра $2R_1$ в мм	
	До 5	Св. 5
	α	
До 2,5	5	3
2,5—4	5	
4—5,5	7	
Св. 5,5		

б) Закрытые сечения *

Тип I Тип II Тип III

$h/2R_1$	Толщина ребра $2R_1$ в мм	
	До 5	Св. 5
	α	
До 2,5	5	3
2,5—4	5	
4—5,5	7	
Св. 5,5		

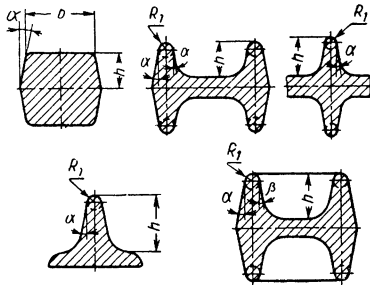
* Уклоны для типов I и II определять по таблице, уклоны для типа III указаны на эскизе.

в) Штамповки формы тел вращения

Продолжение табл. 2

$h/2R_1$	α	β
До 2,5	5	5
2,5—4		7
4,0—5,5	7	10
Св. 5,5		10

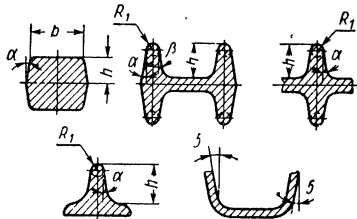
г) Штамповки, изготавливаемые в штампах с выталкивателями *



h/b или $h/2R_1$	α	β
До 2,5	1	1,5
2,5—5		3
Св 5	3	5

* Для указанных выше, а также и для титановых сплавов.

д) Только для штампованных заготовок из титановых сплавов *



h/b или $h/2R_1$	α	β
До 2,5	7	7
Св. 2,5—4,0		10
» 4,0—5,5		12
Св 5,5		15

* Уклоны для первых четырех типов определять по таблице, уклоны для пятого типа — указаны на эскизе.

Толщина ребер, радиусы переходов, закруглений и сопряжений, углы наклона полотна. Выдавливание металла в полости штампов, образующих ребра на штампованных заготовках, происходит за счет напряжений, возникающих в деформируемом объеме в результате ограничения течения металла в стороны мостиком облойной канавки, а также действием сил внешнего трения, препятствующих перемещению металла по контактной поверхности штампа и вытеснению его в облой.

Величина удельного давления q , необходимого для вытеснения металла в коническую полость, может быть определена по формуле Е. П. Унксова

$$q = \sigma_T \frac{1}{\alpha} \ln \frac{F_0}{f},$$

где σ_T — предел текучести металла при температуре деформирования; α — угол при вершине конической полости в рад; f — наименьшая площадь сечения полости; F_0 — наибольшая площадь сечения полости.

Если вместо конического сечения рассматривать трапециевидное, то отношение площадей можно заменить соответствующим отношением толщин ребра у основания b_0 и на вершине b и формула примет вид

$$q = \sigma_s \frac{1}{\alpha} \ln \frac{b_0}{b}.$$

Изменение α в этой формуле рассматривается только при постоянных значениях b_0 и b , в этом случае увеличение α приводит к уменьшению глубины полости, что облегчает ее заполнение и, наоборот, уменьшение α увеличивает глубину полости и тем самым затрудняет ее заполнение, т. е. повышает требуемое удельное давление.

Как следует из приведенной формулы, напряжение, необходимое для выдавливания металла в сужающую полость, возрастает с увеличением σ_T , т. е. при остывании заготовки, а также с увеличением b_0 и уменьшением b .

Отношение $b_0/b > 1$, т. е. в полости штампа всегда должен быть штамповочный уклон. Чем ближе это отно-

шение к 1, т. е. чем меньше штамповочный уклон, тем меньше удельное давление, необходимое для заполнения сужающейся полости. Когда штамповочный уклон отсутствует, $b_0/b = 1$ удельное давление $q = 0$. Это значит, что при выдавливании

Чем ближе t_n к $t_{ш}$, тем меньше перепад температур между поверхностью деформируемой заготовки и ее серединой, тем пластичнее металл на контактной поверхности и тем лучше происходит его перемещение в процессе заполнения полости.

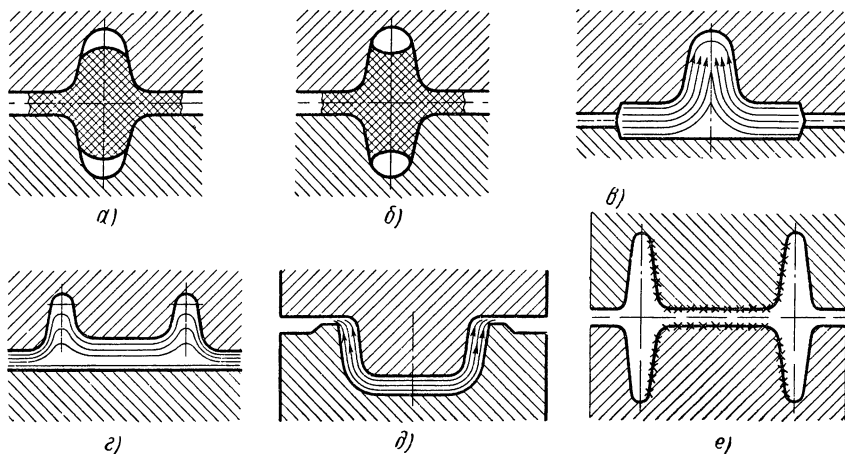


Рис. 7. Схемы заполнения полости штампа при штамповке (×× — место интенсивного износа).

металла в полость с вертикальными стенками не происходит деформации металла, заключенного в этой полости, давление здесь расходуеться только на проталкивание металла, т. е. преодоление трения между металлом и вертикальными стенками.

Характер течения металла при заполнении ребер у штамповок из алюминиевых и магниевых сплавов существенно отличается от штамповок из медных и титановых сплавов.

Характер течения определяется соотношением температур начала деформирования и подогрева штампов. Температура поверхности полости штампа в момент деформирования определяется по формуле

$$T = \frac{t_n + t_{ш}}{2},$$

где t_n — температура начала деформирования; $t_{ш}$ — температура подогрева штампов.

На рис. 7, а показано заполнение полости при деформировании титановых сплавов, а на рис. 7, б — алюминиевых сплавов.

При заполнении ребер открытых сечений расположенный по обе стороны ребра избыточный металл устремляется в ребро (рис. 7, в). При заполнении ребер закрытых двутавровых сечений имеет место интенсивное течение металла через ребра, так как избыточный металл вытесняется в облой, как показано на рис. 3, д.

Если в открытых сечениях толщина ребра при прочих равных условиях зависит только от высоты ребра, то в закрытых двутавровых сечениях при тех же условиях толщина ребра зависит от высоты ребра и расстояния между ребрами, так как это расстояние определяет собой количество протекаемого через ребра металла.

На практике принято считать, что толщина ребра должна быть в 6,5—10 раз меньше его высоты. Для

ребер небольшой высоты (примерно до 10 мм) толщину ребра обычно назначают в 2—4 раза меньше высоты из-за трудности изготовления штампа с очень узкими полостями (менее 2 мм).

Условия заполнения ребер закрытых швеллерных сечений зависят от расположения линии разреза. Если линии разреза расположены по подошве (рис. 7, з), то условия заполнения такие же, как и в двутавровом сечении. Если линия разреза расположена по верху ребер (рис. 7, д), то условия заполнения ребер становятся более благоприятными, чем для открытых сечений. В данном случае избыточный металл течет в облой не перпендикулярно ребрам, что значительно лучше как с точки зрения сохранения высоких механических свойств в зоне перехода от полотна к ребру, так и с точки зрения предотвращения различных дефектов в этой же зоне, имеющих место при расположении линии разреза по подошве.

Расстояние между ребрами является важнейшим конструктивным элементом, оказывающим значительное влияние на процесс горячей штамповки. Наименьшее расстояние a_{\min} между ребрами зависит главным образом от высоты h ребра. Чем выше ребро, тем больше должно быть расстояние между ребрами. При высо-

ких ребрах и недостаточном расстоянии между ними (рис. 7, е) выступ штампа, формирующий полотно, будет изнашиваться.

Наибольшее расстояние a_{\max} между ребрами зависит в основном от толщины s полотна, соединяющего ребра. Чем толще полотно, тем больше может быть расстояние между ребрами. Предельные значения a_{\max} и a_{\min} приведены в табл. 3.

При переменном расстоянии между ребрами и постоянной их высоте (рис. 8, а) значения a_{\min} и a_{\max} , приведенные в табл. 3, могут быть соответственно уменьшены и увеличены на 20%.

При наличии отверстия, площадь которого составляет 50% площади полотна, наибольшее расстояние между ребрами не ограничивается.

Не меньшее значение, чем соотношение высоты и толщины ребра, имеет радиус сопряжения ребра с полотном. Значение этого радиуса велико для открытых и в особенности для закрытых сечений. При недостаточном радиусе сопряжения у основания ребер открытых сечений образуются своего рода поднутрения (рис. 8, б), ослабляющие ребро и, кроме этого, ухудшаются условия затекания металла в ребро. Аналогичные поднутрения ребер при недостаточном

3. Расстояние a между ребрами в мм

Высота ребра h	Сплавы					
	Алюминиевые и медные		Магниевые МА2; ВМ65-1, МА3; МА5		Титановые	
	a_{\min}	a_{\max}	a_{\min}	a_{\max}	a_{\min}	a_{\max}
До 5	10	35s	10	30s	10	30s
	5		12		12	
» 10	15	35	20	50	20	45
	» 10		» 16		» 16	
» 16	25	30s	30	25s	30	25s
	» 25		» 25,5		50	
» 35,5	50	25s	70	20s	60	20s
	» 50		» 71		100	
» 71	80		—		—	

радиусе сопряжения образуются у основания ребер закрытых швеллерных сечений с расположением линии разреза по верху ребер (рис. 8, а). Недостаточный радиус сопряжения у ребер закрытых сечений наряду с ухудшением условий их заполнения приводит к образованию «прострелов» у основания ребер (рис. 8, з), являющихся следствием течения металла в облойную канавку над уже заполненной металлом полостью штампа, образующей ребро.

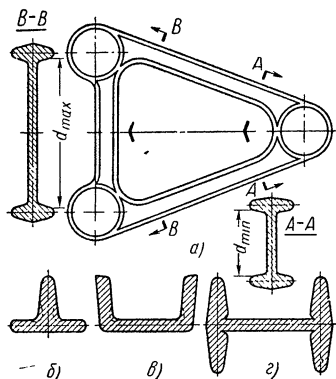


Рис. 8. Сечения заготовок с переменным расстоянием между ребрами

В сечении любой формы радиус сопряжения является наиболее сильно изнашиваемым местом полости в силу интенсивно перемещающегося по нему металла при заполнении полости. Установлено, что недостаточный по величине радиус сопряжения очень быстро срабатывается, пока не достигает какой-то оптимальной величины, при которой состояние его надолго стабилизируется.

Таким образом, величина радиуса сопряжения зависит от технологических свойств материала штамповки и от количества перемещающегося по нему металла при заполнении ребра, поэтому при прочих равных условиях в открытых сечениях величина радиуса сопряжения зависит от высоты ребра, а в закрытых — от высоты ребра и расстояния между ребрами.

Радиусы закруглений R_1 и R_5 (см. эскиз в табл. 4) не имеют решающего значения для процесса формообразования, но тем не менее в какой-то степени влияют на качество штампуемой заготовки и стойкость штампа. Прежде всего радиусы закруглений при недостаточной их величине могут привести к образованию внутри полости трещин термического, усталостного или разгарного происхождения.

Небольшой радиус закругления на вершине ребра плохо заполняется металлом. В условиях деформирования на прессе указанное место может остаться не заполненным, а при деформировании на молоте для четкого оформления требует большого количества ударов, что вредно сказывается как на стойкости штампа, так и на работоспособности молота (большое количество жестких ударов может привести к поломке штока молота).

Величина радиуса закругления зависит от глубины полости.

Радиусы переходов R_2 (рис. 9) имеют весьма существенное значение. При заполнении ребер имеет место течение металла вдоль ребра. При недостаточном радиусе сопряжения в месте стыка ребер возможно образование складок и зажимов. Если радиус перехода сопрягает ребро с каким-либо массивным элементом

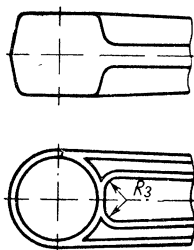
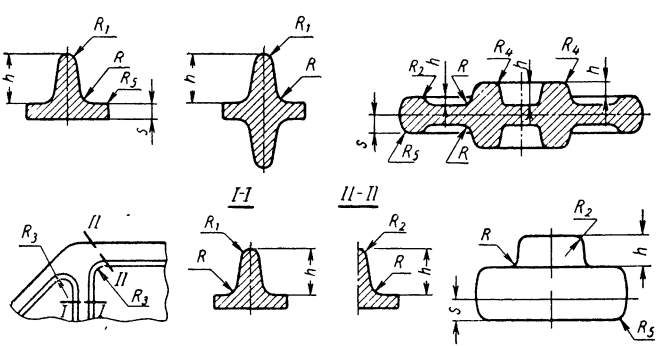


Рис. 9. Радиусы переходов

штамповки, либо сопрягает два массивных элемента, то при недостаточной его величине на стыке образуется складка, являющаяся следствием неравномерного течения металла при заполнении полости.

4. Радиусы (в мм) сопряжений R , переходов R_3 , закруглений R_1 , R_2 , R_4 и R_5 и толщина (в мм) ребер $2R_1$, штампованных заготовок из алюминиевых, титановых, медных и магниевых сплавов



Высота ребра или глубина полости h	R	Сплавы				R_2	R_3	R_4	Толщина полотна или глубина полости s	R_5
		титано-выс, алюми-ниевые (МА2 и ВМ65-1), медные	магниевые							
			МА3	МА5						
До 5	3	1,5	2	—	2	5	3	До 5	2,0	
Св 5 до 10	4									5-10
» 10 » 16	5	2,0	2,5	3,5	3	8	4	10-16	2,5	
» 16 » 25	8	2,5	—	—	4	10	5	16-25	3,0	
» 25 » 35,5	10	3,0	3,0	4,0	5	12,5	6	25-35,5	4,0	
» 35,5 » 50	12,5	4,0	4,0	5,0	6	15	8	35,5-50	5,0	
» 50 » 71	15	5,5	6,0	6,0	8	20	10	50-71	7,0	
» 71 » 100	20	7,0	—	—	10	25	12	71-100	10,0	

Величина радиуса перехода зависит от высоты сопрягающихся элементов штамповки.

Значения перечисленных конструктивных элементов для различных по форме сечений приведены в табл. 4—6.

В указанных таблицах также приведены значения углов наклона полотна закрытых сечений в зависимости от высоты ребер и расстояния между ними. О целесообразности применения утолщающихся полотен упоминалось в разделе о толщине полотен (см. стр. 96).

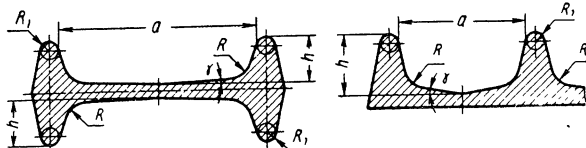
Следует указать, что если на закрытых сечениях выполнены отверстия облегчения, то размеры конструктив-

ных элементов в таких сечениях (толщина ребра и радиус сопряжения ребра с полотном) могут быть уменьшены по сравнению с размерами конструктивных элементов аналогичных сечений, не имеющих отверстий облегчения, так как использование отверстия облегчения в качестве приемника избыточного металла уменьшает количество металла, вытесняемого в облой через ребро.

В случае наличия в полотне отверстия облегчения толщину ребра и радиус сопряжения ребра с полотном следует назначать по табл. 8 с сокращением расстояния между ребрами на один интервал.

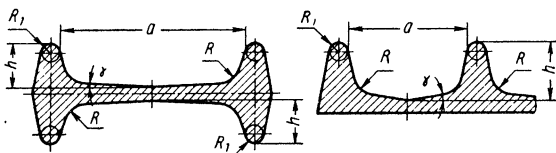
5. Радиусы сопряжений R , закруглений R_1 , толщина ребер $2R_1$ и углы наклона полотна γ

А Алюминиевые, магниевые и медные сплавы



h в мм	a в мм																	
	До 40			40—80			80—125			125—180			180—250			Св 250		
	R	R ₁	γ	R	R ₁	γ	R	R ₁	γ	R	R ₁	γ	R	R ₁	γ	R	R ₁	γ
До 5	4	1,5		8	1,5		10	2	—			—			—			
5—10	5								12,5	2,5	12,5	2,5	12,5	2,5	1°	—		
10—16	6	2		10	2,5			2,5	1°	15	3		—					
16—25	8	2,5		12,5	3		3	3,5					4	4,5	—			
25—35,5	10	3		15	3,5		15	3,5	2°	4	1°30'	20	5	4,5	20	5		
35,5—50	12	4		15	4		4	5							6	7	1°30'	25
50—71	—			20	4,5		20	5	2°	20	5	1°30'	25	6	30	7	1°30'	
71—100	—			25	5		25	6							25	6	30	7

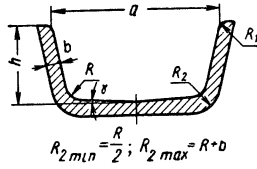
Б Титановые сплавы



h в мм	a в мм																	
	До 40			40—80			80—125			125—180			180—250			Св 250		
	R	R ₁	γ	R	R ₁	γ	R	R ₁	γ	R	R ₁	γ	R	R ₁	γ	R	R ₁	γ
До 5	3	1,5		5	1,5		10	2	—			—			—			
5—10	4								12,5	2,5	12,5	2,5	12,5	2,5	1°	—		
10—16	6	2		10	2,5			2,5	1°	20	3		20	3	—			
16—25	10	2,5		12,5	3		3	3,5							4	5	1°30'	25
25—35,5	—			15	4		15	4	2°	20	3,5	1°30'	20	4	25	6		
35,5—50	—			15	4		20	5							6	6	6	6
50—71	—			—			25	6	2°	25	8	1°30'	25	10	30	10		

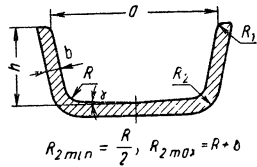
6. Радиусы сопряжений R , закруглений R_1 и R_2 , толщина стенки b и углы наклона полотна γ

А. Алюминиевые, магниевые и медные сплавы



h в мм	a в мм												
	До 40				40—80			80—125			Св. 125		
	R_1	R	b	γ	R	b	γ	R	b	γ	R	b	γ
До 10	2	5	2	—	5	3	—	5	4	2°	5	5	1°
10—16		6	2.5		6	3		6	6		6	6	
16—25	2,5	8	3,5		8	4,5		8	5,5		8	7	
25—35,5	3,5	10	4,0		10	6		10	7		10	8	1°30'
35,5—50	5	12,5	6		12,5	7		12,5	8		12,5	9	
50—71	6	—			15	8		15	9		15	10	
71—100	7	—			—			20	10		20	12	
100—140	8	—		—		—		25	14				

Б. Титановые сплавы



h в мм	a в мм												
	До 40				40—80			80—125			Св. 125		
	R_1	R	b	γ	R	b	γ	R	b	γ	R	b	γ
До 10	2	5	3	—	5	4	—	5	4	2°	5	5	1°
10—16		6	3		6	4		6	4,5		6	6	
16—25	2,5	8	4		8	5		8	6		8	7	
25—35,5	3,5	10	5		10	6		10	7		10	8	1°30'
35,5—50	5	12,5	6		12,5	7		12,5	8		12,5	9	
50—71	6,5	—			15	8		15	10		15	11	
71—100	8	—			—			20	12		20	13	

Пример. На рис. 10, а показаны закрытые сечения штамповок

дует определять по приведенным значениям расстояния a_{np} между ребра-

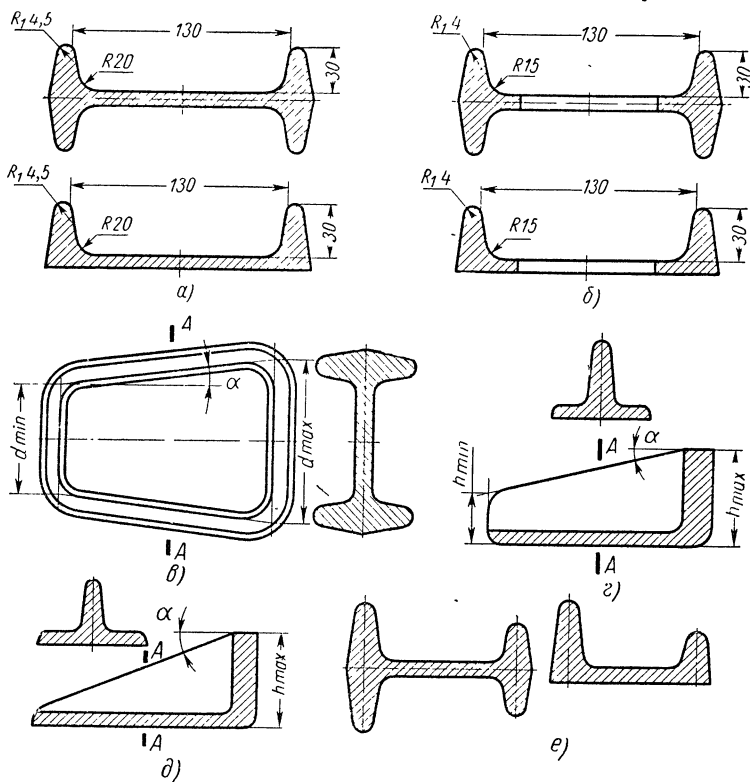


Рис. 10. Закрытые сечения заготовок

без отверстий облегчения. Толщина ребра $2R_1$ и радиус сопряжения R назначены по табл. 5 для высоты ребра $h = 30$ мм и расстояния между ребрами $a = 130$ мм.

Если на этих сечениях выполнить отверстия облегчения, как показано на рис. 10, б, то размеры R и R_1 нужно назначать также по табл. 5 для высоты ребра $h = 30$ мм, но для расстояния a между ребрами не в пределах 125—180 мм, как это имело место при отсутствии отверстий облегчения, а в пределах 80—125 мм.

При переменном расстоянии между ребрами (рис. 10, в) или при переменной высоте ребра (рис. 10, г, д) конструктивные элементы сечения сле-

ми и высоты h_{np} ребра, определяемым по формулам:

$$a_{np} = \frac{a_{max} + a_{min}}{2} (1 + \sin \alpha);$$

$$h_{np} = \frac{h_{max} + h_{min}}{2} (1 + \sin \alpha) \quad (\text{для}$$

рис. 10, в);

$$h_{np} = 0,5h_{max} (1 + \sin \alpha) \quad (\text{для}$$

рис. 10, д).

Конструктивные элементы деталей с закрытыми сечениями и неодинаковыми по высоте ребрами (рис. 10, в) рекомендуется назначать следующим образом: наименьшее расстояние между ребрами выбирать как среднее

арифметическое расстояний, определяемых по наибольшему и наименьшему ребрам; радиусы сопряжений ребра с полотном и толщину ребер выбирать по наибольшему ребру.

Выемки в штамповках. Толщина перемычки и форма выемок в штамповках для случая, когда отверстие не прошивается, а выемка выполняется с целью экономии металла, определяются следующим образом: при $h \leq 0,45 D$ (рис. 11, а)

$$a \geq 0,1D; c \geq 0,078D;$$

$$r = \frac{D^2}{8h} + \frac{h}{2}$$

величина R определяется по табл. 4 при $0,45D < h < D$ (рис. 11, б)

$$a \geq 0,1D; r = \frac{D \cos \alpha - 2h \sin \alpha}{2(1 - \sin \alpha)}$$

величины α и R определяют по табл. 2 и 4.

при $D < h < 2,5D$ (рис. 11, в)

$$c = L - 0,6D; a \geq 0,2D; R_1 = 0,2D; R_2 = 0,4D$$

величины α и R определяют по табл. 2 и 4.

7. Толщина перемычек в выемках в мм

D	До 50	50—80	80—120	120—160	160—200
a	4	6	8	10	12

8. Радиусы сопряжения r в мм и углы наклона γ в град перемычек в выемках

Глубина выемки в мм	D в мм									
	До 50		50—80		80—120		120—160		160—200	
	r	γ	r	γ	r	γ	r	γ	r	γ
До 15	6		8	1	10	1	12	1	15	1
Св. 15 до 30	8		10		12	2	15		20	
» 30 » 50	10		12	2	15		20	2	25	2
» 50 » 80			15		20	3	25		30	
» 80 » 120					25		30	3	35	
» 120 » 160							35		40	3
» 160 » 200									50	

Толщина перемычки и форма выемки в штамповках для случая, когда

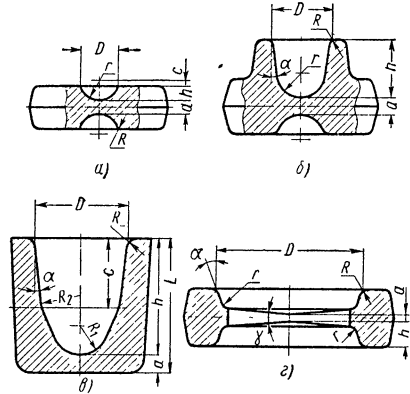


Рис. 11. Толщина перемычки с формой выемки в штамповках

да отверстие прошивается (рис. 11, г), определяются по табл. 7 и 8.

Припуски и допуски

Все штампованные заготовки, как правило, подвергают последующей механической обработке. Степень точности штампованных заготовок количественно определяется двумя факторами: припусками на механическую обработку и допусками на размеры.

С точки зрения технологии кузнечной обработки следует различать

два рода припусков: технологический и на механическую обработку.

Припуск технологический, связанный с необходимостью увеличения размеров некоторых конструктивных

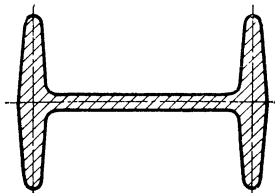


Рис. 12. Сечение нетехнологической детали с тонким полотно

элементов штамповок из-за их нетехнологичности. Например, сечение детали, приведенное на рис. 12, не может быть выполнено горячей штамповкой из-за чрезмерно тонкого полотна, высокого ребра и недостаточного радиуса перехода от ребра к полотну. В данном случае перечисленные конструктивные элементы необходимо увеличить, что влечет за собой утяжеление детали, если ее не подвергать механической обработ-

ке. Утяжеление детали в ряде случаев невозможно, поэтому такие детали обрабатывают, хотя они могли бы пойти в дело и с необработанными поверхностями. Такого рода припуск, величина которых определяется возможными пластическим деформирования, имеют существенное значение для кузнечного производства и обычно называются напусками.

Припуск на механическую обработку (табл. 9), связанный с необходимостью достижения нужной точности и чистоты. Величина этого припуска определяется требуемой чистотой и точностью поверхности после механической обработки, а также искажением формы, имеющим место при горячей штамповке (смещение, коробление, отрицательное отклонение допуска, а также дефекты на поверхности в виде плен, зажимов, раковин и др.).

Величину припуска назначают по наибольшему габаритному размеру детали, в зависимости от материала и требуемой чистоты.

Допуски на размер. В табл. 10—19 приведены допуски на различные размеры штампованных заготовок и допускаемые искажения их формы.

9. Припуск на механическую обработку (припуск на сторону в мм)

Наибольший габаритный размер штамповки в мм	Алюминиевые, магниевые и медные сплавы			Титановые сплавы		
	Класс чистоты обработки					
	4	6	8	4	6	8
Св. До 40	0,80	1,25	1,50	1,00	1,50	1,75
40 до 60	1,00	1,50	1,75	1,25	1,75	2,00
» 60 » 100	1,25	1,75	2,00	1,50	2,00	2,25
» 100 » 160	1,50	2,00	2,25	1,75	2,25	2,50
» 160 » 250	1,75	2,25	2,50	2,00	2,50	2,75
» 250 » 360	2,00	2,50	3,00	2,25	2,75	3,25
» 360 » 500	2,25	2,75	3,25	2,50	3,00	3,50
» 500 » 630	2,50	3,00	3,50	2,75	3,25	3,75
» 630 » 800	2,75	3,50	4,00	3,00	3,75	4,25
» 800 » 1000	3,00	4,00	4,50	3,50	4,50	5,00
» 1000 » 1250	3,50	4,50	5,00	4,00	5,00	5,50
» 1250 » 1600	4,00	5,00	5,50	4,50	5,50	6,00
» 1600 » 2000	4,50	5,50	6,25	5,25	6,25	7,00
» 2000 » 2500	5,25	6,25	7,00	6,00	7,00	7,75
» 2500 » 3150	6,00	7,00	8,00	7,00	8,00	9,00
» 3150 » 4000	7,00	8,00	9,00	8,00	9,00	10,00
» 4000 » 5000	8,00	9,00	10,00	9,00	10,00	11,00
» 5000 » 6300	9,00	10,00	11,00	10,00	11,00	12,00
» 6300 » 8000	10,00	11,00	12,00	11,00	12,00	13,00

10. Допуски на вертикальные (перпендикулярные плоскости разреза) размеры штампованных заготовок (двусторонний износ)

Площадь проекции штампованной заготовки на плоскость разреза штампа в см ²	Классы точности															
	Для штамповок из алюминиевых, магниевых и медных сплавов						Для штамповок из титановых сплавов									
	4	5	6	7	8	9	4	5	6	7	8	9				
Дю 6,0	+0,2	-0,1	+0,3	-0,15	+0,5	-0,2	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.
6,0 до 10	+0,25	-0,12	+0,35	-0,2	+0,6	-0,3	+0,3	-0,2	+0,5	-0,15	+0,4	-0,2	+0,3	-0,15	+0,4	-0,2
» 10 » 16	+0,3	-0,15	+0,4	-0,2	+0,7	-0,3	+0,35	-0,3	+0,6	-0,15	+0,5	-0,2	+0,35	-0,15	+0,5	-0,2
» 16 » 25	+0,35	-0,15	+0,5	-0,3	+0,8	-0,4	+0,4	-0,4	+0,7	-0,2	+0,6	-0,3	+0,4	-0,2	+0,7	-0,3
» 25 » 40	+0,4	-0,2	+0,6	-0,3	+1,0	-0,5	+0,4	-0,3	+1,0	-0,3	+0,8	-0,4	+0,5	-0,3	+0,8	-0,4
» 40 » 80	+0,5	-0,3	+0,8	-0,4	+1,2	-0,6	+0,5	-0,4	+1,2	-0,4	+0,6	-0,3	+0,6	-0,3	+1,0	-0,5
» 80 » 160	+0,6	-0,3	+1,0	-0,5	+1,5	-0,7	+0,6	-0,5	+1,5	-0,4	+0,8	-0,4	+0,8	-0,4	+1,2	-0,6
» 160 » 320	+0,8	-0,4	+1,2	-0,5	+2,0	-1,0	+1,2	-0,5	+2,0	-0,5	+1,0	-0,5	+1,0	-0,5	+1,5	-0,7
» 320 » 480	+1,0	-0,5	+1,5	-0,6	+2,5	-1,0	+1,5	-0,6	+2,5	-0,6	+1,2	-0,6	+1,2	-0,6	+1,8	-0,8
» 480 » 800	+1,2	-0,6	+1,8	-0,7	+3,0	-1,2	+1,8	-0,7	+3,0	-0,7	+1,5	-0,7	+1,5	-0,7	+2,2	-1,0
» 800 » 1 250	+1,4	-0,7	+2,1	-0,8	+3,5	-1,5	+2,1	-0,8	+3,5	-0,8	+1,8	-0,9	+1,8	-0,9	+2,6	-1,2
» 1 250 » 1 700	+1,6	-0,8	+2,4	-1,0	+4,0	-1,8	+2,4	-1,0	+4,0	-1,0	+2,1	-1,0	+2,1	-1,0	+3,0	-1,4
» 1 700 » 2 240	+1,8	-0,9	+2,8	-1,2	+4,5	-2,0	+2,8	-1,2	+4,5	-1,2	+2,4	-1,2	+2,4	-1,2	+3,5	-1,6
» 2 240 » 3 000	+2,1	-1,0	+3,2	-1,4	+5,0	-2,2	+3,2	-1,4	+5,0	-2,2	—	—	—	—	+4,0	-1,8
» 3 000 » 4 000	+2,4	-1,2	+3,6	-1,6	+5,5	-2,5	+3,6	-1,6	+5,5	-2,5	—	—	—	—	+4,5	-2,1
» 4 000 » 5 300	+2,7	-1,3	+4,0	-1,8	+6,0	-2,8	+4,0	-1,8	+6,0	-2,8	—	—	—	—	+5,0	-2,4
» 5 300 » 6 300	+2,9	-1,4	+4,3	-1,9	+6,5	-3,0	+4,3	-1,9	+6,5	-3,0	—	—	—	—	—	—
» 6 300 » 8 000	+3,2	-1,6	+4,8	-2,2	+7,1	-3,2	+4,8	-2,2	+7,1	-3,2	—	—	—	—	—	—
» 8 000 » 10 000	+3,6	-1,8	+5,3	-2,4	+7,7	-3,5	+5,3	-2,4	+7,7	-3,5	—	—	—	—	—	—
» 10 000 » 12 500	+3,9	-1,9	+5,8	-2,7	+8,4	-3,8	+5,8	-2,7	+8,4	-3,8	—	—	—	—	—	—
» 12 500 » 16 000	+4,3	-2,1	+6,4	-3,0	+9,2	-4,2	+6,4	-3,0	+9,2	-4,2	—	—	—	—	—	—
» 16 000 » 20 000	+4,8	-2,4	+7,1	-3,3	+10,0	-4,5	+7,1	-3,3	+10,0	-4,5	—	—	—	—	—	—
» 20 000 » 25 000	+5,3	-2,6	+7,8	-3,7	+11,0	-5,0	+7,8	-3,7	+11,0	-5,0	—	—	—	—	—	—

12. Допуски на горизонтальные (параллельные плоскости разреза) размеры штампованных заготовок (двусторонний износ)

Размер штампованной заготовки в мм	Классы точности											
	4		5		6							
	Отклонения в мм		Отклонения в мм		Отклонения в мм							
До 16	Для штампов из алюминиевых, магниевых и медных сплавов						Для штампов из титановых сплавов					
	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.
Св. 16 до 25	+0,3	-0,15	+0,4	-0,2	+0,5	-0,3	+0,4	-0,2	+0,5	-0,3	+0,7	-0,4
» 25 » 40	+0,4	-0,2	+0,5	-0,25	+0,6	-0,4	+0,5	-0,3	+0,6	-0,3	+0,8	-0,4
» 40 » 60	+0,5	-0,25	+0,6	-0,35	+0,7	-0,45	+0,6	-0,3	+0,8	-0,4	+1,0	-0,5
» 60 » 100	+0,6	-0,3	+0,8	-0,4	+0,9	-0,6	+0,8	-0,4	+1,0	-0,5	+1,2	-0,8
» 100 » 160	+0,8	-0,4	+1,0	-0,6	+1,2	-0,8	+1,0	-0,6	+1,2	-0,8	+1,5	-1,0
» 160 » 250	+1,0	-0,6	+1,2	-0,8	+1,5	-1,0	+1,2	-0,8	+1,5	-1,0	+1,8	-1,2
» 250 » 360	+1,2	-0,8	+1,5	-1,0	+2,0	-1,2	+1,5	-1,0	+1,8	-1,2	+2,1	-1,5
» 360 » 500	+1,5	-1,0	+1,8	-1,2	+2,5	-1,5	+1,8	-1,2	+2,1	-1,5	+2,5	-1,8
» 500 » 630	+1,8	-1,2	+2,1	-1,5	+3,0	-2,0	+2,1	-1,5	+2,5	-1,8	+3,0	-2,2
» 630 » 800	+2,1	-1,4	+2,4	-1,8	+3,5	-2,2	+2,4	-1,8	+3,0	-2,0	+3,5	-2,5
» 800 » 1000	+2,4	-1,6	+2,7	-2,0	+4,0	-2,5	+2,7	-2,1	+3,3	-2,5	+4,0	-3,0
» 1000 » 1250	+2,7	-1,8	+3,0	-2,4	+4,5	-3,0	+3,1	-2,4	+4,0	-3,0	+4,5	-3,5
» 1250 » 1600	+3,0	-2,0	+3,5	-2,8	+5,0	-3,5	+3,5	-2,8	+4,5	-3,5	+5,0	-4,0
» 1600 » 2000	+3,3	-2,3	+4,0	-3,2	+5,5	-4,0	+4,0	-3,2	+5,0	-4,0	+6,0	-5,0
» 2000 » 2500	+3,6	-2,6	+4,5	-3,6	+6,0	-4,5	+4,5	-3,6	+6,0	-4,5	+7,0	-6,0
» 2500 » 3150	+4,0	-3,0	+5,0	-4,0	+6,5	-5,0	+5,0	-4,0	+6,5	-5,0	+8,0	-7,0
» 3150 » 4000	+4,5	-3,3	+5,9	-4,5	+7,6	-5,8	+5,9	-4,5	+7,6	-5,8	+9,0	-8,0
» 4000 » 5000	+5,0	-3,7	+6,7	-5,2	+8,6	-6,7	+6,7	-5,2	+8,6	-6,7	+10,0	-9,0
» 5000 » 6300	+5,6	-4,2	+7,5	-5,9	+9,7	-7,6	+7,5	-5,9	+9,7	-7,6	+11,0	-10,0
» 6300 » 8000	+6,2	-4,8	+8,4	-6,7	+10,9	-9,7	+8,4	-6,7	+10,9	-9,7	+12,0	-11,0
» 8000 » 10000	+6,9	-5,4	+9,5	-7,6	+12,4	-10,0	+9,5	-7,6	+12,4	-10,0	+13,0	-12,0

13. Допуски на горизонтальные (параллельные плоскости разреза) размеры штампованных заготовок (не зависящие от износа)

Размер штампованной заготовки в мм		Классы точности											
		Отклонения в мм						Для штамповок из титановых сплавов					
		4		5		6		4		5		6	
До 16		верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.
Св. 16 до 25		+0,06	-0,06	+0,10	-0,10	+0,15	-0,15	+0,10	-0,10	+0,15	-0,15	+0,20	-0,20
» 25 » 40		+0,08	-0,08	+0,12	-0,12	+0,18	-0,18	+0,12	-0,12	+0,18	-0,18	+0,25 [†]	-0,25
» 40 » 60		+0,10	-0,10	+0,15	-0,15	+0,20	-0,20	+0,15	-0,15	+0,22	-0,22	+0,30	-0,30
» 60 » 100		+0,12	-0,12	+0,20	-0,20	+0,30	-0,30	+0,18	-0,18	+0,27	-0,27	+0,35	-0,35
» 100 » 160		+0,18	-0,18	+0,30	-0,30	+0,50	-0,50	+0,25	-0,25	+0,35	-0,35	+0,50	-0,50
» 160 » 250		+0,25	-0,25	+0,40	-0,40	+0,60	-0,60	+0,35	-0,35	+0,50	-0,50	+0,70	-0,70
» 250 » 360		+0,35	-0,35	+0,50	-0,50	+0,80	-0,80	+0,50	-0,50	+0,70	-0,70	+1,00	-1,00
» 360 » 500		+0,50	-0,50	+0,80	-0,80	+1,20	-1,20	+0,65	-0,65	+0,90	-0,90	+1,30	-1,30
» 500 » 630		+0,65	-0,65	+1,00	-1,00	+1,50	-1,50	+0,80	-0,80	+1,20	-1,20	+1,70	-1,70
» 630 » 800		+0,85	-0,85	+1,20	-1,20	+1,80	-1,80	+1,00	-1,00	+1,50	-1,50	+2,10	-2,10
» 800 » 1000		+1,00	-1,00	+1,50	-1,50	+2,20	-2,20	+1,25	-1,25	+1,80	-1,80	+2,50	-2,50
» 1000 » 1250		+1,30	-1,30	+1,80	-1,80	+2,60	-2,60	+1,50	-1,50	+2,10	-2,10	+3,00	-3,00
» 1250 » 1600		+1,50	-1,50	+2,10	-2,10	+3,00	-3,00	+1,80	-1,80	+2,50	-2,50	+3,50	-3,50
» 1600 » 2000		+1,80	-1,80	+2,50	-2,50	+3,50	-3,50	+2,10	-2,10	+3,00	-3,00	+4,00	-4,00
» 2000 » 2500		+2,10	-2,10	+3,00	-3,00	+4,00	-4,00	+2,50	-2,50	+3,50	-3,50	+4,50	-4,50
» 2500 » 3150		+2,40	-2,40	+3,50	-3,50	+4,50	-4,50	+3,00	-3,00	+4,00	-4,00	+5,00	-5,00
» 3150 » 4000		+2,80	-2,80	+4,00	-4,00	+5,00	-5,00	+3,50	-3,50	+4,50	-4,50	+5,00	-5,00
» 4000 » 5000		+3,40	-3,40	+4,50	-4,50	+5,60	-5,60	+4,00	-4,00	+5,00	-5,00	+6,00	-6,00
» 5000 » 6300		+4,00	-4,00	+5,10	-5,10	+6,20	-6,20	+4,50	-4,50	+5,50	-5,50	+6,50	-6,50
» 6300 » 8000		+4,50	-4,50	+5,80	-5,80	+7,00	-7,00	+5,00	-5,00	+6,00	-6,00	+7,00	-7,00
» 8000 » 10000		+5,00	-5,00	+6,50	-6,50	+8,00	-8,00	+5,50	-5,50	+6,50	-6,50	+8,00	-8,00

14. Допуски на размеры незакоординированных технологических радиусов штампованных заготовок

Номинальный размер радиуса в мм	Классы точности											
	4		5		6		4		5		6	
	Отклонения в мм											
	Для штамповок из алюминиевых, магниевых и медных сплавов						Для штамповок титановых сплавов					
верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	
2,5	+1,0	-0,5	+1,5	-0,5	-	-	+1,5	-0,5	+2,0	-0,5	-	-
3,0	+1,5	-0,5	+2,0	-1,0	-	-	+2,0	-0,5	+2,5	-1,0	-	-
4,0	+2,0	-1,0	+2,5	-1,0	-	-	+2,5	-1,0	+3,0	-1,0	-	-
5,0	+2,0	-1,0	+2,5	-1,0	+3,0	-1,5	+2,5	-1,5	+3,0	-1,5	+3,5	-2,0
6,0	+2,5	-1,0	+3,0	-1,5	+3,5	-2,0	+3,0	-1,5	+3,5	-2,0	+4,5	-2,0
8,0	+3,0	-1,5	+3,5	-2,0	+4,0	-2,0	+3,5	-2,0	+4,5	-2,0	+5,0	-2,5
10	+3,0	-1,5	+4,0	-2,0	+5,0	-2,5	+4,0	-2,0	+5,0	-2,5	+6,0	-3,0
12,5	+3,5	-1,5	+4,5	-2,0	+5,5	-2,5	+4,5	-2,0	+5,5	-2,5	+6,5	-3,0
15	+3,5	-2,0	+4,5	-2,5	+6,0	-3,0	+4,5	-2,5	+5,5	-3,0	+7,0	-3,5
20	+4,0	-2,0	+5,0	-2,5	+6,5	-3,5	+5,0	-2,5	+6,0	-3,0	+7,5	-3,5
25	+4,0	-2,0	+5,0	-2,5	+7,0	-3,5	+5,0	-3,0	+6,5	-3,5	+8,0	-4,0
30	+4,5	-2,5	+5,5	-3,0	+7,5	-3,5	+5,5	-3,0	+7,0	-3,5	+8,5	-4,0
35	+5,0	-2,5	+6,0	-3,0	+7,5	-4,0	+6,0	-3,0	+7,5	-3,5	+8,5	-4,5
40	+5,5	-3,0	+6,5	-3,5	+8,0	-4,0	+6,5	-3,0	+7,5	-4,0	+9,0	-4,5
45	+5,5	-3,0	+7,0	-3,5	+8,5	-4,5	+6,5	-3,5	+8,0	-4,0	+9,5	-5,0
50	+6,0	-3,0	+7,5	-4,0	+9,0	-4,5	+7,0	-3,5	+8,5	-4,5	+10	-5,0

15. Допускаемое смещение (в мм) по плоскости разреза штампа для штампованных заготовок

Площадь проекции штампованной заготовки на плоскость разреза штампа в см ²	Классы точности			Площадь проекции штампованной заготовки на плоскость разреза штампа в см ²	Классы точности		
	4	5	6		4	5	6
До 6	0,15	0,20	0,30	Св 1 700 до 2 240	1,40	2,00	2,60
Св. 6 до 10	0,18	0,25	0,35	» 2 240 » 3 000	1,60	2,20	2,80
» 10 » 16	0,20	0,30	0,40	» 3 000 » 4 000	1,80	2,40	3,00
» 16 » 25	0,24	0,35	0,50	» 4 000 » 5 300	2,00	2,60	3,30
» 25 » 40	0,28	0,40	0,60	» 5 300 » 6 300	2,20	2,80	3,60
» 40 » 80	0,30	0,50	0,80	» 6 300 » 8 000	2,50	3,10	4,00
» 80 » 160	0,40	0,60	1,00	» 8 000 » 10 000	2,80	3,40	4,40
» 160 » 320	0,50	0,80	1,20	» 10 000 » 12 500	3,10	3,80	4,80
» 320 » 480	0,60	1,00	1,50	» 12 500 » 16 000	3,40	4,20	5,20
» 480 » 800	0,80	1,20	1,80	» 16 000 » 20 000	3,70	4,60	5,60
» 800 » 1250	1,00	1,50	2,10	» 20 000 » 25 000	4,00	5,00	6,00
» 1250 » 1700	1,20	1,80	2,40				

16. Допускаемое коробление (в мм) штампованных заготовок

Наибольший габаритный размер штампованной заготовки в мм	Классы точности					
	4	5	6	4	5	6
	Для штамповок из алюминиевых, магниевых и медных сплавов			Для штамповок из титановых сплавов		
До 16	0,10	0,15	0,25	0,2	0,3	0,4
Св. 16 до 25	0,15	0,20	0,30	0,25	0,4	0,5
» 25 » 40	0,20	0,30	0,35	0,3	0,5	0,6
» 40 » 60	0,25	0,30	0,40	0,4	0,6	0,8
» 60 » 100	0,30	0,40	0,50	0,45	0,7	1,0
» 100 » 160	0,35	0,50	0,65	0,5	0,8	1,2
» 160 » 250	0,40	0,60	0,80	0,6	0,9	1,4
» 250 » 360	0,45	0,70	1,00	0,7	1,0	1,6
» 360 » 500	0,50	0,80	1,20	0,8	1,2	1,8
» 500 » 630	0,60	0,90	1,40	0,9	1,3	2,0
» 630 » 800	0,70	1,00	1,50	1,1	1,5	2,2
» 800 » 1000	0,80	1,20	1,80	1,3	1,8	2,7
» 1000 » 1250	0,95	1,40	2,10	1,5	2,2	3,3
» 1250 » 1600	1,10	1,60	2,40	1,7	2,5	3,8
» 1600 » 2000	1,30	1,80	2,70	2,0	3,0	4,5
» 2000 » 2500	1,50	2,20	3,30	2,5	3,5	5,0
» 2500 » 3150	1,70	2,60	3,80			
» 3150 » 4000	2,00	3,00	4,50			
» 4000 » 5000	2,50	4,00	6,00			
» 5000 » 6300	3,00	5,00	8,00			
» 6300 » 8000	4,00	6,00	10,00			

17. Допуски на штамповочные уклоны штамповочных заготовок

Номинальный размер штамповочного уклона в град	Классы точности					
	4		5		6	
	Отклонения					
	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.
3	+0°30'	-0°30'	+1°00'	-1°00'	+1°30'	-1°30'
5	+0°30'	-0°30'	+1°00'	-1°30'	+1°30'	-1°30'
7	+0°45'	-0°45'	+1°00'	-1°00'	+1°30'	-1°30'
10	+1°00'	-1°00'	+1°30'	-1°00'	+2°00'	-1°30'
12	+1°30'	-1°00'	+2°00'	-1°30'	+3°00'	-2°00'
15	+2°00'	-1°30'	+3°00'	-2°00'	+4°00'	-3°00'

18. Допускаемое отклонение (в мм) от соосности прошиваемых отверстий в штампованных заготовках

Наибольший размер штампованной заготовки в мм	Классы точности		
	4	5	6
До 60	0,5	0,8	1,2
Св. 60 до 100	0,6	1,0	1,5
» 100 » 160	0,8	1,5	2,5
» 160 » 250	1,2	2,0	3,0
» 250 » 360	1,6	2,5	3,6
» 360 » 500	2,0	3,0	4,2
» 500 » 630	2,5	3,5	4,8
» 630 » 800	3,0	4,0	5,5

19. Допускаемый остаток от облоя (в мм) по периметру среза штампованных заготовок

Наибольший габаритный размер штампованной заготовки в мм	Классы точности		
	4	5	6
25	0,2	0,3	0,5
Св. 25 до 40	0,3	0,4	0,6
» 40 » 60	0,4	0,6	0,8
» 60 » 100	0,6	0,9	1,3
» 100 » 160	0,8	1,2	1,7
» 160 » 250	1,0	1,5	2,0
» 250 » 360	1,2	1,8	2,4
» 360 » 500	1,4	2,0	2,8
» 500 » 630	1,6	2,3	3,2
» 630 » 800	1,8	2,7	3,6
» 800 » 1000	2,0	3,0	4,0
» 1000 » 1250	2,3	3,4	4,5
» 1250 » 1600	2,6	3,8	5,0
» 1600 » 2000	3,0	4,6	5,5
» 2000 » 2500	3,5	5,0	6,0

Примечания: 1. При обрезке облоя на ленточных пилах допускается следующий остаток от облоя при длине штампованных заготовок до 1000 мм — 3 мм, св. 1000 мм — 6 мм.
2. В местах закруглений допускается остаток от облоя до 20 мм.

В них предусмотрены три класса точности: 4-й, 5-й и 6-й (первые три класса зарезервированы для штамповок, получаемых по специальным технологическим процессам).

4-й класс точности предназначен для определения предельных отклонений размеров между необработываемыми поверхностями конструктивных элементов технологических штамповок, т. е. штамповок, отработанных в соответствии с приведенными выше рекомендациями.

Отклонения по 4-му классу точности нельзя назначать на следующие конструктивные элементы штамповок:

на толщину полотен закрытых сечений (двухтавровых швеллерных) при отношении расстояния a между ребрами к толщине s полотна выше 15 для штамповок из алюминиевых сплавов и при отсутствии возможности создания на полотне приемника для удаления избыточного металла в виде отверстия облегчения или в виде утолщения, которое удаляется механической обработкой;

на толщину полотен открытых сечений (тавровых) и крестообразных при отношении ширины полотна к

$$\text{толщине } \frac{b}{s} > 20;$$

на толщину полотен плоских сечений при $\frac{b}{s} > 15$.

Допуски по 4-му классу точности можно обеспечить при соблюдении следующих условий:

правильного распределения материала исходной заготовки фасонной ковкой на молотах или высадкой на горизонтально-ковочных машинах; применением горячей калибровки;

5-й класс точности предназначен для определения предельных отклонений размеров между необработываемыми поверхностями технологических штамповок всех конфигураций (без ограничений, принятых для штамповок 4-го класса точности).

Для достижения допусков по 5-му классу точности требуется соблюдение тех же условий, что и для допусков по 4-му классу за исключением применения горячей калибровки.

6-й класс точности предназначен для определения предельных отклонений размеров между обрабатываемыми поверхностями штамповок всех конфигураций. Допуски по 6-му классу точности могут быть достигнуты обычными методами кузнечной обработки.

Назначение допусков. При назначении допускаемых отклонений необходимо руководствоваться следующими положениями (рис. 13):

1) если размеры H и s вертикальные, определяют толщину штампован-

ной заготовки и обуславливают двухсторонний износ штампов, то допуски на них определяются в зависимости от площади проекции штампованной

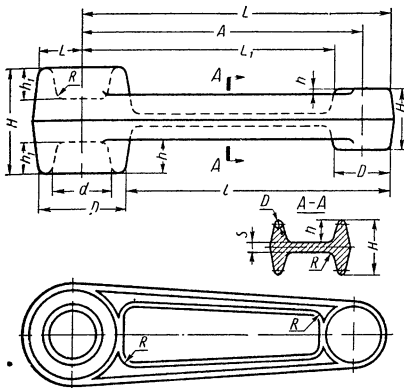


Рис. 13. Размеры заготовки для назначения допусковых отклонений (допусков)

заготовки на плоскость разреза штампа (табл. 10);

2) если размеры h и h_1 вертикальные, определяют глубину выемки в штампованной заготовке и обуславливают износ штампа в одном направлении, то допуски на них определяются в зависимости от площади проекции штампованной заготовки на плоскость разреза штампа и следующих условий; если дно углубления (h) не удаляется просечкой или механической обработкой — по табл. 11; если дно углубления (h_1) удаляется просечкой или механической обработкой — по табл. 10 (с обратным знаком);

3) если размеры D горизонтальные, определяют длину или ширину штампованной заготовки или ее элемента и обуславливают двухсторонний износ штампов, то допуски на них определяются в зависимости от величины соответствующего размера по табл. 12;

4) если размеры d горизонтальные, определяют длину и ширину выемки в штампованной заготовке и обуславливают двухсторонний износ штампа, то значения допусков для них, указанные в табл. 12, принимаются с обратным знаком;

5) если размеры L и L_1 горизонтальные и обуславливают односторонний износ штампов, то допуски на них определяются половинным значением допусков на удвоенный размер ($2L$ или $2L_1$), взятый по табл. 12. Для размера L допуск берется с тем же знаком, а для L_1 с обратным;

6) если размеры A и l горизонтальные, определяют расстояние между центрами бобышек или других элементов и обуславливают износ штампов в одном направлении, то допуски на них определяются в зависимости от величины соответствующего размера по табл. 13;

7) на незакоординированные технологические радиусы R допуски определяются в зависимости от величины радиуса по табл. 14;

8) допуски на смещение штампованных заготовок в плоскости разреза штампа устанавливаются в зависимости от площади проекций штампованной заготовки на плоскость разреза штампа по табл. 15. Допуски на смещение не зависят от других допусков и являются дополнением к ним;

9) допусковое коробление (кривизна, прогиб) устанавливается по наибольшему габаритному размеру штампованной заготовки по табл. 16. Допуски на коробление не зависят от других допусков и являются дополнением к ним;

10) допуски на штамповочные уклоны определяются в зависимости от величины штамповочного уклона по табл. 17. Допуски на штамповочные уклоны не зависят от других допусков и являются дополнением к ним.

11) допусковое отклонение от соосности прошиваемых отверстий определяется в зависимости от наибольшего габаритного размера штампованной заготовки по табл. 18;

12) допусковая величина остатка от облоя устанавливается по наибольшему габаритному размеру штампованной заготовки и способу обрезки по табл. 19. Остаток от облоя не зависит от других допусков и является дополнением к ним;

13) допуски на размеры проставляются в числовых значениях;

14) в зависимости от технологичности отдельных элементов штампован-

ных заготовок допуски на размеры этих элементов могут назначаться по различным классам точности;

15) если сечение штампованной заготовки в плоскости, перпендикулярной разряду, имеет форму круга, то допуск на диаметр этого круга может быть определен как на вертикальные (по табл. 10), так и горизонтальные (по табл. 12) размеры. Принимается тот из них, поле которого больше;

16) допуски на размеры, которые отсутствуют на чертеже штампованной заготовки, но могут быть рассчитаны на основании имеющихся размеров, определяются по соответствующим таблицам, а не суммированием или вычитанием допусков на отдельные размеры;

17) в отдельных случаях при производстве штампованных заготовок для деталей с большими и тонкими полками, а также при отсутствии деформирующего оборудования нужной мощности допуски на размеры могут назначаться не по настоящим

при чистоте обработки $\nabla 4$ и наибольшем габаритном размере 173,5 мм).

На рис. 15 приведен чертеж штампованной заготовки для этой же детали.

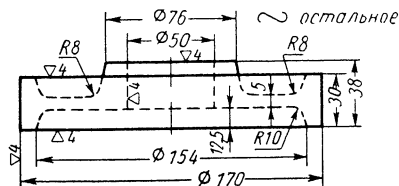


Рис. 14. Чертеж крышки

Назначены следующие допуски:

на горизонтальные размеры:

по диаметру $173,5^{+2,0}_{-1,2}$ (табл. 12 для размеров 160—250, 6-й класс точности);

по диаметру $76^{+1,0}_{-0,6}$ (табл. 12 для размеров 60—100, 5-й класс точности);

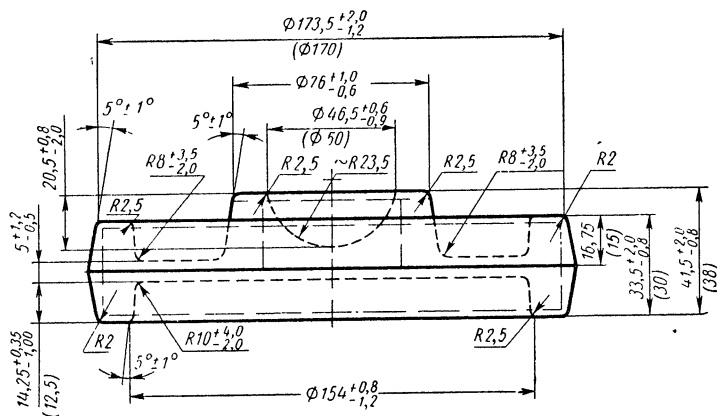


Рис. 15. Чертеж заготовки для крышки

таблицам, а по согласованию заказчика и потребителя.

Примеры расчета допусков и припусков на штамповки. Пример 1. На рис. 14 приведен чертеж обработанной крышки из алюминиевого сплава АК6 (АМТУ 262—55). На механическую обработку назначен припуск 1,75 мм на сторону (по табл. 9, для алюминиевых сплавов

по диаметру $46,5^{+0,6}_{-0,6}$ (табл. 12 для размеров 40—60, 6-й класс точности с учетом положения, отмеченного на стр. 117 п. 4);

по диаметру $154^{+0,8}_{-1,2}$ (табл. 12 для размеров 100—160, 5-й класс точности с учетом положения, отмеченного на стр. 117 п. 4);

на вертикальные размеры:

по высоте $41,5^{+3,0}_{-3,0}$ (табл. 10 для

площади проекции 160—320, 6-й класс точности);

по высоте $33,5^{+0,2}_{-0,3}$ (табл. 10 для площади проекции 160—320, 6-й класс точности);

по толщине перемычки $5^{+1,2}_{-0,3}$ (табл. 10 для площади проекции 160—320, 5-й класс точности);

по глубине выемки $14,25^{+0,35}_{-1,00}$ (табл. 11 для площади проекции 160—320, 6-й класс точности);

по глубине выемки $20,5^{+0,8}_{-0,8}$ (табл. 10 для площади проекции 160—320,

алюминиевого сплава АК6 (АМТУ 262—55). Припуск на механическую обработку назначен 2,25 мм на сторону (по табл. 9 для алюминиевых сплавов, при чистоте обработки $\nabla 6$ и наибольшем габаритном размере $\infty 173$ мм).

На рис. 17 приведен чертеж штампованной заготовки для этой же детали.

Назначены следующие допуски:

на горизонтальные размеры:

по диаметрам $34^{+0,60}_{-0,35}$, $29^{+0,60}_{-0,35}$,

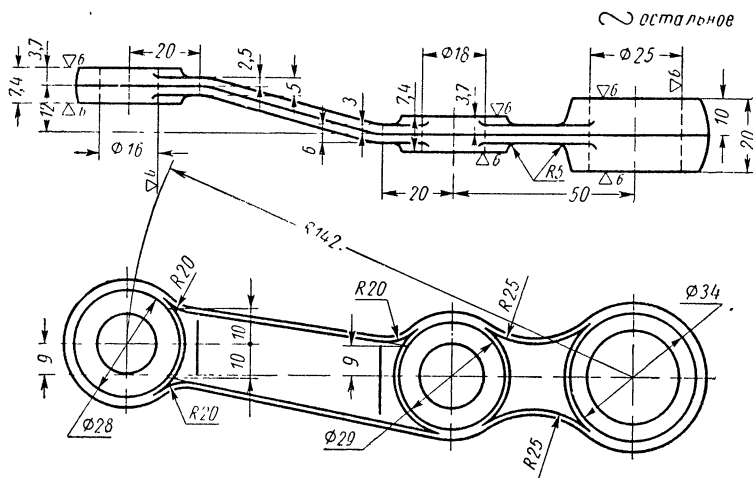


Рис. 16. Чертеж обработанной качалки

6-й класс точности с учетом положения, отмеченным на стр. 117 п. 2);

на радиусы закруглений и переходов $R8^{+3,5}_{-2,0}$ и $R10^{+4,0}_{-0,9}$ (табл. 14 5-й класс точности);

на смещение — 0,8 мм (табл. 15 для площади проекции 160—320, 5-й класс точности);

на коробление — 0,6 мм (табл. 16 для размеров 160—250, 5-й класс точности);

на штамповочные уклоны — $5^\circ \pm 1^\circ$ (табл. 17 5-й класс точности);

на остаток облоя — 1,5 мм (табл. 19 для размеров 160—250, 5-й класс точности).

Пример 2. На рис. 16 приведен чертеж обработанной качалки из

$28^{+0,60}_{-0,35}$ (табл. 12 для размеров 25—40, 5-й класс точности);

по ширине детали $20^{+0,10}_{-0,40}$ (табл. 12 для размеров 16—25, 6-й класс точности);

по ширине детали $9^{+0,30}_{-0,20}$ (табл. 12 для размеров 16—25, 6-й класс точности с учетом положения, отмеченного на стр. 117, п. 5);

по профилю детали $20^{+0,30}_{-0,18}$ (табл. 12 для размеров 25—40, 5-й класс точности с учетом положения, отмеченного на стр. 117, п. 5);

по расстоянию между центрами $9 \pm 0,1$ (табл. 13 для размеров до 16, 5-й класс точности);

по расстоянию между центрами $50 \pm 0,2$ (табл. 13 для размеров 40—60, 5-й класс точности);

по расстоянию между центрами $142 \pm 0,4$ (табл. 13 для размеров 100—160, 5-й класс точности);
по диаметру $20,5^{+0,4}_{-0,60}$ (табл. 12 для размеров 16—25, 6-й класс точ-

на штамповочные уклоны $-5^\circ \pm 1^\circ$ (табл. 17 5-й класс точности);
на остаток облоя — 1,0 мм (табл. 19 для размеров 160—250, 4-й класс точности).

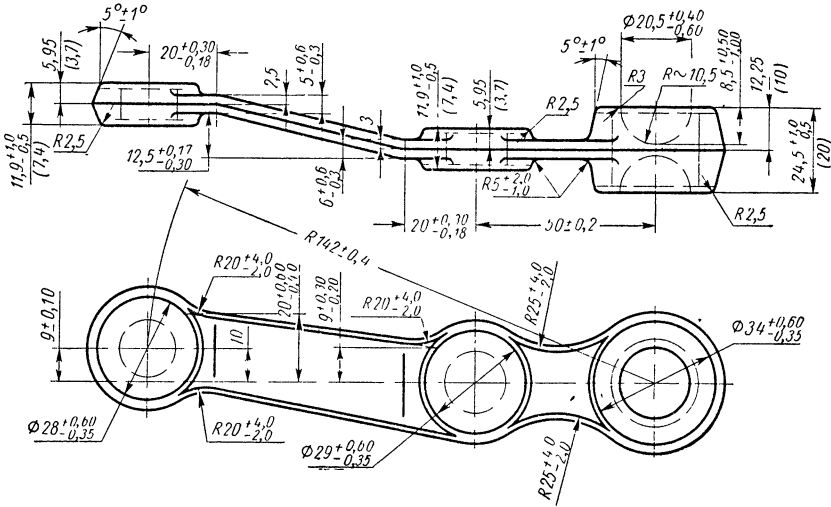


Рис. 17. Чертеж заготовки для качалок

ности с учетом положения, отмеченного на стр. 117 п. 4);

на вертикальные размеры:

по высоте $24,5^{+1,0}_{-0,3}$, $11,9^{+1,0}_{-0,5}$ (табл. 10 для площади проекции 25—40, 6-й класс точности);

по высоте $6^{+0,6}_{-0,3}$ (табл. 10 для площади проекции 25—40, 5-й класс точности);

по профилю детали $12,5^{+0,17}_{-0,30}$ (табл. 11 для площади проекции 25—40, 5-й класс точности);

по глубине выемки $8,5^{+0,30}_{-0,50}$ (табл. 10 для площади проекции 25—40, 6-й класс точности с учетом положения, отмеченного на стр. 117 п. 2);

на радиусы закруглений и переходов: $R5^{+2,0}_{-1,0}$, $R20^{+4,0}_{-2,0}$, $R25^{+4,0}_{-2,0}$ (табл. 14, 4-й класс точности);

на смещение — 0,4 мм (табл. 15 для площади проекции 25—40, 5-й класс точности);

на коробление — 0,6 мм (табл. 16 для размеров 160—250, 5-й класс точности);

Определение потребного усилия для штамповки

Вес падающих частей штамповочного молота двойного действия; для штампованных заготовок круглых в плане, может быть определен по следующей формуле:

$$G_n = k (1 - 0,005 D_n) \left(1,1 + \frac{2}{D_n} \right)^2 \times (0,75 + 0,001 D_n^2) D_n \sigma_{bt}$$

Для штампованных заготовок некруглых в плане — по формуле:

$$G_n = k (1 - 0,005 D_{np}) \left(1,1 + \frac{2}{D_{np}} \right)^2 \times (0,75 + 0,001 D_{np}^2) \times \left(1 + 0,1 \sqrt{\frac{L_n}{E_n c p}} \right) D_{np} \sigma_{bt}$$

где G_n — номинальный вес падающих частей штамповочного молота двойного действия в кг; D_n — диаметр круглой в плане штампованной заго-

товки в см; $D_{np} = 1,13\sqrt{F_n}$ — приведенный диаметр некруглой в плане штампованной заготовки в см; $B_{ncp} = \frac{F_n}{L_n}$ — средняя ширина некруглой в плане штампованной заготовки в см; F_n — площадь некруглой в плане штампованной заготовки в см²; L_n — длина некруглой в плане штампованной заготовки в см; σ_{bt} — предел прочности штампуемого материала при температуре конца штамповки в кг/см² (табл. 20); k — коэффи-

20. Предел прочности некоторых сплавов при температуре конца штамповки

Марка сплава	σ_{bt} в кг/мм ²	Марка сплава	σ_{bt} в кг/мм ²
АМц, АД1	4	Д1	10—12
АМг, АМг3	7—8	Д20	9—10
АМг5В	10—11	Д21	16—18
АМг3, АМг7	13—15	Д16	14
АВ	6—7	МА2	5
АК2, АК4, АК4-1	7,5—9,0	МА3	12
АК6	8—9	ВМ7	5
АК8, ВД17	12—14	ВМ17	5
В95	7,5—8,5	Бр АЖ 9-4	4
В95-1	7—8	Бр Б2	5
		ВТ1	
		ВТ3	7,5
		ВТ3-1	
		ВТ4	
		ВТ5	10
		ВТ8	

циент, учитывающий свойства штампуемого материала. Для алюминиевых, магниевых и медных сплавов $k = 10 \div 15$; для титановых — $k = 12 \div 18$. Наибольшее значение k принимается для наибольших значений σ_{bt} .

Вес падающих частей штамповочного молота простого действия определяется по формуле

$$G_{nl} = (1,5 \div 1,8) G_n$$

Усилие кривошипного горячештамповочного пресса для штампованных заготовок круглых в плане может быть определено по формуле

$$P = 8(1 - 0,001D_n) \left(1,1 + \frac{20}{D_n}\right)^2 F_n \sigma_{bt}$$

Для штампованных заготовок некруглых в плане — по формуле

$$P = 8(1 - 0,001D_{np}) \left(1,1 + \frac{20}{D_{np}}\right)^2 \times \left(1 + 0,1 \sqrt{\frac{L_n}{B_{ncp}}}\right) F_n \sigma_{bt}$$

(составляющие формулы такие же, как для определения веса падающих частей штамповочных молотов).

Усилие гидравлического пресса определяется по формуле

$$P = z m F k,$$

где P — усилие гидравлического пресса в кг; z — коэффициент, учитывающий условия деформирования:

	z
Свободная ковка	1,0
Штамповка заготовок простой конфигурации	1,5
Штамповка заготовок сложной конфигурации	1,8
Штамповка заготовок очень сложной конфигурации с резкими переходами между сечениями; штамповка заготовок с большим отходом металла в облой; штамповка заготовок при наличии в металле полостей, заполняемых истечением	2,0

m — коэффициент, учитывающий влияние деформируемого объема:

Объем штампуемой заготовки в см ³	m
До 25	1,0
25 до 100	1,0—0,9
» 100 » 1 000	0,9—0,8
» 1 000 » 5 000	0,8—0,7
» 5 000 » 10 000	0,7—0,6
» 10 000 » 15 000	0,6—0,5
» 15 000 » 25 000	0,5—0,4
Св 25 000	0,4

F — площадь проекции штампуемой заготовки (без учета облоя) на плоскость, перпендикулярную направлению деформирующей силы, в см²; k — удельное давление в кг/см², соответствующее конечным условиям деформирования: для штампованных заготовок с тонкими и широкими полотноми из алюминиевых, магниевых и медных сплавов $k = 5000$, из титановых сплавов $k = 6000$; для прочих штамповок из алюминиевых, магниевых и медных сплавов $k = 3000$, из титановых сплавов $k = 5000$.

Усилие фрикционного прессы может быть определено по формуле

$$P = 2k\sigma_{bl}F,$$

где P — усилие фрикционного прессы в $\kappa\Gamma$; k — коэффициент, учитывающий условия деформирования (скорость и др.). Для фрикционных прессов $k = 5$; σ_{bl} — предел прочности при температуре конца штамповки в $\kappa\Gamma/\text{см}^2$. F — площадь проекции штампованной заготовки на плоскость разреза в см^2 .

Элементы конструкции штампов

Исходным документом для проектирования ковочных штампов является чертеж штампованной заготовки. Штампы для сплавов цветных металлов практически ничем не отличаются от штампов, применяемых для штамповки конструкционной стали. Они могут быть выполнены на кубиках и на вставках. Такие конструктивные элементы штампов, как посадочные места, направляющие (замки и колонки), установочные угольники, отверстия для транспортировки остаются такими же, как для стали. Исключение составляют облойные канавки, выемки для клещевины и др., которые для алюминиевых и магниевых сплавов имеют свои специфические особенности.

Усадка для штампованных заготовок из алюминиевых сплавов при условии нагрева штампа в процессе работы на $300\text{--}350^\circ\text{C}$ составляет $0,8\%$, при температуре штампа ниже 250°C усадка должна быть не ниже 1% .

Для магниевых сплавов усадка составляет $0,7\text{--}0,8\%$ при нагреве штампов на $250\text{--}300^\circ\text{C}$. Для титановых сплавов при оптимальной температуре нагрева штампов ($300\text{--}400^\circ\text{C}$) средняя величина усадки колеблется в пределах $0,6\text{--}0,7\%$. Для медных сплавов усадка может колебаться в пределах $1,2\text{--}1,5\%$.

Облойные канавки. В штампах для заготовок из алюминиевых и магниевых сплавов толщину $2a$ облойного мостика и радиус сопряжения r стенки полости с облойным мостиком делают значительно большими (при-

мерно на 30%) чем для стали. Невыполнение этого условия может привести к трещинам по линии разреза штампованных заготовок, которые проявляются после обрезки облоя (неисправимый брак).

В табл. 21—23 приведены размеры облойных канавок для различных условий штамповки заготовок из алюминиевых, магниевых сплавов и различного штамповочного оборудования. Для штамповки заготовок из медных и титановых сплавов значения a , l и r нужно уменьшить на 30% .

Выемки для клещевины. Образующийся при штамповке облой склонен к растрескиванию и отделению от тела штамповки. Большую опасность

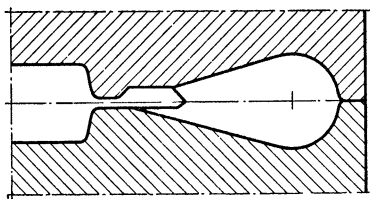
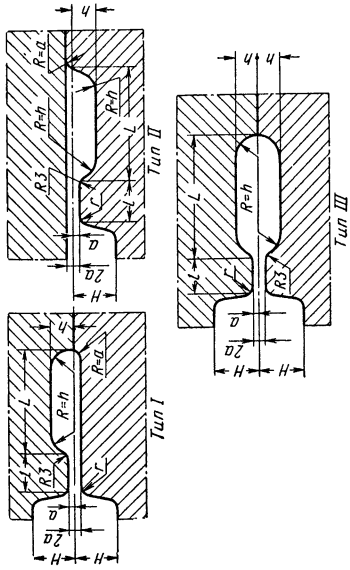


Рис. 18. Закрытия выемки для клещевины

в этом отношении представляют открытые выемки для клещевины, откуда может вылетать кусок облоя и травмировать находящихся поблизости людей. В связи с применением для штамповки сплавов цветных металлов преимущественно одnorучевых штампов нет необходимости в открытых клещевинах, поэтому их выполняют закрытыми (рис. 18).

Чистота поверхности полости штампа. В связи с тем что алюминиевые и магниевые сплавы штампуются при сравнительно низких температурах и с меньшими, чем для стали, штамповочными уклонами удаление штамповки из полости штампа при обычной чистоте обработки затруднительно, поэтому полость штампа надо изготовлять с чистотой $\nabla 9$, что достигается полировкой. Для облегчения получения заданной чистоты термическую обработку штампов для алюминиевых и магниевых сплавов

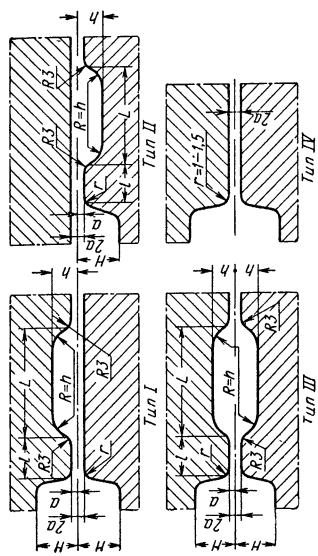
21. Канавки для облой молотовых штампов



Вес падающих частей штампочного молота в т	2a		h		L		Глубина ручья H		
	при осадке	при выдавливании	при осадке	при выдавливании	при осадке	при выдавливании	До 20	Св 20 до 40	Св 40
До 1	2,0	10	5	8	10	30	1,5	2,0	3,0
Св. 1 до 2	3,0	10	6	10	12	35	2,0	2,5	3,5
» 2 » 4	4,5	8	8	12	15	45	2,5	3,0	4,0
» 4 » 6,3	6,0	10	10	15	18	50	3,0	3,5	4,5
» 6,3 » 10	8,0	12	12	18	22	55	4,0	4,5	5,5

Примечание: Тип I применяют при штамповке с небольшим облоем; тип II применяют при расположении полости штампа в одном нижнем бойке (верхний боек гладкий); тип III применяют при штамповке с большим избытком металла.

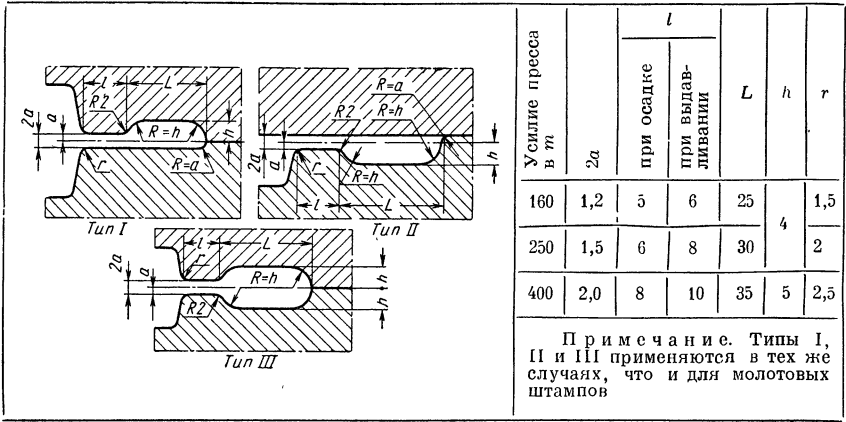
22. Канавки для облой штампов на кривошипные горячештампованные прессы



Усилие прессы T	2a		h		Типы I, II, III			Глубина ручья H			Тип IV	
	при осадке	при выдавливании	при осадке	при выдавливании	при осадке	при выдавливании	при осадке	при выдавливании	при осадке	при выдавливании		при осадке
630	2,0	9,0	5,0	8,0	1,5	2,0	2,5	3,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1000	3,0	7,0	6,0	9,0	2,0	2,5	3,0	3,5	2,0	2,5	3,0	3,5
1600	3,5	8,0	8,0	10,0	2,5	3,0	3,5	4,0	2,5	3,0	3,5	4,0
2000	4,0	10,0	10,0	12,0	3,0	3,5	4,0	4,5	3,0	3,5	4,0	4,5
2500	5,0	12,0	12,0	14,0	3,5	4,0	4,5	5,0	3,5	4,0	4,5	5,0
4000	6,0	14,0	14,0	16,0	4,0	4,5	5,0	5,5	4,0	4,5	5,0	5,5
6300	6,0	14,0	14,0	16,0	4,0	4,5	5,0	5,5	4,0	4,5	5,0	5,5

Примечание: Размер L назначается не менее 40 мм, тип IV применяется для калибровочных операций; типы I, II и III применяются в тех же случаях, что и для молотовых штампов

23. Канавки для облоя штампов на фрикционные прессы



производят на несколько большую твердость. Для штамповки медных сплавов полость штампа выполняется как и для стали. Чистота обработки полости штампа для титановых сплавов $\nabla 9$.

ШТАМПОВКА НА ГОРИЗОНТАЛЬНО-КОВОЧНЫХ МАШИНАХ

На горизонтально-ковочных машинах штампуют главным образом алюминиевые и титановые сплавы.

Правила расчета переходов высадки. Максимальная длина прутка, которую можно высадить за один ход машины без дефектов, зависит от диаметра высаживаемого прутка и определяется коэффициентом высадки

$$k_e = \frac{L_e}{d}$$

где L_e — длина высаживаемой части; d — диаметр исходной заготовки.

При высадке алюминиевых и титановых сплавов необходимо соблюдать следующие соотношения длин и диаметров заготовок.

Соотношения длин и диаметров заготовок:

при высадке заготовок с ровным торцом, в матрице, без ограничения уширения (рис. 19, а);

$$d \text{ в мм } \geq 50 \quad 30-50 \leq 30$$

$$k_e \leq 2 \quad \leq 1,8 \quad \leq 1,6;$$

при высадке заготовок с наметкой под прошивку или с неравным торцом (рис. 19, б)

$$d \text{ в мм } \geq 50 \quad 30-50 \leq 30$$

$$k_e \leq 1,8 \quad \leq 1,6 \quad \leq 1,3.$$

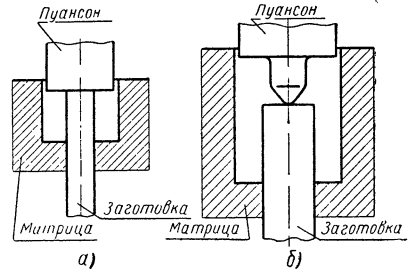


Рис. 19. Высадка заготовок в матрице без ограничения уширения

Степень деформации за один переход не должна превышать 50%:

при высадке в пуансоне (рис. 20, а) прутков диаметром

$$d_n \quad D_n \quad h \quad k_e$$

св. 30 мм: 1,05d 1,3d 1,2d ≤ 4
 до 30 мм: 1,05d 1,2d 1,2d ≤ 3

Расчет второго и последующего переходов производят по среднему

диаметру усеченного конуса предыдущего перехода, придерживаясь рекомендуемых соотношений для первой операции высадки в пуансоне

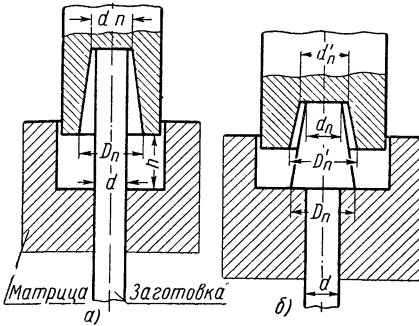


Рис. 20. Высадка заготовок в пуансоне

(рис. 20, б): $d'_n = 1,05 d_n$; $D'_n = 0,6 \times (D_n + d_n)$;

при высадке в матрице с ограничением уширения и без ограничения длины $l_в$ высаживаемой части нужно придерживаться следующих соотношений (рис. 21):

$$\begin{aligned} d > 30 \text{ мм}, & D_m \leq 1,2; \\ d \leq 30 \text{ мм}, & D_m \leq 1,15. \end{aligned}$$

Основные схемы прошивки. С х е м а 1 (рис. 22) — полость образуется в основном за счет раздачи ме-

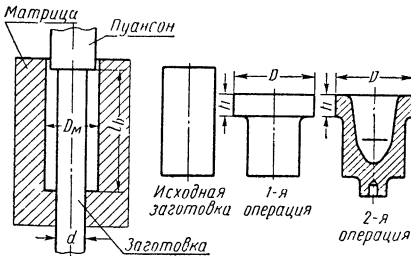


Рис. 21. Высадка заготовок в матрице с ограничением уширения

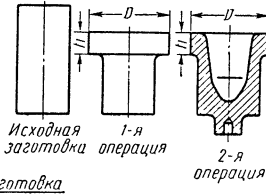


Рис. 22. Схема прошивки за счет раздачи металла в стороны

рают бурт, размеры которого соответствуют размерам детали. Иногда одновременно с высадкой бурта делают наметку под прошивку для направления прошивного пуансона. Бурт служит для центрирования заготовки в следующем ручье и устранения деформации в направлении прошивки. В зависимости от глубины полости производят прошивку в один или несколько переходов. При введении пуансона металл раздается в стороны, образуя полость. При прошивке возникают значительные растягивающие напряжения в прошитой части заготовки после введения пуансона глубже высоты бурта. Указанное обстоятельство создает неблагоприятные условия деформирования малопластичных алюминиевых сплавов.

С х е м а 2 (рис. 23) — прошивка со встречным течением металла (обратное прессование). Диаметр исходной заготовки выбирают равным ди-

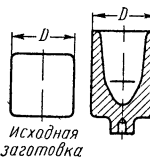


Рис. 23. Схема прошивки с встречным течением металла

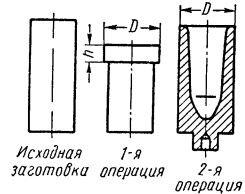


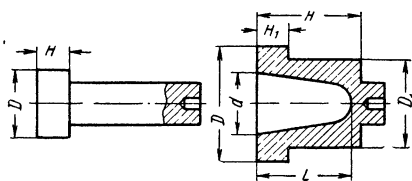
Рис. 24. Схема прошивки с предварительной высадкой бурта

аметру детали. Прошивка протекает в условиях неравномерного всестороннего сжатия, поэтому ее можно применять для получения полости в заготовках из малопластичных металлов. Усилие прошивки по этой схеме значительно больше, чем по схеме с раздачей металла. Глубина прошивки в данном случае ограничивается величиной хода и графиком усилий машины.

С х е м а 3 (рис. 24) — прошивка объединяет в себе элементы деформирования схем 1 и 2. В первой операции на торце заготовки высаживается бурт, диаметр которого равен диаметру детали, а высота его $h = 0,3D$. Бурт служит только для центровки

металла в стороны. Площадь сечения исходной заготовки равна площади сечения прошитой детали. В 1-й операции высадкой в матрице наби-

24. Допуски на размеры (в мм) штампов, изготавливаемых высадкой на горизонтально-ковочных машинах



H и L	D и d							
	До 50		50—100		100—150		Св. 150	
	H	D	H	D	H	D	H	D
До 50	+1,5 -1,0	+1,0 -0,5	+2,0 -1,0	+1,5 -1,0	+2,5 -1,5	+2,0 -1,0	+3,0 -2,0	+2,5 -1,5
Св 50 до 100	+2,0 -1,0	+1,5 -1,0	+2,5 -1,5	+2,0 -1,0	+3,0 -2,0	+2,3 -1,5	+3,3 -2,0	+2,7 -1,5
Св. 100 до 150	+2,5 -1,5	+2,0 -1,0	+3,0 -2,0	+2,5 -1,5	+3,3 -2,0	+2,7 -1,5	+3,5 -2,0	+3,0 -2,0
Св. 150	+3,0 -2,0	+2,0 -1,5	+3,3 -2,0	+2,7 -1,5	+3,5 -2,0	+3,0 -2,0	+4,0 -2,5	+3,5 -2,0

Примечание. На внутренние размеры допуск — с обратным знаком.

25. Наружные штамповочные уклоны на торцевых поверхностях буртов

h или h ₁ в мм	До 10	10—16	16—30	30—50	50—70
α в град	1	2	3	5	7

заготовки в прошивном ручье. Прошивку производят пуансоном с шаровым или коническим концом. В начальный период прошивки одновременно с внедрением пуансона в металл происходит осадка заготовки, так как бурт в данном случае не удерживает заготовку, а лишь служит для ее центровки. Внедрение пуансона в материал сопровождается осадкой до тех пор, пока вызываемые пуансоном сжимающие напряжения станут меньше сопротивления осадки непрошитой части заготовки. После этого происходит раздача заготовки в стороны с течением металла навстречу пуансону в конечный период прошивки.

Составление чертежа штамповки. Чертеж штамповки разрабатывают на основании чертежа чистой детали. На обрабатываемые поверхности детали назначают припуск, величину которого определяют по табл. 9 в зависимости от величины линейного размера и класса чистоты поверхности. Если заготовка высаживается на оправке, то при назначении припуска на торец, примыкающий к ней, необходимо учитывать глубину отверстия в заготовке для захода направляющей части оправки. После механической обработки торца не должно оставаться следов отверстия. Допуски на размеры штамповки назначают по табл. 24. До-

пускаемые искажения формы высаженной заготовки (смещение, разностенность, эллипсность и др.) такие же, что и для стальных штамповок. Величина штамповочных уклонов зависит от соотношения размеров отдельных конструктивных элементов и характера их формообразо-

вочный уклон γ зависит от отношения l/d :

$$\frac{l}{d} = 0,5 \div 2,5, \quad \gamma = 15' \div 30';$$

$$\frac{l}{d} = 2,5 \div 4,5, \quad \gamma = 30' \div 1^\circ.$$

Угол γ можно определять по формуле $\gamma = \left(\frac{l}{d} - 0,5 \right) \text{ мин.}$ Если $\frac{l}{d} \leq 0,5$, то $\gamma = 0$.

Радиусы закруглений и переходов (рис. 26) определяют по формулам

$$r_1 = 0,2h + 1 \text{ мм};$$

$$r_2 = 0,07(d + l) \text{ мм}; \quad r_3 = 0,2d \text{ мм}.$$

Остальные радиусы определяют в зависимости от величины припуска на механическую обработку и обычно принимают максимально возможными

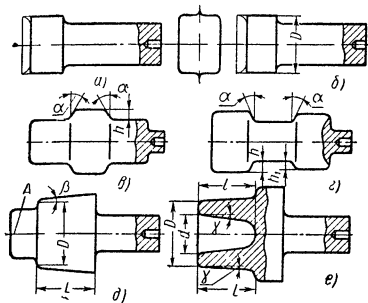


Рис. 25. Назначение штамповочных уклонов на заготовки, получаемые высадкой

вания. При высадке в матрице заготовок без буртов (рис. 25, а и б) наружным поверхностям штамповочные уклоны не придаются. При высадке в матрице заготовок с одним буртом по середине (рис. 25, в), или с двумя буртами на концах (рис. 25, г) наружные уклоны α на торцах буртов назначают по табл. 25.

При оформлении в пуансоне (рис. 25, д) наружный штамповочный уклон β зависит от отношения L/D :

$$L/D = 0,3 \div 2,2, \quad \beta = 15' \div 30';$$

$$L/D = 2,2 \div 4,2, \quad \beta = 30' \div 1^\circ.$$

Элементы штамповки, получаемые истечением (участок А, рис. 25, д), выполняют без штамповочных уклонов или с уклоном в 1° при глубоких подостях.

Угол β может быть определен по формуле

$$\beta = 15 \left(\frac{L}{D} - 0,3 \right) \text{ мин.}$$

Если $\frac{L}{D} \leq 0,3$, то $\beta = 0$.

При прошивке глухих отверстий (рис. 25, е) внутренний штампо-

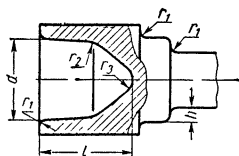


Рис. 26. Радиусы закругления переходов

Определение усилия высадки. Полезное усилие P высадки определяют по усилию, необходимому для деформирования в окончательном ручье:

$$P = 5(1 - 0,001D_n) D_n^2 \sigma \quad (\text{без учета заусенца});$$

$$P = 5(1 - 0,001D_n) (D_n + 10)^2 \sigma \quad (\text{с учетом заусенца}),$$

где D_n — диаметр высаженной заготовки; σ — удельное сопротивление деформированию при температуре конца высадки.

Особенности конструкции штампов. Зажимной ручей обычной конструкции, принятой для стали, не обеспечивает требуемого зажима заготовки из алюминиевых сплавов. Применение его приводит к перемещению металла в осевом направлении в процессе высадки, следствием чего является неполное оформление штамповки.

Канавки в зажимной части ручья для увеличения интенсивности зажима в данном случае неприменимы, ибо на последующих переходах приводят к образованию зажимов и складок на зажимаемой части заготовки. Во избежание проскальзывания заготовки в осевом направлении помимо зажимной части ручья, применяют упор в клещи (рис. 27, а) или в стенку матрицы с использованием специальной оправки (рис. 27, б).

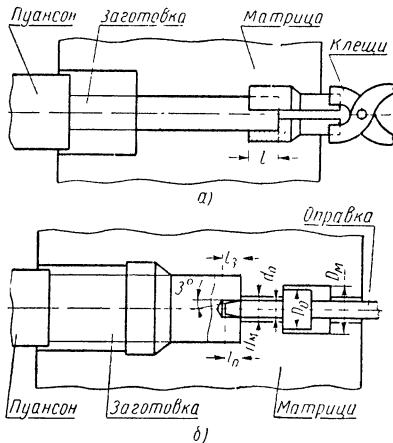


Рис. 27. Схемы упора заготовок при высадке

Для случая штамповки с упором заготовки в клещи длину зажимной части ручья принимают: при $d_{заг} > 60$ мм, равной $L_{з.р} = 3d_{заг}$; при $d_{заг} < 60$ мм, равной $L_{з.р} = 4d_{заг}$. В этом случае часть заготовки длиной $l = 0,5 d_{заг}$, но не менее 30 мм, должна находиться в зажимной части клещей (см. рис. 27, а).

Конструктивные элементы оправки и выемки в матрице и исходной, высаживаемой заготовке следующие: диаметр оправки $d_o = 6 \div 10$ мм; диаметр соответствующего отверстия в матрице $d_m = d_o + (2 \div 4)$ мм; длина конца оправки, заходящего в заготовку $l_o = (1,5 \div 2,0) d_o$; угол на длине l_o равен 3° ; длина отверстия в заготовке $l_3 = l_o + (2 \div 3)$ мм. Оправку выполняют с опорным фланцем $D_o = 25 \div 30$ мм; диаметр отвер-

стия в матрице под фланец оправки $D_m = D_o + (4 \div 5)$ мм.

Материал для штампов и вставок, а также режимы термической обработки штампов и нормы твердости после термообработки такие же, как для стальных штампов (ГОСТ 5950—63). Это также относится к допускам на изготовление полостей штампов и чистоте обработки.

КАЛИБРОВКА

Механизм холодной деформации при калибровке. Процесс холодной деформации при калибровке, как и в других случаях, сопровождается упрочнением (наклепом) металла, что приводит к изменению механических свойств и тем в большей мере, чем выше степень деформации.

Характер изменения механических свойств после холодной деформации для алюминиевого сплава АК6 приведен на рис. 28, из которого видно, что с увеличением степени деформации повышаются показатели прочности (пределы прочности, текучести и твердости) и снижаются показатели пластичности (удлинение, сужение и ударная вязкость).

Алюминиевые сплавы менее чувствительны к наклепу, чем сталь. Наклеп в результате холодного деформирования используется для повышения прочности деталей.

Сопоставление механических свойств образцов из алюминиевого сплава АК6, вырезанных из недеформированных закаленных заготовок, со свойствами образцов заготовок, деформированных в свежезакаленном состоянии*, и из заготовок, деформированных в отожженном состоянии и после этого подвергнутых закалке, показали, что предел прочности продольных и поперечных образцов из заготовок, деформированных в отожженном состоянии, а также ударная вязкость не отличаются от прочности и ударной вязкости образцов из

* Упрочняемые алюминиевые сплавы в течение 2—4 ч после закалки обладают высокой пластичностью и могут обрабатываться деформированием. Состояние в течение 2 ч после закалки называется свежезакаленным.

недеформированных заготовок. Относительное удлинение и относительное сужение у образцов, деформированных в отожженном состоянии, на 30—50% больше, чем у недеформированных. У заготовок, деформирован-

сохраняет точность размеров детали. С понижением степени деформации при калибровке снижение пластичности металла уменьшается. Так, например, при изготовлении лопаток компрессора реактивных двигателей

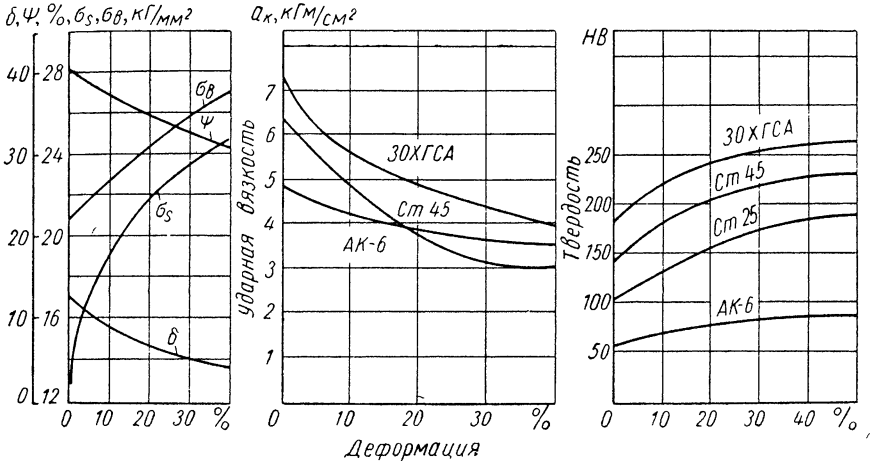


Рис. 28. Механические свойства образцов после холодной деформации

ных в свежезакаленном состоянии, предел прочности, главным образом у продольных образцов повышается на 2—3%, в то же время на 20—30% снижаются ударная вязкость, относительное удлинение и сужение.

Поскольку пластичность оказывает большое влияние на работоспособность деталей машин, подверженных знакопеременным нагрузкам, применение калибровки алюминиевых сплавов в свежезакаленном состоянии из-за снижения пластичности нецелесообразно. Поэтому рекомендуется производить калибровку сплава АК6, или в отожженном состоянии (так как при этом повышаются характеристики пластичности) или после горячей штамповки, если степень деформации сравнительно невелика.

Закалка после калибровки деталей сложных конфигураций приводит к их короблению и к весьма трудоемкой правке, в то время как калибровка в свежезакаленном состоянии

степень деформации при калибровке не превышает 5—6%. Такое небольшое обжатие не приводит к снижению пластичности деталей из алюминиевых сплавов, калиброванных в свежезакаленном состоянии, но позволяет избежать трудоемкой правки.

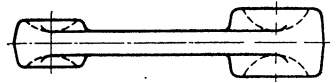


Рис. 29. Выемки в заготовках для уменьшения неравномерности деформации при калибровке

В процессе калибровки имеет место неравномерное распределение деформации по объему заготовки.

Для уменьшения неравномерности деформации, если позволяет конструкция заготовок, на поверхностях, подвергаемых калибровке, рекомендуется делать выемки (рис. 29).

Микроструктурным анализом, измерением твердости и микротвердости отдельных участков и кристаллитов структуры установлено, что наибольшее упрочнение происходит в средней части деформируемого объема и уменьшается от центра к периферии. На рис. 30 приведено

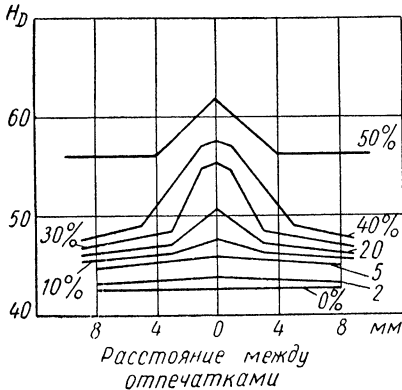


Рис. 30. Распределение микротвердости по сечению образцов

распределение микротвердости по сечению образцов из алюминиевого сплава АК6, осажненного в холодном состоянии с различной степенью деформации.

26. Допустимая степень холодной деформации при калибровке

Марка материала	Состояние образцов при деформации					
	без термической обработки			в свежезакаленном состоянии		
	Скорость деформации в м/сек					
	0,01	2	8	0,01	2	8
Допустимая степень холодной деформации при калибровке в %						
АК6	40	35	25	65	55	45

Допустимая степень холодной деформации. Значения допустимых степеней холодной деформации (табл. 26) установлены путем усреднения сте-

пеней деформации, при которых начинается разрушение металла с запасом пластичности в 15%.

Особенности деформации при калибровке. Плоские поверхности заготовки после калибровки становятся выпуклыми. В отдельных случаях выпуклость достигает нескольких десятых миллиметра. На величину выпуклости влияют главным образом следующие факторы:

механические свойства деформируемого материала — чем прочнее материал, тем больше выпуклость; упругие и механические свойства металла штампа — с увеличением модуля упругости и твердости металла штампа выпуклость уменьшается;

форма заготовок — выпуклость увеличивается с увеличением отношения диаметра изделия к его высоте;

применяемая смазка и чистота поверхности инструмента (применением смазки можно уменьшить величину выпуклости торцов при калибровке на 30%).

Появление выпуклости на калиброванной плоской поверхности вызывается не только неравномерностью нормальных напряжений, возникающих в результате контактного трения. Значительная доля выпуклости получается за счет упругого прогиба штампа. По Я. М. Охрименко величина упругого прогиба штампа при калибровке (чеканке) устанавливается по известной в теории упругости формуле Бусинекса (см. стр. 95), согласно которой вертикальные перемещения W точек на поверхности упругого полупространства (в случае калибровки достаточно толстой штамповой плиткой) под действием внешних сил P соответствуют:

$$W = \frac{P(1 - \lambda^2)}{\pi ES}$$

Для уменьшения выпуклости торцов при калибровке применяют различные технологические приемы (рис. 31). Точность калиброванных изделий может быть повышена применением вогнутых торцов на заготовках, предназначенных калибровке, а также калибровкой штампов

с выпуклыми рабочими поверхностями.

Вогнутость торцов заготовок и выпуклость рабочих поверхностей плиток штампа устанавливаются экспериментально и примерно соответствуют выпуклости торцов заготовок при калибровке плоскими плитками.

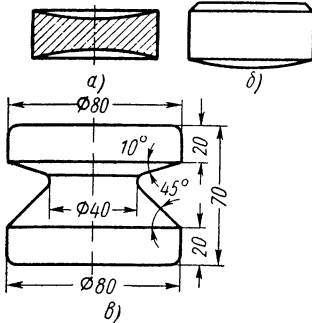


Рис. 31. Технологические приемы уменьшения выпуклости торцов при калибровке

В. И. Залесский и А. И. Штрымов рекомендуют для получения плоских поверхностей при калибровке применять штамп, показанный на рис. 31, в. Этот штамп должен быть рассчитан так, чтобы при достижении максимальной нагрузки его неопертая часть прогибалась на величину выпуклости торцов.

Величина выпуклости торцов может быть определена по эмпирической формуле, предложенной Р. И. Казаченок

$$F = \left[0,0005\sigma_e + \left(\frac{d}{h} - 2 \right) k_{cp} \right] \left(\frac{d}{20} \right)^{1,7},$$

где F — суммарная выпуклость двух торцов; d и h — диаметр и высота образцов, для которого определяется величина выпуклости; σ_e — предел прочности деформируемого материала в кг/мм^2 , k_{cp} — коэффициент, зависящий от степени деформации ϵ при калибровке:

ϵ	0,05	0,10	0,15
k_{cp}	0,003	0,006	0,008

Ориентировочная величина выпуклости торца образцов при осаживании плоскими плитками может

быть также определена по эмпирической формуле Л. А. Шофмана

$$f = \frac{u}{10^5} (k - \sigma_{0,2}) \frac{D}{2} \text{ мм},$$

где u — коэффициент, равный 10—15 для сплошных образцов и 5—6 для кольцевых образцов; k и $\sigma_{0,2}$ — удельное давление и предел текучести деформируемого материала в кг/мм^2 ; D — внешний диаметр образца в мм.

Требования к заготовкам, подвергаемым калибровке. При малом припуске на калибровку не будет достигнута требуемая чистота поверхности, при большом припуске снижается точность и значительно увеличиваются горизонтальные размеры части заготовки подвергнутой калибровке.

Увеличение горизонтальных размеров может вызвать необходимость дополнительной механической обработки, кроме того, большое уширение калиброванной части заготовки может вызвать искажение формы и коробление остальной ее части. Это обстоятельство учитывают при разработке технологических процессов и проектировании оснастки. Размеры штампованной заготовки, перпендикулярные направлению осадки, уменьшают с таким расчетом, чтобы после осадки получить требуемые размеры. Расчет производят исходя из равенства объемов обрабатываемой части штамповки до и после калибровки и задаваемого припуска.

Для объемной калибровки заготовку штампуют с уменьшенными размерами в плоскости разреза, но с увеличенными по высоте (толщине).

В соответствии с требованиями к точности калиброванных заготовок установлены три группы точности: калибровка повышенной точности; нормальной (обычной) точности; калибровка горячая, плоскостная.

В табл. 27 приведены припуски на калибровку для различных групп точности в зависимости от площади, подвергаемой калибровке, и отношения $\frac{d}{h}$.

Припуск на калибровку устанавливают по табл. 27 с прибавлением к нему половины отрицательного

27. Припуск на калибровку в мм

Площадь, подвергаемая калибровке в см ²	<i>d/h</i>								
	До 2			Св. 2 до 4			Св 4 до 8		
	Повышенная	Нормальная	Горячая плоскостная калибровка	Повышенная	Нормальная	Горячая плоскостная калибровка	Повышенная	Нормальная	Горячая плоскостная калибровка
До 2,6	0,15	0,25	0,25	0,12	0,20	0,20	0,08	0,12	0,12
Св. 2,6 до 6,0	0,20	0,30	0,30	0,15	0,25	0,25	0,10	0,15	0,15
» 6,0 » 10	0,25	0,35	0,35	0,20	0,30	0,30	0,15	0,25	0,25
» 10 » 16	0,30	0,45	0,45	0,25	0,35	0,35	0,20	0,30	0,30
» 16 » 25	0,35	0,50	0,50	0,30	0,45	0,45	0,25	0,35	0,35
» 25 » 40	0,40	0,60	0,60	0,35	0,50	0,50	0,30	0,45	0,45
» 40 » 80		0,70	0,70		0,60	0,60		0,50	0,50
» 80 » 160			0,80			0,70			0,6
» 160 » 320	-		0,90	-		0,80	-		0,7
» 320 » 480			1,00			0,90			0,8
» 480 » 800			1,2			1,0			1,0

отклонения на соответствующий размер до калибровки. Следовательно, номинальный припуск на калибровку

$$\delta_k^{\text{ном}} = \Pi + \frac{b}{2},$$

где Π — припуск, устанавливаемый по табл. 27, b — отрицательное отклонение на соответствующий размер до калибровки.

Максимальный припуск на калибровку

$$\delta_k^{\text{max}} = \Pi + \frac{b}{2} + a,$$

где a — положительное отклонение на соответствующий размер до калибровки.

Минимальный припуск на калибровку

$$\delta_k^{\text{min}} = \Pi - \frac{b}{2}.$$

Предельные отклонения на размеры между поверхностями штампованных заготовок, подвергаемых калибровке устанавливаются по 4-му классу точности по табл. 10.

Значения полей допусков на размеры между калиброванными поверхностями в зависимости от площади, подвергаемой калибровке, отношения d_0/h_0 и группы точности приведены в табл. 28. В зависимости

от назначения калибруемой заготовки поле допуска может быть распределено желаемым образом.

Допуски на горизонтальные размеры штампованных заготовок, перпендикулярные направлению осадки, а также допуски на размеры, по толщине, необрабатываемые калибровкой, назначаются так же, как для штампованных заготовок, не подвергаемых калибровке. При определении припусков и допусков для калибровки поверхностей прямоугольной, эллиптической или другой формы нужно исходить из площади равновеликого круга.

Перед калибровкой штампованные заготовки должны быть рассортированы на группы с разницей размеров по толщине в пределах 0,3 мм. При высокой точности калибровки интервал уменьшается до 0,2 мм или даже до 0,1 мм. Для калибровки каждой группы требуется переналадка прессы, так как иначе нельзя получить требуемую точность размеров.

Штамповки с отношением $d_0/h_0 \leq 2$ калибруются с необходимой точностью без сортировки.

В табл. 29 приведены предельные отклонения на горизонтальные размеры штамповок, получаемые после калибровки. Эти отклонения достижимы при условии уменьшения го-

28. Поле допуска на размеры между калиброванными поверхностями в мм

Площадь, подвергаемая калибровке, в см ²	d/h								
	До 2			Св. 2 до 4			Св. 4 до 8		
	Группа точности								
	Повышенная	Нормальная	Горячая плоскостная калибровка	Повышенная	Нормальная	Горячая плоскостная калибровка	Повышенная	Нормальная	Горячая плоскостная калибровка
До 2,6	0,10	0,15	0,20	0,12	0,18	0,25	0,16	0,25	0,30
Св. 2,6 до 6,0	0,12	0,18	0,25	0,15	0,20	0,30	0,20	0,30	0,40
» 6,0 » 10	0,16	0,25	0,30	0,20	0,30	0,40	0,25	0,36	0,45
» 10 » 16	0,20	0,30	0,40	0,25	0,33	0,45	0,30	0,45	0,55
» 16 » 25	0,24	0,35	0,45	0,30	0,45	0,55	0,35	0,50	0,60
» 25 » 40	0,28	0,40	0,55	0,35	0,50	0,60	0,40	0,55	0,70
» 40 » 80		0,45	0,60		0,55	0,70		0,60	0,80
» 80 » 160			0,70			0,80			0,90
» 160 » 320	-	-	0,80	-	-	0,90	-	-	1,00
» 320 » 480			0,90			1,00			1,10
» 480 » 800			1,00			1,10			1,20

ризонтических размеров перед калибровкой на величины, приведенные в табл. 30.

Для элементов штампованных заготовок простых конфигураций величина уменьшения горизонтальных размеров перед калибровкой может быть определена по формуле рекомендуемой С. И. Ключниковым

$$x \approx \frac{2F\Delta h}{P(h + \Delta h)},$$

где F — площадь горизонтальной проекции калибруемого участка; P — периметр калибруемого участка в горизонтальной плоскости; h — толщина участка после калибровки; Δh — припуск на калибровку.

Определение потребного усилия на калибровку. Усилие прессы для плоскостной калибровки определяют по формуле

$$P = qF,$$

где q — удельное давление; F — площадь проекции деформируемой части заготовки на горизонтальную плоскость.

Удельное давление:

для цилиндрической формы

$$q = v\sigma_T \left(1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{d}{h}\right);$$

для квадратной формы

$$q = v\sigma_T \left(1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{d}{h}\right);$$

для прямоугольной формы

$$q = v\sigma_T \left(1 + \frac{3b-a}{6b} \mu \frac{b}{h}\right);$$

для кольца

$$q = v\sigma_T \left(1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{D-d_0}{h}\right),$$

где v — скоростной коэффициент, равный 1,4—1,6; σ_T — предел текучести материала после калибровки, т. е. упроченного наклепом; μ — коэффициент внешнего трения, равный для дуралиума при калибровке со смазкой 0,06—0,09; d — диаметр заготовки после калибровки; a — сторона квадрата или меньшая сторона прямоугольника после калибровки; b — большая сторона прямоугольника после калибровки; D — наружный диаметр кольца после калибровки; d_0 — внутренний диаметр кольца после калибровки; h — высота заготовки после калибровки.

Для небольших степеней обжатия при отношении $d/h < 5$ удовлетворительные результаты дает условная зависимость между q и σ_T :

для осадки 5% $q = 0,9 \sigma_T$;

для осадки 10% $q = 1,1 \sigma_T$.

29. Допуски (в мм) на горизонтальные размеры элементов

Площадь, подвергаемая калибровке, в см ²	<i>d/h</i>									
	До 2					Св. 2				
	Точность размеров между									
	П		Н		ГП		П		Н	
в	н	в	н	в	н	в	н	в	н	
До 2,6	+0,6	-0,3	+0,8	-0,4	+1,0	-0,5	+0,8	-0,4	+1,0	-0,5
Св 2,6 до 6,0	+0,8	-0,4	+1,0	-0,5	+1,2	-0,6	+1,0	-0,5	+1,2	-0,6
» 6,0 » 10										
» 10 » 16										
» 16 » 25	+1,0	-0,5	+1,2	-0,6			+1,2	-0,6	+1,5	-0,8
» 25 » 40			+1,5	-0,8	+1,5	-0,8			+1,8	-0,9
» 40 » 80										
» 80 » 160										
» 160 » 320	-	-	-	-	+1,8	-0,9	-	-	-	-
» 320 » 480					+2,0	-1,0				
» 480 » 800										
Площадь, подвергаемая калибровке, в см ²	<i>d/h</i>									
	Св. 5 до 6					Св. 6				
	Точность размеров между									
	П		Н		ГП		П		Н	
в	н	в	н	в	н	в	н	в	н	
До 2,6	+1,0	-0,5	+1,2	-0,6	+1,2	-0,6	+1,0	-0,5		
Св. 2,6 до 6,0	+1,2	-0,6	+1,5	-0,8	+1,5	-0,8	+1,2	-0,6		
» 6 » 10										
» 10 » 16	+1,5	-0,8	+1,8	-0,9	+1,8	-0,9	+1,5	-0,8		
» 16 » 25										
» 25 » 40	+1,8	-0,9	+2,0	-1,0	+2,0	-1,0	+1,8	-0,9		
» 40 » 80										
» 80 » 160					+2,0	-1,0				
» 160 » 320	-	-	-	-	+2,2	-1,1	-	-		
» 320 » 480										
» 480 » 800					+2,4	-1,2				

* П — Повышенная, Н — Нормальная ГП — горячая плоскостная; в — верхний.

штампованных заготовок после калибровки

<i>d/h</i>													
до 3				Св. 3 до 4				Св. 4 до 5					
калиброванными поверхностями *													
ГП		П		Н		ГП		П		Н		ГП	
в	н	в	н	в	н	в	н	в	н	в	н	в	н
+1,0	-0,5	+1,0	-0,5	+1,2	-0,5	+1,2	+0,6	+1,0	-0,5	+1,2	-0,6	+1,2	-0,6
+1,2	-0,6	+1,2	-0,6	+1,5	-0,8	+1,5	-0,8	+1,2	-0,6	+1,5	-0,8	+1,5	-0,8
+1,5	-0,8							+1,5	-0,8	+1,8	-0,9	+1,8	-0,9
+1,8	-0,9	+1,5	-0,8	+1,8	-0,9	+1,8	-0,9	-	-	+2,0	-1,0	+2,0	-1,0
		-	-							-	-	+2,2	-1,1
+2,0	-1,0	-	-	-	-	+2,0	-1,0	-	-	-	-	+2,2	-1,1

d/h

до 7				Св. 7 до 8					
калиброванными поверхностями *									
Н		ГП		П		Н		ГП	
в	н	в	н	в	н	в	н	в	н
+1,2	-0,6	+1,2	-0,6	+1,0	-0,5	+1,2	-0,6	+1,2	-0,6
+1,5	-0,8	+1,5	-0,8	+1,2	-0,6	+1,5	-0,8	+1,5	-0,8
								+1,8	-0,9
+1,8	-0,9	+1,8	-0,9	+1,5	-0,8	+2,0	-1,0	+2,0	-1,0
+2,0	-1,0	+2,0	-1,0	+1,8	-0,9	+2,0	-1,0	+2,2	-1,1
+2,4	-1,2	+2,4	-1,2	-	-	+2,4	-1,2	+2,2	-1,1
								+2,4	-1,2
-	-	+2,8	-1,4	-	-	-	-	+2,8	-1,4
-	-	+2,8	-1,4	-	-	-	-	+3,0	-1,5

н — нижний

30. Величины уменьшения горизонтальных размеров элементов штампованных заготовок перед калибровкой в мм

Площадь, подвергаемая калибровке, в см ²	d/h								
	До 2			Св 2 до 3			Св 3 до 4		
	Точность размеров между калиброванными поверхностями *								
	П	Н	ГП	П	Н	ГП	П	Н	ГП
До 2,6	0,4	0,5	0,5	0,6	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0
Св 2 до 6	0,5	0,6	0,6						
» 6 » 10	0,6	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	0,9	1,2	1,2
» 10 » 16	0,8	1,0	1,0	0,9	1,2	1,2	1,4	1,8	1,8
» 16 » 25	0,8	1,0	1,0	1,1	1,4	1,4			
» 25 » 40	1,0	1,2	1,2	1,2	1,6	1,6	1,8	2,0	2,0
» 40 » 80		1,4	1,4		1,8	1,8			
» 80 » 160			1,5				2,0	2,0	2,2
» 160 » 320	-		1,8	-					
» 320 » 480			2,0				-	-	2,4
» 480 » 800			2,2						

Площадь, подвергаемая калибровке, в см ²	d/h											
	Св 4 до 5			Св. 5 до 6			Св. 6 до 7			Св. 7 до 8		
	Точность размеров между калиброванными поверхностями *											
	П	Н	ГП	П	Н	ГП	П	Н	ГП	П	Н	ГП
До 2,6	0,9	1,2	1,2	0,9	1,2	1,9	0,9	1,2	1,2	1,0	1,2	1,2
Св. 2 до 6				1,2	1,5	1,5	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0
» 6 » 10	1,2	1,5	1,4	1,8	1,8	1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	
» 10 » 16	1,4	1,8	1,8	1,5	2,0	2,0	1,5	2,0	2,0	2,3	3,0	3,0
» 16 » 25	1,4	1,8	1,8	1,5	2,0	2,0	1,5	2,0	2,0	2,3	3,0	3,0
» 25 » 40	1,5	2,0	2,0	1,8	2,2	2,2	1,8	2,4	2,4	2,3	3,2	3,2
» 40 » 80		2,2			2,4			2,8			3,4	
» 80 » 160			2,2			2,4			2,8			3,4
» 160 » 320	-		2,4	-		2,6	-		3,0	-		
» 320 » 480			2,6		-	2,8		-	3,2		-	3,6
» 480 » 800			2,8			3,0			3,4			4,0

* П — повышенная; Н — нормальная; ГП — горячая плоскостная

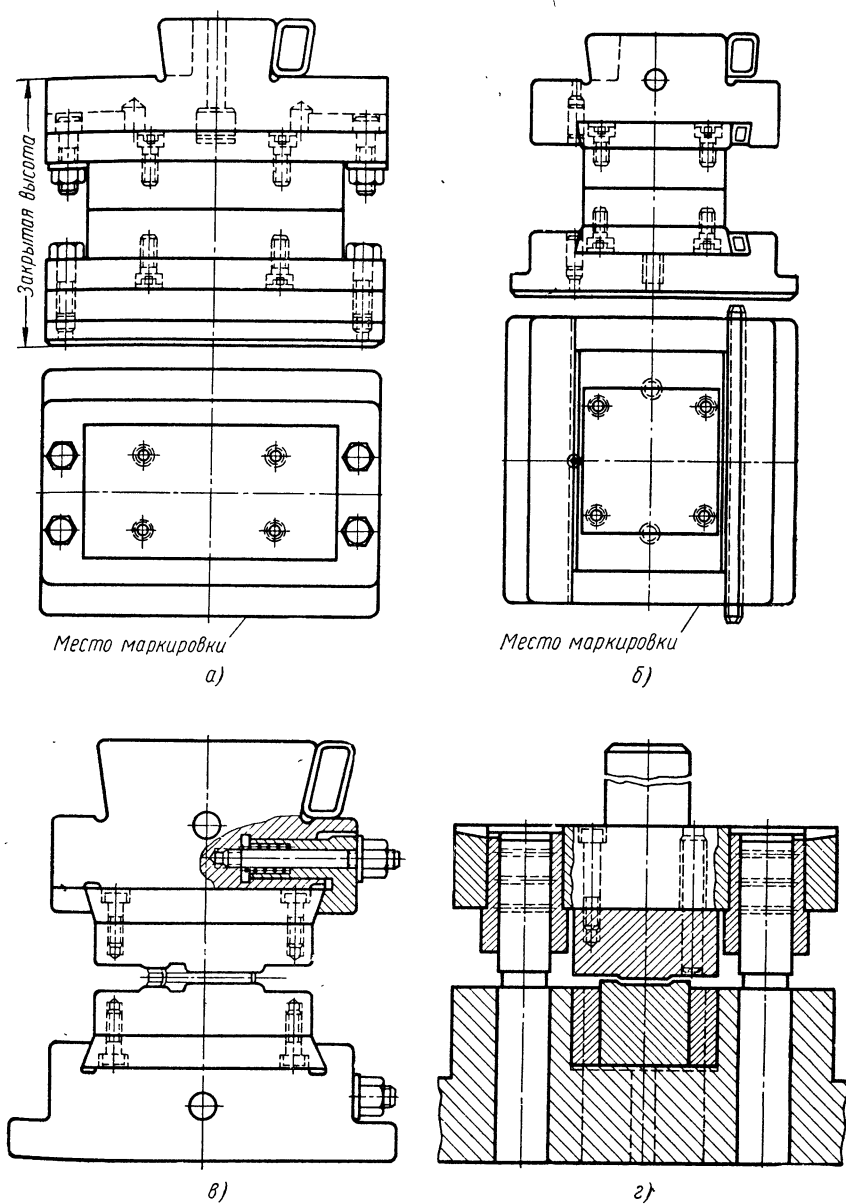


Рис. 32. Примеры конструкций комбинированных штампов

Штампы для калибровки и крепления их блок-державки должны быть жесткими. Количество деталей в направлении деформации должны быть минимальным, чтобы уменьшить деформацию штампа из-за зазоров между отдельными деталями. Опорная поверхность штампа должна быть достаточной, чтобы поверхность блок-державки не деформировалась.

Штамп для плоскостной калибровки (рис. 32, а) состоит из верхней и нижней плит, верхней и нижней переходных плит и калибровочных плиток. Плиты опорные и переходные являются многократно используемыми деталями штампа, а калибровочные плитки изготавливают для каждой конкретной детали, которая должна калиброваться.

В практике применяют и другие

конструкции калибровочных штампов, например с клиновым креплением калибровочных плит (рис. 32, б) или с креплением специальным зажимом (рис. 32, в). Опорные плиты изготавливают из стали 35 или 45 и термически обрабатывают на твердость *HВ* 302—340.

Переходные плиты изготавливают из стали 45 и термически обрабатывают на твердость *HВ* 364—415. Калибровочные плитки — из стали У10А или Х12М и термически обрабатывают на твердость *HRC* 58—60. Штампы для объемной калибровки выполняют с направляющими колонками (рис. 32, г). В отдельных случаях, при больших распирающих нагрузках, калибровочные вставки запрессовывают в специальные обоймы (рис. 32, г).

ВИДЫ ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В связи с высокой стоимостью сплавов цветных металлов форма и размеры исходных заготовок должны быть максимально приближены к формам и размерам штамповок, что позволит свести к минимуму так называемые неизбежные технологические потери и главным образом потери металла на облой.

Исходным материалом для производства поковок и штамповок из сплавов цветных металлов служат прессованные, катаные, кованные полуфабрикаты (табл. 1), которые применяют в состоянии после горячего деформирования, без термической обработки. В некоторых случаях при изготовлении крупных поковок и штамповок (за исключением медных сплавов) применяют литые заготовки (слитков) развесом от 500 до 4000 кг диаметром соответственно от 350 до 850 мм. Слитки перед ковкой подвергают механической обработке. Чистота обработки должна быть не ниже $\nabla 4$. Не допускаются резкие переходы от проточки и острые грани при переходе с боковой поверхности на торцевую.

Поверхность прутков, используемых для штамповки заготовок в особенности с необрабатываемыми поверхностями, необходимо обтачивать до полного удаления дефектного поверхностного слоя. Чистота поверхности обточенной заготовки должна быть не ниже $\nabla 5$. Если после обточки на отдельных участках остаются дефекты, их нужно удалить пологой зачисткой, глубиной не менее 0,5 мм.

Качество поверхности катаных прутков значительно лучше, чем кованных и прессованных. Кованные прутки применяют для изготовления:

поковок и штамповок больших размеров, если получение прутков для них прессованием или прокаткой затруднительно.

Кованные прутки неоднородны по структуре и нестабильны по механическим свойствам. Поэтому в качестве исходного материала они не удовлетворяют полностью требованиям, предъявляемым к качеству штамповок.

Чтобы получить высокое качество кованных полуфабрикатов, необходимо применять наиболее высокие степени обжатия.

Неоднородная структура кованных прутков при изготовлении из них крупных ответственных поковок и штамповок вызывает образование трещин в металле и большое количество брака изделий. Для изготовления поковок и штамповок предпочтительно применять катаные прутки, затем прессованные и в последнюю очередь кованные. Катаные прутки по сравнению с прессованными и коваными имеют лучшую поверхность и более однородные структуру и механические свойства.

Форма и размеры исходной заготовки должны обеспечить получение качественных штамповок с минимальным перемещением металла в полости штампа в процессе формообразования. Это особенно важно для штамповок из алюминиевых и магниевых сплавов, на поверхности которых обычно образуются дефекты при сложных перемещениях металла в процессе штамповки.

Объем заготовки (рис. 1) определяют по формуле

$$V_3 = V_{ш} + V_{об},$$

где $V_{ш}$ — объем штамповки, подсчитанный по номинальным размерам, увеличенным на половину положительных отклонений (размеры

1. Виды исходных материалов, применяемых для изготовления поковок и штамповок из сплавов цветных металлов

Сплавы	Пруток		Полоса прессованная	Плита катаная	Слиток
	прессованный	кованный			
Алюминиевые	Поставляются по ГОСТам 7857—35, 4783—68, 13890—68	Не применяют	—	Поставляются по АМТУ 347—61 толщиной от 12 до 80 мм для серийного производства крупных штамповок сложной конфигурации	Для производства крупных поковок и штамповок
Магние-вые	Поставляются по АМТУ 516—65 диаметром 8—160 мм для серийного производства поковок и штамповок	Не применяют	Поставляются по АМТУ 478—61 сечением до 130 см ² для серийного производства поковок и штамповок малых и средних размеров	Поставляются по АМТУ 474—61 толщиной от 12 до 30 мм для серийного производства крупных штамповок сложной конфигурации	Только при штучном производстве поковок и штамповок
Титановые	Поставляются по АМТУ 487—62 (табл. 3 и 6) Применяются только при раз-работке и освоении новых сплавов	Поставляются по АМТУ 554—67 (табл. 4 и 6) диаметром 60—230 мм для серийного про-изводства поков-вок и штам-повок	Не применяют	Не применяют	При производ-стве крупных поковок
Медные	Не применяют	Поставляются по ГОСТу 1945—59 из меди М1, М2, МБ. Прутки латунные по ГОСТу 2060—60. Прутки бронзовые по ГОСТу 1623—60	Не применяют	Поставляются для серийного производства	Не применяют

полостей в штамповках уменьшают на половину отрицательных отклонений); $V_{об}$ — объем облоя, определяемый по формуле

$$V_{об} = (S_M + kS_{np})L,$$

где S_M — сечение мостика облоя (рис. 2); S_{np} — сечение приемника облоя; k — коэффициент заполнения приемника облоя, зависящий от сложности поковки для штамповок простых конфигураций $k = 0,25$;

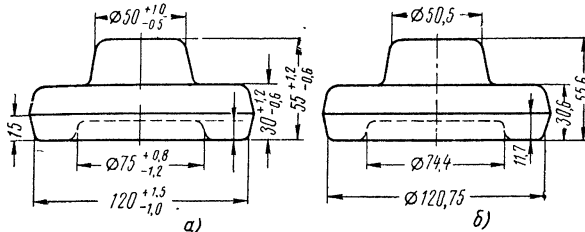


Рис. 1. Объем заготовок: а — поковка; б — эскиз для подсчета объема

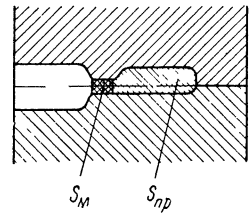


Рис. 2. Сечение мостика облоя

средней сложности $k = 0,50$; сложных конфигураций $k = 0,75$; L — периметр геометрических мест центров тяжестей сечений облоя. С достаточной для практических целей точностью, величину L при производственных расчетах принимают равной периметру штамповки.

Размеры облойных канавок приведены в гл. 4.

Форма и размеры исходной заготовки зависят от конфигурации штамповки.

Для штамповок, имеющих форму тел вращения и близких к ним, штампуемых осадкой в торец, длину заготовки выбирают равной менее трех ее диаметрам, т. е. $l_3 \leq 3d_3$.

Диаметр заготовки определяют по формуле

$$d_3 = 0,75 \sqrt[3]{V_3}.$$

Большинство штамповок штамнуют из заготовок «на плоско». Для штамповок из сплавов цветных металлов, исходные заготовки которых куются, сечение исходной заготовки выбирают только по наибольшему сечению штамповки, т. е.

$$S_{заг} = S_{шт}^{max} + 2(S_M + kS_{np}).$$

$$\text{Длина заготовки } l_{заг} = \frac{V_{заг}}{S_{заг}}.$$

Выборную исходную заготовку перековывают на нужную форму согласно с формой штамповки. Предварительную подготовку заготовки для штамповок небольшой ширины с утолщением на одном или обоих концах рекомендуется производить на горизонтально-ковочной машине (набор материала для утолщенной части штамповки). В этом случае

сечение исходной заготовки должно быть выбрано по наименьшему сечению штамповки.

Предварительная подготовка заготовки для штамповок уменьшающихся или одновременно утоньшающихся и расширяющихся от одного утолщенного конца может быть произведена на ковочных вальцах. В этом случае сечение исходной заготовки выбирают по наибольшему сечению штамповки.

Как высадка на горизонтально-ковочной машине, так и вальцовка более производительны, чем ковка, но в практике производства штамповок из сплавов цветных металлов весьма редко применяются.

РЕЗКА МЕРНЫХ ЗАГОТОВОК

Исходные материалы из алюминиевых, магниевых и медных сплавов режут на заготовки на дисковых пилах, токарноотрезных станках, механических ножовках и быстроходных горизонтально-фрезерных станках, специально для этого приспособленных. Резка на пресс-ножницах не

допускается в связи с возможностью образования у мест среза микротрещин, которые при дальнейшем деформировании могут привести к значительным дефектам.

60 мм. До диаметра 20 мм резку производят без охлаждающей смазки.

Анодно-механическую резку заготовок из титановых сплавов производят как на дисковых, так и на

2. Резка заготовок на дисковых пилах при разных режимах резания

Диаметр заготовки в мм	Мощность электродвигателя в кВт	Диаметр пилы в мм	Толщина режущей части зубцов в мм	Число оборотов диска в минуту	Величина подачи диска в мм за один оборот диска
25	2,2	300	5	16	3,0
25	2,2	300	5	33	1,7
50	2,2	300	5	16	1,3
50	2,2	300	5	33	0,7
80	5,2	500	5	33	0,3

В случаековки заготовок, рассчитанных на получение нескольких поковок, целесообразно применение последующей рубки непосредственно послековки. Для магниевых сплавов, кроме МА2 и ВМ65-1, рубка в горячем состоянии не рекомендуется. Рубку заготовок в горячем состоянии можно применять из исходного материала диаметром до 100 мм с соблюдением термомеханических режимовковки. Прирубке заготовок имеет место упирение до 10—20% в направлении рубки надлине 10—15 мм.

Резка на дисковых пилах (табл. 2 со скоростью вращения диска 30—35 м/мин и минимальной подачей обеспечивает получение заготовок с чистыми торцами. При скорости вращения диска менее 25 м/мин и минимальной подаче торцы имеют неровную поверхность, что при некоторых видахковки может привести к образованию трещин. После резки с кромок заготовки снимаются фаски с целью удаления заусенцев.

Для резки заготовок из титановых сплавов, кроме указанного выше оборудования, применяются анодно-механические и абразивные станки; резка их на абразивных станках ограничена. Диаметррезаемой заготовки не должен превышать

ленточных станках. В качестве рабочей жидкой среды применяют жидкое стекло удельного веса 1,28—1,32.

Резку титановых заготовок на пресс-ножницах производят в горячем состоянии с нагревом до температур, приведенных в табл. 3, за исключением сплавов ВТ1-00; ВТ1-0 и ОТ4-0, которые можно резать в холодном состоянии.

3. Температура нагрева заготовок из титановых сплавов для резки на пресс-ножницах

Сплав	Температура в °С		Сплав	Температура в °С	
	нагрев не выше	резка не ниже		нагрев не выше	резка не ниже
ОТ4-1 ОТ4	880	750	ВТ8 ВТ9	950	900
	900				
ВТ4 ОТ4-2	920	800 850	ВТ14	900	750
	940				
ВТ5 ВТ5-1	950	900	ВТ15 ВТ16	800	750
ВТ6С ВТ6	900	800	ВТ18 ВТ20	960	900
	920				
ВТ3-1	930	850	ВТ22	820	750

4. Температура нагрева деформированных заготовок из титановых сплавов для рубки на молотах и гидравлических прессах

Сплав	Температура в °С		Сплав	Температура в °С	
	нагрев не выше	рубка не ниже		нагрев не выше	рубка не ниже
BT1-00 BT1-0 OT4-0	850	750	BT6C BT6	950	900
OT4-1 OT4	900 930	850	BT8 BT9	1000	950
OT4-2	1000	950	BT14 BT15	900	850 800
BT4 BT3-1	950	900	BT16	850	750
BT5 BT5-1	1000	950	BT18 BT20	1000	950
			BT22	900	

Рубку на молотах и прессах предварительно деформированных заготовок производят только в горячем состоянии и при условии, что заготовки должны подвергаться дальнейшей обработке давлением. Данные о температуре нагрева заготовок перед рубкой приведены в табл. 4.

5. Температура нагрева слитков из титановых сплавов для рубки на молотах и гидравлических прессах

Сплав	Температура в °С		Сплав	Температура в °С	
	нагрев не выше	рубка не ниже		нагрев не выше	рубка не ниже
BT1-00 BT1-0 OT4-0 OT4-1	1000	950	BT6C BT6	1050	1000
OT4 BT4 OT4-2	1020 1050 1100	970 1000 1050	BT8 BT9	1100	1050
BT3-1		1030	BT14 BT15 BT16	1050 1150 1000	1000 1100 1050
BT5 BT5-1	1150	1100	BT18 BT20	1150	1100
			BT22	1000	950

Слитки можно рубить только при температуре начала деформирования (табл. 5).

Резка слитков и прутков на токарных станках производится отрезными резцами, оснащенными пластинками твердого сплава BK8.

Геометрические параметры отрезных резцов: $\gamma_{\text{д}} = 0 \div 5^\circ$; $\alpha = 12^\circ$; $\phi_1 = 3^\circ$; $\alpha_1 = 1,5^\circ$; $f = 0,2 \div 0,3$ мм.

6. Предельные отклонения длины мерных заготовок при резке на различном оборудовании

Оборудование	Диаметр заготовки в мм	Длина заготовки в мм		
		До 150	Св. 150 до 300	Св 300
Предельные отклонения в мм				
Пресс-ножницы, молот свободной ковки, гидравлический пресс	До 40 Св. 40 до 80 Св. 80	$\pm 3,0$ $\pm 4,0$ $\pm 5,0$	$\pm 4,0$ $\pm 5,0$ $\pm 6,0$	$\pm 5,0$ $\pm 6,0$ $\pm 8,0$
Дисковая пила, механическая ножовка, анодно-механический станок, абразивный станок	До 40 Св. 40 до 80 Св. 80	$\pm 1,0$ $\pm 1,5$ $\pm 2,0$	$\pm 1,5$ $\pm 2,0$ $\pm 2,5$	$\pm 2,0$ $\pm 2,5$ $\pm 3,0$
Отрезной станок, быстрорезный станок	До 40 Св. 40 до 80 Св 80	$\pm 0,6$ $\pm 1,0$ $\pm 1,5$	$\pm 1,0$ $\pm 1,5$ $\pm 2,0$	$\pm 1,5$ $\pm 2,0$ $\pm 2,5$

Режимы резания: скорость резания $v = 25 \div 30$ м/мин; подача $s = 0,2 \div 0,3$ мм/об.

Острые кромки торцов у отрезных заготовок, если они предназначаются для штамповки в торец или высадки на ГKM, во избежание зажимов, должны быть закруглены у заготовок диаметром до 50 мм, $R = 1,5 \div 2$ мм и у заготовок диаметром свыше 50 мм — $R = 3-4$ мм.

Обдирка заготовок из титановых сплавов производится резцами, оснащенными твердым сплавом BK4 или BK8 со следующими геометрическими параметрами: $\gamma_{\phi} = 0^\circ$; $\alpha = 12^\circ$; $\phi = 45^\circ$; $\phi_1 = 45^\circ$; $\lambda = 0^\circ$; $R = 1,5$ мм; $f = 1,5 \div 2$ мм. Режимы резания: скорость резания $v = 15 \div 30$ м/мин; подача $s = 0,5 \div 0,8$ мм/об; глубина резания $t = 5 \div 10$ мм. При этом надо применять смазочно-охлаждающую жидкость (5%-ная эмульсия по ГОСТу 1975—53), подаваемую под давлением 10—15 атм.

Допуски на длину заготовок из различных материалов, полученных при резке на различном оборудовании приведены в табл. 6.

НАГРЕВ ЗАГОТОВОК

Нагрев заготовок перед ковкой и штамповкой должен обеспечить:

равномерный нагрев металла на заданную температуру по всему сечению в минимальное время;

минимальное насыщение нагреваемого металла газами (водородом, кислородом, азотом);

недопущение трещин за счет резких температурных перепадов по сечению нагреваемого металла;

избежание длительных процессов рекристаллизации, и следовательно, минимальный рост зерна;

точное выполнение заданного режима нагрева по температуре, скорости и времени нагрева.

Печи для нагрева заготовок. Во всех случаях, когда это возможно, следует предпочитать печи с непрерывной загрузкой, обеспечивающие определенный ритм производства, а следовательно, более высокую про-

изводительность и позволяющие лучше использовать электроэнергию.

При мелкосерийном или единичном производстве (крупные поковки) возможность использования печей непрерывного действия ограничена и приходится применять камерные печи

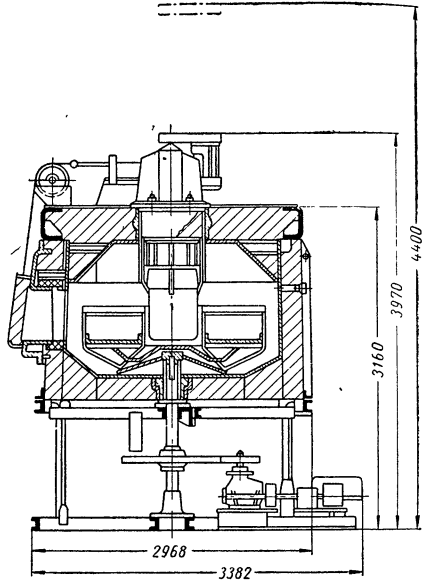


Рис. 3. Электропечь

с периодической загрузкой. В крупносерийном и массовом производстве, где за определенными производственными агрегатами (молотами, прессами, ковочными машинами) закрепляется небольшое количество однотипных деталей, успешно применяют и автоматизированные печи с непрерывной загрузкой.

Электрические нагревательные печи сопротивления целесообразно применять для нагрева под ковку и штамповку заготовок небольшого сечения или сложной формы при незначительном объеме производства, а также в случаях, когда предъявляются особо высокие требования к качеству нагрева (большая степень равномерности температуры в рабочей камере, высокая точность регулирования температуры и т. п.).

7. Основные характеристики электрических нагревательных печей

Тип печи	-Размер рабочей камеры печи в мм	Мощность в кВт	Число зон	Вес одновременно загружаемого металла в кг
ПН-12*	460×900	25	1	30—70
ПН-13*	600×1300	50		40—100
ПН-15*	900×1800	60		80—200
Методическая печь	—	700	5	Непрерывная нагрузка 150—300
Печь карусельного типа	∅ 880	75	1	

* В этих печах допускается одновременный нагрев мерных заготовок большего веса (примерно на 50% больше веса, указанного в таблице); при этом время нагрева должно быть увеличено до 25%.

Наибольшее применение нашли электрические печи сопротивления, камерного типа с экранированными нагревательными элементами, с принудительной циркуляцией воздуха и с автоматическим регулированием температуры (табл. 7). Преимуществом этих печей являются возможность обеспечения любого температурного режима и легкость автоматического регулирования этого режима. При нагреве имеет место температурный перепад в заготовках, который зависит от условий нагрева: наименьших температурных перепадов можно достигнуть в электрических печах с принудительной циркуляцией нагретого воздуха мощными вентиляторами.

Заводы электротермического оборудования Министерства электро-

промышленности выпускают типовые установки для нагрева мерных заготовок, в частности электропечи карусельного типа САО-21—11—3/5 исп. М-02 (рис. 3), которая является модернизацией ранее выпущенной электропечи ОКБ-494. Преимуществом новой печи следующие:

в печи установлен вентилятор с лучшими аэродинамическими показателями и лучшим к. п. д., что обеспечивает более равномерный нагрев заготовок;

калорифер выемной, что улучшает ремонтоспособность, как самой печи, так и калорифера без съема крышки;

в приводе механизма вращения пода установлены новые редуктор и вариатор, обеспечивающие надежную и бесперебойную работу механизма.

Техническая характеристика на электропечь карусельную САО-21—11—3/5 исп. М-02, предназначенную для термообработки и нагрева под штамповку заготовок из цветных металлов и сплавов при максимальной температуре нагрева до 500° С

Мощность в кВт	75 + 10%
Рабочая температура (регулируется автоматически) в °С	500
Число тепловых зон	1
Атмосфера печи	Воздух
Время разогрева до рабочей температуры в ч	4
Вес заготовки в кг	156
Удельный расход электроэнергии в кВт·ч/кг	0,26
Время нахождения деталей в печи в мин	10—40
Производительность печи в кг/ч	250
Размеры рабочего пространства в мм:	
внешний диаметр вращающегося пода	2200
внутренний диаметр вращающегося пода	880
высота и ширина разгрузочного окна	200 + 230 + 420
Скорость вращения пода в об/ч	6,33
Общий вес печи в т	9

8. Время нагрева алюминиевых, магниевых и медных сплавов

Сплавы	Диаметр или толщина заготовки в мм		
	До 50	Св 50 до 100	Св. 100
	Время (в мин) нагрева 1 мм, диаметра (толщины)		
Алюминиевые и магниевые . .	1,5	$T = 1,5 + 0,01(d - 50)$	2,0
Медные	0,75	$T = 1,0 + 0,06(d - 50)$	1,0

Печи снабжены приборами для автоматического регулирования температуры с точностью в пределах $\pm 10^\circ \text{C}$.

Для замера температуры в зоне нагрева установлена термопара на расстоянии 100—150 мм от заготовок.

Под печи не рекомендуется покрывать листами из жаропрочных сплавов с содержанием никеля св. 50%, так как при этом возможно приваривание заготовок.

Загружаемые в печь заготовки должны быть очищены от масла, металлической пыли, заусенцев и других загрязнений. Необходимо строго следить за тем, чтобы в печи не оставались стальные заготовки и загружаемые заготовки не соприкасались с нагревательными элементами.

Заготовки нагреваемой партии надо размещать в печи так, чтобы обеспечить их равномерный прогрев (должна быть обеспечена свободная циркуляция воздуха). При размещении заготовок на поду печи в один ряд, необходимо укладывать их с некоторым интервалом.

Заготовки надо загружать в предварительно разогретую до заданной температуры печь (согласно режимам, установленным для данной марки сплава). В тех случаях, когда в печи нагревались заготовки при более высоких температурах, необходимо предварительно охладить печь ниже заданной температуры на 50—100° С, затем повысить температуру до заданной для данного сплава и после 20—30 мин выдержки производить загрузку заготовок новой партии. Заготовки диаметром св. 150 мм следует кантовать через каждые 30 мин.

При изготовлении деталей ответственного назначения (диски, ком-

прессорные лопатки и др.) из титановых сплавов с малыми припусками, нагрев заготовок под штамповку следует производить в печах с защитной атмосферой с целью исключения образования альфированного слоя.

Применение защитной среды в виде технического аргона предохраняет от образования значительной окислы и уменьшает величину альфированного и переходного слоев (рис. 4—10). Однако полной защиты технический аргон не создает. Применение очищенного аргона является более эффективной защитой.

Применение защитных покрытий в виде эмали, состоящей из оксидов SiO_2 , BaO , TiO_2 , MgO , Al_2O_3 , ZrO_2 , CaO , Na_2O_3 , B_2O_3 , предохраняет от образования окислы и уменьшает величину альфированного слоя. Эмали хорошо защищают металл при нагреве до 1000—1050° С.

Следует учитывать, что защитные покрытия (эмали) реагируют при нагреве с самим металлом, отдавая ему кислород, поэтому с увеличением температуры и времени нагрева альфированный слой увеличивается. Защитные эмали одновременно являются смазкой.

Допустимое время пребывания заготовок из сплавов цветных металлов в печи при ковочной температуре должно соответствовать данным, приведенным в табл. 8-14.

При ковке слитков из титановых сплавов диаметром 350—400 мм на прутки или перековке прутков на другие размеры необходимо руководствоваться данными, приведенными в табл. 15.

После загрузки заготовок в разогретую до нужной температуры печь температура ее, естественно, понижается, а после окончания загрузки

9. Время нагрева магниевых сплавов

Сплав	Температура нагрева в °С	Время нагрева в ч	Температура нагрева в °С	Время нагрева в ч
МАЗ	400	5	450	3
МА8	400	4	420	2
ВМ17	400	3	420	2
ВМ65-1	400	6	450	3

Продолжение табл. 11

Толщина или диаметр заготовки в мм	Время нагрева до температурыковки по показанию самопишущего потенциометра в мин (не более)	Время нагрева при температурековки в мин (не менее)
80	15	35
60		30
50		25
40	15	20
35		
30	10	15
25		
20		
15	8	12
10 и менее	5	10

10. Допустимое время пребывания в печи подогрева заготовок из титановых сплавов

Максимальное сечение заготовки в мм	Время нагрева в ч	Максимальное сечение заготовки в мм	Время нагрева в ч
До 50	1,0	Св. 140 до 200	2,5
Св. 50 до 70	1,5	Св. 200 до 250	3,0
Св. 70 до 140	2,0	Св. 250 до 350	4,0

12. Максимально допустимое время пребывания в печи заготовок из титановых сплавов

Толщина или диаметр заготовки в мм	Максимально допустимое время пребывания заготовки в печи при ковочной температуре в мин
400—350	240
350—250	210
250—200	150
200—150	120
150—100	90
100—60	75
60—30	60
30—10	50

11. Время нагрева заготовок из титановых сплавов до температурыковки

Толщина или диаметр заготовки в мм	Время нагрева до температурыковки по показанию самопишущего потенциометра в мин (не более)	Время нагрева при температурековки в мин (не менее)
400	50	160
350		130
300	40	120
250		
225	35	100
200		90
180	30	80
160		70
140	25	60
140		55
120	20	50
100		45

начинает медленно повышаться. При вынужденных перерывах в работе продолжительностью до 6—7 ч температуру в печи для заготовок из алюминиевых сплавов надо снизить до 430—470° С, а заготовки оставить в печи; при перерывах свыше 7 ч заготовки надо выгрузить из печи. При нагреве заготовок из магниевых сплавов МАЗ и МА5 при перерывах до 4 ч, а сплава ВМ65-1 до 2 ч температуру печи надо снизить до нижнего предела, установленного для каждого из рассматриваемых сплавов, заготовки же должны оставаться в печи; при перерывах свыше 4 ч для сплавов МА2, МА3 и МА5 и

13. Режим нагрева некоторых медных сплавов

Сплав	Сечение заготовки в мм	Раз-вес в кг	Темпе-ратура печи в °С	Продолжительность нагрева в печи с температурой °С				Продол-жительность выдерж-ки в ч	Общее время нагрева в ч
				700—750	800	850	900		
ЛТ90	d=120	35—50	900				0,65	0,35	1,0
	250×250 300×300	400 700					—	2,5 3,0	0,50
Л62	d=120	35—50		—	—		0,55	0,35	0,9
	250×250 300×300	400 700					2,5 3,0	0,50	3,0 3,5
ЛН65-5	d=120	35—50	850				0,5	0,25	0,75
	250×250 300×300	400 700					2,25 2,75	0,50	2,75 3,25
	d=400	1400					4,0	0,65	4,65
АЖМц	d=120	35—50	800				0,5	0,35	0,85
59-1-1	250×250 300×300	400 700					2,5 3,0	0,50	3,0 3,5
ЛМц58-2	d=120	35—50	750	0,65			0,35	0,35	1,0
	250×250 300×300	400 700					2,0 2,5	—	0,50

14. Температура нагрева под штамповку на ГКМ

Сплав	Температура нагрева в °С		Сплав	Температура нагрева в °С	
	оптимальная	не выше		оптимальная	не выше
ВТ1-0 ВТ1-00	850	870	ВТ6	920	940
ОТ4-0		880		ВТ8 ВТ9	950
ОТ4-1 ОТ4 ВТ4	880 900	910 920	ВТ14 ВТ15	900 850	930 880
ОТ4-2 ВТ3-1		950 930		980 950	ВТ18 ВТ20
ВТ5 ВТ5-1	970	990	ВТ22	850	880

15. Примеры режимов нагрева заготовок из титановых сплавов дляковки на прутки и перековки прутков

Диаметр заготовки в мм		Время нагр-ва в мин	Температура нагрева в °С по маркам сплавов			
начальный	конечный		ВТ3-1	ВТ6, ВТ14	ВТ5	ВТ4, ВТ8
350	200	120	1050		1150	1100
200	120	90	980	940	1030	980
120	100	60				

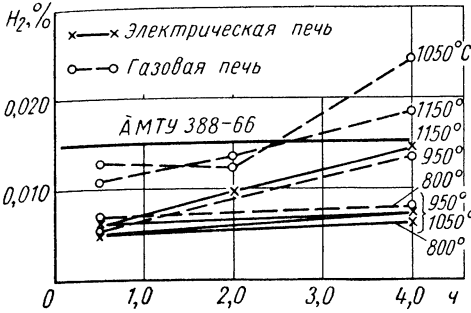


Рис. 4. Наводораживание образцов из сплава ВТ8 в зависимости от условий нагрева. Образцы \varnothing 15 и 20 мм

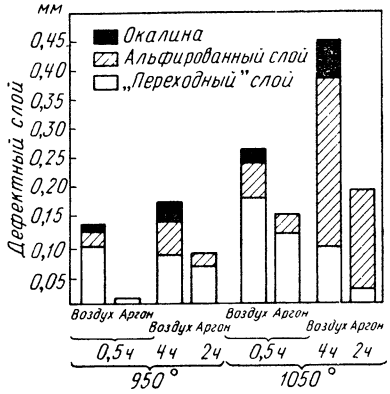


Рис. 5. Глубина дефектного слоя сплава ВТ8 при нагреве в электропечи в зависимости от среды

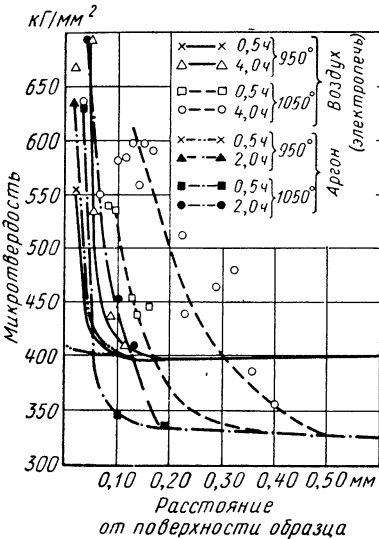


Рис. 6. Микротвердость образцов из сплава ВТ8 после нагрева в различных средах

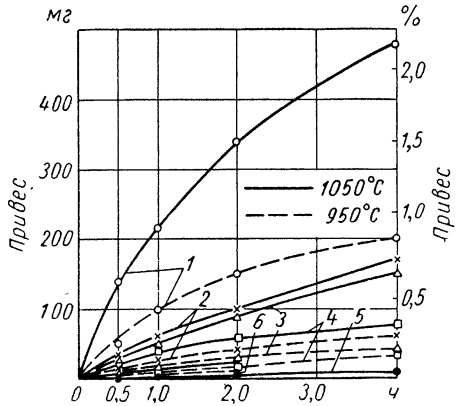
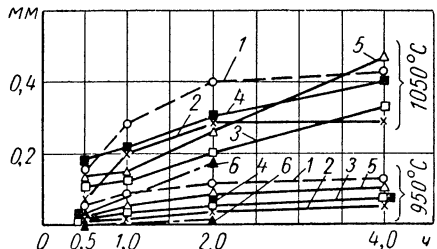


Рис. 7. Величина привеса в зависимости от условий нагрева сплава ВТ8: \circ — газовая печь; \times — электрическая печь; Δ — Δ с обмазкой стеклом + тальк; \square — \square с покрытием эмалью «Б»; \bullet — \bullet — с покрытием эмалью «А»; \blacktriangle — \blacktriangle — в среде аргона

Рис. 8. Глубина альфированного слоя на образцах из сплавов ВТ8 в зависимости от среды, температуры и времени нагрева: \circ — \circ — в газовой печи; \times — \times — в электрической печи; \square — \square — с покрытием эмалью «А»; \blacksquare — \blacksquare — с покрытием эмалью «Б»; Δ — Δ — с облицовкой жидким стеклом + тальк; \blacktriangle — \blacktriangle — в среде аргона



свыше 2 ч для сплава ВМ65-1 заготовки надо выгрузить из печи. При возобновлении работы находящиеся в печи заготовки должны быть нагреты до верхнего предела температуры деформирования.

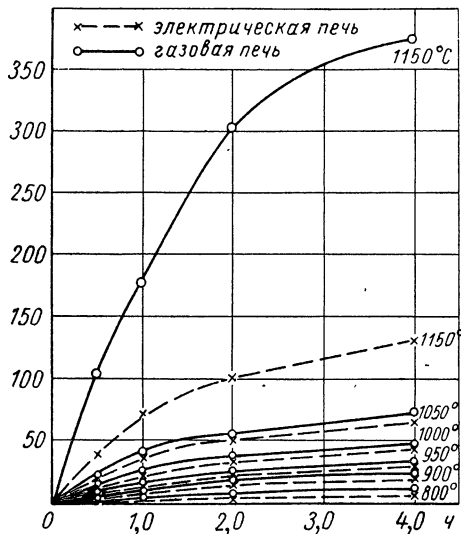


Рис. 9. Толщина окисной пленки на образцах из сплава ВТ8 в зависимости от температуры и времени нагрева

мм

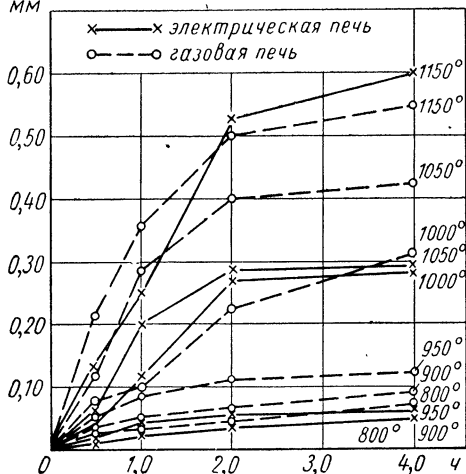


Рис. 10. Глубина альфированного слоя сплава ВТ8 в зависимости от температуры и времени нагрева

При нагреве заготовок из титановых сплавов необходимо обеспечивать минимальное время пребывания их при температуре свыше 800°C . Нагрев цилиндрических заготовок лучше производить индукционным способом. Фасонные заготовки рекомендуется нагревать в электрических методических или двухкамерных печах. Нагрев в газовых печах можно производить в окислительной атмосфере, причем факел пламени от форсунок не должен омывать нагреваемые заготовки.

Нагрев индукционным методом и в электрических печах производят в воздушной атмосфере. Печи должны быть оборудованы терморегуляторами. Температура в рабочем пространстве печи должна быть равномерной — перепад температур в разных зонах не должен превышать в электропечах 20°C , а в мазутных 30°C .

Преимущество индукционного метода заключается в резком сокращении общего времени нагрева (примерно в 3—4 раза по сравнению с нагревом в печах камерного типа). При этом методе уменьшается глубина альфированного слоя, уменьшается опасность появления трещин при деформировании и повышаются прочностные характеристики деформированных полуфабрикатов.

Преимущество индукционного нагрева показывают следующие примеры. Общее время нагрева заготовок диаметром 150 мм, из титанового сплава типа ВТ3-1 в трехслойном индукторе на промышленной частоте составляет ≈ 20 мин. При этом разность между температурами поверхности и сердцевины снижается до минимума через 1 мин после выключения тока. При обычном способе нагрева в высокотемпературной камерной печи это время составило бы около 75 мин. Поскольку рост зерна про-

исходит выше температуры полиморфного превращения, целесообразно для заготовок больших сечений применять предварительный подогрев до 800° С и затем осуществлять быстрый нагрев в индукторе до необходимой температуры. Это позволяет уменьшить до 2—3 мин пребывание заготовки в области высоких температур.

Время нагрева заготовок диаметром 55 мм на частоте 2500 гц составляет 4,5 мин, тогда как при нагреве в камерной печи необходимо 27 мин. Время нагрева слитка диаметром 420 мм в индукционной печи диаметром 450 мм, работающей на промышленной частоте, составляет 60 мин. Для нагрева в том же индукторе слитка диаметром 360 мм необходимо 70 мин.

Режимы нагрева заготовок индукционным методом

Диаметр заготовки в мм . . .	150	70—160
Оптимальная частота в пер/сек	50	500

Диаметр заготовки в мм	50—120	30—80	15—40
Оптимальная частота в пер/сек	1000	2500	8000

В индукторах целесообразно производить нагрев при крупносерийном производстве относительно небольшой номенклатуры разных по диаметру заготовок. При большой номенклатуре заготовок разных диаметров и ограниченном объеме производства целесообразно применение индукционных муфельных печей, работающих на промышленной частоте. В печах такого типа возможен нагрев заготовок диаметром 20—150 мм. Конструкция печей такого типа позволяет производить нагрев металла в защитной атмосфере. По сравнению с высокотемпературными печами сопротивления индукционные муфельные печи обладают лучшими энергетическими показателями, легко поддаются автоматизации и быстро разогреваются.

Подогрев заготовок при нагреве в двухкамерных печах производят до 800° С. Необходимо для подогрева время после загрузки в камеру с указанной температурой опреде-

ляется из расчета 1 мин на каждые 3 мм максимального поперечного сечения заготовки. Время, необходимое для нагрева после переноса заготовки из камеры подогрева в камеру окончательного нагрева, такое же, как и для подогрева.

Время, необходимое для нагрева в однокамерной печи после загрузки заготовок в камеру с температурой началаковки-штамповки, определяется из расчета 1 мин на каждые 2 мм максимального поперечного сечения заготовки.

Для заготовок диаметром св. 400 мм необходимо применять только двухступенчатый нагрев. В случае небольшого перерыва в работе температуру печи, в которой находятся заготовки, следует снизить до 800° С и после перерыва вновь повысить ее до температурыковки-штамповки со скоростью, допускаемой мощностью печи. При длительных перерывах в работе заготовки из печи выгружают и укладывают на сухой пол.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ КОВКИ

Изготовление поковок из сплавов цветных металлов осуществляют по технологическим схемам, приведенным на рис. 11 и 12 и в табл. 16.

Схемыковки разделяются на простые, когда заготовка подвергается только осадке или протяжке и сложные, представляющие собой сочетание двух простых схем. В последнем случае они номеруются в зависимости от количества принятых осадок и протяжек:


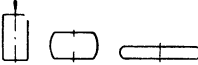
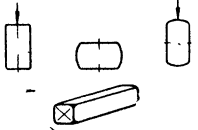

схема 1 — одна осадка и одна протяжка на размер;

схема 2 — две осадки и две или одна протяжка (см. рис. 11);

схема 3 — три осадки и три или две протяжки (см. рис. 12).

В схемековки должны быть указаны последовательность переходов и в каждом переходе — величина осадки заготовки; расположение продольной оси по отношению приложенной силы; способ осадки и протяжки (осадка в торец или с подсадкой

16. Схемыковки заготовок и поковок из сплавов цветных металлов

I. Изготовление заготовок протяжкой перпендикулярно оси заготовки		<p>Примечания: 1. Менее пластичные сплавы МА3 и МА5 деформировать по схемам I, III, IV и V не рекомендуется по причине возникновения трещин (схемы I, III и V) крупного разрушения (схема IV).</p> <p>2. Операция вытяжки относится к числу жестких схем деформации с большими растягивающими напряжениями, в связи с чем вытяжка ковкой под молотом не имеет широкого применения вследствие ограниченных возможностей увеличения степени деформации за один нагрев.</p>
II. Изготовление поковок методом осадки		
III. Изготовление заготовки осадкой с последующей вытяжкой поперек волокна		
IV. Изготовление фасонной заготовки разносторонней ковкой		
V. Изготовление фасонной заготовки вытяжкой и перековка с большего диаметра на меньший		

граней на «грибок» протяжки участками с указанием величины или сплющивание по всей длине заготовки).

Подковки I и II групп контроля, изготовляемые из прессованных прутков диаметром более 150 мм, с целью обеспечения в кованом полуфабрикате наиболее высоких и равномерных механических свойств необходимо ковать по схемам 2 или 3. Продольную ось исходной прессованной заготовки следует располагать в поковке в соответствии с формой, назначением и условиями работы детали, изготавливаемой из этой поковки. Для поковок осесимметричной формы (типа диск, кольцо, цилиндр), изделий типа фланцев и т. п. продольную ось заготовки надо располагать в направлении оси симметрии детали, а в поковках другой формы — в направлении, в котором необходимо обеспечить максимальные механические свойства.

С целью создания наилучших условий для проявления наибольшей пластичности сплавов и в особенности магниевых, ковку их надо производить в фигурных бойках.

Ковку на молотах, создающих большие скорости деформации, рекомендуется в начале процесса производить легкими ударами со степенью деформации за каждый удар не более 5—8%. По мерековки степень деформации можно постепенно увеличивать. При ковке на прессах степень деформации практически не ограничивается.

Бойки дляковки должны быть тщательношлифованы; кромки их должны быть закруглены ($R = 10$ мм не менее). Перед ковкой бойки надо прогреть до 300° С. По сравнению с осадкой на неподогретых бойках степень деформации при осадке на бойках, подогретых до 300° С, повышается в среднем на 35%

для алюминиевых и на 25% — для титановых сплавов. При осадке на холодных бойках отсутствует течение металла по контактной поверх-

сткам контактной поверхности. При осадке на бойках, нагретых до 300° С, заторможенный слой наблюдается только в границах зоны первоначаль-

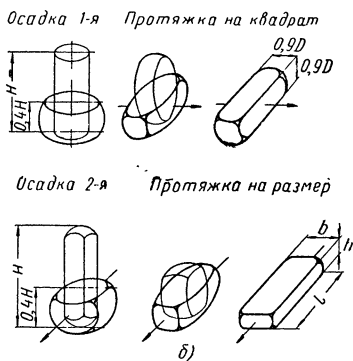
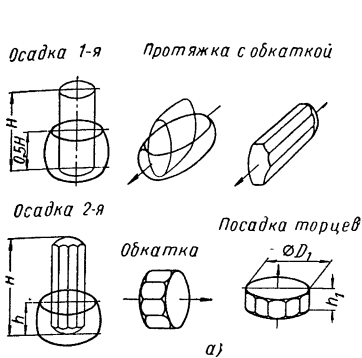


Рис. 11

ности. Наиболее интенсивное течение металла, сопровождающееся дроблением зерна и образованием ориентированной структуры в направле-

ного контакта, вне этих границ происходит течение металла по контактной поверхности.

Уменьшение сопротивления дефор-

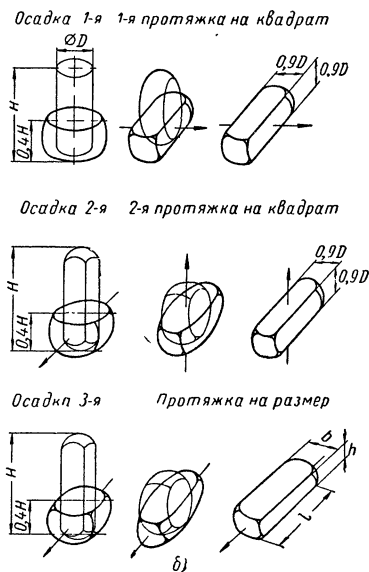
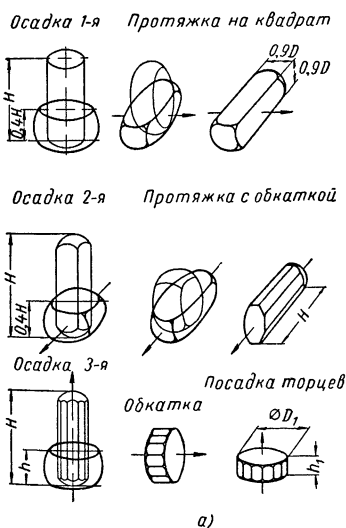


Рис. 12

нии течения, происходит непосредственно под заторможенным слоем. Интенсивность течения металла в сердцевине образца меньше, чем в слоях, прилегающих к заторможенным уча-

мированию при осадке на нагретых бойках происходит за счет увеличения высоты слоя перемещающегося металла. В случае осадки на холодных бойках титановых заготовок

с отношением $\frac{d}{h} = 10$ действительная высота слоя, где наблюдается течение металла, составляет 70—80% от высоты осажённой заготовки, при осадке на подогретых бойках — 90—100%. При ковке сплавов, в особенности алюминиевых и магниевых, в целях предотвращения прилипания заготовок к бойкам последние следует периодически посыпать тальком.

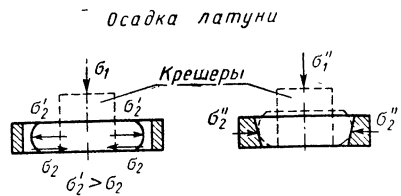
Типовые технологические процессыковки алюминиевых, магниевых и титановых сплавов приведены в табл. 17—28.

Особенностиковки медных сплавов. Незначительные деформации до 30%, которые могут применяться при ковке латуни Л59 свободной осадкой практически недостаточны для обработки латуней в серийном производстве свободной ковкой. Поэтому при холодной и горячей обработке давлением медных сплавов избегают такого напряженно-деформированного состояния.

Для повышения пластичности меди и медных сплавов вместоковки свободной осадкой применяют осадку с боковым давлением или прессование слитков выдавливанием в контейнере.

Для того чтобы повысить пластичность латуни Л59 и других медных

сплавов при осадке, увеличивают величины второго и третьего главных сжимающих напряжений. Этого достигают путем осадки с более высоким боковым давлением по сравнению со свободной осадкой.



Хрупкое состояние Пластичное состояние

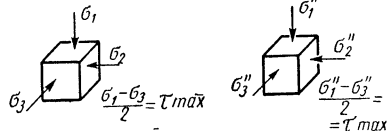


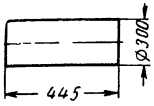
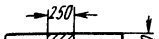
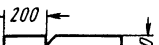
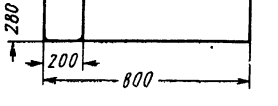
Рис. 13. Осадка латуни Л59 с боковым давлением в ограничительном кольце

Если при свободной осадке, сопровождающейся практически свободным уширением, латунь Л59 переходит в хрупкое состояние, то при осадке с высоким боковым давлением, например, в ограничительных кольцах, пластичность латуни значительно повышается (рис. 13).

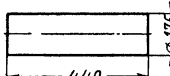
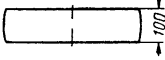
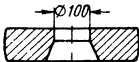
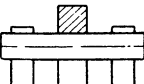

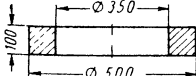
17. Типовой технологический процессковки алюминиевого сплава

Эскизы переходов	Операция. Степень деформации	Оборудование. Форма бойков
	Резка заготовок	Дисковая пила
	Нагрев до 480° С	Камерная электрическая печь
	Наметка	Ковочный молот 1 Т Бойки гладкие
	Оттяжка конца	Ковочный молот Бойки фигурные

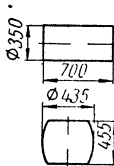
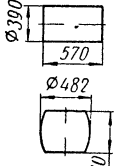

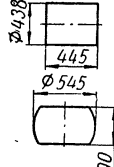
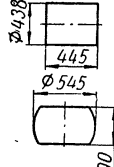
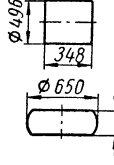
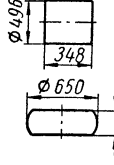
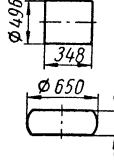
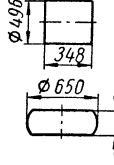
18. Типовой технологический процессковки алюминиевого сплава

Эскизы переходов	Операция. Степень деформации	Оборудование. Форма бойков
	Резка заготовок	Дисковая пила
	Нагрев до 480° С	Камерная электрическая печь
	Протяжка на прямоугольник	Ковочный молот 3 Т Бойки гладкие
	Наметка	Ковочный молот 3 Т Бойки гладкие
	Оттяжка конца	Ковочный молот 3 Т Бойки гладкие

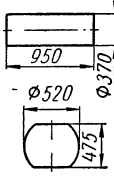
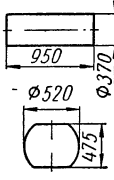
19. Типовой технологический процессковки алюминиевого сплава

Эскизы переходов	Операция. Степень деформации	Оборудование. Форма бойков
	Резка заготовок	Дисковая пила
	Зачистка торцов Нагрев до 470° С	Камерная электрическая печь
	Осадка	Ковочный молот 3 Т Бойки гладкие
	Прошивка	Ковочный молот 3 Т Бойки гладкие
	Нагрев до 470° С	Камерная электрическая печь
	Раскатка на оправке Правка по торцам	Ковочный молот 3 Т

20. Технология изготовления поковок для дисков из сплавов ВМ17 и МА3

Эскиз перехода	Операция Сте- пень деформации	Оборудова- ние. Форма бойков	Темпера- тура в °С	Режим повторных нагревов
	Литая или прес- сованная заго- товка, вес 112 кг	—	—	Гомогенизирующий отжиг при 490—500° С в течение 10—15 ч; МА3 при 415° С 40 ч
	Осадка, 35%	Пресс 300 т и выше 	ВМ17 500—300; МА-3 390—250	—
	Вытяжка, 25%			—
	Осадка, 35%			Нагрев: ВМ17 — 450° С, МА3 — 390° С
	Вытяжка, 20%			—
	Осадка, 35%			Нагрев: ВМ17 — 450° С; МА3 — 390° С
	Вытяжка, 20%			—
	Осадка, 43%			ВМ17 400—300; МА3 350—230

21. Технология изготовления поковок для дисков из сплавов ВМ17 и МА3

Эскиз перехода	Операция Сте- пень деформа- ции	Оборудова- ние. Форма бойков	Температура ковки в °С	Режим повтор- ных нагревов
	Литая заготовка	—	—	Гомогенизирую- щий отжиг: 490—500° С в те- чение 10—15 ч; для МА3 при 415 ± 5° С в тече- ние 40 ч
	Осадка, 50%	Пресс 3000 т и выше	ВМ17 500— 300; МА3 380—250	Нагрев: ВМ17 — 500° С; МА3 — 390° С

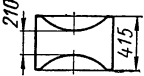
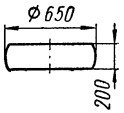

Продолжение табл. 21

Эскиз перехода	Операция. Степень деформации	Оборудование. Форма бойков	Температураковки в °С	Режим повторных нагревов
	Вытяжка, 20%	Пресс 3000 т и выше 	ВМ17 500—300; МА3 390—250 ВМ17 400—300; МА3 — 390—250	—
	Осадка, 50%			
	Штамповка в закрытом штампе. Заготовка выгибается 2 раза		ВМ17 450—300; МА3 300—250	Нагрев: ВМ17—450° С; МА3—390° С
	Осадка и правка поковки по размерам		ВМ17 400—300; МА3 350—250	Нагрев: ВМ17—400° С; МА3—350° С

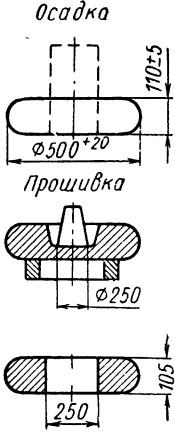
22. Технология изготовления поковок для дисков из сплавов ВМ17 и МА3

Эскиз перехода	Операция. Степень деформации	Оборудование. Форма бойков	Температура в °С	Режим повторных нагревов
	Литая заготовка	—	—	Гомогенизирующий отжиг: 490—500° С в течение 10—15 ч; для МА3 при 415° С ± 5° С в течение 40 ч
	Осадка, 50%	Пресс 3000 т и выше 	ВМ17 500—300; МА3—390—250	Нагрев: сплава ВМ17—500° С; сплава МА3—390° С
	Вытяжка, 18%			—

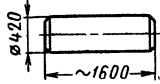
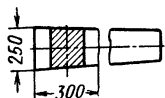
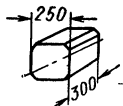
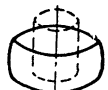
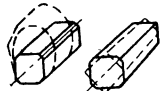
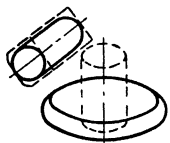
Продолжение табл. 22

Эскиз перехода	Операция Степень деформации	Оборудование. Форма бойков	Температура в °С	Режим повторных нагревов
	Штамповка, 50% (в центре диска)	Пресс 3000 т и выше	ВМ17 450—300; МА3 380	Нагрев ВМ17 450° С; МА3 380° С
	Свободная осадка, 50%		ВМ17 400—300; МА3 350—250	Нагрев: ВМ17—400° С; МА3 350° С

23. Технология изготовления поковок из сплава МА5

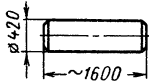
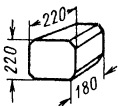
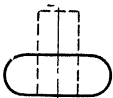
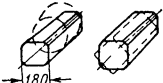
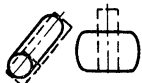

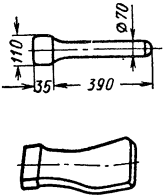
Эскиз перехода	Операция	Температурный режим			Оборудование. Инструменты
		время нагрева в ч	начало операции в °С	конец операции в °С	
 <p>осадка</p> <p>170±5</p> <p>500±20</p> <p>прошивка</p> <p>250</p> <p>105</p> <p>250</p>	Мерный слиток после обточки 505 × 1750 мм	—	—	—	Токарный станок Колодцы Печь Горизонтальный пресс 12000 т, контейнер Ø 520 мм, Матрица Ø 262 мм
	Гомогенизация: I ступень	6	360±10		
	II ступень	8	390±10		
	Нагрев	5	300—330		
	Прессование прутка на Ø 260 мм	—	330—300		
	Резка в меру l = 480 мм	—	—	—	
	Обточка заготовки с Ø 260 мм на Ø 250 мм	—	—	—	
	Зачистка заусенцев и центров	—	—	—	
	Нагрев	2,5	350—380		
	Осадка и прошивка заготовок	—	380	300	
Старение	24	185			
Травление и зачистка				Травильная ванна и бормашина Ванна окислированная	
Окислирование	—	—			
Приемка ОТК Сдача на склад					

24. Технологический процессковки шайб * из титановых сплавов

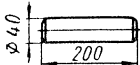



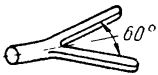

Эскиз перехода	Операция	Оборудование и указания по режимуковки
	<p>Нагрев слитка или блюмса</p>	<p>Печь</p>
	<p>Протяжка слитка на квадрат 250 мм. Рубка на мерные заготовки</p>	<p>Пресс 2000 Т или молот 5 Т</p>
	<p>Нагрев заготовки</p>	<p>Печь</p>
	<p>Подкатка на круг 200 мм. Осадка</p>	<p>Пресс 2000 Т или молот 5 Т. Осадка-протяжка производится:</p>
	<p>Протяжка на квадрат 200 мм со сменной граней и ребер</p>	<p>а) с температуры β-области, б) с температуры β-области близкой к границе полного α + β ⇌ β-превращения и в) при температуре α + β-области</p>
	<p>Нагрев. Подкатка и осадка на h=100 мм</p>	<p>Печь. Осадку производить при температуре, соответствующей α + β-области со степенью деформации не более 40% за вынос</p>

* Такой технологический процесс обеспечивает получение в поковке более равномерной и мелкой структуры и более высоких механических свойств

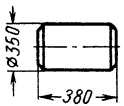
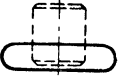



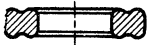
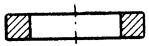
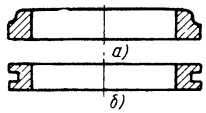
25. Технологический процесс свободнойковки фасонных заготовок под штамповку крупногабаритных лопаток из титановых сплавов

Эскиз перехода	Операция	Оборудование и указания по режимуковки
	Нагрев слитка	Печь
	Протяжка слитка на квадрат 200 мм. Рубка на мерные заготовки Нагрев заготовок	Пресс 2000 Т или молот 3 Т
	Подкатка на круг 200 мм. Осадка	Пресс 2000 Т или молот 3 Т. Осадка-протяжка производится 2 раза с температуры β-области с постепенным снижением до температуры полного превращения
	Протяжка на квадрат 180 мм со смежной гранью и ребер	
—	Нагрев	Печь
	Обкатка и осадка	Молот 3 Т. Осадка-протяжка производится 2 раза с температуры α + β-области
	Протяжка на квадрат 110 мм	
—	Нагрев	Печь
	Оттяжка хвостовой части заготовки	Молот 3 Т

26. Технологический процессковки заготовок под штамповку рычага из титановых сплавов

Эскиз перехода	Операция	Оборудование
	<p>Резка заготовок расчетной длины и нагрев до заданной температуры</p>	<p>Печь</p>
	<p>Вытяжка на плоских бойках</p>	<p>Молот 250—450 кг</p>
	<p>Разрубка. Нагрев</p>	
	<p>Гибка на заданный угол. Нагрев</p>	<p>Молот 250 кг</p>
	<p>Вытяжка концов рычага</p>	
	<p>Огрубить излишки, выправить поковку</p>	

27. Технологический процессковки и раскатки колец из титановых сплавов

Эскиз перехода	Операция	Оборудование
	Нагрев заготовок	Печь
	Осадка заготовки	Молот 5—15 Т
	Прошивка осаженной заготовки	
	Расковка на оправке 140—180 мм	Молот роговой 4,5 Т
	Калибровка по высоте Нагрев	Молот 7 Т
	Расковка на оправке \varnothing 220—250 мм	Молот роговой 4,5 Т
	Калибровка по высоте	Молот 7 Т
	Нагрев. Раскатка на специальном стане	Печь

28. Технологический процесс гибки и закручивания деталей из титановых сплавов

Сплав	Температура нагрева под гибку и закручивание в °С не выше	Температура конца гибки и закручивания °С не ниже	
		под молотом	под прессом
BT-1	850	750	650
BT4-0			700
OT4-1	880	900	
OT4	900		850
OT4-2	950	800	
BT4	920		850
BT3-1	930	920	
BT5	1000		800
BT5-1		850	
BT6C	900		850
BT6	920	750	
BT8	950		800
BT9		800	
BT14	900		700
BT15	800	900	
BT16	830		750
BT20	980	850	
BT22	850		700

Примечания: 1 Чтобы избежать значительного роста зерна и не ухудшать механических свойств, температура нагрева должна быть ниже температуры полного $\alpha + \beta \rightarrow \beta$ -превращения сплава (см. гл. 2 табл. 10).

2. Поверхностьгиба или закручиваемой поверхности не должна иметь наружных пороков в виде заковов, вмятин, складок, надрубов и надразов от механической обработки. Чистота поверхности достигается тщательной ковкой или механической обработкой. В крайнем случае дефекты могут быть удалены пологой зачисткой наждачным кругом. В противном случае наружные дефекты будут служить концентраторами напряжений и способствовать образованию складок и трещин в моментгиба или закручивания.

3. Поверхность заготовки не должна иметь глубокопроникающего альфированного слоя, который образуется в процессе длительного нагрева под ковку при температурах, превышающих температуру полного полиморфного превращения. Альфированный слой имеет низкую технологическую пластичность и поэтому могут образовываться глубокие трещины на поверхности в местегиба и закручивания.

4. Заготовка должна быть равномерно прогретой по всему сечениюгиба или закручивания.

5. Бойки должны быть подогреты до температуры не ниже 250° С

Изменение соотношений между напряжениями при осадке в кольце может быть представлено в виде

$$\sigma_1'' > \sigma_1; \quad \sigma_2'' \approx \sigma_3'' > \sigma_2 \approx \sigma_3.$$

Боковое давление на поверхность слитка повысило все сжимающие главные напряжения и снизило растягивающие деформации и напряжения. В результате пластичность сплава значительно увеличивается.

В процессе такой осадки в ограничительных кольцах, хрупкое состояние сплава не наблюдается даже при деформации, превышающей 35%.

Осадку меди и медных сплавов в ограничительных кольцах с высоким боковым давлением производится при соблюдении общего правила: свободная осадка заготовки до возникновения контакта осаживаемого металла с внутренней стенкой инструмента (кольца) может произ-

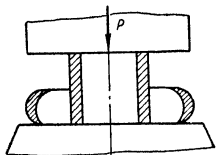


Рис. 14. Осадка с полным боковым давлением

водиться со степенью деформации, при которой медь или сплав на ее основе не переходят в хрупкое состояние. Как было показано выше, такая степень деформации для латуни Л59 равна 30%.

Боковое давление при осадке может быть введено и с самого начала осадки заготовки. Для этого применяют осадку с боковым давлением в кольце, в котором расположена заготовка с возможно наименьшим зазором (рис. 14). При осадке по данному методу кольцо подвергается растяжению. Сила, необходимая для растяжения кольца при осадке, и создает боковое давление. Величина бокового давления определяется прочностью материала кольца. Чем больше прочность кольца, тем больше боковое давление. При осадке в кольце приведенное правило осадки с боковым давлением не применяют, поскольку критическая деформация,

переводящая осаживаемый металл в хрупкое состояние при рассматриваемом методе осадки, значительно увеличивается.

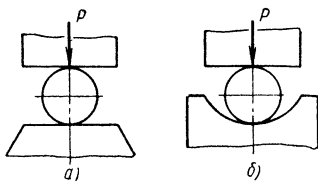


Рис. 15. Отделка (обкатка) заготовок после осадки

Осадка с полным боковым давлением в кольце, с боковым давлением с самого начала деформации применяется дляковки малопластичных и труднодеформируемых медных сплавов.

После осадки заготовки подвергаются отделочной операции — обкатке на гладких или в вырезных бойках (рис. 15).

Вытяжку применяют для получения поковок заданных размеров или для получения прутков или полос

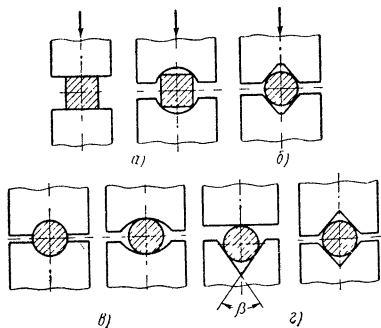


Рис. 16. Бойки, применяемые для вытяжки: а — плоские; б — вырезные; в — полукруглые вырезные; г — ромбические вырезные

немерной длины, из которых режутся или рубятся в горячем состоянии мерные заготовки под дальнейшую ковку или штамповку. Осадку-вытяжку применяют для всесторонней проработки металла.

Для вытяжки применяют плоские или вырезные бойки (рис. 16), а также обжимки. Вырезные бойки бы-

вают полукруглые и ромбические с углом $\beta = 90 \div 120^\circ$. Производительность вытяжки на вырезных бойках на 20—40% выше, чем на плоских.

Вытяжные ковочные операции осуществляются на ковочных молотах или прессах, а также на ковочных вальцах. На ковочных вальцах про-

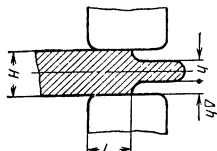


Рис. 17. Схема вытяжки на плоских бойках

изводят главным образом оттяжку концов прессованных или катаных прутков из меди и медных сплавов, например, для захвата при дальнейших волочильных операциях.

Вытяжные операции в пределах небольшого развеса заготовок производятся с подачей вручную, а заготовок большого развеса — с помощью напольных или подвесных манипуляторов.

Плоские бойки для вытяжных операций (рис. 17) применяют для высокопластичных сплавов, а вырезные бойки (особенно полукруглые) — для менее пластичных, так как они благодаря всестороннему обжатию препятствуют возникновению боковых растягивающих (разрушающих) напряжений.

В процессе вытяжки медных сплавов необходимо добиваться большого удлинения заготовки и меньшего ее уширения. Это достигается за счет небольшой подачи заготовки за каждое обжатие. Чем меньше уширение и чем больше удлинение заготовки при каждом обжатии, тем большая получается уковка, т. е. тем интенсивнее происходит процесс вытяжки.

Величину относительного обжатия (степень деформации по высоте) следует назначать, учитывая технологическую пластичность того или иного медного сплава, а также необходимость достаточно хорошей проработки металла. При больших степенях обжатия за каждый жим (удар)

возможно образование зажимов (складок) металла, которому способствуют острые или изношенные кромки бойков.

Более благоприятной является вытяжка с последовательным односторонним обжатием по всей длине перед кантовкой.

Вытяжка состоит из элементов отдельных осадок, последовательно выполняемых в процессе технологических операций вытяжки. Но отличается от осадки более равномерными условиями всесторонней деформации металла, что видно из схемы, представленной на рис. 18.

При осадке — вытяжке отдельные зоны деформации, образующиеся во время осадки, меняют свое положение за счет кантовки. В частности 1-я зона наименьшей деформации, получаемая при осадке, в процессе вытяжных операций превращается во 2-ю зону большей деформации.

При вытяжке после каждого жима (удара) происходит осадка. Проведенными исследованиями показано,

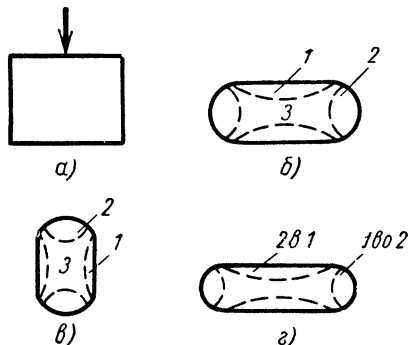


Рис. 18. Деформация металла при вытяжке: а — заготовка; б — деформация после первого удара при вытяжке; в — кантовка заготовки на 90° ; г — деформация после кантовки и второго удара при вытяжке

что степень деформации за ход машины при осадке латуни Л59 не может быть выше 30%, так как большие деформации приводят сплав при осадке в хрупкое состояние с образованием трещин. Поэтому при вытяжке латуни Л59 и других медных сплавов степень деформации не должна превышать 30%.

Из этого следует, что медные сплавы при свободной ковке вытяжкой на плоских бойках не допускают обработки с высокими деформациями.

Поэтому в заводской практике при серийном производстве слитки медных сплавов редко обрабатывают свободной ковкой. Методковки применяют только при изготовлении единичных изделий или при изготовлении малых серий. Причем, в случае применения вытяжных операций методомковки необходимо ковку производить в вырезных бойках, которые выбирают в зависимости от пластичности сплава по табл. 11 (гл. 2). В серийном производстве слитки из медных сплавов деформируют прессованием на горизонтальных прессах.

При прессовании выдавливанием механическая схема деформации характеризуется неравномерным всесторонним сжатием, при котором главные сжимающие напряжения значительно более высокие по сравнению с ковкой осадкой и вытяжкой. Поэтому при прессовании выдавливанием слитки из медных сплавов подвергаются значительным деформациям, при этом прессуемый металл не переходит в хрупкое состояние.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ШТАМПОВКИ

Штамповку сплавов цветных металлов предпочтительнее производить на гидравлических, механических и фрикционных прессах, так как при меньшей, чем на молотах, скорости деформирования равномернее течет металл и, следовательно, меньше образуется дефектов на поверхности штамповок. Схемы деформирования следует выбирать такие, из которых получение требуемой формы происходит за счет выдавливания (экструдирования), а не за счет осадки.

Штамповка на молотах

При отсутствии прессового оборудования штамповки изготовляют на паровоздушных и других штамповочных молотах с весом падающих ча-

стей 500—2000 кг и более, в открытых штампах и преимущественно из прессованных (алюминиевой, магниевой, медной) — катаных и кованных (титановых) заготовок.

Однако штамповкой под паровоздушными молотами рекомендуется обрабатывать только более пластичные сплавы для производства деталей небольшого веса.

Из сплавов средней пластичности на штамповочных молотах можно изготавливать детали простой формы и только в тех случаях, когда исходная заготовка близка по форме и конфигурации получаемой штамповки. Детали разной сложности из менее пластичных сплавов целесообразно деформировать за два перехода пресса.

В случае выполнения работ в открытых одноручевых штампах на молотах штамповку надо начинать легкими ударами, постепенно усиливая их. С момента образования облоя, в связи с более благоприятной схемой напряженного состояния, степень деформации не ограничивается. Применять многоручевые штампы нецелесообразно в связи с тем, что после каждой деформирующей операции необходимо удалять дефекты на поверхности заготовок.

Перераспределение исходного материала обычно производится свободной ковкой.

Штамповка на прессах

Существует два метода штамповки: 1) из предварительно подготовленной фасонной заготовки, которая получается открытой ковкой на плоских или фасонных бойках и по своей конфигурации близка к готовой штамповке. Затем фасонная заготовка штампуются в одноручевом штампе с одним или несколькими нагревами; 2) мерная заготовка без предварительнойковки непосредственно поступает на штамповку. Заполнение полости штампа металлом зависит от формы заготовки и ручья в штампе.

При штамповке на прессах следует назначать два перехода — предварительный и окончательный, так как при степени деформации более 40%

за один ход пресса в облой вытесняется значительный объем металла, вследствие чего полость штампа заполняется не полностью.

В случае комбинированной (прес-молот) штамповки за два перехода, первый переход надо заполнять на прессе, второй — на молоте.

При изготовлении сложных заготовок с резкими переходами между сечениями должны быть предусмотрены дополнительные переходы для предварительной деформации на прессе.

Многократную штамповку производят с промежуточной обрезкой облой, с последующим травлением и зачисткой наружных дефектов.

Многократную штамповку можно осуществлять в одном штампе или в специальных предварительных штампах, постепенно доводящих заготовку до окончательных размеров. Предварительные переходы рассчитывают так же, как и для штамповок из конструкционной стали. Для заготовок с двутавровыми сечениями рекомендуется следующая методика определения формы и размеров сечения предварительного перехода

(рис. 19). Заштрихованные площади сечения (рис. 19, а и б) должны быть равновелики. В предварительном переходе (рис. 19, а) полотно выполняется толще и радиус сопряжения ребра с полотном больше, за счет чего ребро становится ниже. На окончательном переходе избыточный металл необходимо направить из полотна предварительного сечения в ребро, не дав ему уйти в облой. Для этого в сечении предварительного перехода за ребрами предусматривается некоторый избыток металла, являющийся как бы продолжением полотна сечения. Избыток металла имеет толщину h и радиус R сопряжения с ребрами такие же, что и полотно. Длина l избытка металла зависит от толщины h и радиуса R и обычно не превышает 10—15 мм. В данном случае двутавровое сечение можно рассматривать как два крестообразных сечения, приставленных одно к другому полотнами. При доштамповке такого сечения избыточный металл, расположенный за ребрами, сразу же образует облой и

частично идет в ребро (см. рис. 19, б), а металл, расположенный между ребрами, идет только на заполнение

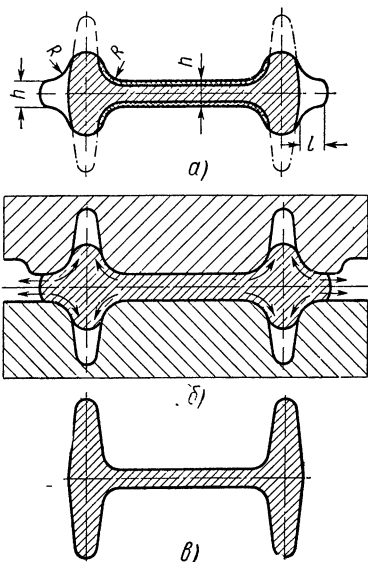


Рис. 19

ребер. Такая форма сечения предварительного перехода обеспечивает получение заготовок двутаврового сечения без дефектов. Формы сечений

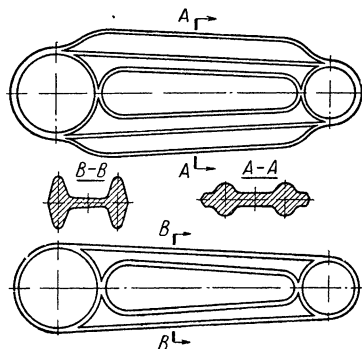


Рис. 20

предварительного и окончательного переходов для типовой штамповки показаны на рис. 20.

Обрезка облой. У штамповок из сплавов цветных металлов облой

обрезают как правило в обрезных штампах. Обрезку облоя у штампов из алюминиевых и магниевых сплавов на ленточных пилах применяют только в случаях больших габаритных размеров и небольших

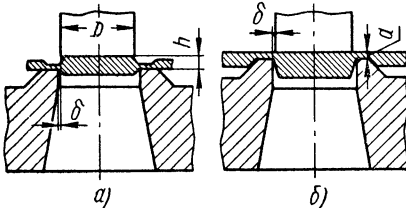


Рис. 21

количества штампов, когда изготовление обрезных штампов целесообразно. Обрезку облоя в штампах у штампов из алюминиевых и медных сплавов производят в холодном состоянии, из магниевых сплавов МА2 и ВМ65-1 при температуре не ниже 220°С из сплавов МА3 и МА5 в интервале температур 220—300°С, из титановых сплавов — при 600—800°С.

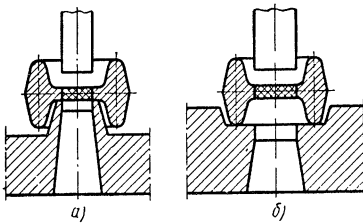


Рис. 22

В зависимости от формы штампов обрезку облоя производят или толкающим или режущим пуансоном. При обрезке толкающим пуансоном (рис. 21) зазор δ между матрицей и пуансоном назначают по табл. 29 в зависимости от высоты h , равной расстоянию от режущей кромки матрицы до плоскости прилегания пуансона (см. рис. 21). При переменной высоте для данной штамповки зазор δ назначают по наименьшей высоте.

В случае обрезки режущим пуансоном (см. рис. 21) зазор δ определяют по табл. 30 в зависимости от толщины a срезаемого облоя.

29. Зазор δ между матрицей и пуансоном при обрезке

h	D	a	δ
а) Обрезка облоя толкающим пуансоном			
До 10	До 30	—	0,5
10—25	30—60	—	1,0
Св. 25	Св. 60	—	1,5
б) Обрезка облоя режущим пуансоном			
—	—	1—1,2	0,10
—	—	1,5	0,15
—	—	2,0	0,17
—	—	3,0	0,25
—	—	4,0	0,3
—	—	5,0	0,4
—	—	6,0	0,5

Поверхность прилегания пуансона к штамповке должна быть тщательно подогнана во избежание образования нажимов, которые могут привести к браку, в особенности, если нажимы имеют место на необрабатываемых поверхностях.

Прошивку отверстий в штамповках производят в условиях режущего пуансона (рис. 22, а), когда прошиваемое место опирается на матрицу в отличие от стальных штамповок, где прошивка производится преимущественно толкающим пуансоном (рис. 22, б).

Усилие для обрезки облоя определяют по формуле

$$P = \sigma_{cp} \Pi (a + \delta + 1,2R),$$

где σ_{cp} — временное сопротивление сразу в $\kappa\Gamma/\text{мм}^2$; Π — периметр среза в мм ; a — номинальная толщина облоя в мм ; δ — положительное отклонение на толщину поковки в мм ; R — радиус у выхода на облойный мостик в мм .

Усилие для прошивки определяют по формуле

$$P_{np} = \sigma_{cp} \Pi (a_1 + \delta_1),$$

где a_1 — фактическая толщина прокаливаемой перемычки в мм ; δ_1 — положительное отклонение на толщину перемычки.

Штамповка в закрытых штампах (рис. 23—24). Основным преимуще-

размеров с незначительным торцовым заусенцем, который удаляется при механической обработке штамповки.

2. Высадка детали с глубокой прошивкой на машине 600 Т. Заготовку диаметром 55 мм и длиной 145 мм

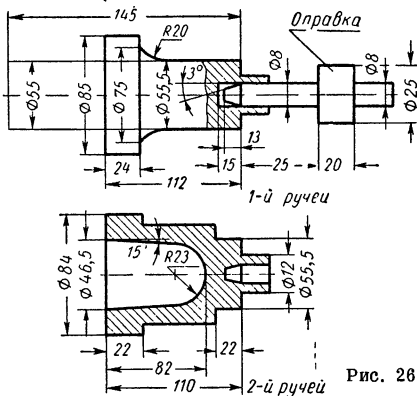


Рис. 26

из сплава АК6 с предварительно высверленным отверстием диаметром 8 мм и глубиной 15 мм под оправку штампуют в два перехода (рис. 26): в первом ручье заготовка осаживается с набором бурта, во втором —

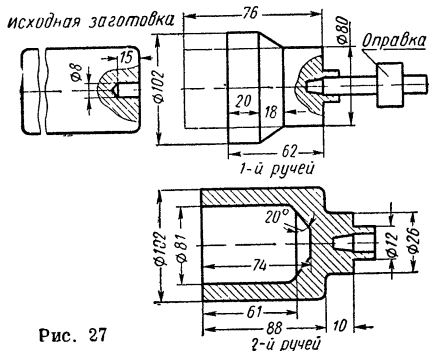


Рис. 27

осуществляется прошивка с окончательным оформлением штамповки.

3. Штамповка детали типа стакана с глухим отверстием и центральным отростком на машине 600 Т. Заготовку диаметром 80 мм, длиной 76 мм из сплава АК6 с предварительно высверленным отверстием под оправку штампуют в два перехода (рис. 27):

в первом ручье высаживается бурт, во втором окончательно оформленные штамповки прошивкой с выдавливанием металла на пуансон.

Для титановых сплавов набор металла чаще всего производится в 2—4 перехода при штамповке деталей типа стержня с утолщением, когда соотношение длины высаживаемого стержня к высоте высаженной части

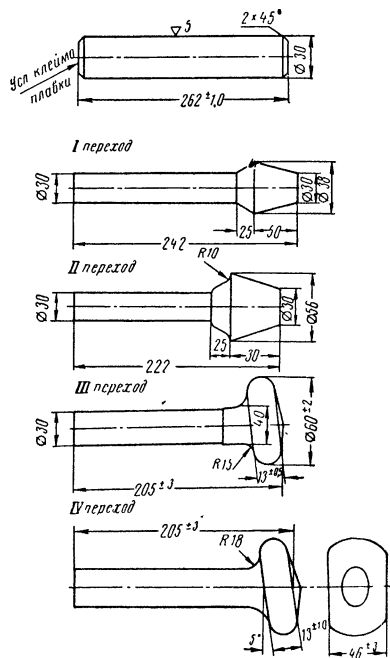


Рис. 28. Технологический процесс штамповки на ГКМ — высадка

составляет 1 : 4 + 1 : 8 (рис. 28) и в один переход при соотношении 1 : 2 и менее.

Кроме высадки на ГКМ можно производить операции гибки, пережима, прошивки для образования несквозных полостей, просечки для получения сквозных отверстий, выдавливания и др.

В табл. 30 приводится наиболее распространенный ряд ГКИ с указанием принятых двух видов обозначения размера машин и соответствующего условного номера.

30. Наиболее распространенный ряд ГГМ

Условный номер (в дюймах)	Обозначения ГГМ величины предельно допустимого давления * в т	Обозначение ГГМ размером диаметра высаживаемого прутка в мм
1	50	25
2	200	50
3	450	75
4	750	100
5	1000	125
6	1300	150
7	2000	175
8 (7 1/2)	2500	200 (188)
9	3000	225

* Давление машины является основным показателем, по которому устанавливается допустимость штамповки на ней деталей заданных размеров.

Штамповка с применением высокотемпературной термомеханической обработки

С целью повышения усталостных и статических кратковременных и длительных прочностных свойств титановых сплавов (свойства повышаются на 20—30%) применяют так называемую высокотемпературную термомеханическую обработку (ВТМО).

Штамповка деталей с применением ВТМО рекомендуется для титановых сплавов типа $\alpha + \beta$ (сплавы ВТ3-1, ВТ6, ВТ8 и ВТ9). Она заключается в совмещении операции штамповки с последующей закалкой в воде.

Штамповку при этом производят на том же оборудовании, что и обычную штамповку, но предпочтительнее применять пресса.

Степень деформации при ВТМО для получения оптимальных прочностных и пластических свойств должна быть в пределах 40—50%, а температура нагрева под деформацию — соответствовать величинам, приведенным в табл. 31. Оптимальная температура нагрева должна быть на 20—30° С ниже температуры полного ($\alpha + \beta \rightleftharpoons \beta$ -превращения).

Для получения эффекта ВТМО и равномерных прочностных и пласти-

ческих свойств при этом толщина штамповки при применении ВТМО из-за низкой теплопроводности титановых сплавов не должна превышать 30 мм; исходная заготовка должна иметь структуру, не превышающую 5-й балл шкалы микроструктуры (рис. 29) и 4-й балл шкалы макроструктуры (рис. 30) титановых сплавов.

31. Температура нагрева под штамповку деталей с применением ВТМО

Сплав	Температура нагрева $\pm 10^\circ \text{C}$
ВТ3-1 и ВТ3	930
ВТ8 и ВТ9	950

Штамповки следует охлаждать в баке с проточной водой, температуру которой надо поддерживать в пределах 30—70° С.

Непосредственно после штамповки перед охлаждением в воде необходимо обрезать облой и провести правку. Время проведения операций (штамповка, обрезка облоя и правка) с момента выема заготовок из печи до охлаждения в воде не должно превышать 40 сек (50 сек для сплава ВТ3-1). Оптимальным временем является 30—35 сек и для сплава ВТ3-1 40—45 сек. Более короткое время, особенно для сплава ВТ3-1, приводит к снижению пластических свойств (прочность повышается). Более длительное время ведет к понижению прочностных свойств.

После штамповки деталей с применением ВТМО они должны подвергаться старению. Температура старения и время выдержки при старении приведены в табл. 32.

32. Температура старения и время выдержки при применении ВТМО

Сплав	Температура старения в °С	Время старения в ч
ВТ3-1	От 550 до 620	5—2
ВТ6	500	2
ВТ8	От 550 до 570	5—2
ВТ9	570	2

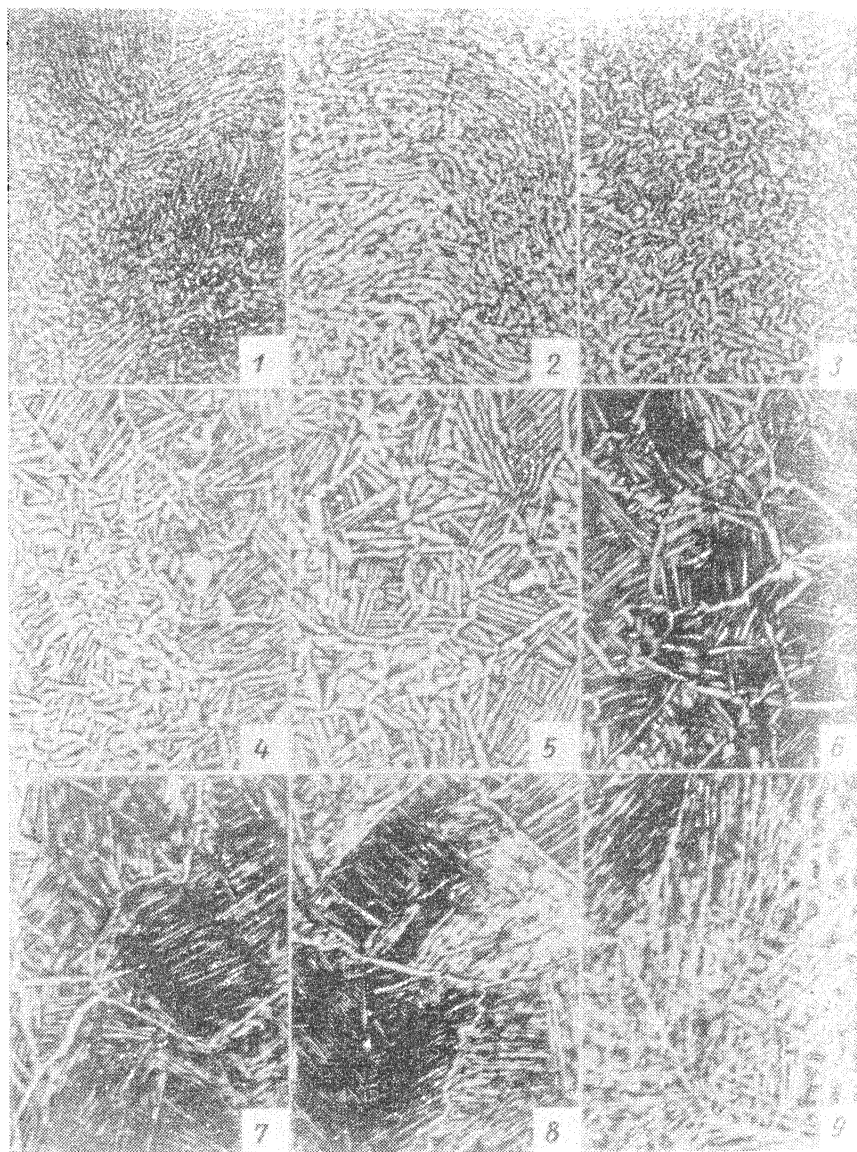


Рис. 29. Шкала микроструктур титановых сплавов

Смазка при штамповке

При штамповке алюминиевых и магниевых сплавов в качестве смазки применяют искусственный воск, мас-

ло с графитом, животный жир и масло вапор. Хорошие результаты дает также комплексная смазка следующего состава (в %): 8—25 Pb_3O_4 ; 10 графита, 10 талька и остальное

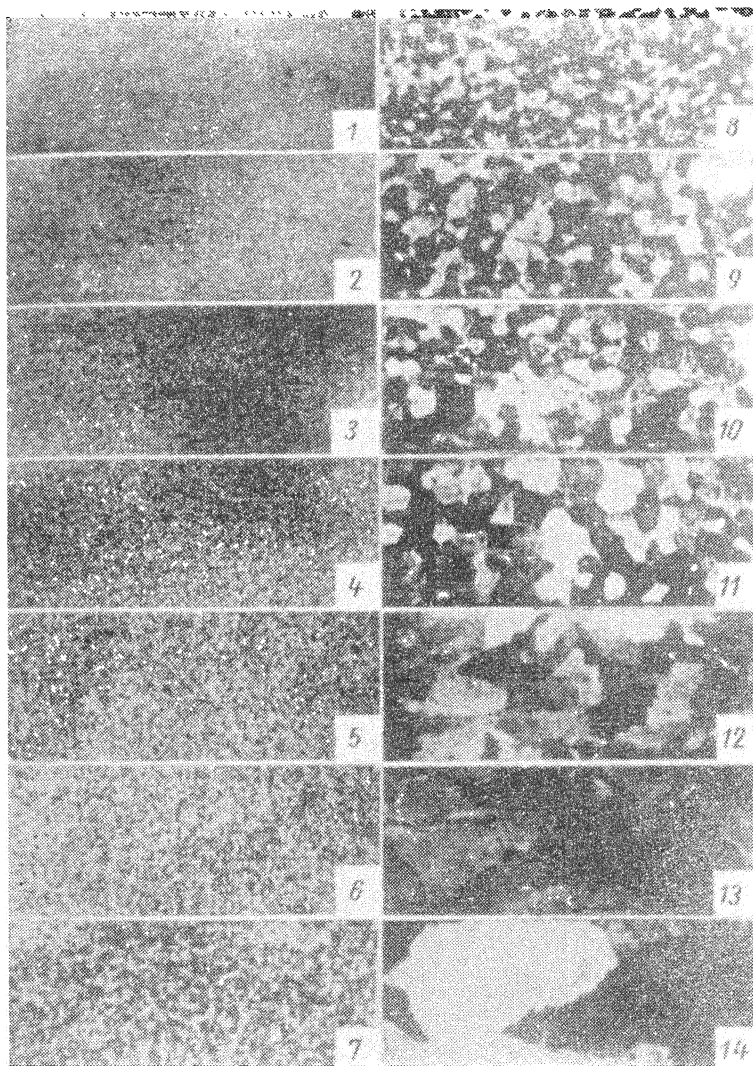


Рис. 30. Шкала макроструктур титановых сплавов

масло «Вапор I». В этой смазке Pb_3O_4 может быть заменен на стеорат свинца в том же количестве.

При штамповке титановых и медных сплавов в качестве смазок применяют мазут и масло с графитом, а также различные эмали стекла и др.

После нанесения смазки на стенки полости производят обдув сжатым

воздухом с целью более равномерного распределения и для удаления избыточной смазки полости штампа.

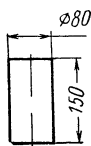
Типовые технологические процессы штамповки

Типовые технологические процессы штамповки приведены в табл. 33—53.

35. Технологический процесс штамповки

Эскизы переходов	Операция	Температурный режим			Оборудование Инструмент
		Время на- грева в мин	Температура в °С		
			на- чало	конец	
	Резка заготовок	—	—	—	Дисковая пила
	Нагрев	60	—	—	Электрическая печь
	Ковка	—	480	380	Ковочный молот 500 кг
	а) протяжка на квадрат	—	—	—	—
	б) разрубка	—	—	—	—
	Травление	—	—	—	Травильные ванны
	Зачистка дефектов	—	—	—	Бормашина
	Нагрев	60	—	—	Электрическая печь
	Штамповка предварительная	—	480	380	КГШП 160 Т ковочный штамп
	Обрезка облоя	—	—	—	Обрезной пресс 150 Т
	Травление	—	—	—	Обрезной штамп Травильные ванны
	Зачистка дефектов	—	—	—	Бормашина
	Нагрев	60	—	—	Электрическая печь
	Штамповка окончательная	—	480	380	КГШП 160 Т ковочный штамп
	Обрезка облоя	—	—	—	Обрезной пресс 150 Т
Травление	—	—	—	Травильные ванны	
Зачистка дефектов	—	—	—	Бормашина	
Контроль	—	—	—	—	

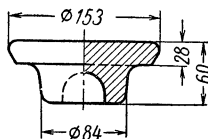
36. Технологический процессковки деталей из магниевого сплава МА2 на штамповочном молоте



а)



б)

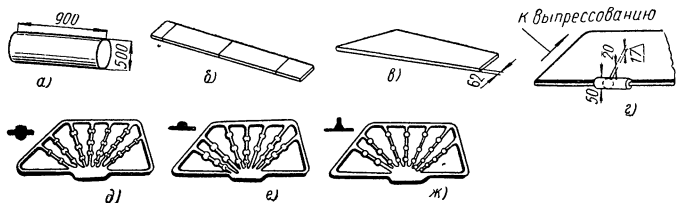


в)

Операция	Температурный режим			Оборудование Инструмент
	Температура в °С			
	время нагрева	начало операции	конец операции	
Резка заготовки (эскиз а)	—	—	—	Пила
Нагрев заготовки	2 ч	420		Электропечь
Осадка в торец (эскиз б)	—	420	360	Молот 1,5 Т. Бойки
Нагрев под штамповку	1 ч 40 мин	420		Электропечь
Штамповка (эскиз в)	—	420	350	Молот 2,0 Т. Штампы
Обрезка облоя	—	300	250	Пресс 100 Т. Матрица и пуансон
Травление	—	—	—	Ванна
Зачистка дефектов	—	—	—	Бормашина. Фрезы
Травление	—	—	—	Ванна
Оксидирование	—	—	—	»
Контроль и сдача	—	—	—	—

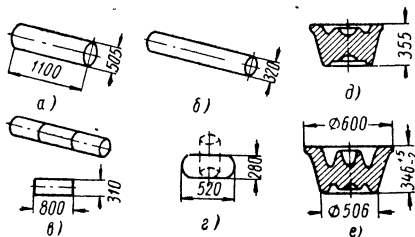
Размер заготовки в мм	Вес в кг		Выход годного в %	Примечание
	заготовки	поковки		
$D = 80;$ $l = 150$	1,40	1,25	74	Температура штампов не менее 250° С. Смазка — машинное масло

37. Технологический процесс штамповки детали
(вес 30 кг) из сплава МА2-1 на гидравлическом прессе



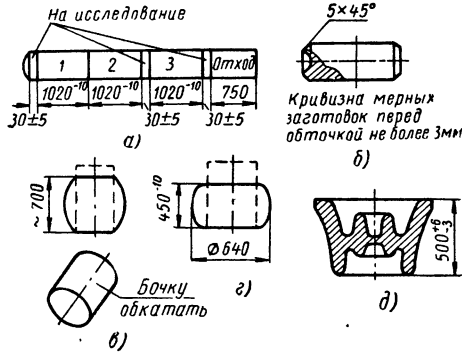
Операция	Температурный режим		Оборудование. Инструмент
	Время в ч	° С	
Мерный слиток диаметром 500×900 мм (эскиз а)	—	—	—
Гомогенизация слитка	24	390—405	Колодцы
Нагрев	8	300—370	Электропечь
Прессование (эскиз б)	—	370—280	Горизонтальный пресс Контейнер Ø 520 мм Матрица 62 × 295
Раскрой заготовки (эскиз в)	—	—	Ленточная пила
Нагрев	1	320—380	Электропечь
Выпрессовка заготовки (эскиз г)	—	380—300	Вертикальный пресс. Выпрессовочный штамп
Зачистка заготовки	—	—	Бормашина
Нагрев	1	320—380	Электропечь
Заготовительная штамповка (эскиз д)	—	380—300	Вертикальный пресс. Заготовительный штамп
Обрезка облоя, зачистка и травление	—	—	Ленточная пила. Ванна.
Нагрев	1	320—380	Электропечь
Предварительная штамповка (эскиз е)	—	380—300	Вертикальный пресс. Предварительный штамп
Обрезка облоя, зачистка и травление	—	—	Ленточная пила. Ванна
Нагрев	1	320—380	Электропечь
Окончательная штамповка I (эскиз ж)	—	380—300	Вертикальный пресс. Чистовой штамп
Обрезка облоя, зачистка и травление	—	—	Ленточная пила. Ванна
Нагрев	1	320—380	Электропечь
Окончательная штамповка II (эскиз ж)	—	380—300	Вертикальный пресс. Окончательный штамп
Обрезка облоя, зачистка, травление и оксидирование	—	—	Ленточная пила. Ванна
Контроль и сдача	—	—	—

38. Типовой технологический процесс штамповки деталей (вес 100 кг) из сплава ВМ65-1 на гидравлических прессах с усилием 12–15 тыс. т



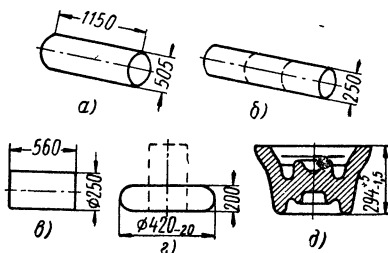
Операция	Температурный режим		Оборудование. Инструмент
	Время в ч	°С	
Литая заготовка после обточки (эскиз а)	—	—	Токарный станок
Гомогенизация	12	380—400	Электропечь
Нагрев	5	300—350	»
Прессование (степень деформации 62%) (эскиз б)	—	350—300	Горизонтальный пресс. Контейнер \varnothing 540 мм. Матрица \varnothing 320 мм
Резка в меру (косина реза не более 5 мм) (эскиз в)	—	—	Дисковая пила
Обточка с \varnothing 320 мм на \varnothing 310 мм	—	—	Токарный станок
Зачистка острых кромок и торцов	—	—	Бормашина
Нагрев	3	380—420	Электропечь
Осадка (степень деформации 65%) (эскиз г)	—	420—300	Вертикальный пресс
Зачистка дефектов	—	—	Бормашина
Нагрев	4	300—330	Электропечь
Предварительная штамповка (эскиз д)	—	330—300	Вертикальный пресс, предварительный штамп
Обрезка облоя	—	—	Ленточная пила
Травление и зачистка дефектов	—	—	Ванна
Нагрев	2	300—330	Электропечь
Окончательная штамповка (эскиз е)	—	330—300	Вертикальный пресс, окончательный штамп
Обрезка облоя	—	—	Ленточная пила
Термообработка	24	165 ± 5	Колодцы старения
Травление, зачистка и оксидирование	—	—	Ванны
Контроль и сдача	—	—	—

39. Технологический процесс штамповки деталей (вес 230 кг) из сплава ВМ65-1 на гидравлических прессах



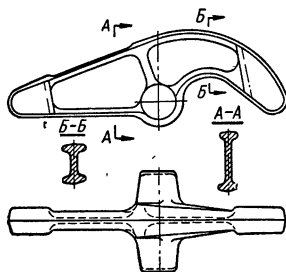
Операция	Температурный режим			Оборудование. Инструмент
	Время на-грева в ч	Температура в °С		
		начала операции	окончания операции	
Гомогенизация	12	380	400	Колодцы
Обточка слитка с Φ 670 на Φ 630 + 2 мм	—	—	—	Токарный станок
Нагрев под прессование	5,5	280	320	Электропечь
Прессование	—	310	280	Горизонтальный пресс. Контейнер Φ 650 мм. Матрица Φ 420 мм. Дисквая пила
Резка в меру (косина реза до 10 мм) (эскиз а)	—	—	—	Токарный станок
Обточка заготовки с Φ 420 ± 2 на Φ 400 ± 1 мм	—	—	—	Токарный станок
Зачистка центров и острых кромок (эскиз б)	—	—	—	Бормашина
Нагрев под ковку	3,5	380	420	Электропечь
Осадка (эскиз в)	—	420	300	Вертикальный пресс
Зачистка дефектов	—	—	—	Бормашина
Нагрев	3,5	350	380	Электропечь
Предварительная штамповка	—	380	300	Вертикальный пресс. Предварительный штамп
Обрезка обля	—	—	—	Карусельный станок
Травление и зачистка	—	—	—	Ванна и бормашина
Нагрев	2,0	300	330	Электропечь
Окончательная штамповка I (эскиз г)	—	330	280	Вертикальный пресс
Обрезка обля	—	—	—	Карусельный станок
Травление, зачистка дефектов	—	—	—	Ванна и бормашина
Нагрев	1,5	300	330	Электропечь
Окончательная штамповка II (эскиз д)	—	330	280	Вертикальный пресс
Обрезка обля	—	—	—	Окончательный штамп
Термообработка-старение	24	165 ± 5	—	Карусельный станок
Травление и зачистка дефектов	—	—	—	Колодцы старения
Оксидирование	—	—	—	Ванна и бормашина
Контроль и сдача	—	—	—	Ванна

40. Типовой технологический процесс штамповки деталей (вес 60 кг) из сплава МА5 на гидравлическом прессе



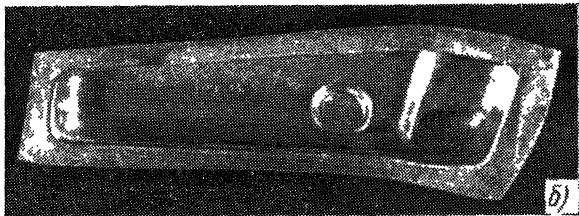
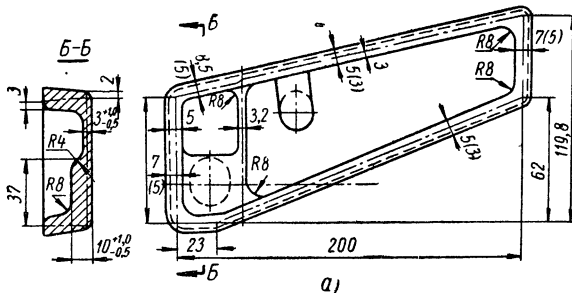
Операция	Температурный режим			Оборудование Инструмент
	Время на- грева в ч	Температура в °С		
		начала операции	оконча- ния операции	
Гомогенизация слитка (эскиз а):				
I ступень	6	350—370		Колодезные печи
II ступень	8	380—400		То же
Нагрев под прессование	5	300—400		Электропечь
Прессование (коэффициент вытяжки — 4) (эскиз б)	—	330	300	Горизонтальный пресс. Контейнер Φ 540 мм Матрица Φ 262 мм
Резка в меру	—	—	—	Дисковая пила
Обточка заготовки с Φ 60 ± 2 мм на Φ 250 ± 1 мм (эскиз в)	—	—	—	Токарный станок
Нагрев под ковку	2,5	350—380		Электропечь
Осадка (степень деформации 65%) (эскиз г)	—	380	300	Вертикальный пресс
Зачистка дефектов	—	—	—	Бормашина
Нагрев под штамповку (эскиз д)	1,5	350—380		Электропечь
Предварительная штамповка	—	380	300	Вертикальный пресс Предварительный штамп
Обрезка облоя	—	—	—	Ленточная пила
Травление и зачистка де- фектов	—	—	—	Травильная ванна и бор- машинка
Нагрев	1,0	320—350		Электропечь
Окончательная штамповка	—	350	300	Вертикальный пресс. Окончательный штамп
Обрезка облоя	—	—	—	Ленточная пила
Термообработка, старение	24	185 ± 5		Электропечь старения
Травление, зачистка дефек- тов, оксидирование	—	—	—	Ванна
Контроль и сдача	—	—	—	—

41. Типовой технологический процесс штамповки детали из сплава ВМ65-1 на кривошипном прессе



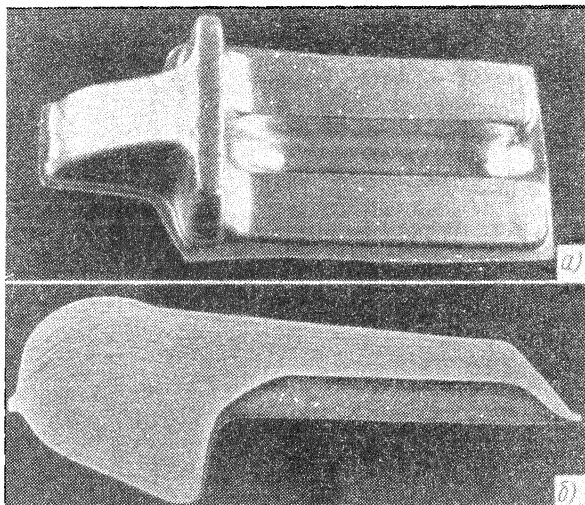
Операция	Температурный режим			Оборудование. Инструмент
	Время нагрева	Температура в °С		
		начала операции	оконча- ния операции	
Резка мерных заготовок (прессованный пруток) Ø 60×205 мм	—	—	—	Ленточная пила
Нагрев	1 ч 30 мин	400—300		Электродпечь ПН-15
Предварительная штам- повка	—	400	360	Кривошипный пресс 2000 Т. Окончательный штамп
Обрезка облоя	—	—	—	Пила
Нагрев	1 ч 30 мин	380—300		Электродпечь ПН-15
Окончательная штам- повка	—	380	320	Кривошипный пресс 2000 Т. Окончательный штамп
Обрезка облоя	—	300—280		Обрезной пресс
Травление	—	—	—	Ванны
Зачистка дефектов	—	—	—	Бормашина
Травление и оксидиро- вание	—	—	—	Ванны
Контроль и сдача	—	—	—	—

42. Типовой технологический процесс штамповки деталей из сплава ВМ65-1 на кривошипном прессе



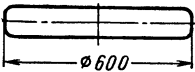
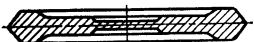
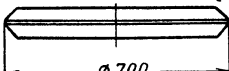
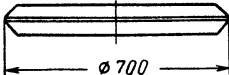
Операция	Температурный режим			Оборудование Инструмент
	Время нагрева	Температура °С		
		начала операции	оконча- ния операции	
Резка заготовок из по- лосы толщиной 25 × 78 × 213 мм	—	—	—	Ленточная пила
Нагрев	1 ч 20 мин	400	350	Электропечь ПН-15
Предварительная штам- повка	—	400	360	Кривошипный пресс 1500 Т. Окончательный штамп
Обрезка обля	—	—	—	Ленточная пила
Нагрев	1 ч 20 мин	380	300	Электропечь ПН-15
Окончательная штампов- ка	—	380	320	Кривошипный пресс 1500 Т. Окончательный штамп
Обрезка обля	—	300	280	Обрезной пресс
Травление	—	—	—	Ванна
Зачистка дефектов	—	—	—	Бормашина
Травление и оксидиро- вание	—	—	—	Ванны
Контроль и сдача	—	—	—	—

43. Типовой технологический процесс штамповки детали из сплава ВМ65-1 на кривошипном прессе




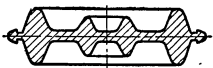
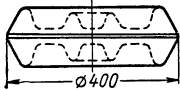


Операция	Температурный режим			Оборудование. Инструмент
	Время нагрева	Температура в °С		
		начала операции	окончания операции	
Резка заготовки из полосы толщиной 35 мм	—	—	—	Пила
Нагрев	1 ч 20 мин	400	350	Электродпечь ПН-15
Предварительная штамповка	—	400	360	Кривошипный пресс 1500 Т. Окончательный штамп
Обрезка облоя	—	—	—	Ленточная пила
Нагрев	1 ч 20 мин	380	300	Электродпечь ПН-15
Окончательная штамповка	—	380	320	Кривошипный пресс 1500 Т. Окончательный штамп
Обрезка облоя	—	300	280	Обрезной пресс
Травление	—	—	—	Ванна
Зачистка дефектов	—	—	—	Бормашина
Травление и оксидирование	—	—	—	Ванны
Контроль и сдача	—	—	—	—

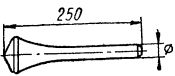
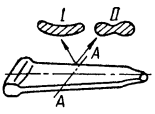


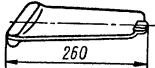

44. Технологический процесс штамповки диска из титанового сплава
(при штамповке преобладает осаживание) (I группа)

Эскиз операции	Операция	Оборудование
	Заготовка шайбы (получена методом двух-, трехкратной осадки-протяжки)	—
	Нагрев	Печь
	Штамповка	Молот 16 Т или пресс 15—20 тыс. Т
	Обрезка облоя	Обрезной пресс 600—800 Т
	Правка	Молот 16 Т или 15—20 тыс. Т
—	Зачистка дефектов	—

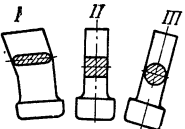
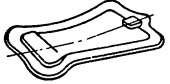
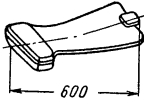
45. Технологический процесс штамповки диска из титанового сплава
(при штамповке преобладает выдавливание) (I группа)

Эскиз перехода	Операция	Оборудование
	Нагрев	Печь
	Штамповка а) переход предварительный	Молот 10 Т или пресс 10 тыс. Т
	Нагрев б) переход окончательный	
	Обрезка облоя	Обрезной пресс 600 Т
	Правка	

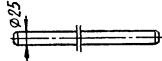
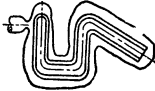
46. Технологический процесс штамповки лопаток из титанового сплава (II группа)

Эскиз перехода	Операция	Оборудование
	Нагрев	Печь
	Штамповка а) переход предварительный	Вариант II — рекомендуемый КГШП 2500 или ГКМ $\geq 2,5''$
	Зачистка дефектов	
	Нагрев б) переход окончательный	КГШП 2500—4000 T
	Обрезка обля	
	Правка	
	Зачистка дефектов	

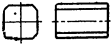
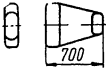
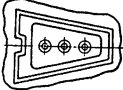
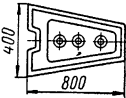

47. Технологический процесс штамповки крупногабаритных лопаток из титанового сплава (II группа)

Эскиз перехода	Операция	Оборудование
	Фасонная заготовка (получена методом двух-, трехкратной осадки-протяжки)	—
	Нагрев	Печь
	Штамповка	Молот 13—15 T или пресс 8 000—10 000 T
	Обрезка обля	Обрезной пресс 1000—1200 T
	Правка	—
	Зачистка дефектов	—

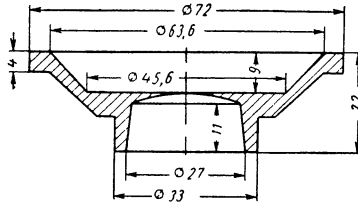
48. Технологический процесс штамповки деталей типа вилки-кронштейна из титанового сплава (III группа)

Эскиз перехода	Операция	Оборудование
	Нагрев	Печь
	Штамповка а) переход предварительный — гибка	Молот 1 Т
	Нагрев б) переход окончательный	Печь Молот 1 Т или пресс 2500 Т
	Обрезка обля	Обрезной пресс 200—300 Т
	Правка	-
	Зачистка заусенцев	-

49. Технологический процесс штамповки рамы из титанового сплава (IV группа)

Эскиз перехода	Операция	Оборудование
	Нагрев	Печь
	Ковка фасонной заготовки методом двойной осадки-протяжки	Молот 5 Т
	Нагрев	Печь
	Предварительная штамповка	Гидравлический пресс 30 000 Т
	Нагрев Окончательная штамповка	Печь
	Обрезка обля	Обрезной пресс 1000 Т
	Правка	Гидравлический пресс 30 000 Т

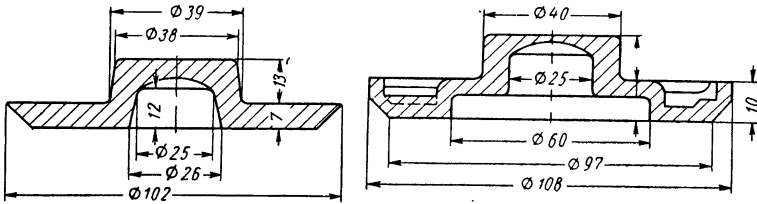
50. Типовой технологический процесс штамповки чашки из сплава Л1-59 на фрикционном прессе



Операция	Оборудование	Температурный режим в °С	
		Начало операции	Конец операции
Резка мерной заготовки 60x7,9 мм*	Дисковая пила	—	—
Нагрев заготовки	Печь	780	700
Штамповка	Фрикционный пресс	—	730
Отпуск	Печь	—	300
Травление	Травильные ванны	—	—
Контроль и передача на механическую обработку	Контрольный стол	—	—

* При отсутствии прутка $\varnothing 60$ мм заготовку можно резать из меньшего диаметра с последующей осадкой до $\varnothing 60$ мм.

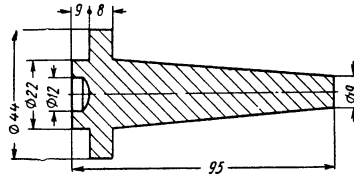
51. Типовой технологический процесс штамповки лимба из сплава Л1-59 на фрикционном прессе



Операция	Оборудование	Температурный режим в °С	
		Начало операции	Конец операции
Резка мерной заготовки 90x10 мм*	Дисковая пила	—	—
Нагрев заготовки	Печь	780	780
Предварительная штамповка	Фрикционный пресс	—	730
Подогрев	Печь	780	780
Окончательная штамповка	Фрикционный пресс	—	730
Прошивка центральной отверстия**	Обрезной пресс	—	—
Отпуск	Печь	—	300
Травление	Травильная ванна	—	—
Контроль и передача на механическую обработку	Контрольный стол	—	—

* При отсутствии прутка $\varnothing 90$ мм заготовку можно резать из прутка $\varnothing 50$ мм с последующей осадкой до $\varnothing 90$ мм.
 ** Операция вводится для облегчения механической обработки.

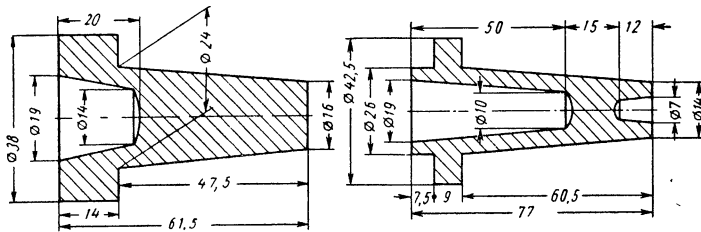
52. Типовой технологический процесс штамповки конуса из сплава Л-59 на фрикционном прессе



Операция	Оборудование	Температурный режим в °С	
		Начало операции	Конец операции
Резка мерной заготовки 35 × 32 мм*	Ленточная пила	—	—
Нагрев заготовки	Печь	780	780
Штамповка	Фрикционный пресс	—	730
Отпуск	Печь	300	—
Травление	Травильные ванны	—	—
Контроль и передача на механическую обработку	Контрольный стол	—	—

* При отсутствии прутка Ø 35 мм заготовку можно резать из прутка Ø 30 мм.

53. Типовой технологический процесс штамповки баксы из сплава Л-59 на фрикционном прессе



Операция	Оборудование	Температурный режим в °С	
		Начало операции	Конец операции
Резка мерной заготовки 35 × 27.8 мм*	Ленточная пила	—	—
Нагрев заготовки	Нагревательная печь	780	780
Предварительная штамповка	Фрикционный пресс	780	730
Подогрев	Нагревательная печь	780	780
Окончательная штамповка	Фрикционный пресс	780	730
Отпуск	Нагревательная печь	300	—
Травление	Травильная ванна	—	—
Контроль и передача на механическую обработку	Контрольный стол	—	—

* При отсутствии прутка Ø 35 мм заготовку можно резать из прутка Ø 30 мм.

КАЛИБРОВКА

Плоскостная калибровка осуществляется обжатием между плитками отдельных элементов штамповки и применяется для получения точных размеров и требуемой чистоты отдельных плоских и криволинейных поверхностей. Плоскостной калибровке могут также подвергаться грубо обработанные резанием поверхности деталей. При плоскостной калибровке происходит свободное течение металла в направлении, перпендикулярном направлению деформирующего инструмента.

Обжатию могут подвергаться одновременно две или несколько поверхностей. Эти поверхности могут находиться в нескольких параллельных плоскостях (рис. 31, а).

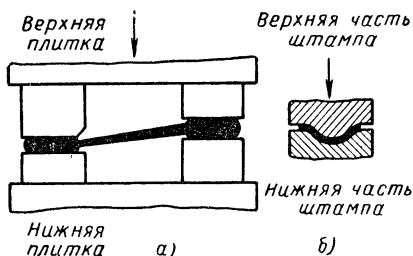


Рис. 31

Во избежание коробления отдельных не подвергаемых калибровке мест заготовки, в особенности при значительных расстояниях между калибруемыми участками, эти места подвергаются частичному обжатию (правке).

Объемная калибровка осуществляется путем обжатия заготовки в ручье штампа с выдавливанием избыточного металла в облой (рис. 31, б). Образующийся облой обрезается в специальном штампе, а чаще всего удаляется механической обработкой.

В процессе горячей калибровки штампы должны иметь температуру 200° С для массивных заготовок и 300—350° С для заготовок с тонкими полотноми. Оптимальным оборудованием для горячей калибровки являются горячештамповочные прессы. Эта операция выполнима и на молотах простого действия. Фрикционные прессы и молоты двойного дей-

ствия не рекомендуется применять в связи с опасностью поломки штоков или ходовых винтов из-за так называемых «сухих» ударов. Чекачковые прессы не рекомендуется применять для горячей калибровки, ибо тонкие части заготовки успевают подстыть в процессе нарастания деформирующих усилий, в результате при удалении заготовки из штампа она может получить дополнительное коробление.

Смазка при калибровке. Для калибровки заготовок из алюминиевых сплавов применяют следующие составы смазок (в %): 60 вазелина технического; 30 мыла хозяйственного; 10 стеарина.

Несколько менее эффективна смазка, состоящая из 75% рыбьего жира и 25% стеарина.

Применение указанных смазок снижает потребное усилие калибровки на 8—20%.

Рекомендуется применять для калибровки парафиновые смазки, которые позволяют в отдельных случаях снизить удельное давление на 50—60%, обеспечивая при этом выравнивание удельного давления по торцу изделия значительно уменьшая выпуклость торцов.

Сталь, используемая для калибровочных штампов, может противостоять удельным давлением порядка 200—250 кг/мм². Выравнивание и снижение удельных давлений будет способствовать значительному повышению стойкости калибровочного инструмента.

Применение парафина позволит осаживать образцы с соотношением $\frac{d}{h} = 16$, осадка которых в обычных условиях затруднительна в виду больших удельных давлений и низкой стойкости.

Существенным недостатком применения смазок является недостаточная чистота калиброванных поверхностей. В этом отношении преимущество имеет калибровка без смазки, которая при достаточной чистоте обработки поверхностей калибровочных плиток дает чистоту поверхности во многих случаях более высокую, чем шлифование.

Весьма эффективен способ двойной калибровки.

Первая калибровка — без смазки и служит для получения чистых и гладких торцевых поверхностей. Этой операцией снимается 75% припуска на калибровку. Вторая калибровка производится со смазкой и служит для исправления полученной

при первой калибровке выпуклости торцевых поверхностей.

ОЧИСТКА ПОВЕРХНОСТИ ШТАМПОВОК

Поверхность штамповок из сплавов цветных металлов очищается травлением (табл. 54).

54. Составы растворов для травления

Материал штамповок	Состав раствора	Температура раствора в °С	Продолжительность в мин	Назначение
Алюминиевые сплавы	Na_3PO_4 — 50 г Na_2CO_3 — 50 г Жидкое стекло — 30 г Вода — 1 л	60—70	2	Обезжиривание
	NaOH или KOH — (50—70) г Вода — 1 л	40—50	2	Травление
	HNO_3 уд. вес 1,4—1 л Вода — 1 л	Комнатная 15—20	2—5	Осветление
Магниеиые сплавы	CrO_3 — 20%-ный раствор HNO_3 — 90—100 г/л, уд. вес 1,4 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ — 70 г/л NH_4Cl — 3—5 г/л NaOH или KOH — 50—70 г Вода — 1 л	60—80 60—80 40—50	3—5 10—20 2—3	Травление Обезжиривание
	1 раствор H_2SO_4 — 110—130 г/л + HF — 70—80% г/л 2 раствор: H_2SO_4 — 180—220 г/л + NF — 35—45 г/л	20 55—65	0,5—5 10—30	Травление
Бронза Бр. АЖМ	HNO_3 — 1 л., уд. вес 1,4 Вода — 1 л	15—20	2	
Латунь	HNO_3 — 200 см ³ , уд. вес 1,4 HCl — 2 см ³ , уд. вес 1,19 Глянцевая сажа — 1 ÷ 2 г Вода — 800 см ³	15—20	3—5	Предварительное травление
	HNO_3 — 75 см ³ ; уд. вес 1,4 H_2SO_4 — 100 см ³ ; уд. вес 1,84 HCl — 1 см ³ ; уд. вес 1,19 Вода — 824 см ³	15—20	3—5	Глянцевое травление

* Окалина на поверхности штамповок из титановых сплавов имеет химическую стойкость, значительно превосходящую стойкость основного металла. Практически она не растворима во многих агрессивных средах, поэтому трудно удаляется травлением. Окалину необходимо обработать предварительно в расплаве щелочи или следует очищать механически в дробетметных или гидросеоструйных аппаратах, а затем удалять травлением в растворах, указанных в таблице. Технология механической очистки такая же, как у остальных штамповок.

ОСНОВНЫЕ ДЕФЕКТЫ И МЕТОДЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Наряду с общеизвестными дефектами, такими, как незаполнение, пе-

рекос, потеря геометрических размеров, имеющие место и при штамповке конструкционной стали, встречаются специфические для сплавов цветных металлов дефекты (табл. 55—57).

55. Наиболее распространенные дефекты брака штамповок из титановых сплавов

Причины	Методы устранения
<i>Трещины по линии разреза</i>	
1. Некачественный металл. 2. Металл плохо нагрет. 3. Недостаточная толщина облой. 4. Мал радиус выхода из полости в облой. 5. Штамповка на молоте завышенной мощности.	При качественном металле и хорошем его нагреве перед штамповкой необходимо: 1. Утолстить облой. 2. Увеличить радиус выхода в облой. 3. Штамповать на молоте нужной мощности.
<i>Прострелы у оснований ребер</i>	
1. Чрезмерно тонкие ребра. 2. Мал радиус сопряжения ребра с молотом. 3. Плохо нагрет металл. 4. Плохо прогрет штамп. 5. Слишком тонкое полотно.	При хорошем нагреве металла и достаточном прогреве штампа необходимо: 1. Увеличить радиус сопряжения ребра с полотном. 2. Утолстить ребро. 3. Утолстить полотно.
<i>Зажимы</i>	
1. Плохая укладка заготовки. 2. Нехватка металла в месте образования зажима.	1. Точно укладывать исходную заготовку, перекрывая те места полости, где образуется зажим. 2. Увеличить, или более правильно, распределить объем металла в исходной заготовке.
<i>Складки</i>	
Неправильное течение металла от: 1. Неправильной формы исходной заготовки. 2. Неправильной кладки заготовки. 3. Нарушения режима нагрева.	1. Заготовка должна перекрывать полость штампа, чем предотвращается перемещение металла вдоль полости
<i>Разнозернистая структура в сечении поковки</i>	
В утолщенных местах поковок в особенности из алюминиевых сплавов имеет место крупнозернистая структура, что является следствием многократных нагревов и небольших степеней деформаций	1. Исходная заготовка должна быть выбрана с учетом нужной деформации в утолщенных местах поковок

56. Дефекты поковок из титановых сплавов, их причины и способы устранения

Причины	Способы устранения
<i>Трещины и надрывы</i>	
а) Малая технологическая пластичность; б) Ковка при низких температурах; в) Местное подстуживание во время ковки	Легкие удары молота или ковка под прессом (сплав ВТ15); Температура конца ковки не ниже оговоренной в таблицах; Подогрев инструмента не ниже 250° С.

Продолжение табл. 56

Причины	Способы устранения
<i>Поверхностные трещины</i>	
<p>а) Образование глубокого хрупкого альфированного слоя в результате нагрева перед ковкой при температурах выше 1000° С и большое время нагрева при этом.</p> <p>б) Грубообработанная или необработанная с дефектами поверхность заготовок.</p>	<p>Нагрев производить при минимально возможных температурах, минимально возможное время или в защитной среде (аргон или гелий).</p> <p>Механическая обработка не ниже $\nabla 4$ или пологая зачистка дефектов наждачным камнем</p>
<i>Внутренние трещины</i>	
<p>1. Металлургические дефекты в слитках:</p> <p>а) Расковавшиеся включения W, Mo, Cr.</p> <p>б) Расковавшиеся включения наислороженных участков, как результат введения окисленных кусков отходов или как результат наислороженных кусочков губки.</p> <p>2. Затекание смазки при прессовании прутков.</p>	<p>Отбраковывание заготовок путем рентгеновского просвечивания и ультразвукового контроля заготовок</p>
<i>Включения</i>	
<p>Металлургические дефекты в слитках W, Mo, Cr, окисленные пленки, при добавлении при выплавке отходов включения по-иному травящихся участков (полос или пятен) другого химического состава</p>	<p>Отбраковывание заготовок путем рентгеновского просвечивания заготовок и ультразвукового контроля</p>
<i>Неравномерная и грубая структура, неравномерные и низкие механические свойства</i>	
<p>а) Недостаточная проработка металла.</p> <p>б) Высокая температураковки.</p> <p>в) Разогрев металла во времяковки.</p> <p>г) Неравномерный прогрев металла.</p>	<p>Ковка методом 2—3-кратной осадки-протяжки со сменой граней и ребер с постепенным снижением температурыковки с β-области до температуры $(\alpha + \beta)$-области.</p> <p>Окончательная ковка с температуры $(\alpha + \beta)$-области.</p> <p>Ковка на менее мощном оборудовании более слабыми ударами молота или обжатиями прессы</p>

57. Дефекты поковок медных сплавов и способы их устранения

Причины	Способы устранения
<i>Скол под углом 45°</i>	
<p>Образуется при осадке малоэластичных трудно деформируемых сплавов при применении больших деформаций</p>	<p>Уменьшить степень деформации при осадке</p>

Продолжение табл. 57

Причины	Способы устранения
<i>Трещины на боковой поверхности осаживаемой заготовки</i>	
Вызываются растягивающими напряжениями и деформациями на боковой поверхности вследствие увеличения диаметра осаживаемой заготовки в процессе осадки	Устранить неровности (концентраторы напряжения) на боковой поверхности и уменьшить степень деформации при осадке
<i>Расслоение</i>	
Происходит вследствие высокой химической неоднородности (ликвации, пористости и других металлургических дефектов) в центральной части слитка или заготовки	Увеличить степень деформации до величины, при которой во всех трех зонах осаживаемой заготовки она была более критической, более 15%
<i>Неравномерная структура металла после осадки</i> получается вследствие неравномерной деформации и образования зон в осаживаемой заготовке с различной деформацией	

КОВКА И ШТАМПОВКА БЕРИЛЛИЯ И СПЛАВОВ

БЕРИЛЛИЙ

Химический состав, физические и механические свойства. Металлический бериллий получают путем термического восстановления его из расплава солей или электролитическим путем. Полученный одним из этих способов бериллий переплавляется в вакуумных печах.

Технический плавный бериллий имеет следующий химический состав:

Be (по разности)	Fe	Mn	Si	Ni	Al	Mg	C
98,5—99,5	0,1—0,5	0,05—0,07	0,1—0,15	0,05	0,05—0,1	0,05	0,05—0,1

Примеси таких металлов, как Ag, Sr, В, Cd, Li и др., содержатся в значительно меньших количествах. Кислород, в зависимости от способа получения металла, содержится в различных количествах, главным образом в виде окиси бериллия.

Металлический бериллий, полученный переплавом из электролитических чешуек, имеет меньше примесей по сравнению с бериллием, полученным переплавом из королек термически восстановленного металла.

Дальнейшая очистка металла от примесей производится путем дистилляции, зонного рафинирования и других методов.

Литой бериллий, получаемый индукционной плавкой в вакууме или электроннолучевой плавкой, может быть использован в качестве заготовки для обработки давлением. Однако крупное зерно литых заготовок осложняет процесс обработки и не позволяет получать достаточно высокие механические свойства. Предел прочности литой заготовки не превышает 15—20 кг/мм², а относительное

удлинение практически близко к нулю. Литой бериллий обладает низкой технологической пластичностью при обработке давлением [69] и [84].

Низкое качество литого материала в значительной мере обусловлено также склонностью расплавленного бериллия к газонасыщению, что может вызывать появление пор и трещин в кристаллизующейся отливке, а также чрезвычайно высокой химической активностью этого металла,

вступающего в жидком состоянии в химическое взаимодействие с большинством элементов, в том числе с материалом тигля.

Однако, если при обработке давлением удастся сильно измельчить зерно литой заготовки и предотвратить появление трещин и других очагов разрушения, то деформированный — предварительно прессованный выдавливанием — металл не уступает по качеству металлу, полученному из порошковой заготовки.

Наиболее перспективными путями улучшения качества литого бериллия с целью сделать возможным его применение в качестве заготовки для прессования,ковки и штамповки, следует считать легирование его малыми добавками Ti, Nb, Zr и других элементов, измельчающих структуру плавного металла, воздействие на металл ультразвуком, центробежное литье, кристаллизация под давлением.

Металлокерамические заготовки — основной вид материалов на основе бериллия, практически нашедший

1. Химический состав различных сортов порошка бериллия [69, 84]

Сорт бериллия	Ве в %	Примеси в %						
		Fe	Si	Al	Mg	C	O ₂	Cl
Стандартный порошок марки QMV (США)	99,0—99,6	0,15	0,05	0,05	0,05	0,07	0,6	—
То же, повышенной чистоты	99,4—99,8	0,04	0,03	0,01	0,005	0,04		
Порошок электролитический фирмы «Peshiney» (Франция)	99,8	0,006	0,008	0,06	0,001	0,06	0,06	0,0008
Хлопьевидный электролитический (Франция)	99,4	0,039	0,0165	0,0095	—	0,05	0,29	0,29
Многokrатно дистиллированный (А. W. R. E, США)	99,9	0,0035	0,012	0,006	0,0002	0,015	0,025	0,015
Зонноррафинированный после 5 проходов	99,95	0,004	0,001	0,0001	0,002	0,018		0,0002

применение для изготовления поковок и штамповок. Их получают горячим прессованием порошка в вакууме или предварительным выдавливанием из горячепрессованного материала на мощных прессах. Возможно также получение поковок и штамповок бериллия непосредственно из порошков методом горячего прессования в вакууме.

Сорт исходного металла, его чистота, метод приготовления порошка и величина частиц порошка оказывают существенное влияние на свойства заготовок и деформированных полуфабрикатов. В табл. 1 указана чистота сортов бериллия, полученного различными методами. Стандартный порошок марки QMV обычной и повышенной чистоты (фирма Brush Beryllium Corp., США) изготавливают из дистиллированного бериллия, полученного методом восстановления фторида бериллия магнием. В настоящее время порошок марки QMV, а также порошок, получаемый путем электролиза из расплава хлорида бериллия по способу фирмы «Peshiney» (Франция) являются наиболее распространенными порошками, выпускаемыми в США и Франции для изготовления изделий из бериллия.

Компактные заготовки из порошка бериллия за рубежом получают путем горячего прессования в вакуумных

печах при остаточном давлении 10^{-2} — 10^{-3} мм рт. ст. и при 1100 — 1200° С в графитовых прессформах при удельном давлении 50 — 60 кг/мм² в течение нескольких часов. Заготовки приобретают при этом плотность, близкую к теоретической (1,85). Возможно получение компактной заготовки холодным прессованием с последующим спеканием [84].

В табл. 2 приведены данные о влиянии природы порошка (способов получения порошка) на механические свойства прутковых заготовок, выданных * при температуре 450° С со степенью вытяжки около 4 : 1 из заготовок, полученных горячим прессованием при 1050° С и давлении 7 кг/см [84].

На рис. 1 показано влияние величины зерна на механические свойства горячепрессованного в вакууме бериллия в зависимости от температуры. Как видно из графика, мелкодисперсные порошки обеспечивают, особенно при температурах до 600° С, более высокие характеристики. Это обусловлено увеличением удельной поверхности зерен с уменьшением их размера, а также увели-

* В отличие от горячего прессования бериллия, продуктом которого является компактная заготовка, брикет, прессование через матрицу принято называть выдавливанием, экструдированием.

2. Механические свойства образцов бериллия, изготовленных из различных видов порошка [84]

Свойства	Порошок, полученный восстановлением из паровой фазы (5—12 мк)	Порошок, полученный электролизом (420—840 мк)	Порошок, полученный измельчением электролитических хлопьев (15—25 мк)	Порошок, полученный измельчением отлитых в вакууме слитков (15—25 мк)
σ_B в кг/см ²	22,3	18,5	42,5	52,8—74,0
σ_T в кг/см ²	18,0	16,7	42,4	28,1—45,6
δ в %	1,1	2,1	0,5	6—8
ψ в %	0,8	1,5	0,3	

чением содержания окиси бериллия, так как в процессе измельчения, горячего прессования происходит окисление поверхности [84].

На рис. 2 показан рост содержания ВеО с увеличением удельной поверхности зерен в порошке и соответственно роста предела прочности и относительного удлинения [84].

Принятый в мировой практике стандартный порошок — 200 меш. (—56 мк) имеет максимальное зерно 70 мк, средний размер частиц около

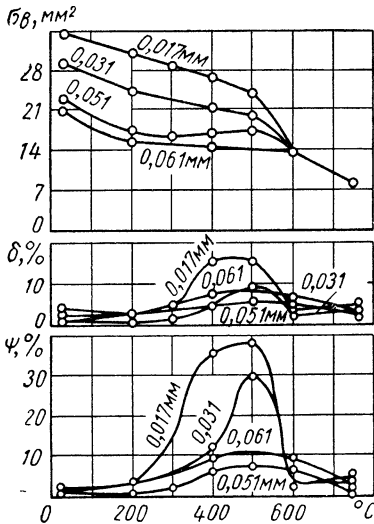


Рис. 1. Влияние величины зерна на механические свойства при повышенных температурах горячепрессованного в вакууме бериллия QMV [84]

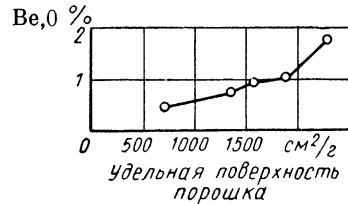
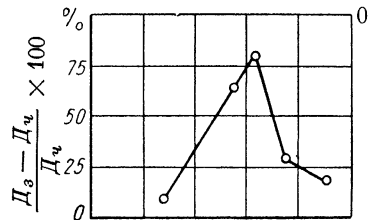
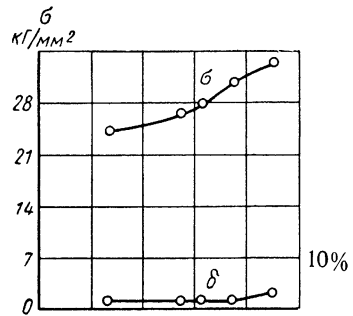


Рис. 2. Некоторые свойства бериллия, горячепрессованного в вакууме, в зависимости от величины удельной поверхности бериллиевого порошка [62]; D_3 — диаметр зерна после спекания; $D_ч$ — диаметр частицы

20 мк и удельную поверхность 1500—1900 см²/г [84].

Наличие кислорода (окисной пленки) оказывает положительное влияние на свойства, так как затрудняет рост зерна при горячем прессовании (1100—1200° С). При отсутствии окисной пленки (или при малом содержании кислорода) при этих температурах происходит быстрый рост зерна.

Значительное влияние на механические свойства заготовок оказывают также имеющиеся в бериллии примеси, особенно Fe, Al, Si и C [79].

Растворимость железа в бериллии невелика ~2,5% вес. (0,9% ат.) при 1225° С. При снижении температуры растворимость резко уменьшается. Бериллий с железом образуют ряд интерметаллических соединений Ве₂Fe, Ве₃Fe, Ве₁₁Fe, которые даже при малом содержании охрупчивают металл.

Особенно вредной примесью является углерод, который, образуя карбиды, не только охрупчивает бериллий, но и вызывает межкристаллитную коррозию материала.

Алюминий и кремний при определенных содержании (0,06—0,1%) и соотношении (Al/Si = 0,21) могут благотворно влиять при спекании как на уменьшение пористости, так и на механические свойства [79].

В табл. 3—5 приведены физические и механические свойства бериллия при комнатной температуре, полученного прессованием из порошка марки QMV (США).

Наиболее ценным свойством горячепрессованного бериллия является изотропность свойств во всех направлениях. Это объясняется в первую очередь тем, что зерна в процессе прессования (в закрытом контейнере), характеризующемся очень высокими и равномерными напряжениями всестороннего сжатия, занимают самое различное положение. Применение высоких давлений при определенных видах обработки, например выдавливания, в дальнейшем приводит к упорядочению расположения кристаллов, образованию текстуры и вызывает, как правило, значительную анизотропию механических свойств в направлении оси выдавливания и в перпендикулярном направлении.

3. Физические свойства бериллия

Наименование показателей	Показатель
Плотность при 20° С в Г/см ³	1,85
Температура плавления в °С	1283
Температура кипения в °С	2970
Удельная теплоемкость в кал./1° С при температуре в °С:	
20	0,46
100	0,51
200	0,54
300	0,58
400	0,63
500	0,65
600	0,69
700	0,71
800	0,74
Коэффициент теплопроводности в кал/см·сек° С при температуре в °С:	
100	0,35
200	0,33
300	0,30
400	0,28
500	0,26
600	0,24
Средний коэффициент линейного расширения в 10 ⁶ .1° С в интервале температур в °С:	
25—100	11,6
25—200	13,5
25—300	14,5
25—400	15,3
25—500	15,9
25—600	16,5
25—700	17,0
25—800	17,4
100—200	14,6
200—300	15,6
300—400	17,0
400—500	17,9
500—600	18,5
Удельное электросопротивление при 25° С в мком·см	3,84
Скорость распространения звука в м/сек	12600
Отражательная способность (для белого цвета)	50—55
Поперечное сечение захвата тепловых нейтронов в барн/атом	0,0090 (±0,0005)

Поэтому, с точки зрения обеспечения наибольшей однородности свойств, горячепрессованная заготовка является наилучшей исходной заготовкой дляковки, штамповки и других видов обработки давлением.

Механические свойства горячепрессованных заготовок приведены на рис. 3 и 4.

4. Механические свойства прессованного различными методами бериллия [62, 84]

Характеристика металла	Механические свойства	
	σ_B в кг/мм ²	δ в %
Холоднопрессованный и спеченный при 1050° С	22,5	0,1
	21,2	0,2
Теплопрессованный: при 450° С и давлении 14 Т/см ²	32,3	0,1
при 565° С и давлении 9,85 Т/см ²	40,9	
при 650° С и давлении 7,0 Т/см ²	25,2	0,1
Теплопрессованный при 450° С и давлении 14 Т/см ² и спеченный в вакууме при 1050° С	36,5	0,0
Горячепрессованный: при 750° С и давлении 2,1 Т/см ²	47,8	1,4
при 1100° С и давлении 0,2 Т/см ²		

5. Механические свойства бериллия из порошка QMV (США) [62, 84] горячепрессованного в вакууме

Наименование показателей	Показатели
σ_B в кг/мм ²	31,9
σ_T при растяжении в кг/мм ²	22,6
δ в %	2,3
E при растяжении в кг/мм ²	31,3·10 ³
a в кг/мм ² -град	-5,3
σ_T при сжатии (0,2%) в кг/мм ²	17,2
E при сжатии в кг/мм ²	31·10 ³
Коэффициент Пуассона	0,024
G при кручении в кг/мм ²	27,5
G при двойном срезе в кг/мм ²	25,8
a_n (образцы без надреза) в кг/мм ²	0,11
Работа ударного разрушения при растяжении в кг·м	1,19

Давая сравнительную оценку прессованных и выдавленных заготовок (о последних подробнее см. ниже) следует указать, что отсутствие аннизотропии свойств дает возможность деформировать горячепрессованную

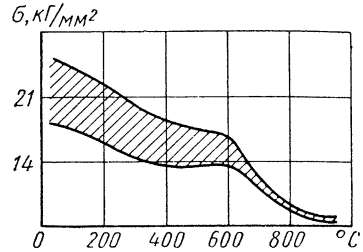


Рис. 3. Границы значений предела прочности горячепрессованного бериллия марки QMV в зависимости от температуры [62, 84]

заготовку в любом направлении, тогда как предварительно текстурированный материал (пруток, полоса) при наличии большой аннизотропии свойств требует особого подхода при выборе метода и направления деформации. Однако свойства, особенно предел прочности и относительное

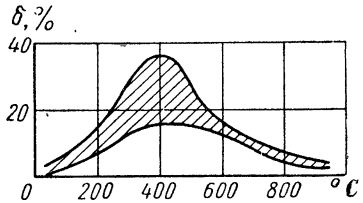


Рис. 4. Границы значений удлинения горячепрессованного бериллия марки QMV в зависимости от температуры [62, 84]

удлинение текстурированного материала в направлении вытяжки зерна, зачастую в 2—3 раза превосходят свойства горячепрессованных заготовок. Поэтому при выборе заготовки дляковки и штамповки детали, которая в конструкции в определенных направлениях несет большие нагрузки, следует использовать текстурированный материал, получаемый методом выдавливания (прессования через матрицу).

Таким образом, повышенная прочность текстурированного материала в направлении выдавливания может быть эффективно использована в конструкции. В тех случаях, когда по условиям конструкции не допускается значительная анизотропия свойств материала, рекомендуется производить проковку (осадку) выдавленной заготовки с целью деформирования в перпендикулярном направлении к оси выдавливания, или использовать горячепрессованные заготовки. Однако последние по прочности в одном из направлений будет несколько уступать заготовке, полученной первым способом.

Технологические процессы. Прессование выдавливанием рассматривается как метод предварительной деформации слитков или металлокерамических заготовок перед ковкой и штамповкой.

Бериллий имеет гексагональную плотно упакованную решетку с параметрами $a_0 = 2,2854 \text{ \AA}$, $c_0 = 3,5829 \text{ \AA}$, $c_0/a_0 = 1,5677$.

Деформация бериллия происходит в основном за счет сдвига по плоскости базиса (0001) и призмы {1010}, причем в обоих случаях в направлении [1210]. Двойникование происходит по плоскости [1012] в направлении $[10\bar{1}1]$, а разрушение по плоскостям базиса (0001) и призмы $\{1\bar{2}10\}$. При растяжении наблюдается незначительный сдвиг по плоскости базиса (удлинение 2—3%), после чего наступает излом. При сжатии сдвиг по плоскости базиса возможен более значительный. В условиях, когда основным напряжением является растяжение или когда имеет место значительное растяжение в одном направлении, наблюдается переориентация кристаллов таким образом, что плоскости базиса (0001) располагаются параллельно направлению оси растяжения.

На рис. 5 показана зависимость критических напряжений сдвига по плоскостям базиса и призмы от температуры [83]. Как видно из рисунка до 500° С напряжения, необходимые для сдвига по плоскости призмы значительно выше, чем критические

напряжения по плоскости базиса, а при температуре ~500° С они становятся примерно равными.

При выдавливании, как и при прокатке, в результате деформации происходит значительное развитие тек-

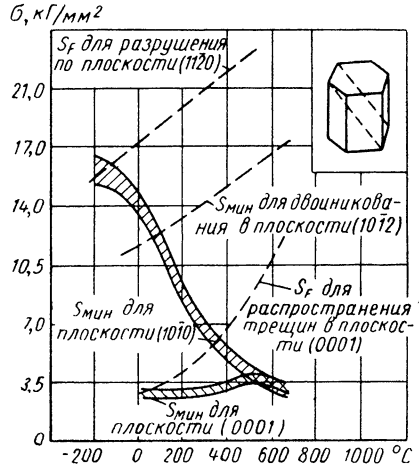


Рис. 5. Зависимость критических напряжений сдвига по плоскостям базиса и призмы от температуры [69, 83, 84]

стуры, причем плоскости базиса получают предпочтительную ориентацию, как уже говорилось об этом, параллельно направлению растяжения. Степень ориентации плоскостей

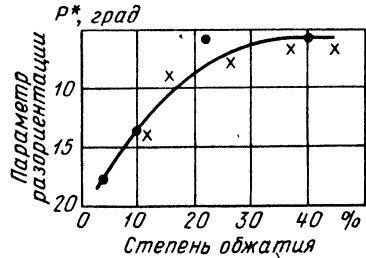


Рис. 6. Влияние степени обжатия при выдавливании и прокатке на упорядоченное расположение плоскости базиса [69]

базиса находится в прямой зависимости от степени деформации (рис. 6). При достижении вытяжки более чем 15 : 1 или 20 : 1 дальнейшего усиления ориентации практически не наблюдается [69, 84], что хорошо

согласуется с результатами механических испытаний. При вытяжке более 15 : 1 удлинение остается постоянным. На уровень механических свойств материала большое влияние оказывает термическая обработка.

Полугорячее выдавливание [64, 69] при повышении вытяжки до 6,25 : 1 приводит к росту предела прочности и текучести: сначала быстрому (до 2 : 1), а затем замедляющемуся. Удлинение же медленно возрастает до 11% при вытяжке 2,25 : 1, а затем начинает убывать до 5% при вытяжке 6,25 : 1.

При горячем выдавливании [64, 69] при 1070°С увеличение вытяжки от 12 : 1 до 38 : 1 приводило к незначительному увеличению предела прочности при растяжении. Удлинение возрастало с 13% при вытяжке 12 : 1 до 19% при вытяжке 15 : 1 и при больших обжатиях рост удлинения прекращался, в связи с замедленным развитием текстуры при больших обжатиях (см. рис. 6).

Снижение температуры горячего прессования с 1100 до 900°С (при обжатии 20 : 1) сопровождалось повышением предела прочности и предела текучести [65, 69].

На механические свойства деформированного бериллия кроме степени и характера деформации оказывают влияние величина зерна исходного порошка, термическая обработка, качество поверхности, в том числе технология обработки поверхности резанием [65, 69].

Первостепенное значение имеет температура выдавливания. При теплом выдавливании (400—500°С) материал пластичен и обладает достаточным запасом прочности. Однако выдавливание при этих температурах требует больших усилий, поэтому теплым выдавливанием практически невозможно получить пружинную заготовку вытяжкой более 5 — 6 : 1. Деформация идет главным образом за счет скольжения по плоскости базиса 0001, зерно удлиняется, некоторые зерна дробятся [65, 69].

При горячем выдавливании (св. 800°С) деформация проходит также за счет дробления зерна, так как зерно при высоких температурах теряет

запас прочности, скольжение происходит и по плоскости базиса и по плоскости призмы, так как критические напряжения для скольжения по обоим плоскостям при высоких температурах выравниваются.

На рис. 7 [84, 73, 69] приведена диаграмма рекристаллизации литого бериллия. Рекристаллизация деформированного металлокерамического бериллия при температуре до 780°С

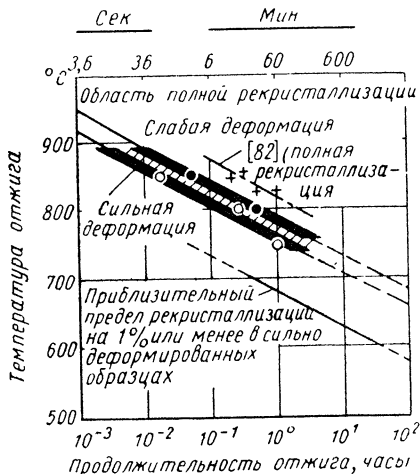


Рис. 7. Диаграмма рекристаллизации литого бериллия [73, 84, 69]

сдерживается наличием окисной пленки на поверхности каждого зерна. Отжиг при температуре $> 1000^{\circ}\text{C}$ приводит к чрезвычайно быстрому росту зерен. Уменьшение величины зерна и, следовательно, увеличение содержания окиси бериллия (см. рис. 2) также несколько сдерживает процесс рекристаллизации.

Отжиг при температуре $> 800^{\circ}\text{C}$ вызывает также заварку дефектов, особенно поверхностных трещин, полученных в результате обработки резанием. При температуре $> 800^{\circ}\text{C}$ происходит диффузионное сращивание (сварка) бериллия. Термообработка снижает внутренние напряжения, возникшие, как в результате деформации, так и в результате последующей обработки резанием.

На рис. 8 показано влияние температуры испытаний на механические свойства бериллия [73, 69]. Следует отметить резкое понижение пластичности при температуре около 600° С. В прутковых заготовках с большой степенью деформации, а

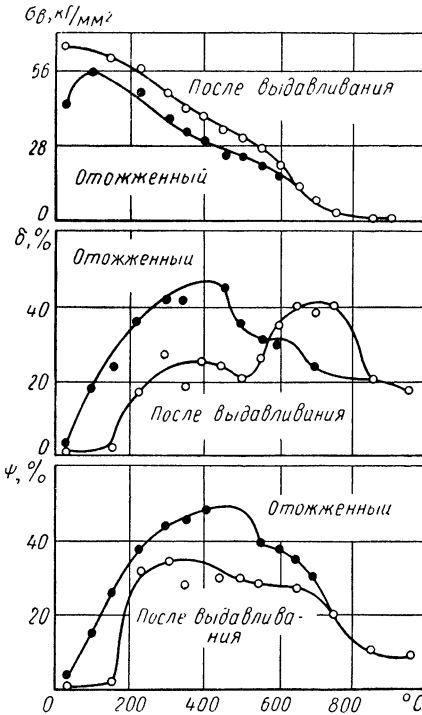


Рис. 8. Влияние температуры испытаний на механические свойства бериллия. Отжиг проводился при 750° С в течение 2 ч.

также в горячепрессованных заготовках падение пластичности в этой области может быть еще более резким. Выше 600° С пластичность несколько увеличивается. Область температуры 600° С характеризуется переходом от транскристаллического излома к интеркристаллическому. При 600° С границы зерен ослабляются имеющимися примесями, которые при отжиге растворяются в матрице зерна, увеличивая пластичность материала при 600° С. Из этого следует,

что деформацию бериллия следует проводить при температурах, где он обладает максимумом пластичности. Для больших степеней деформации это район температур 450—500° С, для больших степеней деформации 750° С и выше.

Деформацию бериллия, как правило, проводят в технологических оболочках. Лучшим материалом для оболочек является малоуглеродистая сталь марки Ст. 20, по некоторым технологическим свойствам наиболее

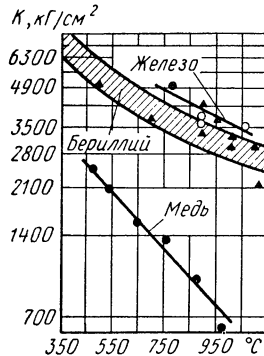


Рис. 9. Влияние температуры на константу выдавливания K для бериллия в сравнении с медью и малоуглеродистой сталью

близкая при температурах прессования к бериллию. На рис. 9 [76] показано влияние температуры на константу выдавливания K для бериллия в сравнении с медью и малоуглеродистой сталью. Константа выдавливания K входит в уравнение для расчета усилия прессования (выдавливания)

$$p = K \ln R,$$

где p — удельное давление на заготовку; R — обжатие. В качестве оболочек для деформации при теплом прессовании можно применять также медь.

Оболочка при деформации бериллия играет очень большую роль. Во-первых, она предохраняет металл от окисления при нагреве и исключает попадание в окружающее пространство аэрозоли бериллия.

Во-вторых, за счет высоких реактивных усилий, создаваемых стенками массивной оболочки, обеспечивает более благоприятную для бериллия схему напряженного состояния — всестороннее сжатие.

Следует учитывать, что при деформации в оболочках материал оболочки при высоких температурах может взаимодействовать с бериллием, свариваясь и образуя хрупкие соединения — интерметаллиды бериллия. Поэтому температура деформации не должна превышать 1000°C .

Деформацию бериллия без оболочек по условиям техники безопасности можно производить только в специализированных помещениях.

В качестве технологической смазки при горячем выдавливании применяют смесь масла типа Вапор-Т с графитом, либо стеклосмазку, которая дает лучшие результаты. При выдавливании заготовок без оболочек поверхность их покрывают несколькими слоями коллоидального графита или его смесью с дисульфидом молибдена, что устраняет характерное для бериллия интенсивное налипание на прессинструмент.

Для выдавливания применяют инструмент из быстрорежущей стали (18% W, 4% Cr и 1% V), допускающий удельное давление 14000 кг/см^2 при нагреве до $480\text{—}540^{\circ}\text{C}$.

Матрицы имеют входной конус с углом в вершине 90° , способствующий снижению давления, плавню переходящий в удлиненный формирующий пояс, который устраняет образование поперечных трещин, вызываемых упругими напряжениями.

Применяются составные матрицы, которые предпочтительны при выдавливании на верхнем пределе температурного интервала, когда конус уменьшает охлаждение блока, изолируя его от менее нагретой цилиндрической матрицы и таким образом снижает давление выдавливания.

Ковка и штамповка. Наиболее изученными процессами деформации бериллия являются процессы выдавливания из горячепрессованных блоков прутков и профилей. Однако технологические процессы ковки и штамповки бериллия успешно при-

меняются для получения изделий с использованием фактических данных, полученных при горячем прессовании и выдавливании, так как в физической сущности этих процессов много общего.

Штамповка деталей из порошка [67, 84]. Возможны следующие три варианта получения штамповок непосредственно из порошка, основанных на технологии получения компактных металлокерамических заготовок — блоков:

холодная штамповка с последующим спеканием в вакууме или нейтральной среде;

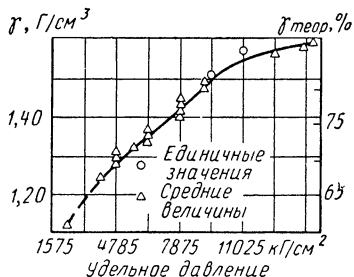


Рис. 10. Изменение плотности штамповок в зависимости от удельного давления прессования [67, 84]

горячая штамповка в вакууме с выдержкой под давлением;

штамповка порошка в оболочках.

Нижнюю половину штампа для холодной штамповки выполняют в виде контейнера из расчета, что насынный вес порошка бериллия составляет $0,8\text{—}1 \text{ г/см}^3$. Порошок может быть уплотнен вибрацией или подпрессовкой до $1,2 \text{ г/см}^3$. Прессование производят до достижения максимально возможной плотности. Плотность штамповок является одним из главных факторов, определяющих их механические свойства (рис. 10, 11, 12).

Наиболее распространен метод горячей штамповки, при которой возможно достижение плотности, близкой к теоретической. Горячую штамповку деталей из порошка бериллия производят в тех же печах горячего прессования, которые обычно применяются для получения из порошка

компактных металлокерамических заготовок. Матрицу с порошком устанавливают в нагреватель, расположенный в вакуумной камере, смон-

спрессованных за 15 мин в вакууме под давлением $3,9 \text{ Т/см}^2$ в зависимости от температуры прессования. Следует отметить, что близкая к теоретической плотность при этом давлении и температуре 600°С достигается через 1 мин. Повышение температуры позволяет значительно снизить удельное давление прессования. При $1050\text{—}1150^\circ \text{С}$ оптимальное давление составляет $30\text{—}50 \text{ кг/см}^2$. Время выдержки зависит от высоты изделия и его выбирают опытным путем. Главный критерий качества штампочки — достижение теоретической плотности [82, 84].

Штамповку деталей из бериллиевого порошка по правилам техники безопасности можно производить только в специально оборудованных помещениях.

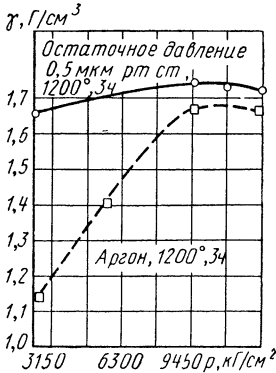


Рис. 11. Изменение плотности штампочки в зависимости от давления прессования p и атмосферы спекания [67, 84]

тированной на прессе. Откачивают воздух до остаточного давления $10^{-2}\text{—}10^{-3}$ мм рт. ст. Затем нагревают и после достижения заданной температуры штампуют. Указанное давление

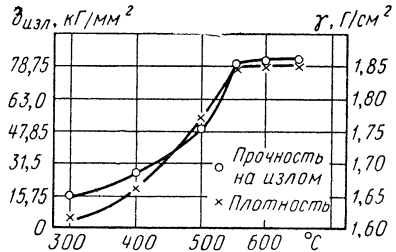


Рис. 13. Прочность и плотность брикетов, спрессованных за 15 мин в вакууме под давлением $3,9 \text{ т/см}^2$ в зависимости от температуры [82, 84]

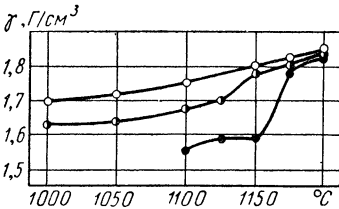


Рис. 12. Влияние температуры спекания на плотность брикетов, спрессованных под давлением 12 Т/см^2 и спекавшихся в течение 5 ч [84]: ○ — порошок QMV; ● — порошок, полученный из чешуйчатого металла и обработанный савелевой кислотой, ● — порошок из ситка, выплавленного из чешуйчатого металла

поддерживают в течение времени, необходимого для получения плотности, близкой к теоретической.

На рис. 13 показаны прочность на излом $\sigma_{изл}$ и плотность γ брикетов,

При работе на оборудовании, установленном в общих помещениях, порошок должен находиться в герметизированной (заваренной) оболочке — контейнере. Засыпку порошка в контейнер, его предварительное уплотнение и заварку контейнера надо производить в специально приспособленном для этого помещении. Материал контейнера — малоуглеродистая сталь. При заварке из контейнера удаляют воздух. Температура штампочки $975\text{—}1000^\circ \text{С}$. После штампочки оболочку удаляют путем механической обработки или стравливают в горячей 50%-ной азотной кислоте. Поверхностный слой, загрязненный железом, травят на глубину $0,025\text{—}0,05 \text{ мм}$ в 5%-ной сер-

ной кислоте. При штамповке порошка в контейнере необходимо давать значительные припуски на механическую обработку, так как практически невозможно учесть все факторы, определяющие геометрию получаемых штамповок.

Ковка и штамповка компактных заготовок. Как и выдавливание ковку и штамповку заготовок бериллия производят как горячую при 900—1100° С, так и теплую при 400—500° С, как в штампах, так и осаживанием на плоских бойках. Ковку и штамповку бериллиевых заготовок ведут на стандартном кузнечно-прессовом оборудовании. При работе на прессах, установленных в общих помещениях, применяют оболочки из малоуглеродистой стали. Заготовка помещается в оболочку, закрывается с обеих сторон крышками и заваривается герметичным швом. Лучшие результаты дает применение цельнотянутых или штампованных оболочек в виде стаканов. В этом случае оболочку заваривают только с одной стороны. При штамповке бериллия применяют такую же технологическую смазку, как и при выдавливании.

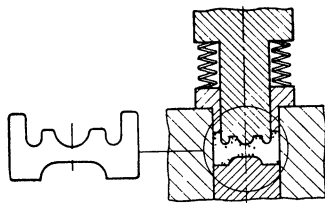


Рис. 14. Схема процесса получения штамповок с использованием пружинных штампов [66]

При ковке (осаживании) на плоских бойках толщину стенок оболочки необходимо выбирать с учетом того, что в местах интенсивной деформации оболочка имеет тенденцию к утонению [68].

На рис. 14 и 15 показаны схемы процессов получения штамповок более сложной конфигурации с использованием пружинных штампов и штампов с поджимками, ограничиваю-

щими штамповку в зонах растяжения [68].

Штамповку без оболочек можно производить только в специализированном помещении. При штамповке без оболочки боковое удлинение не должно превышать 15%. Температура штамповки может быть понижена до 400—500° С. Бериллий в этом интервале температур имеет достаточно высокую прочность и максимальное удлинение (см. рис. 3).

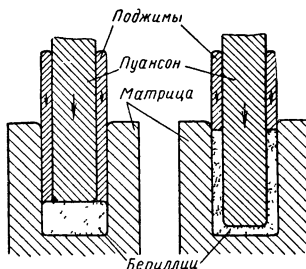


Рис. 15. Схема процесса получения штамповок с поджимками, ограничивающими штамповку в зонах растяжения [66]

Температура нагрева заготовок около 425° С обеспечивает достаточную пластичность бериллия для заполнения сложной фигуры штампа.

Ковка и штамповка предварительно выдавленных заготовок по сравнению со штамповкой горячепрессованных заготовок имеет ту особенность, что в первом случае материал заготовки за счет текстуры имеет механические свойства вдоль оси выдавливания в 2—2,5 раза выше, чем у горячепрессованных заготовок. Свойства предварительно выдавленной заготовки поперек оси выдавливания (определяемые главным образом свойствами исходного материала) такие же, как у горячепрессованной заготовки. При штамповке анизотропия свойств материала по сравнению с исходной заготовкой может быть в той или иной степени понижена в зависимости от характера течения металла, определяемого конфигурацией штамповки.

Свойства штамповки из горячепрессованной заготовки в зависимости от типа штамповки и направле-

ния могут быть в 1,5—2 раза выше свойств заготовок.

Механическая обработка резанием штамповок из бериллия. При штамповке бериллия в оболочках имеют место и недостаточно высокая чистота поверхности, в связи с чем после снятия оболочек необходимой заключительной операцией является механическая обработка штамповок. По обрабатываемости резанием бериллий может сравниваться с такими материалами, как серый чугун (марка СЧ 28-48), имеющий допустимую скорость резания при точении 190 м/мин, однако предельная скорость обработки бериллия должна быть на 20—30% ниже.

Способ изготовления бериллия и крупность зерна исходного порошка заготовок могут оказывать некоторое влияние на обрабатываемость бериллия резанием и качество поверхности после обработки. Лучшие результаты получаются на мелкодисперсном бериллии.

Для токарной обработки с наибольшей эффективностью используют резцы с режущей кромкой из спеченных твердых сплавов типа ВК6, ВК8. Угол заточки инструмента 20—40°. Большое значение имеют правильное соотношение скоростей резания, величина подачи резца и глубины резания. Увеличение скорости резания (в пределах допустимой) и уменьшение величины подачи резца до 0,1 мм/об должны способствовать получению менее шероховатой поверхности.

Процессы фрезерования бериллия по своим закономерностям аналогичны точению. Бериллий желателно обрабатывать без охлаждающей жидкости, с тем чтобы сохранить для вторичного использования стружку.

Все операции обработки бериллия резанием следует проводить в специальных помещениях с обеспечением на станках сильного локального отсоса в зоне резца или специальных укрытий и высокоэффективной общеобменной вентиляции.

Шлифование, полирование и металлографический контроль заготовок и штамповок из бериллия. Крупность бериллия и возможность воз-

никновения трещин в заготовках и штамповках в процессе их обработки давлением, возможность появления включений и неоднородностей в структуре материала придают важное значение металлографическому контролю (макро- и микроструктура) заготовок и штамповок.

Макроконтроль заготовок проводят обычно поштучно, а штамповок — выборочно. В некоторых случаях шлифование и полирование производят с целью получения высококачественной поверхности штамповок.

Приготовление шлифов бериллия представляет определенные трудности, связанные с выкрашиванием твердых структурных составляющих и царапанием шлифа.

Предварительное шлифование. Шлифование необходимо проводить с изменением направления на 90° на каждом круге. Рекомендуется мокрое шлифование, но на последнем круге шлифование лучше производить всухую.

Полирование можно производить одним из следующих способов: обычное механическое полирование; механическое полирование с травлением; электролитическое полирование.

Обычное механическое полирование производят на сравнительно жестком сукне; в качестве абразива при этом служит окись алюминия (крукс, карбид кремния или алмазная паста).

Механическое полирование с травлением производят на том же сукне, но в качестве абразива используют тонкоизмельченную окись алюминия, взвешенную в 5—10%-ном водном растворе щавелевой кислоты.

Для электролитического полирования обычно применяют следующий состав раствора: 900 мл H_3PO_4 , 240 г CrO_3 , 200 мл H_2O . Образец обрабатывают на аноде в течение 1 мин при температуре раствора 70—80° С и плотности тока 250 а/см². Инертным катодом служат свинец, нержавеющая сталь или графит.

Более широко используют раствор следующего состава: 100 мл H_3PO_4 , 30 мл H_2SO_4 , 30 мл глицерина, 30 мл

абсолютированного этилового спирта. Обработку образца производят на аноде при комнатной температуре и плотности тока $2-4 \text{ а/см}^2$ с применением инертного катода.

Микроскоп следования шлифа в поляризованном свете после шлифования можно в некоторых случаях производить без травления.

Для исследований в отраженном свете шлифы предварительно протравливают в 2—10%-ном растворе концентрированной плавиковой кислоты в воде, спирте или глицерине. Травление погружением на 1—3 мин в кипящий 20%-ный раствор щавелевой кислоты также дает удовлетворительные результаты. Для осветления поверхности шлифа применяют травление 2%-ным раствором азотной кислоты.

Проверка микроструктуры штамповок. При просмотре шлифа в поляризованном свете выявляются характер структуры материала, величина зерна и степень его ориентации, наличие структурных неоднородностей, металлургических и неметаллических включений.

АЛЮМИНИЕВО-БЕРИЛЛИЕВЫЕ СПЛАВЫ

Химический состав и механические свойства. Сплавы на основе системы Al — Be (табл. 6) представляют большой интерес, как конструкционный материал, так как уже при содержании бериллия более 15—20%, в значительной мере сочетают в себе весьма ценные свойства бериллия с высокой пластичностью алюминия, что делает их в технологическом отношении более удобными по сравнению с чистым бериллием.

Бериллиево-алюминиевые сплавы предназначены для применения в конструкциях ракет и других летательных аппаратов, особенно для элементов конструкций, определяющим фактором которых является жесткость.

Фирмой «Локхид» (США) разработаны и рекламируются двойные высокопрочные бериллий-алюминиевые сплавы (без добавок легирующих элементов) типа «Локэллоу» (табл. 7) для применения в космических летательных аппаратах [70, 78, 80].

6. Химический состав и механические свойства алюминиево-бериллиевых сплавов с добавками других элементов

Группа сплавов	Химический состав	E	σ_e	δ в %
		в кг/мм ²		
Не упрочняемые термической обработкой	15—60% бериллия и сумма других добавок до 15%	10 000—18 000	40—60	8—20
Упрочняемые термической обработкой	15—40% бериллия и сумма других добавок до 10%	11 500—14 500	52—69	8—12

7. Химический состав и механические свойства прессованных полуфабрикатов из двойных бериллий-алюминиевых сплавов «Локэллоу» [71, 72, 77]

Сплав	Плотность γ в г/см ³	E	σ_e	δ в %
		в кг/мм ²		
Be = 24% Al	1,99	26 000	—	—
Be = 33% Al	2,05	23 900	57,6	4
Be = 36% Al	2,08	22 500	53,4	1,2
Be = 43% Al	2,13	20 400	48,5	1,5

Алюминиево-бериллиевые сплавы могут подвергаться любым видам обработки давлением, в том числе ковке и штамповке. Однако в литом состоянии обработку целесообразно начинать с прессования выдавливанием — метода, характеризующегося высокими значениями напряжений всестороннего сжатия.

Как видно из диаграммы состояния системы Al — Be (рис. 16), все представляющие практический интерес

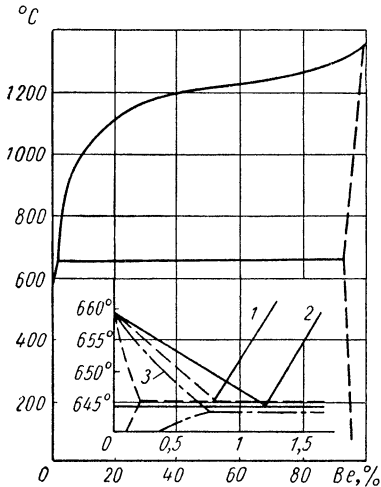


Рис. 16. Диаграмма состояния системы Al — Be по данным: 1 — Арчера и Динка; 2 — Остерхельда; 3 — Хааза и Уно

алюминиево-бериллиевые сплавы являются заэвтектическими, несмотря на это они обладают достаточной пластичностью, что можно объяснить наличием в их структуре пластичной алюминиевой матрицы. Сплавы имеют гетерогенную структуру, состоящую из первичной бериллиевой фазы (твёрдого раствора алюминия в бериллии) и эвтектики, состоящей практически из чистого алюминия [60, 71]. В настоящее время имеются данные о наличии перетектического превращения в системе Al — Be [88]. Однако по сравнению с пластичными стандартными алюминиевыми сплавами их пластичность несколько ниже, что связано с неоднородностью структу-

ры и резким различием свойств отдельных фаз.

Из целого ряда разработанных сплавов, не упрочняемых термической обработкой, наиболее благоприятным комплексом механических и технологических свойств обладают сплавы системы Al — Be, содержащие 20—30% бериллия, с плотностью $\gamma = 2,35 \div 2,4 \text{ г/см}^3$, модуль упругости которых $E = 11\,000 \div 14\,000 \text{ кг/мм}^2$ [85, 86, 87].

Способы получения заготовок дляковки и штамповки [85, 86, 87]. Плавка и литье с последующей обработкой давлением (осадка, прессование выдавливанием). Плавку осуществляют в индукционных вакуумных печах в среде инертного газа. Процесс выплавки слитков сложен ввиду широкого интервала кристаллизации и высокой химической активности бериллия в расплавленном состоянии. Температура плавки и отливки 1140—1280° С. Для плавки применяют графитовые, корундовые тигли или тигли из окиси бериллия. Слиток отливают в массивную графитовую или медную изложницу по весу не менее, чем в 10—20 раз превышающую вес слитка. Возможно литье в водоохлаждаемую изложницу. Слитки имеют следующие свойства: предел прочности $\sigma_s = 25 \div 32 \text{ кг/мм}^2$, δ до 10%. На рис. 17 показана макроструктура слитка, а на рис. 18 его микроструктура.

Металлокерамический способ состоит из следующих этапов: отливки слитка, стружкования (превращения в стружку), размола, горячего прессования порошков в вакууме или холодного прессования с последующим спеканием в вакууме.

Обработка давлением сплавов системы алюминий-бериллий, имеющих гетерогенную структуру с фазами, резко отличающимися по пластичности, сопровождается неравномерной деформацией и возникновением растягивающих напряжений, что при неблагоприятных видах обработки может вести к разрушению материала. Однако при обработке давлением принципиальное значение имеет то, что алюминиевая составляющая начинает пластически деформироваться

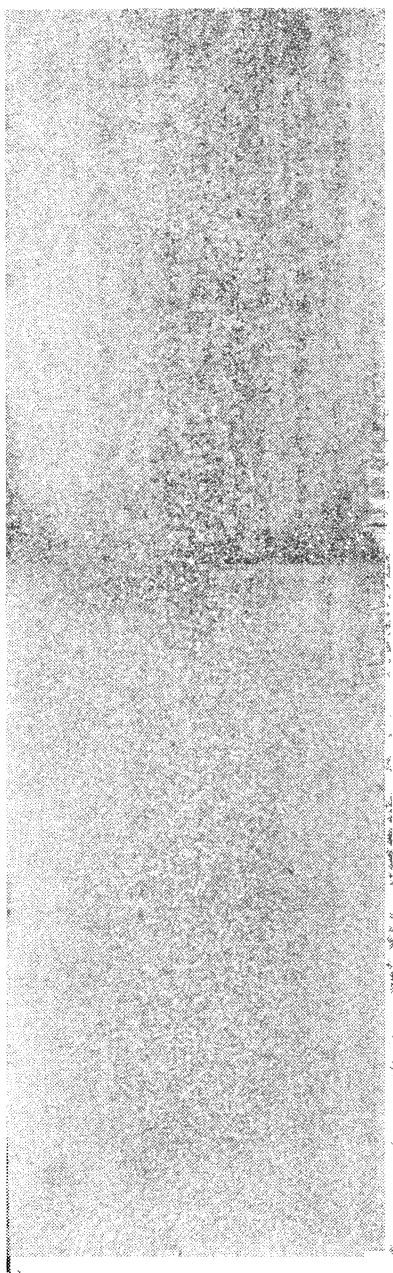


Рис. 17. Макроструктура слитка сплава, содержащего 30% бериллия $\varnothing 127$ мм



Рис. 18. Микроструктура слитка алюминий-бериллиевого сплава $\varnothing 127$ мм

при напряжениях более низких, чем те напряжения, при которых происходит деформация бериллиевой фазы. Бериллиевая фаза, распределенная в пластичной алюминиевой матрице относительно равномерно, течет вместе с ней, чем и объясняется тот факт, что алюминий-бериллиевые сплавы в условиях всестороннего сжатия имеют пластичность, намного превышающую пластичность чистого бериллия. В то же время при неблагоприятных видах обработки с высокими значениями растягивающих напряжений еще до того, как эти напряжения достигнут величины, необходимой для пластической деформации (или хрупкого разрушения) бериллиевой фазы, уже начинает пластически деформироваться алюминиевая составляющая сплава, что и приводит к образованию трещин по пластичной, но менее прочной фазе и разрушению изделий.

Таким образом, обработку давлением сплавов системы алюминий — бериллий, особенно в литом состоянии следует вести методами, характеризующимися схемой напряжен-

8. Режимы прессования выдавливанием алюминнево-бериллиевых сплавов [85, 86]

Матрицы	Смазка контейнера	Температура контейнера в °С	Смазка слитка	Температура слитка в °С	Время выдержки слитка в печи в ч	Скорость истечения металла в л/мин	Удельное давление на прессшайбе в кг/мм ²
Специальной конструкции (широкий рабочий поясск и конусный ввод к нему)	Графит (25%) + масло Вапор Т (75%)	280—330	Коллоидно-графитовая марка ЭЛПВ	380—420	2	8—12	25—50

9. Механические свойства полуфабрикатов из алюминнево-бериллиевых сплавов

Вид заготовки	Состояние поставки	σ_b	$\sigma_{0,2}$	Содержание 30 вес % бериллия δ в %
		в кг/мм ²		
Пруток \varnothing 10 мм Полоса 20 × 150 мм Пруток \varnothing 83,5	Прессованные	45	30,5	20,5
		40	23,0	17—19,0
		40	24,0	17—20,0
Лист 1,5 × 2,0 мм	Огоженный Нагартованный	42—47	33—35	8—20
		47—55,0	40—48	5—12

ного состояния всестороннего сжатия, при высоких главных сжимающих и минимальных растягивающих напряжениях. Сплав, предварительно деформированный в таких условиях из литого состояния в дальнейшем допускает более жесткие условия деформирования, в том числе при ковке и штамповке.

Прессование заготовок выдавливанием является предварительным этапом обработки литых алюминнево-бериллиевых сплавов (табл. 8).

На рис. 19 показана конструкция матрицы для прессования выдавливанием алюминнево-бериллиевых сплавов с широким рабочим поясском и коническим вводом к нему.

Ввиду пониженной технологической пластичности сплавов по сравнению с алюминневыми сплавами обработку давлением их необходимо производить в узком интервале температур. В табл. 9 приведены сравнительные механические свойства

прессованных заготовок и листа из алюминнево-бериллиевого сплава, содержащего 30% бериллия.

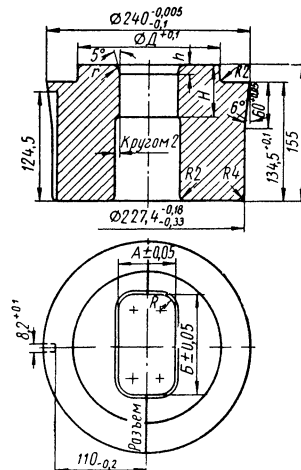


Рис. 19. Эскиз матрицы для прессования заготовок для штамповки

Характерно, что алюминиево-бериллиевые сплавы, не упрочняемые термообработкой, в прессованном (выдавленном) состоянии (после горячей обработки) имеют высокую пластичность и в отличие от катаного материала, сильно нагартованного в процессе прокатки, не требуют специальной термической обработки (отжига).

По технологии, приведенной в табл. 8, наиболее успешно прессуются круглые заготовки (прутки и полосы) из сплавов, содержащих 20—30% Ве с небольшим соотношением сторон (близким 1 : 1) и коэффициентом деформации 2,5—5. Механические свойства этих заготовок показаны в табл. 10.

10. Механические свойства полуфабрикатов из алюминиево-бериллиевых сплавов

Полуфабрикат	ϵ в %	σ_{ϵ} $\sigma_{0,2}$		δ в %
		в кг/мм ²		
Пруток \varnothing 100 мм	65,5	38,5	22	21
Полоса 70 мм \times 115 мм	65	38,3	21	17—20
Пруток \varnothing 100 мм	75	38,9	23,8	21
Пруток \varnothing 85 мм	75	40,0	24,2	20,8
Полоса 20 \times 150 мм	87	39,9	23,2	19,7
Полоса 21 \times 100 мм	90	40	22,0	20,7

Ковка и штамповка. Термомеханические режимы деформации алюминиево-бериллиевых сплавов методами ковки и штамповки, установленные по диаграммам пластичности [86], приведены в табл. 11.

11. Параметры ковки и горячей штамповки алюминиево-бериллиевых сплавов

Сплав	Температурный интервал деформации в °С	ϵ в %
30% (вес) Ве	470—380	30—50
20% (вес) Ве	350—420	

Так как рассматриваемые алюминиево-бериллиевые сплавы термиче-

ски не упрочняются, а нагартовка в процессе деформации способствует повышению прочности изделия, обработку давлением этих сплавов следует заканчивать на нижнем пределе температурного интервала, указанного в табл. 12.

12. Параметры свободной ковки полуфабрикатов из алюминиево-бериллиевых сплавов

Вид материала	Температура свободной осадки в °С	ϵ в %
Лигой	400	10
Предварительно-прессованный	375—425	35—45

Ввиду резко ограниченной деформации (10%) свободная осадка литой заготовки практического интереса не представляет. Допустимые обжатия при осадке литых заготовок могут быть повышены при проведении этой операции, в оболочках из различных металлов (Д16, медь, латунь, нержавеющая сталь). Режимы ковки в оболочках представлены в табл. 13.

13. Режимы ковки в оболочках алюминиево-бериллиевых сплавов, содержащих 30% (вес) Ве при 450°С

Схема осадки	Оболочка	ϵ в %
По образующей	Без оболочки	10—20
	Медь	33
	Сталь	45
	В торец	67

Лучшие результаты обеспечивают при применении оболочек из стали и латуни, сплав не охрупчивается (трещин не возникает), что объясняется наличием значительной величины реактивного усилия от обжимов в процессе осадки заготовки, обеспечивающего деформацию в условиях схемы всестороннего неравномерного сжатия. При применении оболочек из сплава Д16 и меди на боковой поверхности кованых заготовок обра-

зуются трещины вследствие низкой прочности и недостаточного реактивного усилия от обоймы.

Еще лучшие результаты дает осадка литых заготовок в штампе. При

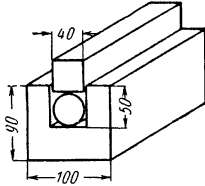


Рис. 20. Штамп для получения заготовки из слитка. Длина штампов: 1-го 500; 2-го 600; 3-го 1000 мм

осадке литых заготовок в штампе (рис. 20) по схеме, показанной в табл. 14, на слитках обеспечиваются наиболее высокие обжатия

14. Параметрыковки литых заготовок из алюминийно-бериллиевых сплавов, содержащих 30% (вес) Ве

Толщина заготовки по переходам в мм	Температура (в °С) и время (в мин) нагрева	ϵ в %	σ_{ϵ} в кг/мм ²
40	420—30	—	—
22		45	30—33
7—10		55—65	30—42

Заготовки после первой осадки в штампе могут удовлетворительно деформироваться свободной осадкой на плоских бойках, допустимая степень деформации при этом составляет 40—45%. Слитки диаметром 130 мм могут осаживаться на прессе 5000 т последовательно в трех штампах по схеме, показанной на рис. 21 на плоские заготовки толщиной 20—30 мм за три перехода. Режим осадки приведен в табл. 15.

На рис. 22 показаны штампы для получения заготовок из слитков сплава, содержащих 20—30% бериллия. Материал штампа сталь марки 5ХНВ. Температура нагрева штампов 330—380° С.

15. Режимы осадки слитков из алюминийно-бериллиевых сплавов, содержащих 30% (вес) Ве

Толщина заготовки по переходам в мм	ϵ в %	Температура нагрева в °С	Время выдержки в печи
127	—	420—450	2 ч
85	30		1 ч
55	35	—	30 мин
20	40		—

Удовлетворительные результаты по ковке литого алюминийно-бериллиевого сплава по указанному выше режиму обеспечиваются лишь при применении штампов, имеющих небольшие зазоры (10 мм) в ручье штампа, когда деформирование приводит к незначительному свободному

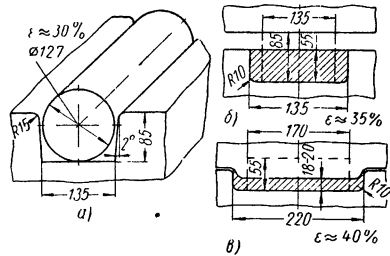


Рис. 21. Схема последовательной осадки слитка алюминийно-бериллиевых сплавов в штампах: а — в первом; б — во втором; в — в третьем

уширению слитка; при работе со слитками, имеющими большие зазоры на боковой поверхности штампозаванных заготовок и на торцах могут возникать трещины, вызываемые дополнительными напряжениями растяжения, возникающими в этих зонах вследствие свободного уширения сплава.

Вообще удовлетворительно, как было показано, может проводиться свободная осадка под прессом предварительно прессованных выдавливанием заготовок.

Схемы свободной осадки (ковки) прессованных выдавливанием полос и прутков ряда размеров показаны

на рис. 23. Осадка ведется на плоских бойках, нагретых до 200—300°С, по указанным схемам из предвари-

получения вполне удовлетворительных результатовковки (свободной осадки) прессованных выдавливания-

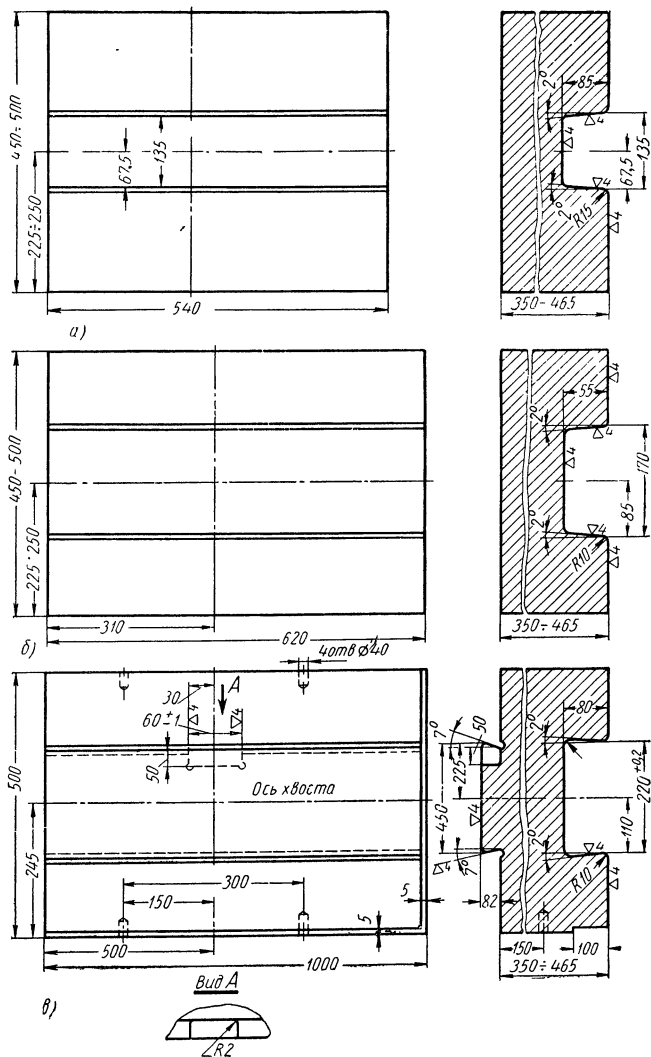


Рис. 22. Эскизы штампов для последовательнойковки слитков: а — для первой осадки; б — для второй осадки; в — для третьей осадки

тельно прессованных заготовок; получают слэбы сечением 22×250 мм длиной до 1000 мм. Возможность

ем заготовок (полос и прутков) на плоских бойках обусловлена значительным повышением технологиче-

жидкости. Фрезерование сплавов рекомендуется производить фрезами, оснащенными твердыми сплавами ма-

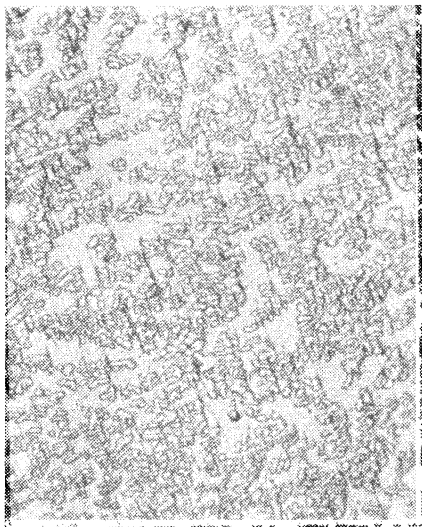


Рис. 24. Микроструктура ковanej заготовки

рок ВК8, ВК6М и ВК3М. Режимы резания при фрезеровании приведены в табл. 16.

16. Режимы резания алюминиево-бериллиевых сплавов

Режимы	Черновое фрезерование	Чистовое фрезерование
Скорость в м/мин	18—30	30—45
Подача в мм/мин	76,2—152,4	76,2—152,4

Сверление рекомендуется также производить инструментом, оснащенным пластинками из твердых сплавов. Шлифование следует производить с охлаждением. Полирование деталей осуществляется методом химического воздействия водного раствора, содержащего 5% H_2SO_4 , 75% H_3PO_4 и 7% CrO_3 на поверхности детали. В результате химического полирования поверхность детали покрывается полупассивной пленкой

окиси. Другие виды механической обработки производят так же, как и для стандартных алюминиевых сплавов при условии соблюдения требований техники безопасности.

ТОКСИЧНОСТЬ БЕРИЛЛИЯ И СПЛАВОВ, ТРЕБОВАНИЯ САНГИГИЕНЫ

Бериллий. Обработку бериллия необходимо производить в соответствии с требованиями санитарных правил. Наиболее существенно при этом следующее.

Бериллий в виде заготовок и готовых штамповок (компактный материал) никакими токсическими свойствами не обладает и с ним можно обращаться как с любым обычным материалом.

Вредность представляют только те процессы обработки бериллия, при которых имеет место выделение паров, мелкодисперсной пыли и аэрозолей бериллия. Поэтому наиболее неблагоприятными с гигиенической точки зрения являются процессы плавки, сварки, получения металлогерметических заготовок из порошков и механической обработки резанием, сопровождающиеся интенсивным выделением паров и пыли бериллия. При термической обработке бериллия на воздухе, горячей штамповке и прессовании без оболочек также имеет место выделение паров и аэрозолей бериллия и окиси бериллия, так как при температуре свыше 600—700° С на поверхности изделий образуется налет окиси бериллия.

Термическая обработка, прессование, ковка и штамповка бериллия в герметично заваренных оболочках вредности не представляют и эти операции можно выполнять в общецоховых помещениях, как и обработку давлением стали или алюминиевых сплавов.

Работы, связанные с выделением паров и пыли бериллия, должны выполняться в специально оснащенных изолированных помещениях, оборудованных общеобменной приточно-вытяжной вентиляцией, чтобы коли-

чество удаляемого воздуха на 15—20% превышало количество подаваемого воздуха.

Все оборудование, работа на котором сопровождается выделением паров и мелкодисперсной пыли бериллия, должно иметь местные укрытия или механическую вентиляцию типа отсосов. Скорость движения воздуха в воздухоприемнике должна быть не менее 15 м/сек. Скорость движения воздуха в рабочих отверстиях укрытий типа вытяжных шкафов должна составлять не менее 1,5 м/сек.

Весь воздух, удаляемый вытяжной вентиляцией из специально оборудованных помещений, перед выбросом в атмосферу должен подвергаться двухступенчатой очистке. В качестве I ступени очистки используются фильтры, наполненные мраморной крошкой, резиновой крошкой, стекловатой, а также рукавные фильтры. В качестве II ступени очистки применяется аналитическая ткань ФПП-15. Фильтры I ступени подвергаются очистке (промывка теплым содовым раствором, кислотными растворами и пр.) в специальном укрытии. Сточные воды, образующиеся при промывке фильтров, можно сбрасывать в канализационный сток без предварительной очистки. Фильтры II ступени регенерации не подвергаются.

Предельно допустимая концентрация бериллия в воздухе производственных помещений — 0,001 мг/м³.

Алюминиево-бериллиевые сплавы. Обработку алюминиево-бериллиевых сплавов необходимо проводить в соответствии с требованиями санитарных правил и инструкций по гигиене труда. Однако эти общие правила и инструкции не учитывают всего многообразия технологических процессов, применяющихся в настоящее время и в основном предусматривают вопросы гигиены труда при обработке чистого бериллия. Многие процессы обработки алюминиево-бериллиевых сплавов требуют проведения несколько иных, в ряде случаев менее жестких профилактических ме-

роприятий [59]. Кроме того, следует учитывать физико-химическую сущность каждого процесса в отдельности. Наиболее опасными, с гигиенической точки зрения, являются процессы механической обработки, плавки и сварки алюминиево-бериллиевых сплавов и получения металлокерамических заготовок из порошка, приводящие к загрязнению воздушной среды производственных помещений пылью и продуктами возгонки сплава, в составе которых могут иметь место окисные соединения бериллия. Систематическое наличие в воздухе аэрозолей и пыли бериллия может представлять определенную опасность с точки зрения возможности возникновения профессиональных заболеваний среди рабочих и ИТР.

Процессы деформации алюминиево-бериллиевых сплавов, содержащих 20—50% (вес) Ве, разрешается производить в общецеховых помещениях без заключения заготовок в оболочки, так как эти процессы не представляют по токсичности такой опасности, как плавка или обработка резанием, поскольку они ведутся при температуре менее 500° С. В этом случае возможно лишь механическое скалывание отдельных относительно крупных частичек металла, не представляющих практической опасности в токсическом отношении. В этом отношении процессы штамповки, осадки, прессования и прокатки по своей сущности сходны между собой. Опыт же показывает, что наибольшей токсичностью обладает пыль при величине частиц менее 5—10 мк, пары и аэрозоли сплавов. Ввиду этого процессы литья, плавки, сварки, механической обработки, как наиболее неблагоприятные с гигиенической точки зрения и приготовления заготовок из порошков алюминиево-бериллиевых сплавов, так же как и бериллия, должны проводиться в специальных изолированных помещениях, строго удовлетворяющих требованиям санитарных правил и инструкции по технике безопасности.

КОВКА И ШТАМПОВКА ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Высокие температуры плавления и рекристаллизации тугоплавких металлов (табл. 1) обусловили их применение в конструкциях, работающих при температурах выше 1000°C .

Поковки и штамповки изготавливают преимущественно из сплавов молибдена и ниобия методом горячей и тепловой деформации.

Особенностью горячей обработки давлением тугоплавких металлов и сплавов является высокая температура обработки ($2400\text{--}1400^{\circ}\text{C}$). При средней температуре начала горячей обработки конструкционной стали и жаропрочных сплавов 1200°C температура нагрева тугоплавких сплавов выше на $1200\text{--}200^{\circ}\text{C}$.

Только после предварительной деформации слитков и проведения вакуумного рекристаллизационного отжига, в результате которых пластичность тугоплавких металлов и сплавов резко возрастает, температура начала обработки давлением может быть понижена до $1400\text{--}250^{\circ}\text{C}$ в зависимости от марки сплава и толщины сечения штамповки. Поэтому поковки и штамповки необходимо изготавливать после предварительной деформации слитков и рекристаллизационного отжига заготовок. Первую деформацию слитков наиболее целесообразно выполнять методом прессования.

Второй особенностью обработки давлением тугоплавких металлов и сплавов является необходимость в защите их от окисления в процессе нагрева, обработки давлением и охлаждения, так как высокая скорость окисления и высокая растворимость газов при нагреве, начинающаяся с $300\text{--}500^{\circ}\text{C}$, приводят к окислению и охрупчиванию поверхностных слоев деформируемых заготовок. Это вызывает понижение пластичности металлов при обработке их давле-

нием и значительное снижение выхода годного.

Лучшей защитой от окисления является проведение нагрева, деформации и охлаждения в вакууме или нейтральной среде.

В случае отсутствия таких условий надо производить нагрев и охлаждение в нейтральной или восстановительной средах, а деформацию на воздухе.

Покрывание поверхности заготовок или слитков эмалью в сочетании с нагревом в нейтральной среде также обеспечивает частичную защиту от окисления*.

МОЛИБДЕН И СПЛАВЫ

Свойства и область применения. Основные свойства (табл. 2—4) молибденовых сплавов, которые дают преимущества при использовании их для изделий в машиностроении, являются: высокие значения жаропрочности, модуля упругости и отношение прочности к удельному весу и хорошая теплопроводность. Кроме того, имеет большое значение высокая температура плавления, высокое сопротивление эрозии и нечувствительность к тепловым ударам.

Эти свойства обеспечивают надежную работу деталей в конструкциях и возможность сохранять аэродинамические характеристики при высоких температурах и больших скоростях.

* Технология обработки давлением тугоплавких металлов и сплавов, включая вопросы нагрева, защиты от окисления, получения оптимальной структуры, высоких механических свойств, изготовление различных полуфабрикатов методом прессования,ковки, штамповки, прокатки, волочения и другие специальные вопросы широко изложены в работе [89-90].

1. Физические свойства тугоплавких металлов

Свойства	Вольфрам	Рений	Тантал	Молибден	Ниобий	Хром	Титан	Цирконий	Железо	Кобальт	Никель
Температура плавления в °С	3410	3180	2996	2625	2468	1903	1725—1820	1750—1830	1536	1490	1435
Плотность в г/см ³	19,3	21,0	16,6	10,2	8,57	7,2	4,5	6,5	7,8	8,9	8,9
Атомный номер	74	75	73	42	41	24	22	40	26	27	28
Кристаллическая структура	ОЦК	ГТПУ	ОЦК	ОЦК	ОЦК	ОЦК	ГТПУ выше 1840°С ГУК	ГТПУ выше 870°С ОЦК	ОЦК выше 910°С СТУК выше 133°С ОЦК	ГТПУ выше 420°С ГУК	ГУК выше
Коэффициент линейного расширения $\alpha \times 10^6 / ^\circ\text{C}$	4,45	6,7	6,5	5,0	7,1	6,2	8,6	6,0	12	12	13
Теплоемкость при 20° кал/г°С	0,034	—	0,034	0,06	0,065	0,11	0,142	0,067	0,11	0,104	0,109
Теплопроводность $\lambda_{\text{кал/сек}} \cdot \text{см}^\circ\text{C}$	0,48	0,17	0,13	0,35	0,125	0,16	—	—	0,18	12,5	0,14
Электропротивление в мкОм·см	5,5	24,1	15,5	5,17	19,1	12,8	—	—	9,8	5,7	7,24
Температура кипения в °С	5900	5870	5300	5690	3300	2469	3260	3580	2450	2900	2730

2. Некоторые физические и механические свойства молибдена при различных температурах

Свойства	Температура в °С							
	0	20	500	1000	1200	1500	1800	2000
Теплопроводность в кал/сек · см · °С	0,320	0,350		0,236	0,239	0,230	0,232	0,220
Удельная теплоемкость в кал/°С	0,059	0,065	—	—	0,079	0,085	0,093	0,11
Удельное электросопротивление в см · мм ² /м	0,0514	—	5,1 · 10 ⁻⁶	0,325	—	0,460	—	—
Коэффициент линейного расширения в 1/°С	—	5,1 · 10 ⁻⁶	—	5,5 · 10 ⁻⁶	—	6,2 · 10 ⁻⁶	—	7,2 · 10 ⁻⁶
Модуль упругости E · 10 ³ кг/мм ²	32,5	32,0	—	22,5	18,0	—	—	—
Предел прочности в кг/мм ²	—	68	48	30	—	10	5	—
Удлинение в %	—	20	18	20	—	36	50	—
Твердость по Виккерсу в кг/мм ²	—	160	85	55	44	26	14	—

3. Механические свойства сплава Mo + (0,25 — 0,40%) Zr (пруток)
① 20 л.ж., степень деформации 80—85%

Температура испытания в °С	Кратковременные испытания			
	Модуль упругости (динамический)	Предел прочности	Относительное удлинение	Относительное сужение
20	33 000	70	12	15
300	—	—	—	—
800	29 000	70	13	—
1000	28 000	52	10	80
1200	27 000	45	15	—
1500	—	16	20	2
1900	—	5	—	—

4. Механические свойства гетерофазного молибденового сплава ВМЗ

Состояние поставки	Температура в °С	σ_{θ} в кг/мм ²	δ в %	
			δ	ψ
Пруток прессованный	20	80—86	—	—
	1150	60—68	6—12	20
	1300	50—57	2—8	30
Пруток прессованный рекристаллизованный	20	43—60	15—33	—
	1400	30—33	30—40	50
	1600	26—29	48—50	—
1800	12—13,5	—	—	—

Молибден относится к числу металлов с умеренным поперечным захватом нейтронов и может быть использован в реакторах на тепловых нейтронах.

Плавку молибдена и сплавов на его основе производят преимущественно в электродуговых вакуумных печах. Электронно-лучевую плавку молибдена в основном применяют при выплавке электродов, с последующей переплавкой в электродуговых печах с целью измельчения зерна.

Наиболее широкое применение находят сплавы на основе молибдена, так как температура рекристаллизации чистого молибдена составляет около 1100°C , а сплавов $1300\text{—}1600^{\circ}\text{C}$.

Высокая температура плавления и рекристаллизации позволяет применять молибден и сплавы на его основе для работы при высоких температурах как в нагартованном, так и в рекристаллизованном состояниях.

Термической обработке подвергаются только сложнoleгированные молибденовые сплавы. Поэтому жаропрочность молибдена и малолегированных сплавов определяется не только легированием, но и деформацией.

Металлический молибден устойчив на воздухе до 500°C . При более высокой температуре он заметно окисляется с образованием летучих окислов. При этом происходит диффузия кислорода и в глубь металла. Поэтому нагрев молибдена перед деформацией надо производить в восстановительной атмосфере или защитных средах.

В конструкциях детали из молибдена и сплавов на его основе могут работать с защитными покрытиями. Без защитных покрытий они могут быть использованы в аппаратах разового действия и установках с нейтральной или защитной средой.

Пластичность молибдена определяется чистотой исходного металла, легированием, методом выплавки, деформацией, термической обработкой и структурой. Особое влияние на пластичность оказывают примеси введения. Удовлетворительной пластичностью обладает молибден, когда

содержание примесей в нем не превышает предела растворимости в твердом состоянии. Понижение пластичности в результате повышенного содержания примесей, по-видимому, объясняется скоплением их по границам зерен. Большое влияние на перераспределение примесей и, следовательно, повышение пластичности оказывает термическая обработка.

Слитки, выплаваемые в электродуговых печах, имеют грубую дендритную структуру, которая затрудняет проведение процесса пластической деформации. Дендриты располагаются почти на всем сечении слитка и направлены практически параллельно главной его оси. При этом наибольшие по величине дендриты залегают в центральной части слитка. Такой вид дендритной структуры слитков молибденовых сплавов, выплавленных в дуговых вакуумных печах, отличает их от обычно наблюдаемых структур слитков других металлов и сплавов, выплаваемых в открытых печах. Особая макроструктура слитков молибденовых сплавов значительно понижает пластичность литого металла и вызывает необходимость применения прессования для первичной деформации слитков.

Содержание кислорода в металле более $0,0025\%$ значительно снижает пластичность. В металле образуются окислы, которые преимущественно располагаются по границам зерен. Такое расположение окислов значительно снижает межкристаллитные связи, пластичность при горячей обработке давлением и механические свойства деформированного металла.

Раскисление в процессе выплавки и модифицирование способствуют уменьшению содержания кислорода по границам зерен и частично повышают пластичность металла.

Повышение содержания легирующих элементов также понижает пластичность молибдена.

Основные сплавы молибдена разделяются на две группы: термически неупрочняемые сплавы ВМ1 и ВМ2 и гетерофазные термически упрочняемые ВМ3П и ВМ4.

Влияние температуры прессования на удельные давления показано на рис. 1, из которого видно, что сплавы ВМ1 и ВМ4 можно подвергать прес-

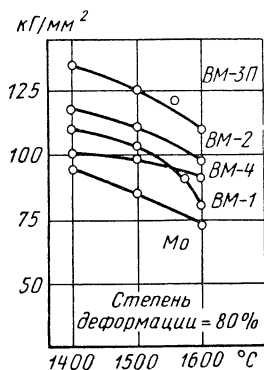


Рис. 1. Влияние температуры прессования сплавов ВМ1, ВМ2, ВМ3П и ВМ4 на удельное давление

сованию при 1600—1400° С с относительно невысоким удельным давлением порядка 80—100 кГ/мм². Удельное давление для сплава ВМ3П несколько выше — 110—135 кГ/мм².

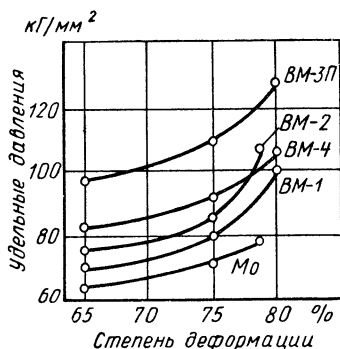


Рис. 2. Влияние степени деформации сплавов ВМ1, ВМ2, ВМ3П и ВМ4 при прессовании на удельное давление $T_{прессов.} = 1600^\circ \text{C}$

Наиболее высокую пластичность и минимальное сопротивление деформированию сплавы молибдена в литом состоянии проявляют в случае

деформации после вакуумного отжига. Например, слитки сплава ВМ4 после вакуумного отжига при 1600° С можно подвергать деформации прессованием при 1400—1300° С со степенями деформации 80—85%. В этом случае удельное давление составляет 70—85 кГ/мм².

После предварительной деформации слитков пластичность сплавов на основе молибдена резко возрастает. Эта закономерность относится как к термически неупрочняемым (ВМ1 и ВМ2), так и к гетерофазным (ВМ4 и ВМ3П) сплавам. На рис. 3 показана диаграмма пластичности сплава молибдена ВМ4, из которой видно, что после предварительной деформации и вакуумного отжига допустимая деформация слитка осадкой при комнатной температуре составляет 40%, что свидетельствует о весьма высокой пластичности сплава ВМ4 после предварительной деформации и отжига. Высокой пластичностью при аналогичных условиях обладает также сплав ВМ1.

Предварительный вакуумный отжиг слитков сплава ВМ1 позволяет понизить температуру прессования литого металла до 1400—1250° С.

Высокопрочные сплавы на основе молибдена типа ВМ3П без отжига слитков практически деформации не подвергаются.

Применение вакуумного отжига слитков при 1800—2000° С позволяет успешно проводить их деформацию прессованием при 1600° С и степени деформации 75—85%.

Сплавы на основе молибдена, выплавленные электродуговым или электроннолучевым способами, весьма чувствительны к повышению степени деформации. Как видно из рис. 2, с повышением степени деформации, особенно выше 80% удельное давление резко возрастает, что очевидно объясняется наличием крупнодисперсной структуры слитков.

Повторную деформацию сплава ВМ4 рекомендуется производить прессованием при 1400—1000° С или ковкой при 1400—800° С.

Из диаграммы пластичности высокопрочного сплава ВМ3П (рис. 4) видно, что после предварительного

прессования и отжига сплав допускает осадку на 40% при 1300°С. Поэтому повторную деформацию его прессованием рекомендуется производить при 1600—1500°С, а ковку и штамповку при 1400—1200°С.

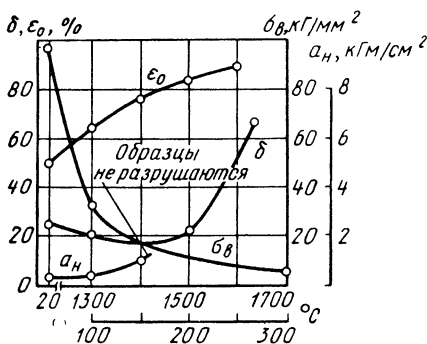


Рис. 3. Диаграмма пластичности сплава ВМ4

Ковка и штамповка. Наличие в слитках крупнодендритной структуры понижает пластичность литого металла, образование жидких окислов на поверхности металла в процессе нагрева иковки вызывает

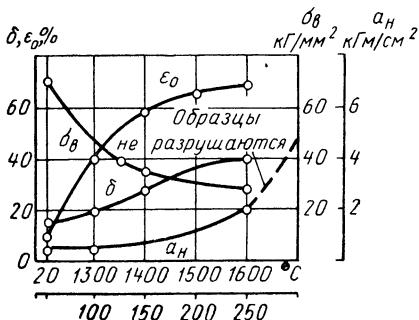


Рис. 4. Диаграмма пластичности сплава ВМ3II

большое скольжение металла на бойках. Окисление металла при температурах выше 1000°С создает облако желто-беловатого цвета, что затрудняет условия труда. Поэтому ковка молибдена и его сплавов, а в особен-

ности слитков, имеет ограниченное применение.

Ковку слитков применяют при необходимости получения поковок больших размеров, которые нельзя получить по объему металла из предварительно прессованного прутка.

Ковку и штамповку полуфабрикатов из молибдена и сплавов на его основе производят на ковочных паровоздушных, пневматических, а также гидравлических прессах, преимущественно из предварительно деформированного материала, у которого (как показано выше) пластичность значительно выше литого, а деформация предварительно деформированного металла осуществляется при более низких температурах.

В связи с высокой температурой нагрева в качестве материала для штампов и бойков применяют высокопрочную и теплопрочную инструментальную сталь марок 3Х2В8 и ЭИ956.

Лучшей средой для нагрева молибдена и его сплавов является водород, так как он является средой восстановительной. Кроме этого, водород при открытии печи обеспечивает сгорание кислорода, попадающего в печь и этим самым предохраняет окисляемость заготовки и нагревателей. В качестве среды для нагрева молибдена допускается также аргон или гелий.

Нагрев слитков (заготовок) можно производить в электропечах сопротивления, принимая при этом время нагрева из расчета 1 мин на каждые 1—1,5 мм толщины слитка. В индукционных печах время нагрева составляет 15—20 мин на слиток диаметром 150—250 мм.

Нагрев слитков под ковку и штамповку из сплавов с содержанием циркония порядка до 0,4% необходимо производить при 1600—1800°С, а чистого молибдена при 1400°С.

Учитывая большой температурный интервал пластичности молибдена и его малолегированных сплавов, ковку и штамповку можно заканчивать при 900—1000°С.

Ковку слитков следует производить по схеме: осадка в направлении продольной оси слитка со степенью деформации 50—70% с последующей

ковкой на квадрат или пруток в перпендикулярном направлении.

Удельное давление при ковке слитка с содержанием циркония порядка до 0,4% при 1600° С и степень деформации 60% составляет примерно 50—60 кг/мм².

В связи со значительным повышением пластичности молибдена и сплавов на его основе после предварительной деформации ковку и штамповку деформированных заготовок осуществляют при более низких температурах с предварительным вакуумным отжигом в течение 5 ч для сплава с содержанием циркония до 0,4% при 1450° С, а с содержанием циркония до 0,2% при 1400° С.

Сплавы с содержанием циркония до 0,4% подвергают ковке и штамповке в интервале температур 1450—1200° С. На тонких сечениях ковку надо заканчивать при 900° С. Интервалковки и штамповки сплавов с содержанием циркония до 0,2% составляет 1350—1000° С, а в случае тонких сечений ковку надо заканчивать при 800° С.

Ковку и штамповку чистого предварительно деформированного молибдена осуществляют в зоне температур 1200—800° С.

Гетерофазные сплавы подвергают более длительному вакуумному отжигу при 1600° С.

Покówki и штамповки, получаемые из предварительно прессованного прутка имеют лучшую проработку, более равномерную структуру

и повышенные механические свойства. Для снятия внутренних напряжений их подвергают двухчасовому отжигу в вакууме 10⁻⁴ мм рт. ст. при 1100° С.

Перед отжигом поковки и штамповки механически обрабатывают до полного удаления окислов с поверхности. Большие поковки можно подвергать отжигу в нейтральной среде после штамповки с последующим после отжига снятием окисленного слоя толщиной порядка 1,5 мм с каждой стороны.

Удельное давление при осадке предварительно деформированного неотожженного металла с содержанием циркония порядка до 0,4% составляет 60 кг/мм² при 1400° С и степени деформации 60%. После промежуточного вакуумного отжига удельное давление при указанной температуре и степени деформации понижают до 50 кг/мм².

Допустимые степени деформации в зависимости от исходного состояния и метода обработки приведены в табл. 5, из которой видно, что наибольшей пластичностью обладает молибден, предварительно деформированный прессованием.

Ковка предварительно прессованного металла имеет в ряде случаев преимущество перед другими методами обработки.

Всесторонней ковкой в направлении трех осей достигают значительного выравнивания свойств в трех направлениях. Такая ковка в соче-

5. Пластичность малотемперированных сплавов молибдена в зависимости от исходного состояния и метода обработки

Состояние	Метод обработки			Прессование в контейнере
	Динамическое деформирование		Статическое деформирование	
	Осадка на гладких бойках	Вытяжка на гладких бойках	Осадка	
Литое	55	20	65	85
Предварительно деформированное	70	35	80	95

тании с промежуточными отжигами на частичную рекристаллизацию приводит к образованию мелкого зерна, а следовательно к повышению пластичности и ударной вязкости. При достаточном измельченной структуре литого молибдена достигается ударная вязкость 3—5 кг/м·см² при комнатной температуре.

Одним из наиболее распространенных видов штамповки из молибдена является лопатка турбины. Фасонную заготовку, близкую к форме сечения пера лопатки, получают методом прессования выдавливанием в штамп из полосы за один технологический переход при большой степени деформации. Затем из предварительно прессованной фасонной заготовки в горизонтальном штампе получают лопатку с припуском 0,8—1,5 мм.

Прессование лопаток из сплава молибдена ВМ2 осуществляется при 1400—1450° С, а штамповка при 1200—1300° С.

Прессованием можно изготавливать лопатки большой длины на оборудовании малой мощности. Значительная разница в требуемых мощностях при прессовании и штамповке

объясняется тем, что при штамповке усилие пресса прилагается к максимальной площади, а при прессовании — к сечению замка, которое всегда в несколько раз меньше длины.

Штамповку рабочих лопаток из сплавов молибдена можно также успешно осуществлять по существующей технологии штамповки лопаток из стали и жаропрочных сплавов на кривошипных прессах в штампах. Исходную заготовку — предварительно прессованный пруток, подвергают отжигу в вакууме, нагреву в среде водорода или аргона по указанным выше режимам и штамповке за несколько переходов.

НИОБИЙ

Удачное сочетание свойств (повышенная прочность, достаточно высокие значения жаропрочности, пластичности, высокая коррозионная стойкость в различных средах, высокая температура плавления, средняя плотность и низкий температурный интервал перехода из пластичного состояния в хрупкое) выдвигает ниобий в число наиболее перспективных тугоплавких металлов.

6. Физические свойства ниобия при различных температурах

Свойства	Показатели при температуре в ° С					
	20	100	300	500	700	900
Удельная теплоемкость в кал/г · град	0,065	0,0651	0,06683	0,06875	0,07086	0,07316
Теплопроводность в кал/см · сек · град	0,125	0,13	0,140	0,151	—	—
Электросопротивление в мком · см . .	17,1	24,8	31,1	37,6	42,4	47,0
Коэффициент линейного расширения 10 ⁻⁶ , 1/°С	7,1	—	7,38	7,61	8,03	8,37
Модуль упругости E · 10 ⁸ в кг/мм ² . .	10,6	—	10,15	9,94	—	—

Свойства	Показатели при температуре в ° С					
	1100	1300	1500	1600	1700	1800
Удельная теплоемкость в кал/г · град	0,07564	0,07852	0,08118	0,08267	—	0,0878
Теплопроводность в кал/см · сек · град	—	—	—	0,2	0,205	—
Электросопротивление в мком · см . .	50,0	—	—	—	—	—
Коэффициент линейного расширения 10 ⁻⁶ , 1/°С	—	8,65	10,1	—	—	13,8
Модуль упругости E · 10 ⁸ в кг/мм ² . .	—	—	—	—	—	—

Недостатком ниобия является низкое сопротивление окислению при температурах выше 250° С, взаимодействие с азотом при 600—800° С и с водородом до 1000° С.

Физические свойства ниобия в зависимости от температуры приведены в табл. 6, а механические свойства сплавов, применяемых в основном дляковки и штамповки, в табл. 7.

7. Механические свойства ниобиевых сплавов (прессованный пруток) при кратковременных испытаниях

Температура в °С	σ_e	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	a_{H_2} в кг·М/С·М ²
	в кг/мм ²		в %		
<i>Сплав ВН2</i>					
20	75	70	18—28	—	27
1200	18—20	—	45—55	—	—
1500	8—10	—	—	—	—
<i>Сплав ВН3</i>					
20	75—80	—	16—20	40—70	30
1100	45	—	21—24	70—75	—
1200	25—29	—	26	79—83	—
1500	12,5	—	40—43	—	—
<i>Сплав ВН4*</i>					
20	81	73	16	33	5—7
1100	70	—	—	—	—
1200	55	45—50	15	47	—
1500	17	—	24	30	—

* Пруток прессованный отожженный.

Слитки сплавов ниобия выплавляют электроннолучевым или дуговым способами в вакууме. Более легированные сплавы получают двойным переplавом. В связи с образованием крупнодендритной структуры слитков в процессе выплавки, пластичность их несколько ограничена. Поэтому первую деформацию слитков осуществляют преимущественно прессованием при высоких температурах порядка 1400—1450° С. Допускается при необходимости и ковка слитков из малолегированных сплавов.

Слитки из сплава ВН7 целесообразней подвергать деформации ковкой при 1000—900° С, так как дан-

ный сплав содержит 40% Ti и является не жаропрочным, а жаростойким.

После предварительной деформации пластичность сплавов ниобия резко повышается, особенно, после рекристаллизационного отжига. Поэтому последующие деформации мож-

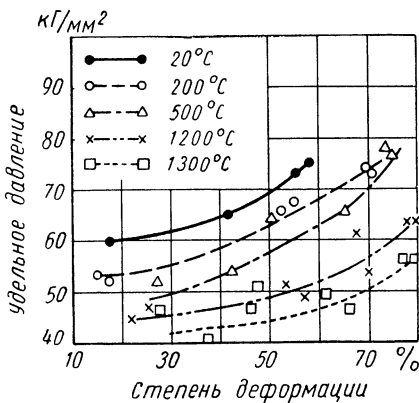


Рис. 5. Удельные давления при осадке предварительно деформированного и отожженного сплава ВН3 в зависимости от температуры

но осуществлять всеми методами обработки давлением и при низких температурах порядка 1000—250° С.

Нагрев слитков и заготовок осуществляется в печах электросопротивления и индукционных в среде аргона. Время нагрева слитков диаметром 80—150 мм в печах сопротивления составляет 40—60 мин, в индукционных печах 20—30 мин. В качестве смазки применяется стеклоткань и стеклопорошок в сочетании с графитом.

Применение предварительного вакуумного отжига позволяет понизить температуру первого прессования слитков до 1200—1350° С.

Наиболее высокую пластичность сплавы ниобия приобретают после предварительной деформации прессованием и рекристаллизационного отжига в вакууме.

Температурные режимы отжига заготовок из сплавов ниобия следующие:

Сплав	ВН2	ВН3
Температура отжига в °С	1400—1350	1450—1400
Сплав	ВН4	ВН7
Температура отжига в °С	1600—1550	1050—1000

Высокие показатели пластичности сплавов ниобия после предварительного прессования и рекристаллизационного отжига позволяют резко понизить рабочую температуру при открытых методах обработки давлением, в частности при ковке и штамповке.

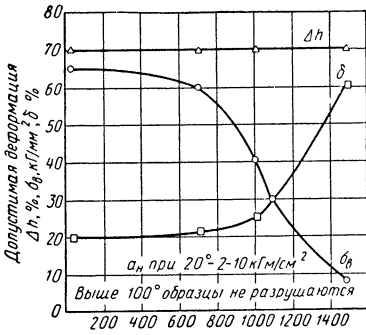


Рис. 6. Диаграмма пластичности сплава ВН2

Режимы ковки и штамповки сплавов ниобия после предварительного прессования и рекристаллизационного отжига на больших и средних сечениях следующие:

Сплавов	ВН2	ВН3
Температура нагрева в °С	1000—800	1200—1100
Сплавов	ВН4	ВН7
Температура нагрева в °С	1300—1200	1000—850

Ковку и штамповку деталей малых сечений из сплавов ВН2 и ВН3 можно осуществлять после отжига при 250°С, а сплав ВН4 при 500°С.

Нагрев заготовок на высокие и средние температуры осуществляется в среде аргона, а нагрев до 250°С — в воздушной среде.

Понижение температуры деформации уменьшает окисления, значительно улучшает поверхность и повышает выход годного.

На рис. 5 показано влияние температуры и степени деформации на удельное давление при осадке сплава ВН3. Как видно из рисунка, наиболее высокое удельное давление (70 кг/мм²) наблюдается при 20°С, при степени деформации 50%. С повышением температуры до 200—250°С удельное давление понижается

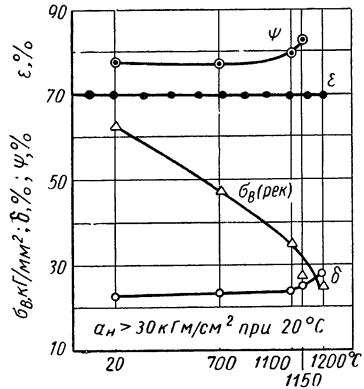


Рис. 7. Диаграмма пластичности сплава ВН3

до 62 кг/мм², при 1200°С — до 48 кг/мм² и при 1350°С — 45 кг/мм².

Из диаграмм пластичности сплавов ВН2 (рис. 6) и ВН3 (рис. 7) видно, что допустимая деформация их после предварительного прессования и рекристаллизационного отжига составляет 70%, независимо от температуры обработки.

Наибольший интерес для штамповки изделий малых сечений из сплавов ВН2 и ВН3 представляет обработка давлением ниже температуры растворимости газов, т. е. при 250°С.

Ковка и штамповка сплавов ниобия осуществляется на оборудовании и инструменте, применяемых для ковки и штамповки стали.

ЛИТЕРАТУРА

Алюминиевые сплавы

1. Аристов В. М. Влияние уковки на механические свойства алюминиевых сплавов. журн. «ЦНИИТМАШ», 1933.
2. Белов А. Ф. Технический прогресс производства легких сплавов в СССР. Легкие сплавы. вып. 1, Изд-во АН СССР, 1958.
3. Буркхард А. Механические и технологические свойства чистых металлов. Г. Н. Т. И., 1941.
4. Баум В. А., Будрин Д. В. и др. Металлургические печи. Г.Н.Т.И. по черной и цветной металлургии, 1951.
5. Воронов С. М. Процессы плавки алюминиевых сплавов в газовых отражательных печах. Труды первой технологической конференции металлургических заводов.
6. Добаткин В. И., Зиновьев В. К. Контроль струнгуры излома слитков сплавов АК4 и АК4-1. Металлургические основы литья легких сплавов. Оборонгиз, 1957.
7. Корнеев Н. И. Прогрессивная технология обработки металлов давлением. Перспектива развития. «Авиапромышленность», 1957, § 10.
8. Корнеев Н. И. Усовершенствование технологии обработки давлением легких сплавов. Легкие сплавы. Вып. 1. Изд-во АН СССР, 1958.
9. Корнеев Н. И. Деформация металлов ковкой. Оборонгиз, 1947.
10. Корнеев Н. И. Термомеханический режимковки металлов. «Машиностроение», Энциклопедический справочник М., Машгиз, 1948, том VI.
11. Корнеев Н. И., Скугарев И. Г. Пластическая деформация высоколегированных сплавов. Оборонгиз, 1955.
12. Корнеев Н. И., Скугарев И. Г. Основы физико-химической технологии обработки металлов давлением, М., Машгиз, 1960.
13. Корнеев Н. И., Скугарев И. Г., Колпашикова И. Е. Исследование технологической пластичности сталей и сплавов при различных физико-химических состояниях. Оборонгиз, 1953.
14. Корнеев Н. И., Певзнер С. Б. и др. Обработка давлением тугоплавких металлов и сплавов. Изд-вом «Металлургия», 1967.
15. Ливанов В. А. Из опыта штамповки слитков непрерывного литья. Труды первой технологической конференции металлургических заводов, Оборонгиз, 1945.
16. Ханеманн Х. и Фогель Р. Хауспайтшрифт Д. Ф. А В. унд. д. Эрфтверк, А. Г. фюр Алюминум, 1932, том 4, № 1—2, стр 3—23.
17. Фридландер И. Н. Алюминиевые деформируемые сплавы, применяемые для работы при повышенных температурах в СССР и за границей. Оборонгиз, 1957.
18. Фридландер И. Н. Новые алюминиевые сплавы. «Авиапромышленность», № 10, 1957.
19. Фридман Я. Б. Механические свойства металлов. Оборонгиз, 1952.
20. Фусс. Алюминий и его сплавы. ОНТИ, 1937.

Магниеые сплавы

21. Афанасьев Я. Е. Зависимость физико-механических свойств прессованных магниевых сплавов от условий исчисления и термообработки. ОНТИ, 1936.
22. Бек А. Магниеые сплавы. Оборонгиз, 1940.
23. Бочвар А. А., Металловедение. Металлургиздат, 1956.
24. Бочвар А. А. и Савицкий Е. М. К вопросу об отжиге магния и алюминия. «Цветные металлы», № 5—6, 1937.
25. Быков Р. С. Энциклопедический справочник, Машиностроение, том 6, 1948, стр. 459—470.
26. Воронов С. М. Особенности технологии литья слитков магниевых сплавов, Сб. Литье магниевых сплавов. Оборонгиз, 1952.
27. Губкин С. И. и Савицкий Е. М. Метод посроения ориентировочных прямых. Деформируемость цветных сплавов. Изд-во АН СССР 1947.
28. Корнеев Н. И., Скугарев И. Г. и Казаков А. А. Пластичность стали и сплавов и зависимости от напряженного состояния, Оборонгиз, 1949.
29. Под ред. Корнеева Н. И. Алюминиевые и магниевые сплавы. Гос. Изд-во Оборонной промышленности, 1959.
30. Локтионов Н. А. и Чухров М. В. Легкие сплавы «Природа», № 5, 1957.
31. Луконин А. А. Основные технологии прессования магниевых сплавов. Сб. Магниеые сплавы. Стандартгиз, 1950.
32. Луконин А. А. Основы технологииковки и штамповки магниевых сплавов,

- Сб. Магниеые сплавы. Стандартгиз, 1950.
33. Савицкий Е. М. Рекристаллизация при горячей обработке магниевых сплавов давлением. «Авиапромышленность», 1940.
 34. Деформируемость металлов. Сборник. Научно-техническое Изд-во по черной и цветной металлургии, 1953.
 35. Сторожев М. В. и Попов Е. А. Теория обработки металлов давлением. «Высшая школа», 1963.
 36. Ковка и объемная штамповка стали. Под ред. Сторожева М. В. М., Машиностроение, 1967.
 37. Тимонова М. А. Коррозия и защита магниевых сплавов. Изд-во Машиностроение, 1964.
 38. Энциклопедия современной техники. Под ред. Туманова А. Т. Конструкционные материалы, Изд-во «Сов. Энциклопедия», 1965.
 39. H a u g h t o n A. P. r u t h e r c h W. Magnesium and its Alloys, London, 1937.
 40. Чухров М. В. Структура и свойства слитков из магниевых сплавов. Оборонгиз, 1957.
 41. Шаров В. М. Магниеые сплавы для фасонного литья. Сб. Литье магниевых сплавов. Оборонгиз, 1952.
 42. Ядерные реакторы, материалы для ядерных реакторов. М., Изд-во Иностранной литературы, 1956.
- Титановые сплавы*
43. Аристов В. М. Работа на ковочных вальцах. Энциклопедический справочник. «Машиностроение» («Э. С. М.»), том 6, М., Машгиз, 1948.
 44. Брюханов А. Н., Ребельский А. В. Горячая штамповка, конструирование и расчет штампов. М., Машгиз, 1952.
 45. Златкин М. Г., Дорохов Н. Н. и др. Справочник рабочего кузнечно-штамповочного производства. М. — Свердловск, Машгиз, 1961.
 46. Missiles and Rocket. 1965. vob 16. № 1. p 15—17.
 47. Никольский Л. А. Горячая штамповка заготовок из титановых сплавов. М., Машиностроение, 1964.
 48. Справочник по авиационным материалам. Том II Цветные сплавы, Часть 2, М., Машиностроение, 1966.
 49. Сторожев М. В., Середин П. И., Кирсанова С. В. Технологияковки и горячей штамповки цветных металлов и сплавов. М., Высшая школа, 1967.
 50. Тарновский И. Л., Трубин В. Н. Златкин М. Г. Свободная ковка на пресах. М., Машиностроение, 1967.
 51. Технологический справочник по ковке и объемной штамповке. М., Машгиз, 1959.
 52. Энциклопедия современной техники. Конструкционные материалы. Том 3, 1965.
- Медные сплавы*
53. Днестровский Н. З. и Померанцев С. Н. Краткий справочник по обработке цветных металлов. Металлургиздат, 1961.
 54. Ефимов К. К., Макринов В. Д., Суханов Г. И. Изготовление поковок под ковочными молотами и пресами. Библиотека кузнеца-новатора. М., М., Машгиз, 1958.
 55. Рогольберг И. Л., Шпичинский Ф. С. Диаграммы рекристаллизации металлов и сплавов. Справочник. Металлургиздат, 1950.
 56. Смирянин А. П. Промышленные цветные металлы и сплавы. Металлургиздат, 1956.
 57. Сторожев М. В., Середин П. И., Кирсанова С. В. Технологияковки и горячей штамповки цветных металлов и сплавов. Изд-во «Высшая школа», 1967.
 58. Шубин И. Н. Безоблойная штамповка корпусных изделий газосварочной аппаратуры из цветных сплавов. Машины и технология обработки металлов давлением. М., Машиностроение, 1967.
- Бериллиевые сплавы*
59. Акопов И. А. и др. Безопасность труда при работе с бериллием и его сплавами. М., Машиностроение, 1964.
 60. Aluminium 9, 1, 1940.
 61. Beaver W.; W. Wrought Fabrication of Beryllium Metal. «Metallurgy Beryllium» London, Chapman and Hall, Ltd, 1963, p. 787—807.
 62. Бивер У. У. Производство бериллия методами порошковой металлургии «Бериллий» под ред. Уайта Д. и Берка И. Л. 1960, стр. 123—182.
 63. Бишоп С. М. Прокатка, ковка и другие методы деформирования бериллия, «Бериллий» под ред. Д. Уайта и Дж. Берка, И. Л., М., 1960, стр. 235—244.
 64. Beaver W. W., Wikle K.G. Trans AIME, 200, 559 (1954).
 65. Valke D. R. Mech Engng. N J. 80, 57 (1958).
 66. Hayes A. F., Joblin J. A. Advanced Techniques for Forging Beryllium «Metallurgy Beryllium» London Chaman and Hall, Ltd 1963, p. 762—779.
 67. Hansner J. S., Pinto N. P., Frans ASM, 43, 1052, (1951).
 68. Denny J. P. Rubenstein H. S., The Forging of Jasketcol anol Bare Beryllium Metallurgy Beryllium» London, Chapman and Hall Zdt, 1963, p. 770—786.
 69. Дарвин Дж. Бадлери Дж. Бериллий, И. Л. М. 1962.
 70. Journal of Spactcraft and Rockets 1965, 1—11 2 № 1.
 71. Journal The Institute of Metals 49, 369, 1932.
 72. Tron Age 1964, 194, N 12, p. 90.
 73. Kaufmann A. R., Gordon P., Zillie D. W. — Trans Americ. Soc. Metals 1950, 42, 785.
 74. Case J. M. Watdins E. R., Jones F. S., Amer. Machinist 96, 93 (1952).
 75. Klein J. L., Macres V. G. Woodard D. H., Grenspan J. см «Бериллий» под ред. Уайта и Берка, И. Л., 1960, стр. 378—413.

76. Левенштейн П., Кауфман А. Р., Арнольд С. В. Деформирование бериллия выдавливанием, «Бериллий» под ред. Д. Уайта и Дж. Берна И. Л., М., 1960, стр. 216—234.
77. Light Metals age. 1964, 22, № 9—10.
78. Материалы «Международной конференции по металлургии бериллия», США, Октябрь, 1964.
79. Лушрану В. В., Theodore L. G., Веавер W. W. Micro-alloing beryllium for improved sintering characteristics and, properties «Conf. internat. metallurge Beryllium Grenoble 1965» Paris, 1966, p. 565—577.
80. Metal Progres 1966, 89, № 2.
81. Modern Metals september 1964, 20, № 8.
82. Pinto N. P. Trans AIMME, 200, 629 (1954), в русском переводе «Бериллий», вып. 4, И. Л., 1956, стр. 56—64.
83. Туэр Д. Л. Кауфман А. Р. Связь пластичности бериллия с деформацией и разрушением монокристаллов. «Бериллий» под ред. Уайта и Берка, И. Л., М., 1960, р. 382—378.
84. Уайт Д., Берк Дж. Бериллий, М. И. Л., 1960.
85. Фридляндер И. Н. и др. Металловедение и термическая обработка металлов, № 3, 1965.
86. Фомин К. Н. и др. Металловедение и термическая обработка металлов № 2, 1967.
87. Энциклопедия современной техники. Конструкционные материалы, под ред. Туманова А. Т., С. Э. 1963.
88. Кевундзюк. Журнал «Легкие металлы», Лондон, 1966, 16, № 4, стр. 171—174.

Тугоплавкие металлы

89. Корнеев Н. И., Певзнер С. Б. и др. Обработка давлением тугоплавких металлов и сплавов. И., «Металлургия», 1967.
90. Тугоплавкие металлы в машиностроении. Справочник — под редакцией А. Т. Туманова, М., Изд-во «Машиностроение», 1967.

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Глава 1. Металлы и сплавы</i>	3	<i>Элементы конструкции штампов</i>	122
Виды сплавов, их характеристика и применение	3	Штамповка на горизонтально-ковочных машинах	124
Алюминиевые сплавы	3	Калибровка	128
Магннсовые сплавы	3	<i>Глава 5. Технологияковки и штамповки</i>	139
Титановые сплавы	30	Виды исходных материалов	139
Медные сплавы	30	Резка мерных заготовок	141
<i>Глава 2. Методы и термомеханические параметрыковки и штамповки</i>	53	Нагрев заготовок	144
Методыковки и штамповки	53	Технологические процессыковки	151
Термомеханические параметрыковки и штамповки	66	Технологические процессыштамповки	166
Температуры, скорости и степени деформации	66	Штамповка на мологах	163
Нагрев заготовок	80	Штамповка на прессах	166
Охлаждение поковок	80	Штамповка на горизонтально-ковочных машинах	169
<i>Глава 3. Элементы конструкции поковок и инструмента, мощности машин</i>	83	Штамповка с применением высокой температурой термомеханической обработки	171
Осадка	83	Смазка при штамповке	172
Вытяжка	86	Типовые технологические процессы штамповки	173
Прошивка	90	Калибровка	189
Рубка	91	Очистка поверхности штамповок	190
Гибка	91	Основные дефекты и методы их устранения	191
Составление чертежа ковнаной заготовки	91	<i>Глава 6. Ковка и штамповка бериллия и сплавов</i>	194
Разработка технологических процессовковки	91	Бериллий	194
<i>Глава 4. Элементы конструкции штамповок и инструмента, мощности машин</i>	93	Алюминиево-бериллиевые сплавы	206
Штамповка в открытых штампах	93	Токсичность бериллия и сплавов, требования сангигиены	214
Элементы конструкции штамповок	93	<i>Глава 7. Ковка и штамповка тугоплавких металлов и сплавов</i>	216
Припуски и допуски	108	Молибден и сплавы	216
Определение потребного усилия для штамповки	120	Ниобий	223
		Литература	226

КОВКА И ШТАМПОВКА ЦВЕТНЫХ
МЕТАЛЛОВ
Справочник

Редактор издательства *М. С. Хухлин*
Технический редактор *Т. Ф. Соколова*
Корректор *А. П. Озерова*

Переплет художника *Ю. И. Соколова*

Сдано в производство 3/VI 1970 г. Под-
писано к печати 11/VI 1972 г. Т-01807. Ти-
раж 18 000 экз. Печ. л. 14,5. Бум. л. 7,25.
Уч.-изд. л. 19. Формат 60×90^{1/16}.
Цена 1 р. 16 к. Зак. № 121.

Издательство «МАШИНОСТРОЕНИЕ»
Москва, Б-66, 1-й Басманный пер., 3.

Ордена Трудового Красного Знамени Ле-
нинградская типография № 1 «Печатный
Двор» им. А. М. Горького Главполиграф-
прома Комитета по печати при Совете
Министров СССР, г. Ленинград, Гатчин-
ская ул., 26.

КНИГИ ПО КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОМУ ПРОИЗВОДСТВУ

Имеются в продаже

Высокоскоростная объемная штамповка. Процессы и оборудование. Под ред. Н. Т. Деордиева, ЭНИКМаш, вып. 21, 1969, 184 стр. Цена 69 коп.

В сборник включены материалы по исследованию влияния различных факторов, действующих при высокоскоростном деформировании, а также материалы по определению деформируемости металла. Рассмотрены и определены исходные данные для проведения энергетического расчета высокоскоростных молотов.

Генерсон И. Г. Поковки из специальных сталей. 1967, 312 стр. Цена 1 р. 23 к.

В книге приведены характеристики распространенных в машиностроении поковок из специальных сталей и технологические особенности их производства. Подробно рассмотрены вопросыковки труднодеформируемых высоколегированных сталей, дан анализ качества поковок в связи с условиями их изготовления.

Крымский И. И. Машиннаяковка. Учебное пособие для подготовки рабочих на производстве. 1960, 179 стр. Цена 38 коп.

В пособии изложены сведения, необходимые для подготовки кузнецов машиннойковки на молотах и прессах: топливо, нагрев металлов, оборудование и инструмент, технологияковки и штамповки, термическая обработка поковок, техника безопасности, организация труда и производства.

Фойгельман Г. А. Альбом конструкций универсальных штампов блоков и узлов для холодной штамповки. Изд. 2-е, переработ. 1970, 120 стр. Цена 2 р. 62 к.

В альбоме приведены в систематизированном виде чертежи и описания конструкций универсальных штампов, блоков и узлов для холодной штамповки, а также чертежи сменных рабочих деталей (матрицы, пуансоны), шаблонов, упоров, трафаретов и т. п. Графически представлены методы и схемы поэлементной штамповки отдельных деталей.

Щеглов В. Ф. Совершенствование кузнечного оборудования ударного действия. 1968, 224 стр. Цена 88 коп.

В книге рассмотрены вопросы, связанные с совершенствованием эксплуатируемого молотового оборудования, а также с созданием нового прогрессивного оборудования ударного действия. Большое внимание уделено бесшаботным молотам и системам виброизоляции фундаментов шаботных молотов. Дан анализ современных конструкций скоростных машин различного типа.

Книги по кузнечно-штамповочному производству можно приобрести во всех магазинах, распространяющих техническую литературу.

В случае отсутствия книг в местных магазинах заказы следует направлять по адресу: Москва, К-31, ул. Петровка, 15, магазин № 8 Москниги, отдел «Книга — почтой».

Заказная литература высылается по почте наложенным платежом.