

АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ

Авторы: И. Н. Фридляндер

АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ, сплавы на основе алюминия; обладают малой плотностью (до 3000 кг/м³), высокими электро- и теплопроводностью, коррозионной стойкостью и удельной прочностью. Первые А. с. – сплавы алюминия с кремнием, полученные в 50-х гг. 19 в., имели малую прочность и низкую коррозионную стойкость. Поворотным моментом в истории развития А. с. стали исследования А. Вильма (Германия, 1903–11), который обнаружил в закалённом А. с., содержащем медь и магний, повышение прочности в процессе вылёживания, т. н. эффект старения (см. *Старение металлов*). В 1921 А. Пач (США) модифицировал сплав Al – Si путём введения в него микроскопич. доз Na, что привело к значит. улучшению его свойств. Позже для получения А. с. определёнными свойствами стали применять легирование разл. металлами (Cu, Mg, Mn, Si, Zn, Ni, Li, Be и др.). В России в 1930–40-х гг. разработку А. с. и внедрение их в произ-во осуществляли Ю. Г. Музалевский, С. М. Воронов, И. Н. Фридляндер и др.

До 1940-х гг. применялись гл. обр. сплавы на основе систем Al – Si (*силумины*), Al – Mg (*магналии*), Al – Cu – Mg (*дуралюмины*), Al – Mg – Si (*авиали*). Впоследствии также получили развитие высокопрочные (на основе систем Al – Zn – Mg, Al – Zn – Mg – Cu, Al – Mg – Si – Cu), жаропрочные (Al – Cu – Mn, Al – Mg – Li, Al – Cu – Mg – Fe – Ni), пониженной плотности (Al – Be – Mg, Al – Mg – Li, Al – Cu – Li) и др. А. с. В зависимости от способа произ-ва полуфабрикатов и изделий А. с. делят на деформируемые, используемые для изготовления листов, плит, профилей, труб, поковок, проволоки путём деформации (прокатки,ковки, штамповки и др.), и литейные – для изготовления фасонных изделий литьём. Состав и некоторые свойства наиболее распространённых А. с. приведены в таблицах 1, 2 (см. стр. 578).

Деформируемые сплавы по объёму произ-ва составляют ок. 80% всех А. с. Химич. и фазовый состав, режимы термич. обработки деформируемых А. с. определяются необходимостью получения оптим. комплекса эксплуатац. и технологич. свойств. Сплавы системы Al – Mg (магналии) имеют высокую коррозионную стойкость, хорошо свариваются, но не упрочняются термич. обработкой; для повышения прочности в эти сплавы вводят Sc. Сплавы Al – Zn – Mg обладают высокой прочностью, хорошо свариваются, но при значит. концентрации Zn и Mg склонны к замедленному коррозионному растрескиванию. Сплавы Al – Mg – Si (авиали) сочетают хорошую коррозионную стойкость с выраженным эффектом старения; хорошо поддаются анодированию. Сплавы Al – Mg – Si – Cu сильно упрочняются в результате старения, но отличаются пониженной коррозионной стойкостью. Сплавы Al – Cu – Mg (дуралюмины) имеют ср. прочность, но высокие пластичность и вязкость разрушения, малую скорость развития усталостных трещин. Сплавы Al – Zn – Mg – Cu характеризуются самыми высокими прочностью и пределом текучести. Сплавы Al – Mg – Li имеют такие же, как и у дуралюмина, механич. свойства, но пониженную (на 11%) плотность и больший модуль упругости. Сплавы Al – Be – Mg обладают высокими удельной прочностью и модулем упругости, хорошей коррозионной стойкостью, пластичностью, хорошо свариваются, но из-за токсичности их применение ограничено. Полуфабрикаты из деформированных А. с. для последующей обработки получают из слитков простой формы – круглых, плоских, полых.

Al – Be – Mg	1424	–	4,7– 5,2	0,05– 0,25	≤ 0,1	Zn 0,4–0,8; Fe ≤ 0,1; Li 1,5–1,8	460	320
	АБМ–1	–	4,2– 5,5	0,3	0,1	Fe 0,2; Be 28-32; Ni 0,1	430–500	250-300
	АБМ–3	–	1,5– 2,5		0,2	Fe 0,2; Be 67–72	550–620	380-480

Примечание. В ряд сплавов вводятся малые добавки Cr, Zr, Sc, Ti, Be, Ca.

К деформируемым А. с. относят также спечённые сплавы (вместо слитка для формования изделий используют брикет, спечённый из порошков): спечённая алюминиевая пудра (САП) и спечённые алюминиевые сплавы (САС). САП, упрочнённая дисперсными частицами оксида алюминия, превосходит все А. с. по жаропрочности. САС, легированные Si, Fe, Ni, отличаются очень низким коэф. линейного расширения.

Таблица 2. Химический состав и механические свойства некоторых литейных алюминиевых сплавов

Система	Марка сплава	Легировующие компоненты (% по массе)					Типичные механические свойства	
		Cu	Mg	Mn	Si	Прочие	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа
Al–Si	АК12 (АЛ2)	0,6	–	0,5	13,0	–	200	110
	АК9ч (АЛ4)	0,3	0,17– 0,3	0,2– 0,5	8,0– 10,5	–	260	200
Al–Si–Mg	АК7ч (АЛ 9)	0,2	0,2– 0,4	0,5	6,0– 8,0	–	230	130
	АК5М (АЛ5)	1,0– 1,5	0,35– 0,6	0,5	4,5– 5,5	–	240	180
Силумины	АК8М3ч (ВАЛ8)	2,5–	0,2–	–	7,0–	Zn 0,5– 1,0; Ti 0,1–	345	290
		3,5	0,45		8,5	0,25; В 0,005–		
Al–Si– Cu–Mg						0,1; Be 0,05– 0,25		

					Zr 0,05– 0,20;		
	AMr10 (АЛ27)	–	9,5– 10,5	–	–	Ti 0,05– 0,15;	314 176
Al–Mg					Be 0,05– 0,15		
					Zr 0,05– 0,20;		
	AMr6л (АЛ23)	0,15	6,0– 7,0	–	–	Ti 0,05– 0,15;	225 127
					Be 0,02– 0,1		
	AM5 (АЛ19)	4,5– 5,3	0,05	0,6– 1,0	0,3	Ti 0,15– 0,35	370 260
Al–Cu						Ti 0,15–	
	AM4,5Кд (ВАЛ10)	4,5– 5,1	0,05	0,35– 0,8	–	0,35; Cd 0,07– 0,25	420 300

Для литейных сплавов, особенно важны такие характеристики, как высокая жидкотекучесть, малая склонность к образованию усадочных и газовых пустот, трещин, раковин. Наиболее высокие характеристики достигаются при литье в металл. формы (в кокиль, под давлением, при жидкой штамповке). Важнейшие литейные А. с. – силумины – содержат св. 4,5% Si, к ним относятся сплавы системы Al – Si и более сложных систем: Al – Si – Mg, Al – Si – Cu – Mg; обладают хорошими литейными свойствами, неплохой коррозионной стойкостью, ср. прочностью, в отливках не образуется усадочной пористости. Сплавы с содержанием Mg св. 5% (сплавы систем Al – Mg, Al – Mg – Si с добавкой Mn, Be и Ti) коррозионностойки, высокопрочны, высокопластичны и обладают пониженной плотностью. Длительные низкотемпературные (60–80 °С) нагревы приводят к ухудшению коррозионной стойкости литейных А. с. с высоким содержанием Mg. Технология изготовления этих сплавов сложна, изделия отливаются гл. обр. в земляные формы. Сплавы с содержанием Cu св. 4% (сплавы систем Al – Cu, Al – Cu – Mn с добавкой Ti, Cd) по жаропрочности превосходят другие литейные сплавы, но имеют пониженную коррозионную стойкость и литейные свойства. Литейные сплавы (кроме силуминов) в принципе аналогичны деформируемым сплавам соответствующих систем, но отличаются более высоким содержанием легирующих компонентов (Cu, Mg), добавок (Ni, Ti) и примесей (Fe).

На свойства литейных сплавов помимо способов литья также влияют входящие в их состав компоненты, которые для одних сплавов являются легирующими, но оказывают вредное влияние на другие: Si снижает прочность сплавов Al – Mg; примесь Zn ухудшает механич. свойства сплавов Al – Si и Al – Cu; Sn и Pb даже в десятых долях процента значительно понижают темп-ру плавления сплавов. Вредное влияние на силумины оказывает Fe, вызывающее образование хрупких включений, кристаллизующихся в виде пластин. Содержание Fe зависит от способа литья: оно максимально при литье под давлением и в кокиль и минимально при литье в землю. Качество фасонных отливок из А. с. существенно повышается при использовании чистой шихты (уменьшение количества

вредных металлич. и неметаллич. примесей в сплавах), модифицировании сплавов (введение малых добавок Ti, Zr, Be), использовании прогрессивных методов рафинирования и термич. обработки.

А. с. относятся к важнейшим конструкц. материалам. По масштабам производства и потребления занимают 2-е место после стали; в пром-сти используют ок. 55 марок А. с. Благодаря уникальным эксплуатац. свойствам широко применяются: в авиа- и ракетостроении – шасси, лопасти воздушных винтов, силовые элементы летат. аппаратов (обшивка, фюзеляж, шпангоуты, лонжероны, нервюры, верхние и нижние плоскости крыльев), корпуса ракет, топливные и масляные баки; в судостроении – корпуса судов, палубные надстройки, разл. судовое оборудование; в автомобилестроении – детали двигателя (поршни, головки, блоки цилиндров), радиаторы охлаждения, отопители, кабины, салоны автобусов, цистерны для перевозки химич. и нефтехимич. продуктов, сыпучих грузов; в строительстве – строит. конструкции, оконные рамы и двери; в пищевой пром-сти – банки для пива, воды, пищевых продуктов, бытовая фольга и др.

Литература

Лит.: Металловедение алюминия и его сплавов: Справочник / Отв. ред. И. Н. Фридляндер. 2-е изд. М., 1983;
Альтман М. Б., Стромская Н. П. Повышение свойств стандартных литейных алюминиевых сплавов. М., 1984;
Машиностроение: Энциклопедия. М., 2001. Т. II-3: Цветные металлы и сплавы / Ред.-сост. И. Н. Фридляндер, отв. ред. Е. Т. Долбенко.