8.1.2. Алюминий и его сплавы

Алюминий отличают низкая плотность, высокие тепло- и электропроводность, хорошая коррозионная стойкость во многих средах за счет образования на поверхности металла плотной оксидной пленки $A1_2O_3$. Технический отожженный алюминий АДМ (М — мягкий; σ_B = 80 МПа, δ = 35%) упрочняется холодной пластической деформацией. Свойства нагартованного (Н) технического алюминия АДН: σ_B = 150 МПа, δ = 6%. Алюминий высокопластичен и легко обрабатывается давлением, однако при обработке резанием возникают осложнения, одной из причин которых является налипание металла на инструмент.

Основные легирующие элементы в алюминиевых сплавах. Cu, Zп, Mg, Ni, Fe, Mn — элементы, формирующие упрочняющие зоны и фазы. Марганец одновременно повышает коррозионную стойкость. Кремний является основным легирующим элементом в ряде литейных алюминиевых сплавов (силуминов), поскольку он участвует в образовании эвтектики.

Ni, Ti, Cr, Fe повышают жаропрочность сплавов, затормаживая процессы диффузии и образуя стабильные сложнолегированные упрочняющие фазы. Литий в сплавах способствует возрастанию их модуля упругости. Вместе с тем магнии и марганец снижают тепло- и электропроводность алюминия, а железо — его коррозионную стойкость.

Маркировка алюминиевых сплавов. В настоящее время одновременно «сосуществуют» две маркировки сплавов: старая буквенно-цифровая (табл. 8.3) и новая цифровая (рис. 8.2). Наряду с этим имеется буквенно-цифровая маркировка технологической обработки полуфабрикатов и изделий, качественно отражающая механические, химические и другие свойства сплава (табл. 8.4). Примеры обозначения сплавов с помощью буквенно-цифровой и цифровой маркировок приведены в табл. 8.5.

Классификация алюминиевых сплавов. Алюминиевые сплавы в основном подразделяются на *деформируемые* и *литейные*, поскольку в производстве *порошковых* (в том числе и гранулируемых) сплавов и *композиционных* материалов в той или иной мере используются процессы пластической деформации и литья.

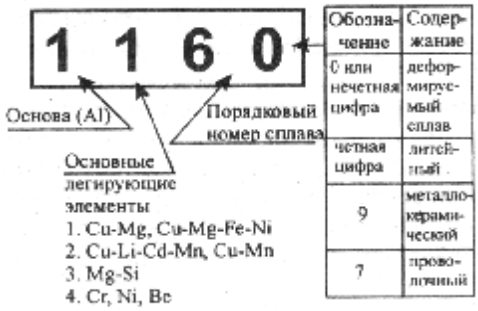

Рис. 8.2. Принципы цифровои маркировки алюминиевых сплавов

Таблица 8.3. Буквенно-цифровая маркировка алюминиевых сплавов

Принцип классификации	Сплав	
	название	обозначение
По химическому составу	—	АМг,АМц
По названию сплава	Дуралюмин	Д1,Д6
По технологическому назначению	Ковочный	АК6,АК8
По свойствам	Высокопрочный	В95, В96
По методу получения полуфабрикатов и изделий	Спеченный литейный	САП, САС, АЛ2
По виду полуфабрикатов	Проволочный	АмгЗП

Таблица 8.4. Буквенно-цифровая маркировка технологической обработки деформируемых и литейных сплавов

Обозначение	Вид обработки, характеристика свойств материала	
	Деформируемые сплавы	Литейные сплавы
М	Мягкий, отожженный	Модифицированный
Т	Закаленный и естественно состаренный	Состаренный
Т1	Закаленный и искусственно состаренный на максимальную прочность	Отожженный
Т2	Закаленный и искусственно состаренный по смягчающему режиму для повышения вязкости разрушения	-
Т3	Закаленный и искусственно состаренный по смягчающему режиму для повышения сопротивления коррозии под напряжением	
Т4	-	Закаленный
Т5	-	Закаленный и частично состаренный
Т6	-	Закаленный и полностью состаренный на максимальную твердость
Т7	-	Закаленный с последующим стабилизирующим отпуском
Т8	-	Закаленный с последующим смягчающим отпуском
Н	Нагартованный (5—7%)	-
П	Полунагартованный	-
НІ	Усиленно нагартованный (20%)	-
ТН	Закаленный, естественно состаренный и нагартованный	-
Т1Н	Закаленный, нагартованный и искусственно состаренный	-
ТПП	Закаленный и естественно состаренный, повышенной прочности	-
ГК	Горячекатаные (листы, плиты)	-
А	Нормальная плакировка	-
У	Утолщенная плакировка (8% на сторону)	-

Примечание. Буква П, входящая в маркировку сплава, указывает на то, что сплав проволочный

Таблица 8.5. **Примеры маркировок алюминиевых сплавов**

Легирующие элементы	Маркировка		Легирующие элементы	Маркировка	
	буквенная	цифровая		буквенная	цифровая
А1 (чистый)	АДОО	1010	Cu, Mg, Mn, Si	АК6 АК8	1360 1380
Mn	АМц	1400			
Mg — Mn	AMr1 AMr5	1510 1550	Cu, Mg, Fe, Ni,Si	АК4 АК4-1	1140 1141
Mg— Si	АВ	1343	Zn— Mg	—	1911
Cu— Mn	Д1 Д16 ВАД1 Д18	1100 1160 1191 1187	Zn— Mg— Cu	В95 В96Ц1	1950 1960
			Cu— Mn	Д20 -	1200 1201

Алюминиевые сплавы разделяют также по способности упрочняться термической обработкой на упрочняемые (закалка с 435 - 545°С, естественное старение при 20°С или искусственное - при 75 - 225°С, 3 - 48ч) и не упрочняемые ей. Они могут подвергаться гомогенизационному (480 - 530°С, 6 - 36ч), рекристаллизационному (300 - 500°С, 0,5 - 3ч) и разупрочняющему (закаленные и состаренные сплавы - 350 - 430°С, 1 - 2ч) отжигу. Состав и механические свойства сплавов приведены в табл. 8.6 и 8.7.

Деформируемые алюминиевые сплавы. Коррозионностойкие сплавы повышенной пластичности разделяют на две основные группы:

Таблица 8.6. Классификация алюминиевых сплавов

Технология получения и обработки	Основные характеристики группы сплавов	Эсновные химические элементы и компоненты	Примеры сплавов
Деформируемые	Коррозионностойкие, повышенной пластичности	Al— Mn Al— Mg Al— Mg— Si	АМц АМгб АВ,АД31,АД33
	Пластичные при комнатной температуре	Al— Cu— Mg	Д18,В65
	Среднепрочные	А1— Cu— Mg	Д1,Д16
	Высокопрочные	А1— Zn— Mg— Cu	В95, В96Ц1
	Малой плотности, высокомодульные	А1— Mg—Li—Zr	1420
	Ковочные, пластичные при повышенной температуре	А1— Mg— Si— Cu	АК6,АК8
	Жаропрочные	Al— Cu— Mg— Fe— Ni А1— Cu— Mg	АК4-1 Д20,Д21
Спеченные	Жаропрочные	А1— А12О3 А1— Cu— Mg— А12О3 А1— Cr— Zr	САП-1,САП-2 СПАК-4 01419
	Зысокомодульные с пониженной плотностью	А1— Mg— Li—Zr 1	01429
	Сплавы с низким коэффициентом линейного расширения	А1— Si— Ni А1— Si— Fe	САС1-50 САС-2
	Высокопрочные	А1— Zn— Mg— Cu	ПВ90
Литейные	Герметичные	А1— Si А1—Si— Mg А1— Si— Cu— Mg	АЛ2, АЛ4, АЛ9 АЛ34 АЛ4М, АЛ32
	Высокопрочные и жаропрочные	А1— Cu— Mn А1— Cu— Mn— Ni А1— Si— Cu— Mg	АЛ19 АЛ33 АЛ3,АЛ5
	Коррозионностойкие	А1— Mg А1— Mg— Zn	АЛ8,АЛ27 АЛ24
Композиционные	Волокнистые: армированные борным волокном (Б. В.)	АД1— Б.В. АД33— Б.В.	ВКА-1 ВКА-2
	Сплавы, армированные стальной проволокой	Матрица: АД1.АВ; проволока 18Х15Н5АМ3	КАС-1,КАС-1А

Таблица 8.7. Химический состав и механические свойства алюминиевых сплавов

Марка сплава	Содержание легирующих элементов, мас. %						Режим технологической обработки	Механические свойства	
	Си	Mg	Mn	Si	Zn	другие элементы		σв,МПа	δ,%
АМц	—	—	1,3	—	—	—	П	170	10
АМгб	<0,1	6	0,65	<0,4	<0,2	Fe < 0,4,	HI	400	9
						Ti < 0,06			
АВ	0,3	0,7	0,25	0,85	<0,2	Fe < 0,5,	TI	350	13
						Ti<0,15			
АД33	0,28	1,0	<0,15	0,6	<0,25	Fe < 0,7,	TI	310	14
						Cr = 0,25,			
						Ti<0,15			
Д18	2,6	0,35	<0,2	<0,5	<0,1	Fe < 0,5, Ti < 0,1	T	300	24
Д16	4,35	1,5	0,6	<0,5	<0,3	Ni < 0,1,	TI	480	12
						Fe < 0,5			
В96Ц1	2,3	2,65	0,55	<0,3	8,5	Zr = 0,13,	T2	660	8
						Fe < 0,3			
1420	_	5,5	<0,3	0,2	—	Li = 2,1,	TI	450	10
						Zr = 0,12			
АК8	4,35	0,6	0,7	0,9	<0,3	Fe < 0,7,	TI	480	10
						Ni < 0,1,			
						Ti < 0,1			
АК4-1	2,3	1,5	<0,2	<0,35	<0,3	N i = 1,1,	TI	400	8
						Fe = 1,1,			
						Cr<0,l			
Д20	6,5	—	0,6	—	—	Ti = 0,15	TI	400	12
САП-2	—	—	—	—	—	0,25 Fe,	H	350	7
						10%A12O3			
САС1-50	—	—	—	27,5	—	Ni = 6,0	H	350	3
01419	—	—	—	—	—	Zr = l,5,	TI	350	12
						Cr = 1,5			
ПВ90	1,5	2,5	<1,0	—	8	Co = 1,5,	TI	780	7
						Zr = 0,3			
АЛ2	<0,6	<0,1	<0,5	11,5	<0,3	Fe<l,5,	—	170	6
						Zr < 0,1			
АЛ34	<0,3	0,45	<0,1	7,5	<0,2	Ti = 0,2,	T5	360	5
						Be = 0,27,			
						B < 0,1,			
						Zr < 0,2			
АЛ32	1,25	0,4	0,4	8,0	<0,3	Ti = 0,2,	TI	200	2,5
						Zr < 0,1,			
						Fe < 0,9			
АЛ19	4,9	<0,05	0,8	<0,3	<0,2	Ni < ОД,	T5	340	4
						Ti = 0,25,			
						Zr < 0,2			
АЛ5	1,25	0,48	<0,5	5,0	<0,3	Be, Zr,	T7	240	1,5
						Ti<0,15,			
						Pb < 0,01			
АЛ33	5,8	<0,05	0,8	<0,3	—	Ni = l,	T6	300	1,0
						Zr = 0,12,			
						Ce = 0,22			
АЛ27	<0,15	10	<0,1	<0,2	<0,1	Ti = 0,1,	T4	360	18
						Be = 0,1,			
						Zr = 0,12			
АЛ24	<0,2	1.75	0,35	<0,3	4,0	Be,	T5	310	3
						Zr < 0,1,			
						Ti = 0,15			

Примечание. Приведен ориентировочный состав алюминиевых сплавов

а) сплавы на основе систем А1—Mn (АМц) и Al—Mg (АМгб), не упрочняемые термической обработкой. Их используют в отожженном (М), нагартованном (Н) или полунагартованном (П) состояниях. Эти сплавы хорошо свариваются. Их применяют для изготовления коррозионностойких изделий, получаемых методами глубокой вытяжки и сварки (например, сварных бен-зобаков, трубопроводов для масла и бензина, корпусов и мачт судов);

б) сплавы системы А1—Mg—Si (АВ, АД31, АД33), упрочняемые закалкой (520—530 °С) и искусственным старением (150—170 °С, 10—12 ч). Эти сплавы, вне зависимости от состояния материала, не склонны к коррозионному растрескиванию под напряжением. Они удовлетворительно обрабатываются резанием в закаленном и состаренном состоянии, а также свариваются с помощью точечной, шовной и аргонодуговой сварки. Большей коррозионной стойкостью обладают сплавы АД31 и АД33, работающие в интервале-70 до +50 °С; сплав авиаль АВ из указанной группы сплавов характеризуется большей прочностью. Из сплавов АВ, АД31 и АД33 изготавливают лопасти и детали кабин вертолетов, барабаны колес гидросамолетов.

Хорошим сочетанием прочности и пластичности отличаются сплавы системы А1—Си—Mg — дуралюмины Д1, Д16, Д18, Д19, ВД17 и др. ; Они упрочняются термической обработкой, (Д16, Т1: зак.494 °С, стар. 190 °С, 68 ч), хорошо свариваются точечной сваркой, удовлетворительно обрабатываются резанием (в термоупрочненном состоянии); однако склонны к межкристаллической коррозии после нагрева (особенно Д1, Д16 и В65). Значительное повышение коррозийной стойкости сплавов достигается плакированием (покрытием их техническим алюминием А7, А8). Сплавы Д19 и ВД17 работают при нагреве до 200—250 °С (например, из сплава ВД17 изготовляют лопатки компрессора двигателя). В авиации дуралюмины применяют для изготовления лопастей воздушных винтов (Д1), силовых элементов конструкций самолетов (Д16, Д19), заклепок (В65, Д18) и др.

Высокопрочные сплавы системы At—Zn—Mg—Си (В93, В95, В96Ц) характеризуются большими значениями временного сопротивления! (до 700 МПа). При этом достаточная пластичность, трещиностойкость и сопротивление коррозии достигаются режимами коагуляционного ступенчатого старения (В96Ц, Т2: зак. 470 °С, стар. 115 °С, 3-10 ч, зак. 175 °С, 3-20 ч), а также применением сплавов повышенной (В95пч) и особой (В95оч) чистоты. В данном случае сплавы обладают лучшей коррозионной стойкостью, чем. дуралюмины. Рабочая температура высокопрочных сплавов не превышает 120 °С, ибо они не являются теплопрочными. Сплавы используют для изготовления высоконагруженных изделий, как правило, работающих в условиях сжатия (стрингеры, шпангоуты, лонжероны и др.).

Высокомодульный сплав 1420 обладает за счет легирования алюминия литием и магнием (система Al—Mg—Li) пониженной (на 11%) плотностью и одновременно повышенным (на 4%) модулем упругости по сравнению со свойствами сплава Д16. Сплав 1420 характеризуется коррозийной стойкостью (аналогичной сплаву АМгбМ) после закалки с искусственным старением (Т1, зак. 450 °С, стар. 170 °С, 8—24 ч), а также после сварки. Сплав может быть использован для замены в изделиях сплава Д16, обеспечивая при этом снижение их массы на 10—15%.

Высокой пластичностью при горячей обработке давлением обладают ковочные сплавы АКб и АК8 (система А1—Mg-j-Si—Си). Они удовлетворительно свариваются, хорошо обрабатываются резанием, но склонны к коррозии под напряжением. Для обеспечения коррозионной стойкости детали из ' сплавов АК6 и АК8 анодируют (электрохимически оксидируют) или наносят лакокрасочные покрытия. Из ковочных сплавов изготавливают ковкой и штамповкой детали самолетов, работающие под нагрузкой (рамы, пояса лонжеронов, крепежные детали). Эти сплавы способны работать при криогенных температурах.

Жаропрочные алюминиевые сплавы системы А1—Си—Мп (Д20, Д21) и А1—Си—Mg—Fe—Ni (АК4-1) применяют для изготовления деталей (поршни, головки цилиндров, диски и лопатки компрессоров), работающих при повышенных температурах (до 300 °С). Жаропрочность достигается за счет легирования сплавов никелем, железом и титаном, затормаживающими диффузионные процессы и образующими сложнолегированные мелкодисперсные упрочняющие фазы, устойчивые к коагуляции при нагреве (АКЧ-1, Т1: зак. 530 °С, стар. 190 °С, 8—12 ч). Сплавы обладают высокой пластичностью и технологичностью в горячем состоянии, хорошо (Д20) или удовлетворительно (Д21, АК-1) свариваются, однако отличаются пониженной коррозионной стойкостью; из защищают от коррозии анодированием и лакокрасочными покрытиями. При 250 °С большей

жаропрочностью обладают сплавы Д21 (σ^{250}_{100}=130 МПа) и Д20 (σ^{250}_{100}=125 МПа) по сравнению со сплавом АК4-1 (σ^{250}_{100}=90 МПа).

Литейные алюминиевые сплавы. Основные требования к сплавам для фасонного литья — это сочетание хороших литейных свойств (высокой жид-котекучести, небольшой усадки, малой склонности к образованию горячих трещин и пористости) с оптимальными механическими и химическими (сопротивление коррозии) свойствами. Лучшими литейными свойствами обладают сплавы эвтектического состава. Больше распространены сплавы на основе систем А1—Si, Al—Cu, Al—Mg.

Конструкционные герметичные сплавы систем Al—Si (АЛ2) и А1—Si—Mg (АЛ4, АЛ9, АЛ34) получили название силумины. АЛ2 близок к эвтектическому составу (10—13% Si) и отличается высокими литейными свойствами, коррозионной стойкостью, большой плотностью отливок. В то же время структура сплава АЛ2, представляющая собой игольчатую грубую эвтектику с включениями кристаллов первичного кремния, не обеспечивает требуемых механических свойств материала. Повышение пластичности сплава за счет изменения структуры (измельчение структуры эвтектики, появление избыточных кристаллов α-твердого раствора вместо кремния) достигается модифицированием АЛ2 натрием (0,065%) посредством введения в расплав смеси солей (67% NaF + 33% NaCl) (рис. 8.3). Термической обработкой сплав АЛ2 не упрочняется. Легированные силумины АЛ4, АЛ9, АЛ34 упрочняются термической обработкой по режимам Tl, T4, T5, T6 (АЛ34, T5: зак. 535 °С, стар. 75 °С, 6 ч). Силумины обладают хорошими литейными свойствами, удовлетворительной обрабатываемостью резанием, свариваемостью и коррозийной стойкостью, для повышения которой детали анодируют и защищают лакокрасочными покрытиями. Сплав АЛ2 используют для изготовления мелких, а АЛ4 и АЛ9 — средних и крупных литых деталей (корпусов компрессоров, картеров двигателей внутреннего сгорания). Сплав АЛ34 (ВАЛ5) превосходит сплавы АЛ4 и АЛ9 по прочности на 25—50%. Сплав АЛ34 применяется для отливок, получаемых литьем под давлением (блоков цилиндров автомобильных двигателей), и отличается хорошим комплексом технологических свойств.

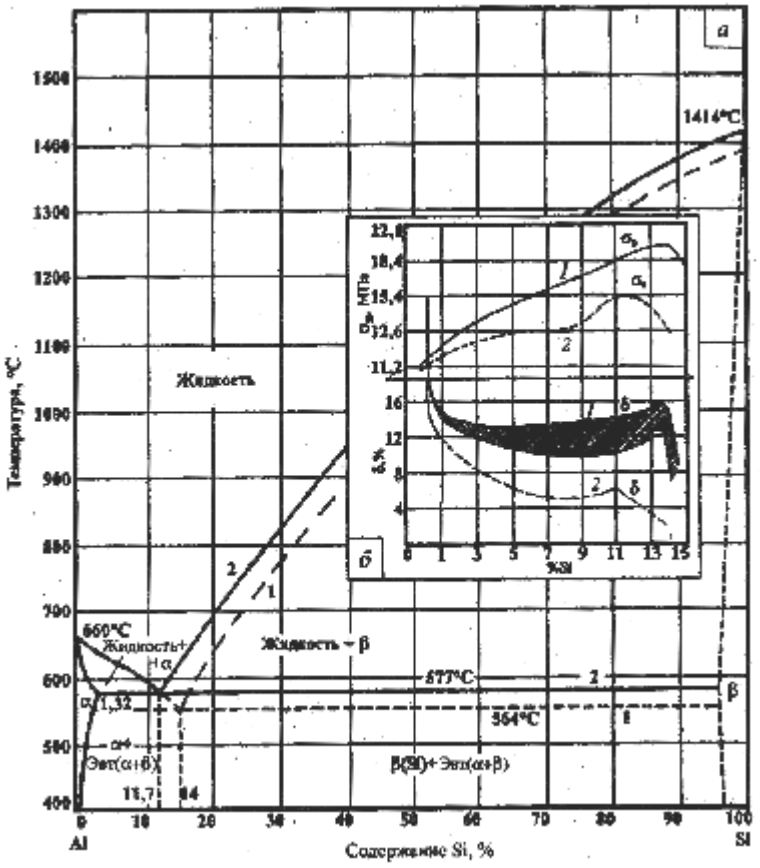

Рис. 8.3. Влияние модифицирования на вид диаграммы состояния А1—Si (а) и механические свойства сплавов этой системы (б): 1 — после модифицирования; 2 — до модифицирования

Высокопрочные и жаропрочные литейные сплавы. В эту группу входят сплавы систем AI—Cu—Mn (АЛ 19), A1—Cu—Mn—Ni (АЛ33) и A1—Si—Cu—Mg (АЛ3, АЛ5).
Легирование сплава АЛ19 титаном обеспечивает ему высокие механические свойства (в том числе при динамическом нагружении) при комнатной и низких температурах, а дополнительное легирование церием и цирконием — жаро прочность при температурах до 300 °С. Сплав отличается хорошей обрабатываемостью резанием и свариваемостью, но пониженной коррозионной стойкостью. Сплав АЛ19 упрочняется термообработкой по режимам Т4, Т5, Т7 (Т5: зак. 545 °С, 12 ч, стар. 175.°С, 3—6 ч); он широко используется для литья крупногабаритных отливок в песчанные формы.

Сплав АЛ33 характеризуется высокой жаропрочностью (σ^{300}_{100} = 90 МПа), хорошей обрабатываемостью резанием, однако имеет пониженные литейные свойства и коррозионную стойкость. Он термически упрочняется по режимам Т5—Т7. Температура работы сплава АЛ33 — до 350 °С.

Сплавы АЛ3 и АЛ5 отличаются повышенной жаропрочностью при температурах до 250—270 °С, но пониженной коррозионной стойкостью. Сплавы упрочняют по режимам Т5—Т8, из них изготавливают корпуса приборов, головки цилиндров двигателей, работающие при повышенных температурах (250—270 °С).

Коррозионностойкие литейные алюминиевые сплавы. Сплавы систем AI—Mg (АЛ8, АЛ27) И A1—Mg—Zn (АЛ24) обладают высокой коррозионной стойкостью во многих агрессивных средах, обрабатываются резанием и свариваются. Дополнительное легирование сплавов системы AI—Mg бериллием, титаном и цирконием вызывает измельчение зерна и затормаживание процесса естественного старения, приводящего к снижению пластичности и коррозионной стойкости. Поэтому сплавы системы AI—Mg упрочняются только закалкой в масле без последующего старения (АЛ27, Т4: зак. 435 °С, 10 ч). Сплавы АЛ8, АЛ27 и АЛ27-1 характеризуются невысокими литейными свойствами и низкой жаропрочностью (рабочие температуры до 80 °С). Сплавы способны работать в условиях коррозии морской воды вместо дефицитных бронз, латуней и нержавеющих сталей.

Сплавы системы AI—Mg—Zn (АЛ24) обладают стабильными механическими свойствами, хорошей жаропрочностью (до 150 °С) и удовлетворительными литейными свойствами. Сплав АЛ24 упрочняется естественным или искусственным старением без предшествующей закалки (Т1) либо закалкой с 550 °С (на воздухе или в кипящей воде) с последующим искусственным старением (165 °С, 22 ч) для повышения прочности.

Спеченные алюминиевые сплавы (порошковые и гранулированные) характеризуются повышенными механическими и физическими свойствами.

Спеченный алюминиевый порошок (САП) — это материал, полученный холодным, а затем горячим брикетированием (прессованием под давлением 700 МПа при 500—600 °С) предварительно окисленной алюминиевой пудры (чешуек толщиной до 1 мкм). Потом из горячепрессованных брикетов ковкой, прокаткой или прессованием изготавливают изделия или полуфабрикаты. Поскольку каждая частичка пудры покрыта тонким сло ем оксида алюминия, то чем тоньше пудра, тем больше в САПе оксида алюминия, выше его прочность, но ниже пластичность; в САПе содержится $A1_20_3$ от 6 до 22%. САП характеризуется высокой прочностью и жаропрочностью при повышенных температурах (350—500 °С). Так, временное со- противление САПа при 500 °С колеблется в интервале 80—120 МПа (в зависимости от содержания $A1_20_3$). Разновидностью САПа является сплав; СПАК-4 (системы A1—Cu—Mg—$A1_20_3$), в котором впервые использовано совместное упрочнение алюминиевой матрицы оксидами ($A1_20_3$) и интерметаллидами (например, Al_9FeNi и др.). Обладая высокой длительной прочно- стью при 350 °С (в 2—2,5 раза большей, чем у сплава АК4-1), сплав СПАК4 может применяться для работающих на форсированных режимах поршней.

Спеченные алюминиевые сплавы систем A1—Si—Ni, (САС-1) и Al—Si—Fe (САС-2), отличающиеся низким коэффициентом тер-; мического расширения, изготавливают из порошков, полученных пульверизацией жидких сплавов. Это обеспечивает сплавам достаточно равномерную дисперсную структуру, содержащую мелкие включения кремния и интерметаллидов.

В настоящее время получили распространение гранулируемые алюми- ниевые сплавы, отличающиеся высоким содержанием легирующих элемент тов (Mn, Cr, Zr, Ti, V), нерастворимых или малорастворимых в алюминии. Гранулирование (получение гранул — литых частиц с диаметром от не-' скольких миллиметров до десятых долей миллиметра) осуществляют распылением расплава с высокими скоростями охлаждения (10^4—10^8 °С/с) в воде. При этом образуются пересыщенные переходными металлами твердые рас- творы на основе алюминия; одновременно изменяется структура: грубые первичные и эвтектические включения интерметаллидов (присущие слиткам, получаемым по обычной технологии) становятся более

тонкими и равномер- но распределенными, что повышает механические свойства сплавов. Из гранул изготавливают прессованные полуфабрикаты и листы любых алюминиевых сплавов. В процессе горячей деформации при получении полуфабрикатов аномально пересыщенные твердые растворы распадаются с выделением дисперсных частиц интерметаллидов. Таким образом, технологический нагрев до 400—450 °С при изготовлении полуфабрикатов является упрочняющим старением сплава. Роль закалки для таких сплавов играет кристаллизация при больших скоростях охлаждения.

Дисперсионно твердеющим гранулируемым является сплав 01419 системы А1—Сг—Zr, который упрочняется вследствие выделения фаз Al_3Zr, $A1_7Cr$ при прессовании прутков. Сплав обладает повышенной жаропрочностью до 350 °С.

Другой группой гранулируемых сплавов являются высокопрочные сплавы типа В95, В96Ц системы А1—Zn—Mg—Си (например, ПВ90), упрочняе мые термической обработкой. Сплав ПВ90Т1 превосходит по прочности и температуре рекристаллизации все серийные деформируемые алюминиевые сплавы. Сплав ПВ90 хорошо полируется и обрабатывается резанием. Обладая размерной стабильностью, он перспективен для изготовления зеркал, узлов трения и других ответственных деталей высокоточных приборов.

Композиционные алюминиевые сплавы. Волокнистые композиционные материалы получают, армируя алюминиевые сплавы АД1, АДЗЗ борными волокнами (ВКА-1, ВКА-2). Эти материалы используют для изготовления стрингеров, труб. Для композиционных материалов ВКА-1 и ВКА-2 характерны высокие значения циклической прочности. *Алюминиевые сплавы, армированные стальной проволокой* (КАС-1, КАС-1А, см. табл. 8.6), могут подвергаться гибке, обладают высокой ударной вязкостью и жаропрочностью, большим сопротивлением распространению усталостной трещины и значительной прочностью. Применение накладок (стопперов) из материала КАС уменьшает скорость распространения трещины более чем в пять раз по сравнению с накладками из титановых сплавов.