

Алюміній та сплави на його основі

Властивості алюмінію. Алюміній – метал сріблясто-білого кольору. Він не має поліморфних перетворень, кристалізується в ГЦК решітці з періодом $a = 0,4041$ нм. Густина алюмінію $\rho = 2,7$ г/см³, він має високу пластичність та корозійну стійкість. Залежно від вмісту домішок (Fe, Si, Cu, Zn, Ti) алюміній поділяють на три класи: особливо чистий А999 ($\leq 0,001\%$ домішок), високої чистоти А995, А99, А95 (0,005...0,05% домішок), технічної чистоти А85, А8 (до 0,1 % домішок). Механічні властивості алюмінію залежать від його чистоти та стану. Збільшення вмісту домішок та пластична деформація підвищують міцність та твердіть алюмінію (табл. 1).

Таблиця 1 –

Механічні властивості алюмінію

Марка	Сума домішок, %	Стан	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	НВ
А995	0,005	Литий	50	–	45	15
А5	0,5	Литий	75	–	29	20
А0	1	Литий	90	–	25	25
		Деформований та відпалений*	90	30	30	25
		Деформований	140	100	12	32

* Відпал алюмінію для зняття наклепу проводять при 350 – 400 °С

Алюміній має малий ефективний переріз захвату нейтронів, від добре оброблюється тиском, зварюється газовою та контактної зваркою, але погано оброблюється різанням. Алюміній має більшу усадку при твердінні (6 %). Високі теплота плавлення та теплоємність сприяють повільному охолодженню алюмінію з рідкого стану, що дає можливість покращити виливки з алюмінію та

його сплавів шляхом модифікування, рафінування та інших технологічних операцій.

Зважаючи на низьку міцність алюміній застосовують для ненавантажених деталей, коли від конструкції необхідна легкість, зварюваність, пластичність. З нього виготовляють фольгу, посуд, ємності. Слід відзначити високу відбивну здатність алюмінію – його використовують у прожекторах, рефлекторах, екранах телевізорів.

Характеристика алюмінієвих сплавів. Алюмінієві сплави характеризуються високою питомою міцністю, здатністю чинити опір інерційним та динамічним навантаженням, хорошою технологічністю. Тимчасовий опір алюмінієвих сплавів досягає 500 – 700 МПа при щільності не більше 2,850 г/см³. За питомою міцністю деякі алюмінієві сплави ($\sigma_B/(\gamma g) = 23$ км) наближаються або відповідають високоміцним сталям ($\sigma_B/(\gamma g) = 27$ км). Більшість алюмінієвих сплавів мають хорошу корозійну стійкість (за виключенням сплавів з міддю), високі теплопровідність та електричну провідність, хороші технологічні властивості (оброблюються тиском, зварюються точкової зваркою, а спеціальні – зваренням плавленням, в основному добре оброблюються різанням).

Основними легувальними елементами алюмінієвих сплавів є Cu, Mg, Si, Mn, Zn; рідше – Li, Ni, Ti. Багато легувальних елементів утворюють з алюмінієм тверді розчини обмеженої змінної розчинності та проміжні фази CuAl_2 , Mg_2Si та ін. (рис. 1). Це надає можливість піддавати сплави зміцнюючому термічному обробленню, що складається з гартування на пересичений твердий розчин та природного або штучного старіння.

Легувальні елементи, особливо перехідні, підвищують температуру рекристалізації алюмінію (рис. 2). При кристалізації вони утворюють з алюмінієм пересичені тверді розчини. В процесі гомогенізації та гарячого оброблення тиском відбувається розпад твердих розчинів з утворенням тонкодисперсних частинок інтерметалідних фаз, що перешкоджають проходженню процесів рекристалізації та зміцнюючи сплави. Це явище

отримало назву структурного зміцнення. За цією причиною деякі алюмінієві сплави мають температуру рекристалізації вище температури гартування. Для зняття залишкових напружень у нагартованих напівфабрикатах (деталях), що отримані холодним обробленням тиском, а також у фасонних виливках проводять низький відпал. Температура відпалу знаходиться в межах 150 – 300 °С.

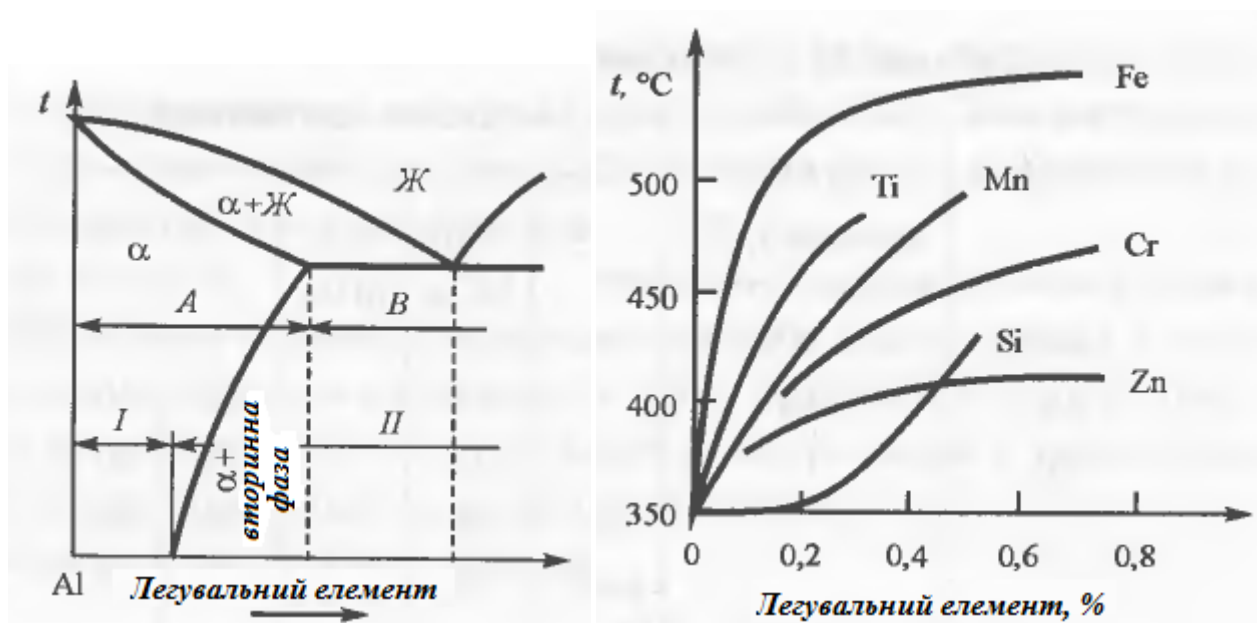


Рис. 1. Діаграма стану алюміній – легувальний елемент (схема): А – деформовані сплави; В – ливарні сплави; І, ІІ – сплави, що не зміцнюються та зміцнюються термічним обробленням.

Рис. 2. Вплив легувальних елементів на температуру рекристалізації алюмінію.

Конструкційна міцність алюмінієвих сплавів залежить від домішок Fe та Si. Вони утворюють в сплавах нерозчинні в твердому розчині фази: $FeAl_3$, $\alpha(Al, Fe, Si)$, $\beta(Al, Fe, Si)$ та ін. Незалежно від форми (пластинчатої, голчастої та ін.) кристали цих фаз знижують пластичність, в'язкість руйнування, опір розвитку тріщин. Легування сплавів марганцем зменшує шкідливий вплив домішок, так як він пов'язує їх у четверту α – фазу (Al, Fe, Si, Mn), що кристалізується у компактній формі. Однак більш ефективним способом підвищення

конструкційної міцності є зниження вмісту домішок з 0,5 – 0,7 % (ГОСТ 4784-74) до 0,1 – 0,3 % (чистий сплав), а інколи і до сотих часток проценту (сплав підвищеної чистоти). В першому випадку до марки сплаву додають літеру «ч», наприклад Д16ч, у другому – літери «пч», наприклад В95пч. Особливо значно підвищуються характеристики пластичності та в'язкості руйнування у напрямку, перпендикулярному пластичному деформуванню. Наприклад, ударна в'язкість сплаву Д16ч після природного старіння більш ніж у два рази, а відносне видовження у 1,5 рази вище, ніж у сплаву Д16 після того ж оброблення. Так, $K_{Ic} = 43 \dots 46 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ для сплаву Д16ч та $35 - 36 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ для сплаву Д16. Сплави підвищеної чистоти використовують для відповідних навантажених деталей, наприклад, для силових елементів конструкції пасажирських та транспортних літаків.

Термічне оброблення сплавів. Зміцнююче термічне оброблення сплавів на основі алюмінію, та наприклад, міді засноване на зміні розчинності з'єднання CuAl_2 в алюмінії (рис. 3). Видно, що гранична розчинність міді в алюмінії при евтектичній температурі дорівнює 5,7 %, при кімнатній температурі – 0,2 %. При швидкому охолодженні (гартуванні) фіксується стан пересиченого твердого розчину. Цей нестійкий стан призводить до змін у структурі за рахунок виділення вторинної фази CuAl_2 .

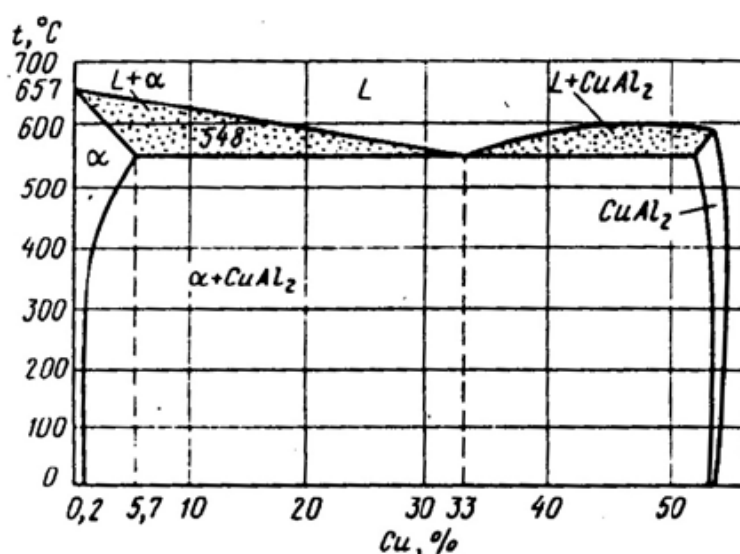


Рис. 3. Діаграма стану алюміній-мідь.

Після старіння міцність збільшується з $\sigma_B = 20 \text{ кг/мм}^2$ до $\sigma_B = 40 \text{ кг/мм}^2$. Зростання міцності відбувається поступово (рис. 4).

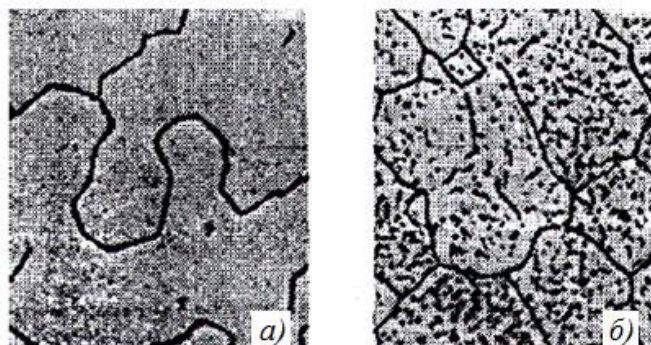


Рис. 4. Мікроструктура алюміній-мідних сплавів: *а* – після гартування; *б* – після старіння.

Після старіння міцність збільшується з $\sigma_B = 20 \text{ кг/мм}^2$ до $\sigma_B = 40 \text{ кг/мм}^2$. Наростання міцності відбувається поступово (рис. 5).

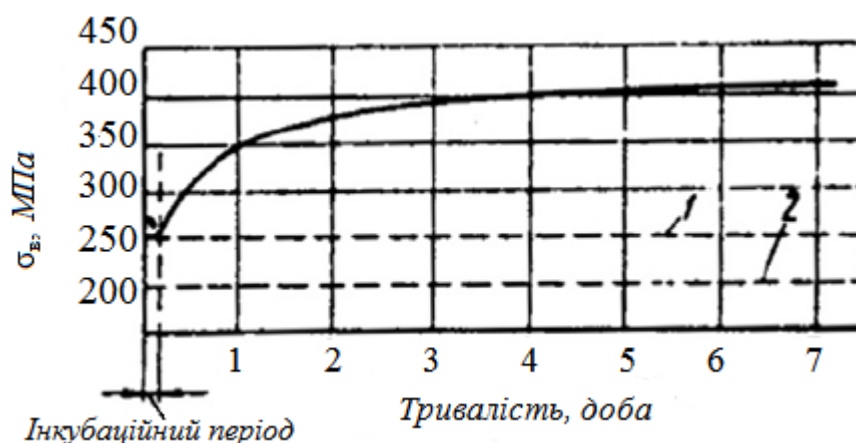


Рис. 5. Зміна міцності при природному старінні сплавів алюмінію.

Початковий період старіння називається інкубаційним періодом. Тут протягом двох-трьох годин не відбувається значне збільшення міцності, тому цей час можна використовувати для проведення різних технологічних операцій (кування, штампування, гнуття).

Протягом інкубаційного періоду в пересиченому твердому розчині атоми міді, які розташовані випадково, починають збиратися в певних ділянках кристалічної решітки, утворюючи зони Гін'є-Престона (зона Г.П.).

Зони Г.П. являють собою тонкі, пластинчаті, дископодібні утворення товщиною кілька атомних шарів та діаметром кілька десятків атомних шарів. На цій стадії зони Г.П. ще не відповідають формулі CuAl_2 . У подальшому зони Г.П. збільшуються в розмірі до діаметра 20...30 нм і щільністю відповідають стехіометрії CuAl_2 . Їх прийнято називати зонами Г.П. – 1, а більші – зонами Г.П. – 2.

Класифікація алюмінієвих сплавів. Технічні алюмінієві сплави поділяються на дві групи: деформовані і ливарні.

1. Деформовані сплави, не зміцнені Т.О. Такі сплави характеризуються невисокою міцністю і корозійною стійкістю. До них відносяться сплави, леговані марганцем і магнієм (АМЦ і АМГ). Сплави поставляються у вигляді листів, прокату у відпаленому (М), загартованому (Н) і напівзагартованому (П) стані (табл. 2).

Таблиця 2 –

Склад алюмінієвих сплавів

Марка сплаву	Основні компоненти				Домішки (не більше)	
	Mg	Si	Mn	Cu	Fe	$\Sigma_{\text{дом.}}$
АЛ2	–	10...13	–	–	0,8...1,5	2,2...2,8
АЛ4	0,17...0,30	8,0...10,5	0,25...0,50	–	0,6...1,2	1,1...1,7
АЛ9	0,2...0,4	6,0...8,0	–	–	0,3...1,0	1,0...1,9
АЛ3	0,2...0,8	4,0...6,0	0,2...0,8	1,5...3,5	1,0...1,5	1,3...1,8
АЛ5	0,35...0,60	4,5...5,5	–	1,0...1,5	0,6...1,5	1,0...1,7
АЛ6	–	4,5...6,0	–	2,0...3,0	1,1...1,4	1,8...2,0
АЛ11	0,1...0,3	6,0...8,0	–	–	0,8...1,2	1,8...2,0
АЛ7	–	–	–	4...5	< 1,0	< 2,2
АЛ12	–	–	–	9...11	1,0...1,2	2,8...3,0
АЛ8	9,2...11,5	–	–	–	< 0,3	< 1,1

2. *Деформовані сплави, зміцнені Т.О.* Найбільш типовий представник цієї групи – дюралюміній. Він містить 4 % міді, 0,5 % магнію, марганець, залізо.

Деталі з цієї групи сплавів піддаються гартуванню з 500 °С у воді з подальшим природним старінням. Вироби можуть використовуватися за призначенням через 5 – 7 діб після гартування (табл. 3).

Таблиця 3 –

Властивості дюралюмінів

Марка	Стан, напівфабрикат	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
Д1	Відпал	210	110	18
	Гартування + старіння:			
	Прутки	490	320	14
	Лист	410	240	20
Д16	Відпал	220	110	18
	Гартування + старіння:			
	Прутки	540	400	11
	Лист	440	330	18

3. *Сплави для фасонного лиття.* Сплави цієї групи називаються силумінами (рис. 6).

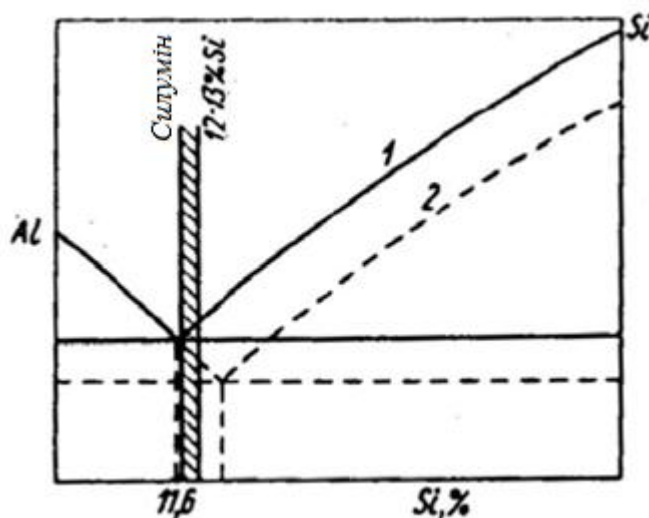


Рис. 6. Діаграма стану алюміній-кремній.

Для отримання щільного виливка застосовують сплави з вузьким інтервалом кристалізації (евтектичні сплави). У цих сплавів високі ливарні властивості (рис. 7).

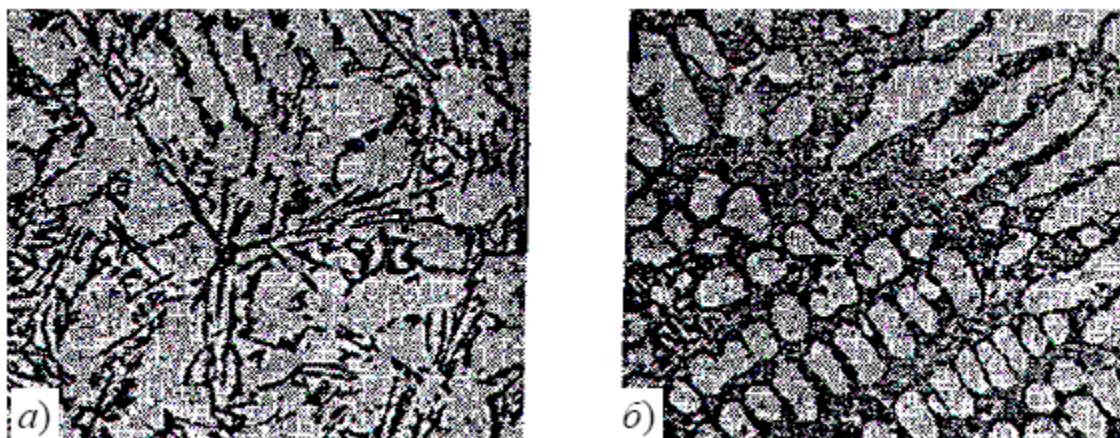


Рис. 7. Мікроструктура ливарних алюмінієвих сплавів: *а* – не модифікований, *б* – модифікований.

Для підвищення ливарних властивостей сплави піддаються модифікуванню, наприклад натрієм.