

## Лабораторна робота №7

### Алюмінієві сплави та їх термічна обробка

Мета роботи - ознайомитись з мікроструктурою, основними властивостями, маркуванням та використанням сплавів на основі алюмінію; дослідити вплив термічної обробки дуралюміна на його властивості.

#### Короткі теоретичні відомості

Температура плавлення алюмінію складає  $660^{\circ}\text{C}$ . Він має невелику густину ( $2700\text{ кг/м}^3$ ). Кристалічна гратка алюмінію - ГЦК. Для нього властиві добрі електро- та теплопровідність, високі показники пластичності та корозійної стійкості внаслідок утворення на поверхні щільної плівки  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Сплави алюмінію набули широкого застосування завдяки високій питомій міцності ( $\sigma_B/\sigma$ ). Більшість з них мають високу корозійну стійкість, здатність протистояти інерційним та динамічним навантаженням та добру технологічність.

Алюмінієві сплави класифікують за технологією виготовлення (деформувальні, ливарні, спечені) та здатністю до термічної обробки (зміцнювані і ті, що не зміцнюються термічною обробкою).

Основними легувальними елементами алюмінієвих сплавів є мідь, магній, кремній, марганець, інколи – нікель, титан, хром, цинк. Багато легувальних елементів утворюють із алюмінієм тверді розчини обмеженої розчинності та проміжні фази типу  $\text{CuAl}_2$ ,  $\text{Mg}_2\text{Si}$ , тому алюмінієві сплави можна зміцнювати термічною обробкою (гартування з наступним старінням).

Деформівні алюмінієві сплави. До сплавів, що не зміцнюються термічною обробкою, належать сплави АМц системи Al-Mn (їх структура складається з  $\alpha$ -твердого розчину та фази  $\text{MnAl}_6$ ) та сплави АМг системи Al-Mg (структура -  $\alpha$ -твердий розчин та  $\text{Mg}_2\text{Al}_3$ ).

Сплави АМц та АМг зміцнюють за допомогою пластичної деформації та використовують у наклепаному чи відпаленому стані для рам вагонів, кузовів автомобілів та інших виробів, що виготовляються глибокою витяжкою та зварюванням

До сплавів, що зміцнюються термічною обробкою, належать авіалі (марки АВ, АД35), ковочні сплави (АК8), високоміцні (В95), однак найбільш поширеними є дуралюміни - сплави системи  $\text{Al-Cu-Mg}$ .

За міцністю дуралюміни (що маркуються буквами Д, ВД, ВАД) поділяють на сплави нормальної міцності (Д1), підвищеної міцності (Д16), підвищеної жароміцності (ДІ9, ВАД1, ВД17), підвищеної пластичності (ДІ8). Цифри вказують на умовний номер сплаву. Термічна обробка для зміцнення сплавів складається з гартування та старіння.

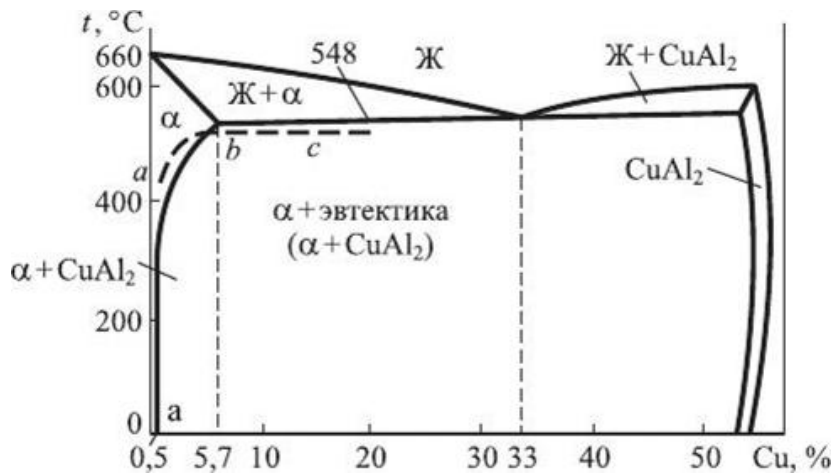


Рис. 1 Діаграма стану сплавів системи «алюміній-мідь»

Нагрівання при гартуванні ведеться до температури повного розчинення інтерметаліду  $\text{CuAl}_2$ . При нагріванні до цієї температури значно зростає концентрація міді в  $\alpha$ -твердому розчині (при  $20^\circ\text{C}$  - 0,1%, при  $548^\circ\text{C}$  - 5,65%). При наступному швидкому охолодженні у воді фіксується пересичений міддю  $\alpha$ -твердий розчин.

Під час старіння розпад пересиченого  $\alpha$ -твердого розчину відбувається в декілька стадій в залежності від температури та тривалості. Якщо старіння ведеться при кімнатній температурі, то воно зветься природним, а якщо при підвищених температурах - штучним. В інтервалі температур старіння  $20...150^\circ\text{C}$  в ГЦК кристалічній ґратці на площинах (100) утворюються двовимірні диски, збагачені атомами міді - зони Гінґе-Престона (ГП). Природне старіння завершується утворенням зон ГП-1. Нагрівання при  $150^\circ\text{C}$  веде до утворення зон ГП-2. Вони мають упорядковану структуру, на відміну від структури твердого розчину, та підвищену концентрацію міді. Старіння при  $150...200^\circ\text{C}$  веде до утворення в місцях розташування зон ГП-2 метастабільної  $\theta'$ -фази. Вона відрізняється від стабільної  $\theta$ -фази ( $\text{CuAl}_2$ ) когерентним зв'язком із матрицею. При підвищенні температури до  $200...250^\circ\text{C}$  когерентний зв'язок порушується, спотворення кристалічної ґратки зменшується і  $\theta'$ -фаза перетворюється в  $\theta$ -фазу. Старіння при  $250...300^\circ\text{C}$  викликає коагуляцію частинок  $\theta$ -фази (перестарювання).

Після утворення зон ГП-1 та ГП-2 (зонне старіння) сплави мають підвищену пластичність, корозійну стійкість, задовільні значення границь міцності та плинності ( $\sigma_{0,2}/\sigma_B=0,7$ ). Утворення  $\theta'$  та  $\theta$ -фаз (фазове старіння) сприяє підвищенню міцності, зниженню пластичності, в'язкості та корозійної стійкості. Ця загальна схема розпаду пересиченого твердого розчину в сплавах  $\text{Al-Cu}$  справедлива і для інших алюмінієвих сплавів, однак у деяких із них стабільні фази виникають безпосередньо із зон Гінґе-Престона.

Дюралюміні широко використовуються в авіації для виготовлення лопастей повітряних гвинтів, тяг управління, шпангоутів, кузовів автомобілів, будівельних

конструкцій.

Ливарні алюмінієві сплави. Евтектичні сплави мають добрі ливарні властивості - високу рідкотекучість, невелику усадку, малу здатність до утворення гарячих тріщин та зональної ліквації, високу герметичність. Ливарні алюмінієві сплави маркуються літерами АЛ (алюмінієвий, ливарний) та цифрами (умовний номер), наприклад, АЛ2, АЛ17, АЛ29.

Найкращими ливарними властивостями відзначаються силуміни - сплави системи  $Al-Si$ . Використовуються як подвійні, так і леговані силуміни. Для їх легування використовують магній, мідь, марганець, інколи – титан, нікель, цирконій, хром. Утворюючи тверді розчини з алюмінієм, легувальні елементи підвищують міцність та твердість силумінів. У легованих силумінах утворюються фази  $Mg_2Si$ ,  $CuAl_2$ ,  $Al_2Ti$  та інші.

Відливки із подвійних силумінів відпалюють для зняття напружень. Підвищення механічних властивостей цих сплавів досягається модифікуванням (сплав АЛ2). У сплавах без модифікування в структурі присутні кристали крихкого кремнію, що знижує міцність та пластичність. При введенні модифікатора - натрію (0,06%, як правило, вводиться у вигляді хлористих та фтористих солей) евтектична концентрація зміщується від 11,6 до 14 %Si, тому замість  $\square$ -фази (кремній) при кристалізації утворюються пластичні кристали  $\square$ -фази (рис. 11.4). Підвищення міцності та пластичності пов'язано із подрібненням евтектики при модифікуванні. Наприклад, внаслідок модифікування сплаву АЛ2 міцність зростає зі 130 до 200 МПа, границя плинності – із 20 до 80 МПа, відносне видовження - від 2 до 7%.

Для легованих силумінів окрім модифікування застосовують і термічну обробку (гартування та старіння) для зміцнення сплавів. Фази, що зміцнюють сплави:  $Mg_2Si$ ,  $CuAl_2$ ,  $Al_2CuMg$  тощо. Силуміни використовують для одержання відливок деталей із застосуванням литва під тиском, в землю чи кокіль (деталі карбюраторів, приладів, толоки, корпуси та деталі двигунів, компресорів тощо).

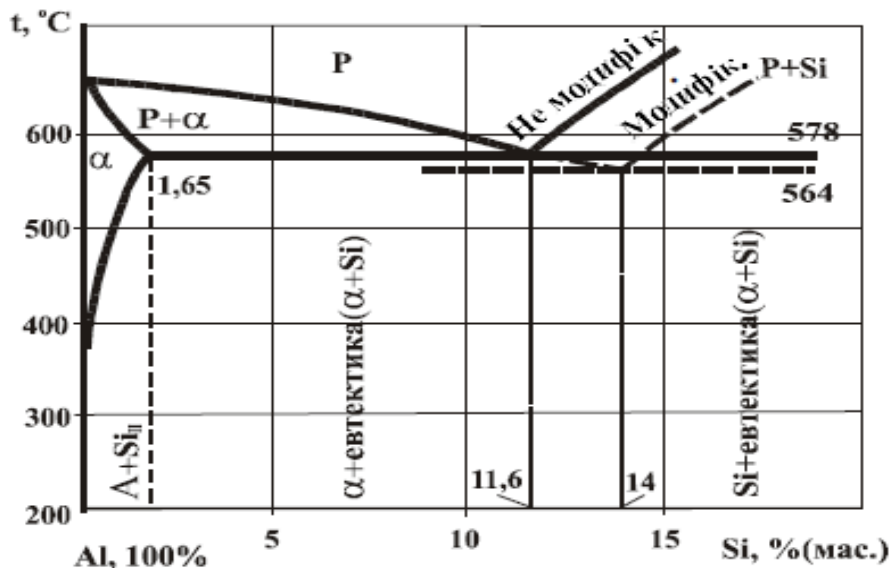


Рис. 2 Діаграма стану Al – Si  
Порядок виконання роботи

Визначити твердість (HRB) зразків сплаву Д1 до термічної обробки, після гартування від температури  $(500 \pm 5)^\circ \text{C}$  у воді та старіння при 100, 200 та  $300^\circ \text{C}$  з витримкою 15, 30 та 45 хвилин. Дані занести в таблицю 1.

Вивчити мікроструктуру зразків кольорових сплавів.

Вплив гартування та старіння на твердість сплаву Д1 Таблиця 1

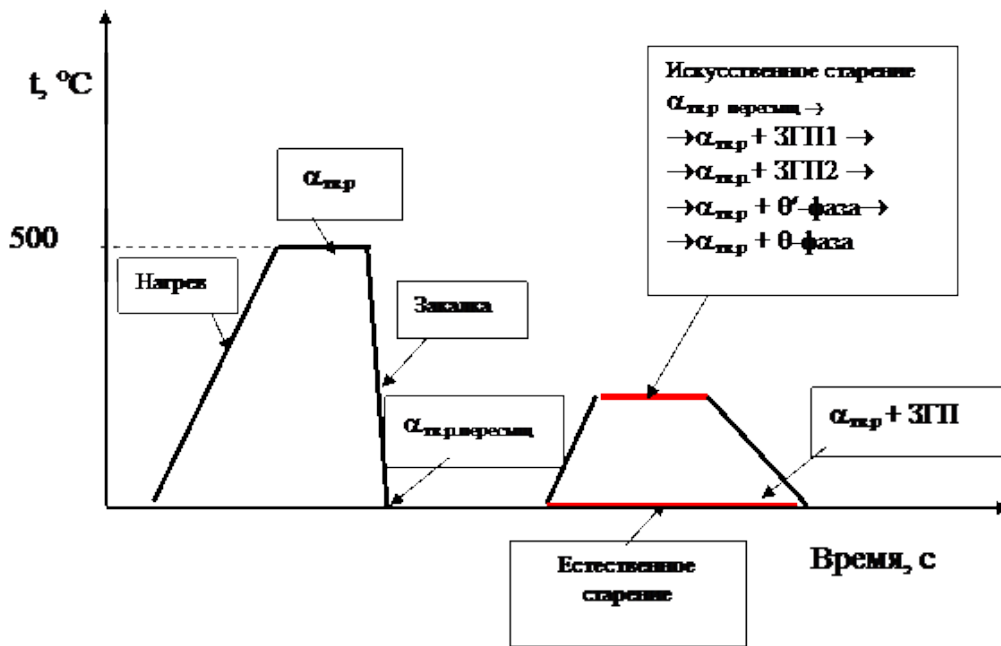
Сплав	Почат. твердість, HRB	Температура гарт $^\circ \text{C}$	Час нагрів, охолодж. середовище	Твердість після гарт., HRB	Температура старіння $^\circ \text{C}$	Твердість, HRB, після старіння з витримкою, хв.		
						15	30	45
Д1	30	500	20, вода	125	100	128	130	132
					200	125	140	145
					300	120	110	95

Зміст звіту

Теоретичні відомості; рисунки 1 та 2; мікроструктури дуралюмініу Д1; табл. 1; висновки.

Контрольні питання

1. Які основні компоненти сплавів типу дуралюмініу?
2. Яка структура дуралюмініу у відпаленому стані?
3. У чому полягає зміцнююча обробка дуралюмініу?
4. Яка температура гартування сплаву Д1?
5. У якому середовищі гартують дуралюмін?
6. Чим обумовлено зміцнення дуралюмініу при загартуванні?
7. Які структурні та фазові перетворення протікають при загартуванні та старінні?
8. За яких температур проводять старіння сплаву Д1?
9. Як змінюються властивості дуралюмініу за його старіння?

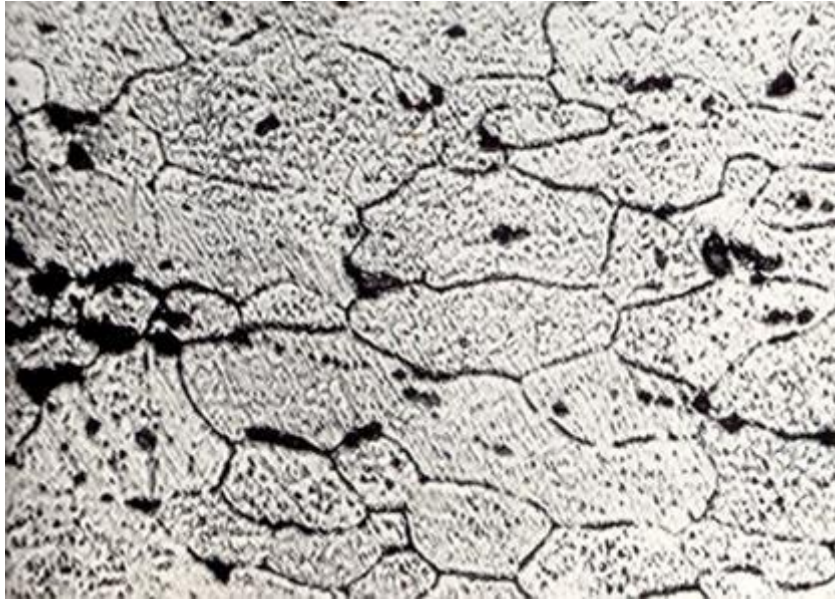


### Схема загартування та старіння дуралюмінію Д1

Зміцнення пов'язане з дифузією міді в загартованому сплаві та утворенням усередині кристалів зон підвищеної концентрації міді, так званих зон Гін'є-Престона (ЗГП). Зони Гін'є-Престона являють собою тонкі пластинчасті дископодібні області завтовшки кілька атомних шарів (5...10 Å) і протяжністю кілька десятків атомних шарів (40...100 Å). Вміст міді у зонах ГП підвищено, але він відповідає формулі  $\text{CuAl}_2$ . Утворення зон Гін'є-Престона створює велику напругу в кристалах і дробить блоки мозаїки, що призводить до підвищення твердості та міцності.



Мікроструктура деформованого відпаленого Дуралюмінію Д1, x150



Мікроструктура загартованого та природно зістареного дуралюміну Д1, x150

Природно зістарений стан металу є нестійким. Якщо недовго витримати підданий природному старінню алюмінієвий сплав при температурі 200...250°C, він втратить міцність і придбає властивості, характерні для загартованого стану. Сплав знову набуває здатності до природного старіння. Це явище (тобто повернення до свіжого загартованого стану після короткочасного нагріву) називається обробкою на повернення, або поверненням.

Швидкість старіння залежить від температури. При штучному старінні спочатку досить швидко спостерігається зміцнення, а потім починається зміцнення сплаву і в кінцевому підсумку сплав прагне перейти в рівноважний стан ( $\alpha$ -твердий розчин +  $\theta$ -фаза). Крім цього, максимальна твердість і міцність, як правило, бувають тим нижчими, чим вища температура старіння. Тому штучне старіння треба своєчасно зупинити, не допускаючи перестаріння. Актуальною є завдання визначення оптимальних параметрів процесу штучного старіння.

Штучне старіння протікає в кілька стадій. Перша стадія така ж, як і за природного старіння. Перші маленькі зони Гінье-Престона, що утворюються при цьому, прийнято називати ЗГП-1. Друга стадія полягає у збільшенні зон ГП (товщина їх 10...40 Å, діаметр 200...300 Å). Ці зони називають ЗГП-2. Зміст міді в зонах ГП-2 досягає стехіометричного співвідношення, що відповідає хімічній формулі  $\theta$ -фази -  $\text{CuAl}_2$ . Принципової різниці між ЗГП-1 та ЗГП-2 немає. Утворення ЗГП-2 супроводжується подальшим збільшенням твердості та міцності сплаву.

Подальше підвищення або збільшення витримки при підвищених температурах (наприклад при 100°C) призводить до перетворення ЗГП-2 у фазу, що позначається через  $\theta'$ . За складом ця фаза така сама, як і  $\theta$ , але вона ще не відокремилася і її кристалічна решітка когерентно пов'язана з кристалічною решіткою  $\alpha$ -твердого

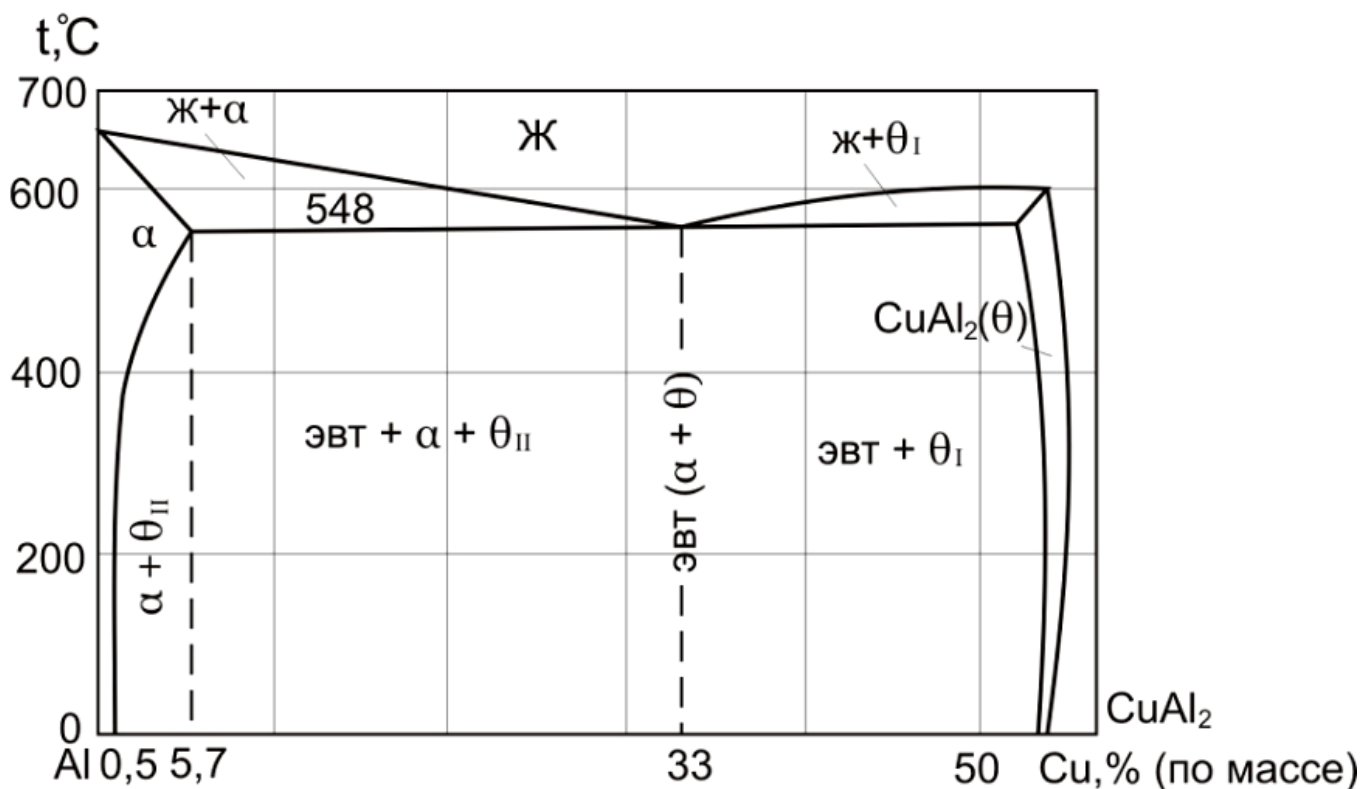


розчину. Це третя стадія процесу штучного старіння. На цій стадії можливе часткове зміцнення сплаву, але може початися і процес зміцнення.

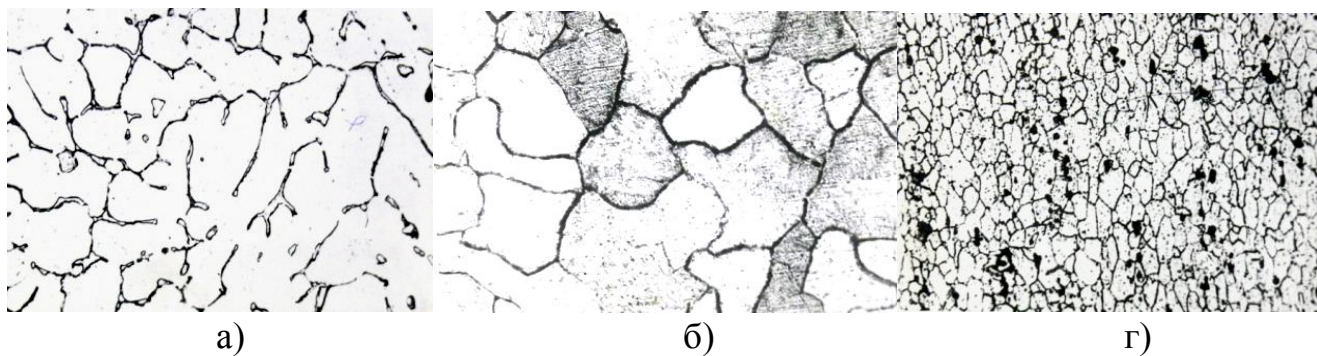
Четверта стадія настає тоді, коли  $\theta$ -фаза перетворюється на стабільну  $\theta$ -фазу і починається її коагуляція. На цій стадії й надалі спостерігається розміщення металу. Структура його прагне до рівноважної, твердість та міцність знижуються до відповідних характеристик відпаленого сплаву.

Процес штучного старіння дуралюмінів зазвичай припиняється при досягненні у сплаві максимальних характеристик твердості та міцності.

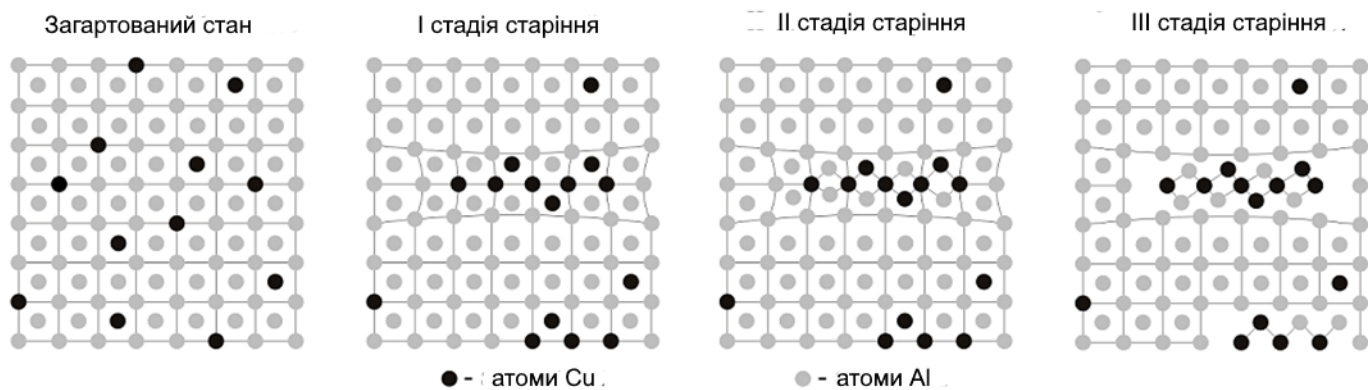
При фазовому старінні, яке, як правило, є штучним, перестарювання пов'язане з укрупненням вторинних інтерметалідних фаз і їх коагуляцією. Тому режими старіння для таких сплавів повинні бути оптимальними.



Діаграма стану Al-Cu



Мікроструктури дуралюмініу: а - після лиття ( $\alpha + \theta_{II}$ ), б - після загартування ( $\alpha$ -твердий розчин), - після загартування і старіння.



а) б) в) г)

Вплив температури та тривалості старіння на міцність алюмінієвих сплавів

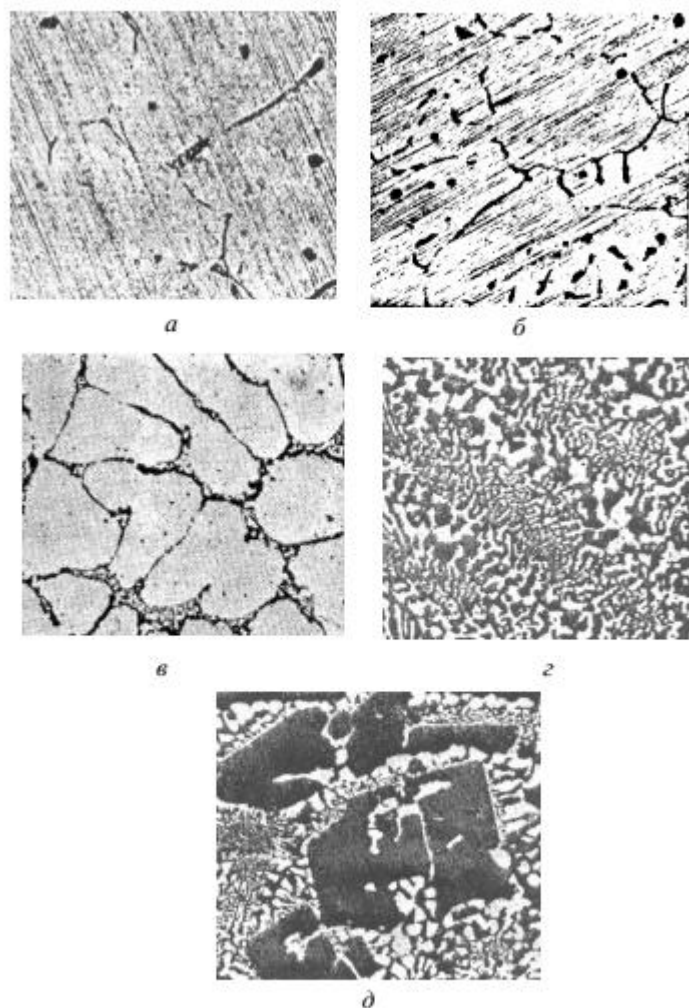


Рис.17. Мікроструктури сплавів алюмінія з меддю:  
*a* – 0,2 % Cu; *б* – 3 % Cu; *в* – 14 % Cu; *г* – 33,8 % Cu; *д* – 40 % Cu