

23.1. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЯ

Алюминий и алюминиевые сплавы - первые конструкционные металлы, которые были использованы в самолетостроении. Свое значение в самолетостроении алюминий сохранил и в наше время, занимая первое место среди металлов: до $\frac{3}{4}$ массы современных самолетов изготавливают из алюминия.

Практически нет ни одной отрасли машиностроения, в которой бы не использовали в той или иной мере алюминиевые сплавы. Их применяют в строительных конструкциях, судостроении, железнодорожном и автомобильном транспорте, летательных аппаратах, нефтяном и химическом машиностроении, электротехнике и т. д.

Из алюминиевых сплавов изготавливают самые разнообразные детали холодильной и криогенной техники. Их применяют для изготовления хранилищ и емкостей для транспортировки жидких газов: кислорода, азота, водорода и гелия, не говоря уже об установках сжижения и хранения природного газа. Алюминиевые сплавы используют в качестве материала для ректификационных колонн и трубных систем.

Алюминиевые сплавы находят широкое применение для криогенного оборудования, используемого в космосе. Из них изготавливают баки для жидкого кислорода и водорода диаметром 6,5 м и более, баллоны для сжатого гелия.

Из всех легких металлов алюминий характеризуется наибольшим объемом производства, занимающим в мировой промышленности второе место после производства стали.

До конца 80-х гг. XIX века алюминий почти не производился и был немногим дешевле золота. Сохранилось описание банкета, данного Наполеоном III, на котором только гости королевской крови были удостоены чести есть алюминиевыми ложками и вилками. Остальные пользовались обычными золотыми и серебряными приборами.

В 1886 г. американский студент Чарльз Холл и молодой французский инженер Поль Эру разработали современный способ производства алюминия электролизом криолитно-глиноземного расплава. После этого производство алюминия стало расти, а цена его начала резко падать.

Алюминий кристаллизуется в гранецентрированной решетке с периодом $a = 0,4041$ нм, не имеет полиморфных превращений, обладает малой плотностью ($2,7$ г/см³), низкой температурой плавления (660 °C), высокой электро- и теплопроводностью, низкой прочностью ($\sigma_b = 100$ МПа) и высокой пластичностью ($\delta = 35$ %), а также высокой коррозионной стойкостью. Хорошая коррозионная стойкость алюминия обусловлена образованием на его поверхности тонкой, но плотной пленки оксида Al_2O_3 , предохраняющей металл от дальнейшего окисления. Удельный объем оксида и металла близки между собой. Поэтому оксидная пленка обладает хорошим сцеплением с металлом и малопроницаема для всех газов. Благодаря защитному действию пленки алюминий имеет высокую коррозионную стойкость в атмосфере и в среде многих органических кислот. В едких щелочах алюминий быстро растворяется. Чем меньше примесей содержит алюминий, тем выше его коррозионная стойкость.

Алюминий высокой чистоты, применяемый для лабораторных целей, одержит 99,99 % Al, для технических целей - 99,50 % Al. Алюминий хорошо деформируется и сваривается, но плохо обрабатывается резанием. Из него прокаткой можно получать тонкую фольгу, применяемую в качестве оберточного материала.

КЛАССИФИКАЦИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Из-за низкой прочности технический алюминий применяется для изготовления малонагруженных элементов конструкций. Широкое применение в качестве конструкционных материалов имеют сплавы на основе алюминия.

Все алюминиевые сплавы можно разделить на три группы:

- 1) деформируемые, предназначенные для получения поковок, штамповок, проката, труб;
- 2) литейные сплавы;
- 3) сплавы, получаемые методом порошковой металлургии (спеченные алюминиевые порошки (САП) и сплавы (САС)).

Основными легирующими элементами в деформируемых алюминиевых сплавах являются Cu, Zn, Mg, Mn. В условиях равновесия сплавы представляют собой равновесный твердый раствор с выделениями интерметаллидных фаз типа CuAl_2 (θ -фаза), Al_2CuMg (S -фаза), Al_6CuMg_4 (T -фаза) и др.

Постоянными примесями в алюминии являются железо и кремний. Обе примеси практически нерастворимы в алюминии. При одновременном их присутствии появляется новая фаза тройного химического соединения Al - Fe - Si. Это соединение выделяется по границам зерен и снижает пластичность алюминия.

Предельное содержание примесей Fe и Si в деформируемых алюминиевых сплавах должно составлять не более 0,5 %. Дополнительное снижение содержания Fe и Si в алюминиевых сплавах от 0,5 до 0,15 и 0,1 % соответственно принято для полуфабрикатов из высокопрочных сплавов Д16 и В95 для современных пассажирских и транспортных самолетов. Сплавы повышенной чистоты имеют характеристики трещиностойкости на 30 % выше, чем обычные сплавы. Количество циклов до разрушения при малоцикловой усталости возрастает от 100 до 140 килоциклов, а скорость роста усталостной трещины уменьшается с 7,0 до 2,7 мм/цикл.

Алюминиевые сплавы маркируются буквами или условными номерами. Часто за условным номером дают обозначения, характеризующие состояние сплава: М - мягкий (отожженный); Т -

термически обработанный (закалка и старение); Н - нагартованный и др.

Схема типовой диаграммы алюминий - легирующий элемент приведена на рис. 23.1.

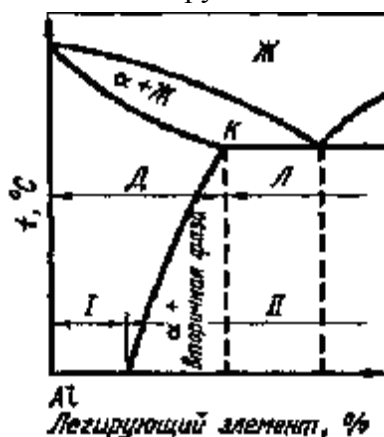


Рис. 23.1. Типовая диаграмма состояния сплавов алюминий - легирующий элемент (схема): Д - деформируемые сплавы; Л - литейные сплавы; I - сплавы, не упрочняемые термической обработкой; II - сплавы, упрочняемые термической обработкой

. В соответствии с диаграммой состояния алюминиевые сплавы по технологическим свойствам подразделяются на деформируемые и литейные сплавы. Точка К соответствует предельной растворимости легирующего элемента в алюминии при эвтектической температуре.

Сплавы левее точки К имеют при нагреве однофазную структуру α -твердого раствора, высокую пластичность и низкую прочность. Поэтому сплавы этого типа легко обрабатываются давлением и относятся к категории деформируемых сплавов. В свою очередь деформируемые

сплавы бывают двух типов: I - не упрочняемые термической обработкой и II - упрочняемые термической обработкой.

В деформируемых алюминиевых сплавах, не упрочняемых термической обработкой, содержание легирующих элементов меньше предела насыщения твердого раствора при комнатной температуре. В термически упрочняемых алюминиевых сплавах содержание легирующих элементов превышает их равновесную концентрацию.

Сплавы, по содержанию легирующего элемента находящиеся правее точки К, имеют структуру, состоящую из α -твердого раствора и эвтектики. Они плохо деформируются, но благодаря наличию эвтектики обладают хорошими литейными свойствами: жидкотекучестью и высокой концентрацией литейной пористости. Наилучшая жидкотекучесть наблюдается у сплавов, кристаллизующихся при постоянной температуре (эвтектические сплавы).

Характер литейных пор зависит от ширины температурного интервала кристаллизации, хотя общий объем пор остается постоянным или плавно меняется. Чем меньше интервал кристаллизации, тем концентрированное усадочная раковина, выводимая в прибыльную часть, и соответственно плотнее металл самой отливки. Однако при чрезмерно большом количестве эвтектической составляющей ухудшаются механические свойства сплава.

Состав и свойства некоторых российских алюминиевых сплавов приведены в табл. 23.1.

Т а б л и ц а 23.1

Химический состав (%) и свойства некоторых алюминиевых сплавов

Марка сплава	Содержание элементов, %				Режим термообработки	Механические свойства		
	Cu	Mg	Mn	Прочие		$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
Деформируемые сплавы, не упрочняемые термической обработкой (ГОСТ 4784-74)								
АМц	0,1	0,2	1,0-1,6		Отжиг	130	50	20
АМг2	0,1	1,8-2,6	0,2-0,6		То же	190	100	23
АМг5	0,1	5,8-6,8	0,5-0,8	0,02-0,1 Ti; 0,002-0,005 Be	"	340	170	20
Деформируемые сплавы, упрочняемые термической обработкой (ГОСТ 4784-74)								
Д1	3,8-4,8	0,4-0,8	0,4-0,8		Закалка + старение	400	240	20
Д16	3,8-4,9	1,2-1,8	0,3-0,9		"	440	330	18
В95	1,4-2,0	1,8-2,8	0,2-0,6	0,01-0,25 Cr 5,0-7,0 Zn	"	540	470	10
В96	2,0-2,6	2,3-3,0	0,3-0,8	8-9 Zn	"	750	720	7
АК6	1,8-2,6	0,4-0,8	0,4-0,8	0,7-1,2 Si	"	400	300	12
ВАД23	4,8-5,8	≤ 0,05	0,4-0,8	0,9-1,4 Li 0,1-0,25 Cd	"	450	280	20
01420	-	5,0-6,0	-	1,9-2,3 Li 0,09-0,15 Zr	"	420	270	5
Литейные сплавы (ГОСТ 2685-75)								
АК12 (АЛ2)	-	-	-	10-13 Si	Литье в землю	180	80	6
АК9 (АЛ4)	-	0,17-0,30	0,2-0,5	8-10,5 Si	Литье в кокиль	220	90	5
АК9 (АЛ4)	-	0,17-0,30	0,2-0,5	8-10,5 Si	Литье в землю (закалка - старение)	260	200	4
АМ5 (АЛ19)	4,5-5,3	-	0,6-1,0	0,15-0,35 Ti	То же	360	250	3

Деформируемые сплавы, не упрочняемые термообработкой, имеют сравнительно низкую прочность, но более высокую пластичность и коррозионную стойкость. Их применяют в отожженном состоянии или упрочняют с помощью холодной пластической

Широкое распространение получили деформируемые сплавы, упрочняемые термообработкой. Примером деформируемых термоупрочняемых алюминиевых сплавов являются сплавы алюминия с медью. Из диаграммы состояния Al - Cu (рис. 23.2) видно, что максимальная растворимость меди в твердом алюминии составляет 5,7 % при 548 °С. При понижении температуры растворимость падает, составляя 0,2 % при 20 °С.

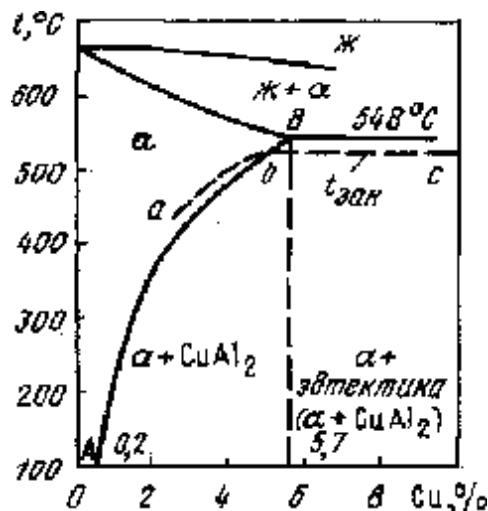


Рис. 23.2. Левый участок диаграммы состояния сплавов Al — Cu
Штриховая линия - температура закалки сплавов

Наличие линии переменной растворимости AB показывает возможность упрочнения сплава путем закалки и старения. В литом состоянии микроструктура сплавов состоит из α -раствора и интерметаллидов $CuAl_2$. При нагреве под закалку до температуры, соответствующей линии abc , происходит растворение избыточных интерметаллидных фаз. Быстрое охлаждение фиксирует пересыщенный твердый раствор в сплавах, содержащих до 5,7 % Cu. В закаленных сплавах с содержанием меди более 5,7 % в структуре помимо пересыщенного твердого раствора, отвечающего составу точки B , будут присутствовать не растворенные при нагреве кристаллы $CuAl_2$. Закалка должна проводиться со скоростью, предотвращающей распад пересыщенного твердого раствора. Закалку обычно проводят в воде. Сразу после закалки сплавы имеют невысокую прочность и обладают способностью пластической деформации. Закаленные детали можно подвергать различным технологическим деформирующим операциям: гибке, отбортовке, расклепке заклепок.

Для дальнейшего упрочнения сплавы подвергают естественному в течение нескольких суток или искусственному старению при температуре около 150 °С в течение 10-24 ч. Более эффективно естественное старение. В этом случае сплавы имеют более высокую пластичность и менее чувствительны к концентраторам напряжений. На рис. 23.3 представлены микроструктуры дуралюмина Д16 в литом состоянии, после закалки и после закалки и старения.

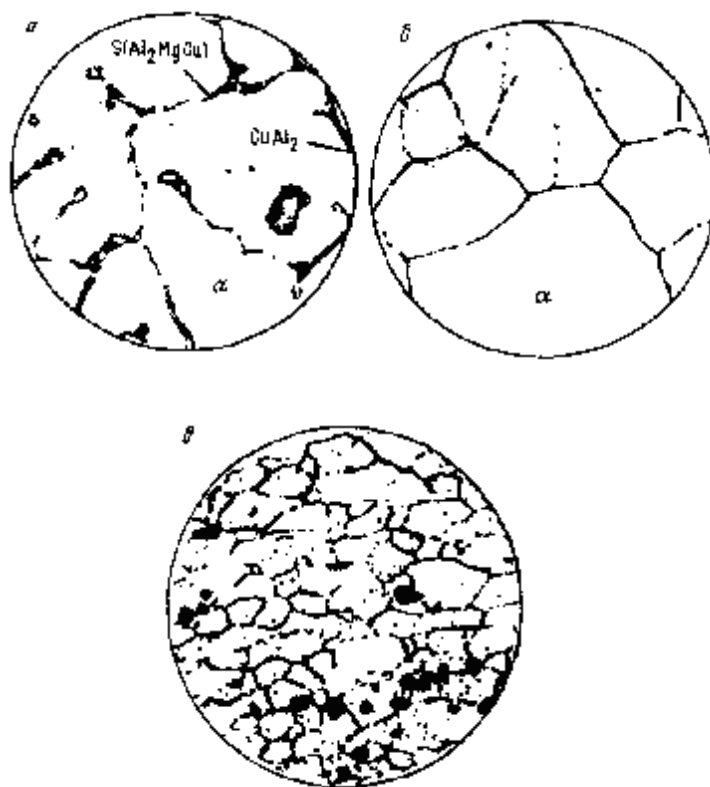


Рис. 23.3. Микроструктура дуралюмина Д16 (х 300): *а* - литой сплав (α -раствор, CuAl_2 , Al_2MgCu - фаза S); *б* - деформируемый сплав после закалки (пересыщенный α -раствор); *в* - сплав после закалки и старения

В начальный период старения образуются зоны повышенной концентрации меди, так называемые зоны Гинье - Престона (ГП). В этот период атомы меди еще не выделяются из раствора. В зонах повышенной концентрации меди кристаллическая решетка искажена, в кристалле возникают большие напряжения, что увеличивает твердость и прочность металла. При дальнейшем развитии старения зоны Гинье - Престона увеличиваются, а затем происходит выделение мельчайших частиц интерметаллидов, которые впоследствии коагулируют. Процесс образования зон Гинье - Престона и достижение стадии так называемого предвыделения приводит к максимальному упрочнению.

Наиболее распространенными деформируемыми алюминиевыми сплавами являются дуралюмины. Они содержат, %: 2,5-5 Cu, 0,4-1,8 Mg, 0,4-0,9 Mn. Медь и магний вводят в сплав для его упрочнения, марганец усиливает упрочняющий эффект и повышает его коррозионную стойкость. Наибольшее упрочнение достигается после старения.

Дуралюмин, по составу примерно соответствующий современному сплаву Д1, был изобретен немецким ученым А. Вильмом, первая работа которого опубликована в 1906 г. Явление естественного старения сплава было открыто Вильмом случайно и в начале не имело научного обоснования.

В дуралюминах системы Al-Cu-Mg могут образовываться или двойные соединения CuAl_2 и Al_3Mg_2 , или тройные Al_2MgCu (так называемая фаза S) и Al_6CuMg_6 (фаза T). На рис. 23.4 показано влияние соотношения разных фаз на прочность после закалки и старения.

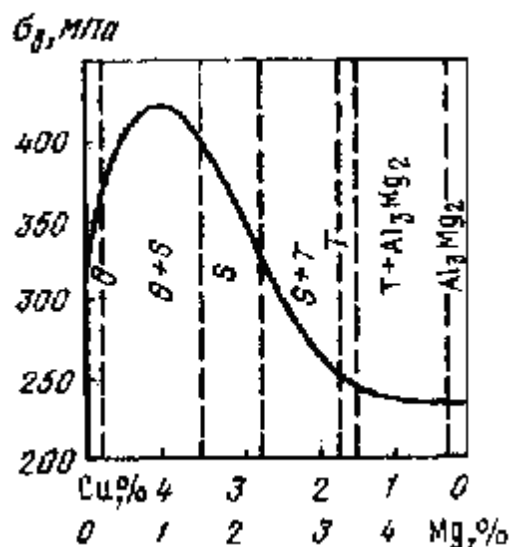


Рис. 23.4. Зависимость прочности дуралюминов от соотношения меди и магния при их постоянном суммарном содержании 5 %

С увеличением содержания меди в сплавах возрастает количество θ -фазы, оказывающей основное упрочняющее действие (дуралюмин Д1). Увеличение содержания магния приводит к росту количества фазы S и дополнительному повышению прочности (дуралюмин Д16).

Достоинством дуралюминов является высокая удельная прочность, благодаря чему они относятся к числу широко применяемых материалов в самолетостроении, для изготовления лопастей воздушных винтов, шпангоутов, тяг управления и др. Дуралюмины используют во многих отраслях техники. Их также применяют для кузовов грузовых автомобилей, для строительных конструкций, в пищевой и холодильной промышленности для изготовления емкостей, тестомесильных аппаратов, сепараторов, поплавковых камер, арматуры, трубопроводов и т. д.

Дуралюмины имеют пониженную коррозионную стойкость. Для повышения коррозионной стойкости листы дуралюмина плакируют, т. е. покрывают слоем чистого алюминия и производят совместную прокатку листов. Алюминий, толщина слоя которого составляет 2-5 %, сваривается с основным металлом и защищает его от коррозии.

Для повышения коррозионной стойкости деталей из дуралюминов их также подвергают анодной поляризации в 10 %-м растворе серной кислоты. Выделяющийся кислород способствует образованию на поверхности дуралюминовой детали оксидной пленки, предохраняющей ее от окисления.

Деформируемые алюминиевые сплавы на Al - Zn - Mg - Cu основе (типа В95, В96) имеют наиболее высокую прочность среди всех алюминиевых сплавов $\sigma_b = 500-750$ МПа, но невысокую пластичность $\delta = 7-10\%$. Эффект старения в этих сплавах наиболее высок. Он достигается за счет выделения дисперсных фаз $M(MgZn_2)$ и $T(AlZnMg)$. При высоком содержании цинка медь не участвует в старении, сохраняется в пересыщенном твердом растворе, повышая относительное удлинение и коррозионную стойкость. Сплавы этой системы легирования используются в самолетостроении для тяжелонагруженных деталей.

Снижение полетной массы машин является важнейшей задачей конструкторов, работающих в области самолето- и ракетостроения. Для легирования алюминия применен литий - самый легкий среди металлов (плотность $0,5 \text{ г/см}^3$). В настоящее время разработаны сплавы системы Al - Cu - Li (ВАД23) и Al - Mg - Li (О1420), а также режимы их упрочнения при термической обработке. В сплавах этого типа при искусственном старении достигается большее упрочнение, чем при естественном старении. Сплавы

имеют прочность, близкую к прочности дуралюминов ($\sigma_b \approx 400$ МПа), но значительно меньшую плотность.

Упрочнение Al - Cu - Li системы легирования (ВАД23) достигается еще за счет выделения при старении дисперсной фазы Al_2CuLi , по своей природе аналогичной фазе $S(Al_2MgCu)$ в системе Al - Cu - Mg. Эффект упрочнения усиливается при введении небольшого количества кадмия (0,1-0,25 %).

Влияние лития на механические свойства сплавов Al - Cu - Mn - Cd при концентрации меди 2; 4 и 6 % показано на рис. 23.5.

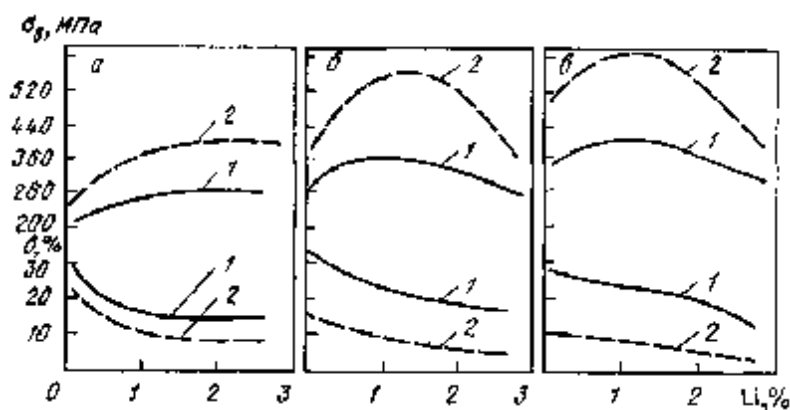


Рис. 23.5. Зависимость механических свойств сплавов системы Al — Cu — Mn - Cd от содержания лития: а - 2 % Cu; б - 4 % Cu; в - 6 % Cu; 1 - естественно состаренное состояние; 2 - искусственно состаренное состояние

Максимальный эффект после термообработки получен на сплавах, содержащих 5-6 % Cu и 1,4 % Li, близких по составу сплаву ВАД23.

Сплав ВАД23 используется как конструкционный материал для изделий, в которых должны сочетаться низкая плотность с высокой прочностью, жесткостью и жаропрочностью. Он обладает высокой технологической пластичностью, особенно при горячей деформации. Из него могут быть получены все виды деформированных полуфабрикатов, включая фольгу.

Сплавы системы Al - Mg - Li являются самыми легкими из всех известных алюминиевых сплавов (на 12 % легче сплава Д16 и на 15 % - сплава В95). Такое существенное снижение массы объясняется тем, что оба легирующих элемента легче алюминия.

Выделением, влияющим на упрочнение Al - Mg - Li сплава О1420 при старении, является фаза δ (Al_3Li). Выделение фазы-упрочнителя не приводит к обеднению матрицы магнием. Сплав О1420 и его сварные соединения обладают высокими коррозионными свойствами, близкими к свойствам сплава АМгб системы Al - Mg.

Известно, что модуль упругости сплавов обычно изменяется приблизительно аддитивно в зависимости от модуля упругости компонентов и их содержания в сплаве. Сплавы Al - Mg - Li имеют аномально высокий модуль упругости: на 4 % выше, чем у дуралюмина, хотя модуль упругости самого Li крайне низкий.

Благодаря сочетанию низкой плотности, высокого модуля упругости, коррозионной стойкости и хорошей свариваемости применение сплавов системы Al — Mg - Li в аэрокосмической технике непрерывно расширяется.

В России АНТК им. А. Н. Туполева совместно с фирмой "Даймлер Бенц Аэроспейс" разрабатывает проект экологичного самолета - криоплана, использующего в качестве топлива жидкий природный газ или жидкий водород. Использование криогенного топлива, обладающего несомненными преимуществами по сравнению с обычным керосином по энергоемкости и экологичности, осложнено тем, что водород в жидком

состоянии имеет температуру $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$, а его объем в 4 раза больше керосинового эквивалента.

Одной из наиболее трудных проблем, связанных с созданием криоплана, является выбор материала для топливного бака. Большинство алюминиевых сплавов при этих температурах охрупчивается и повышает чувствительность к концентрации напряжений, делая их неспособными к работе в этих условиях.

Сплавы системы Al - Cu - Mn могут работать в этих условиях, что подтверждено опытом их эксплуатации в системах "Энергия - Буран" (Россия) и "Шаттл" (США). Однако они имеют сравнительно невысокую прочность и низкие усталостные характеристики. Специально разработанный Al-Li сплав 01460 обладает более высокими характеристиками прочности, усталостной долговечности и запасом пластичности при низких температурах. Он хорошо сваривается и пригоден для изготовления криогенных баков.

Для повышения сопротивления разрушению при малоцикловых нагрузках, являющегося важнейшей характеристикой надежности авиационных материалов, необходимо повышение дисперсности вторичных частиц алюминидов, выделяющихся при старении.

Высокопрочные алюминиевые сплавы марок D16 (Al - Cu - Mg) и B95 (Al - Zn - Mg - Cu) в течение многих десятилетий используются в авиастроении. Повышению их трещиностойкости способствовало снижение предельного содержания вредных примесей Fe и Si от 0,50 до 0,15 и 0,1 % соответственно. Долговечность (количество циклов до разрушения) возросла от 100 до 165 кциклов, а скорость роста трещины уменьшилась с 6,0 до 2,5 мм/кцикл. Однако дальнейшее повышение чистоты сплавов представляет сложности как по техническим, так и по экономическим соображениям.

Дальнейшее повышение ресурса высокопрочных алюминиевых сплавов может быть достигнуто совместным легированием малыми добавками скандия и циркония. Высокое сопротивление разрушению при испытании на малоцикловую усталость обусловлено образованием мелкодисперсных частиц $\text{Al}_3(\text{Sc}_{1-x}, \text{Zr}_x)$ сферической формы, полностью когерентных матрице, со средним размером $d = 15$ нм и средним межчастичным расстоянием $l = 300$ нм. Наличие таких частиц препятствует распространению усталостных трещин.

В России разработан сплав с добавками Sc и Zr, неупрочняемый термической обработкой. Сплав О1570 содержит 6 % Mg, но в отличие от сплава АМг дополнительно легирован 0,15-0,35 % Sc и 0,05-0,15 % Zr. Скандий проявляет себя как сильный модификатор, способствующий получению плотных слитков с недендритной структурой. При последующих нагревах твердый алюминиевый раствор распадается с образованием дисперсных частиц Al_3Sc и $\text{Al}_3(\text{Sc}_{1-x}, \text{Zr}_x)$, способствующих упрочнению и сопротивлению усталости. Если отожженные листы сплава АМг6 имеют $\sigma_{\text{в}} = 340$ МПа и $\sigma_{0,2} = 180$ МПа, то прочность сплава О1570 составляет $\sigma_{\text{в}} \geq 400$ МПа, $\sigma_{0,2} \geq 300$ МПа при высокой пластичности $\delta = 15-20$ %. Подобно всем неупрочняемым сплавам на основе Al - Mg сплав О1570 обладает хорошей свариваемостью, причем скандий оказывает на структуру шва модифицирующее действие.

Подобно сплаву АМг6 сплав О1570 может применяться как криогенный конструкционный материал для работы в среде жидкого кислорода и азота. При уменьшении содержания магния до 4-5 % сплав сохраняет высокую пластичность при температуре жидкого водорода (20 К).

Механические свойства термоупрочняемых алюминиевых Al - Zn - Mg - Cu сплавов одинакового состава при введении малых добавок скандия и циркония приведены в табл. 23.2.

Введение малых добавок скандия позволяет резко повысить сопротивление разрушению при циклических нагрузках. Это обусловлено образованием когерентных

матрице дисперсных частиц $Al_3(Sc_{1-x}IZr)$ сферической формы, препятствующих зарождению и распространению усталостных трещин.

Разработан термоупрочняемый сплав 01970, содержащий 5,2 % Zn, 2,0 % Mg, 0,3 % Mn, дополнительно легированный 0,2 % Sc и 0,1 % Zr. Его свойства после старения: $\sigma_b = 480-520$ МПа, $\sigma_{0,2} = 420-490$ МПа, $\delta = 11-15$ % при увеличении сопротивления малоциклового усталости в 2-2,5 раза по сравнению обычными высокопрочными сплавами. Сплав имеет высокую коррозионную стойкость. Сварные соединения сплавов, легированные скандием, характеризуются самой высокой прочностью из всех известных алюминиевых сплавов. Они могут быть рекомендованы для наиболее ответственных конструкций. Применение сплавов со скандием сдерживается их сравнительно высокой стоимостью. Однако необходимость снижения массы и металлоемкости конструкций позволяет прогнозировать их широкое применение в недалеком будущем.

Для снижения массы летательных аппаратов в ряде случаев применяют специально разработанные технологические методы. При изготовлении корпусных частей самолетов (фюзеляжа, крыльев) и управляемых ракет это может достигаться использованием сотовых конструкций. Наружные оболочки делают из высокопрочных материалов, а в качестве наполнителя применяют клеевые сотовые конструкции из обычных алюминиевых сплавов.

Т а б л и ц а 23.2

Влияние скандия и циркония на механические свойства Al — Zn - Mg — Cu сплавов

Номер сплава	Содержание, %		σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	Малоцикловая усталость, цикл
	Sc	Zr				
1	0	0,07	480	455	10,5	75000
2	0,03	0,07	540	500	10,3	277000
3	0,12	0,07	540	500	10,5	277000

Разработан авиационный материал - пеноалюминий, получаемый в виде лент и листов толщиной до 100 мм. Его изготавливают присадкой в жидкий алюминий или его сплавы порошкообразных газообразующих веществ, например гидридов титана и циркония. Гидриды вводят под давлением, но, как только начинается выделение водорода и вспенивание, давление снимают. Во избежание спадания пены пеноалюминий охлаждают опрыскиванием водой. Плотность пеноалюминия 0,2-0,6 г/см³. Пеноалюминий можно обрабатывать резанием, клепать, прибивать гвоздями, паять.

Известен способ получения пористого алюминия заливкой сплава в емкость - форму, заполненную гранулами поваренной соли с последующим растворением соли в воде.

ЛИТЕЙНЫЕ АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ

Литейные сплавы должны обладать высокой жидкотекучестью, малой склонностью к образованию горячих трещин и пористости. Для обеспечения высокого уровня литейных свойств необходим минимальный эффективный интервал кристаллизации. Наиболее высокие литейные свойства имеют сплавы с эвтектической структурой. Наиболее распространенными литейными сплавами являются сплавы алюминия с высоким содержанием кремния (более 5 %), называемые силуминами.

На рис. 23.6 приведена левая часть диаграммы состояния алюминий — кремний.

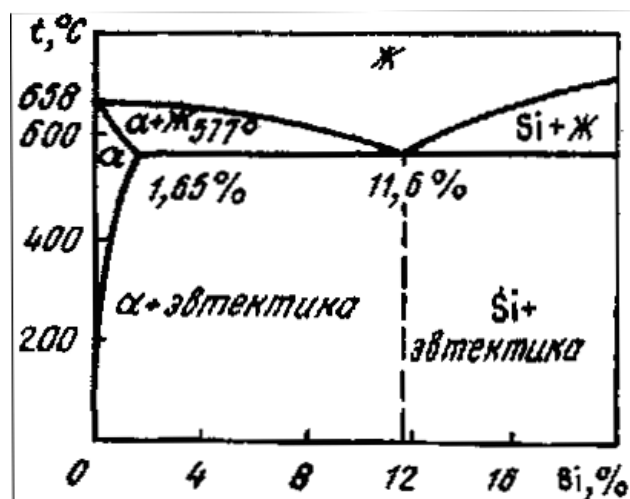


Рис. 23.6. Диаграмма состояния сплавов системы Al - Si

Силумины имеют состав, близкий к эвтектическому, и поэтому обладают высокими литейными свойствами. Широкое распространение получил силумин марки АК12 (АЛ12), содержащий 10-13 % кремния, обладающий высокой коррозионной стойкостью. Его структура состоит из α -твердого раствора и эвтектики $\alpha + \text{Si}$ (рис. 23.7). Прочность силумина невелика: $\sigma_{\text{в}}=180 \text{ МПа}$, $\sigma_{0,2} = 80 \text{ МПа}$, $\delta = 7\%$.



Рис. 23.7. Эвтектика в силумине

При более высоких требованиях к прочностным свойствам применяют доэвтектические силумины с 4-10 % Si и добавками небольших количеств Zn, Cu, Mg, Mn.

С целью получения беспористых высококачественных отливок на заводах авиационной металлургии используют разработанный академиком А. А. Бочваром метод кристаллизации под давлением.

Кроме силуминов применяют литейные сплавы, легированные медью и магнием. Они имеют несколько худшие литейные свойства, но более высокие механические характеристики, в том числе при повышении температуры. Эти сплавы могут подвергаться термической обработке.

Для измельчения зерна и улучшения механических свойств литейные алюминиевые сплавы подвергают модифицированию. В качестве модификаторов применяют смеси солей NaF и NaCl в количестве 2-3 % от массы сплава. После модифицирования прочность силуминов увеличивается на 25 %, а относительное удлинение - в 2 раза.