

ЛЕКЦІЯ 30

КОЛЬОРОВІ МЕТАЛИ, АЛЮМІНІЙ ТА СПЛАВИ НА ЙОГО ОСНОВІ, ВЛАСТИВОСТІ, ЗАСТОСУВАННЯ, МАРКУВАННЯ

До кольорових металів належать всі метали, за винятком заліза і його сплавів. З них найбільше застосування в промисловості дістали мідь і алюміній.

Алюміній та його сплави

Алюміній - легкий метал з кубічною гранецентрованою граткою, не має алотропічних перетворень. Характерними властивостями алюмінію є: мала питома вага $2,7 \text{ г/см}^3$ - у три рази легший за сталь; високапластичність деформованого і відпаленого алюмінію $\delta = 35\text{-}40\%$, низька твердість 25НВ , міцність $\sigma_{\text{в}}=80\text{-}100 \text{ МПа}$; границя текучості $\sigma_{\text{т}}=30 \text{ МПа}$; низька температура плавлення (660°C).

Алюміній характеризується високою тепло- і електропровідністю (електропровідність відпаленого алюмінію складає близько 62 % від електропровідності відпаленої міді марки М1) та стійкістю проти атмосферної корозії, дії концентрованої азотної кислоти, повітря, забрудненого сірчистими газами тощо. Стійкість алюмінію проти атмосферної корозії приблизно у 20 разів вища стійкості сталі. Висока корозійна стійкість алюмінію пояснюється утворенням на його поверхні щільної і міцної окисної плівки Al_2O_3 , що захищає метал від корозії. Однак алюміній легко руйнується під дією лугів, соляної кислоти і деяких інших мінеральних кислот.

Маркують алюміній літерою А та тризначним числом, яке вказує на вміст алюмінію після коми. Наприклад:

- А999 - вміст алюмінію більш 99,999 %, вміст домішок менш 0,001 %;
- А995 - А1 > 99,995 %, вміст домішок < 0,005 %;

- A99 - Al > 99,99 %, вміст домішок < 0,01 %;
- A97- Al > 99,97 %, вміст домішок < 0,03 %;
- A95- Al > 99,95 %, вміст домішок < 0,05 %.

Використання чистого алюмінію як конструкційного матеріалу обмежене через низьку міцність і твердість.

Властивості алюмінію залежать від виду та кількості домішок.

Залізо практично не розчиняється у алюмінії і у кількості від 0,0015 до 1,1 % формує евтектику Al – Al₃Fe, яка містить 1,7% заліза. Інтерметаліди Al₃Fe існують у вигляді темних продовгуватих включень, які є концентраторами напружень в сплаві. Формування залізних сполук призводить до того, що при збільшенні кількості заліза у алюмінії знижуються його механічні властивості, корозійна стійкість і погіршується оброблюваність тиском. Тому залізо є шкідливою домішкою в алюмінієвих сплавах і тільки у деякі алюмінієві сплави спеціального призначення вводять підвищену кількість заліза (до 1,6%), як легуючого елемента.

Кремній у кількості від 0,0015 до 1,0 % не утворює з алюмінієм інтерметалідних з'єднань. Розчинність кремнію в алюмінії при нормальних умовах дуже мала, тому в подвійних алюмінієвих сплавах кремній може зустрічатися у чистому вигляді.

Мідь в кількості від 0,001 до 0,05 % розчиняється в кристалічній ґратці алюмінію, утворюючи з ним твердий розчин заміщення. Розчиняючись в алюмінію, мідь підвищує міцність, не знижуючи його корозійної стійкості.

Марганець потрапляє в алюмінії при його виплавці з використанням відходів переробних цехів. Марганець збільшує розмір зерна при відпалюванні алюмінію після деформації, що пояснюється його ліквідацією. Для зменшення цього дефекту в алюмінії вводять до 0,2 % титану. Вміст марганцю не повинен перевищувати 0,03 %.

Мала питома вага, висока корозійна стійкість, високі показники питомої міцності (відношення границі міцності до питомої ваги) забезпечують широке використання алюмінієвих сплавів в техніці, як конструкційного матеріалу.

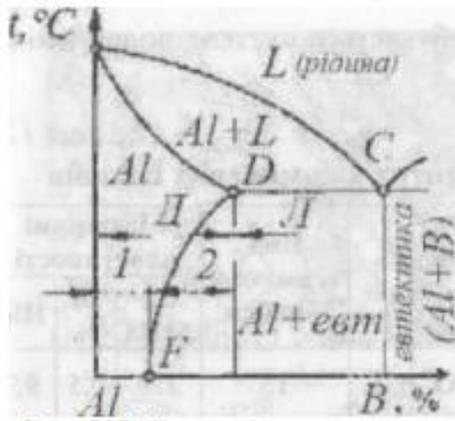
Залежно від технології виготовлення напівфабрикатів і деталей алюмінієві сплави діляться на дві групи: ливарні та деформівні, які маркуються, відповідно, літерами АЛ і АК та двозначними цифрами, які позначають номери сплавів.

Маркування ливарного іноземного алюмінію та його сплавів, за класифікацією Американського національного інституту стандартів (ANSI) і Асоціації алюмінію (AA), стандарт № H35.1, складається з чотирьохзначного числа та крапки після третього знаку (XXX.X). Перша цифра показує наступні групи сплавів: 1 (1XX.X) - Al > 99.00%; 2 (2XX.X) - головний легуючий елемент мідь; 3 (3XX.X) - Si+Cu+Mg; 4 (4XX.X) - Si; 5 (5XX.X) - Mg; 7 (7XX.X) - Zn; 8 (8XX.X) - Sn. Дві наступні цифри в першій групі вказують на мінімальний вміст Al, а в групах 2 - 8 на номер сплаву. Цифра після коми вказує на метод отримання сплаву. 0 (XXX.0) позначає вилівка 1 (XXX. 1) або 2 (XXX.2) - зливков.

Маркування деформованого іноземного алюмінію та його сплавів, за тією же класифікацією, складається з чотирьохзначного числа (XXXX). Перша цифра показує наступні групи сплавів: 1 (1XXX) - Al > 99.00%; 2 (2XXX) - головний легуючий елемент мідь; 3 (3XXX) - Mn; 4 (4XXX) - Si; 5 (5XXX) - Mg; 6 (6XXX) - Mg+Si; 7 (7XXX) - Zn; 8 (8XXX) - інші елементи. Друга цифра, у випадку першої групи вказує на спеціальний контроль домішок, а в групах 2 - 8 на номер сплаву. Дві останні цифри в першій групі вказують на мінімальний вміст Al, а в групах 2 - 8 на модифікування сплаву (0-вихідний сплав без модифікування).

Вибір технології виготовлення алюмінієвих сплавів залежить від характеру їх кристалізації та визначається типом діаграми стану (рис. 9.1). Чим більший інтервал між температурами початку й кінця кристалізації, тим гірші ливарні властивості сплавів і вони

виготовляються, як правило, шляхом обробки тиском. Кращі ливарні властивості мають сплави евтектичного складу, тому, в основному їх виготовляють шляхом лиття. До ливарних належать сплави алюмінію з кремнієм, міддю та магнієм. Хімічний склад та властивості ливарних алюмінієвих сплавів показані в таблиці.



Типова діаграма стану алюміній-легувальний елемент В: Д- деформовані сплави; Л-ливарні сплави; 1- сплави, що не зміцнюються термообробкою; 2 - сплави, що зміцнюються термообробкою

Найбільш поширеними в машинобудуванні ливарними сплавами є силуміни - сплави алюмінію з кремнієм ($Si = 4 - 14\%$), подвійні і більш складні, для яких характерні малі температурні інтервали кристалізації (нуль для евтектичного складу) і високі ливарні властивості. Для фасонного литва застосовують також сплави на основі Al - Cu; Al - Mg; Al— Si - Mg; Al - Si — Cu.

Силуміни характеризуються високою рідкотекучістю, малою лінійною усадкою (0,9 - 1,2 %) та низькою схильністю до утворення тріщин. До складу більшості марок силумінів, крім кремнію, як основного легуючого елемента, входять марганець (0,2 - 0,6 %), магній (0,2 - 0,55 %), а також титан (0,1 - 0,3 %). Розчиняючись в алюмінії, легуючі елементи збільшують міцність і твердість силумінів. Водночас марганець підвищує антифрикційні властивості, а титан виконує роль модифікатора.

Для покращення механічних властивостей силумінів, до рідкого розчину сплаву перед його розливанням додають невелику кількість натрію (0,01 - 0,02 %) у сполуках NaF + NaCl, який подрібнює їх структуру. Процес штучного зменшення розмірів і регулювання форми кристалів називається модифікуванням.

Таблиця.1

Хімічний склад та властивості литих алюмінієвих сплавів

Марка сплаву	Хімічний склад, % мас.				Спосіб лиття ¹	Вид термічної обробки ²	Механічні властивості		
	Si	Cu	Mg	Інші елементи			σ_n МПа	δ , %	НВ
АЛ1	-	3,75-4,50	1,25-1,75	1,75-2,25Nb	3, 0, В, К	T5	210	0,5	95
АЛ2	10-13	-	-	-	3	-	180	6	50
АЛ4	8,0-10,5	-	0,17-0,30	0,2-0,5Mn	3,0,В,К,Д	T6	150-230	2-3	50-70
АЛ6	4,5-6,0	2,0-3,0	-	-	3	T6	240	4	80
АЛ7	-	4-5	-	-	3	T6	280	2	95
АЛ8	-	-	9,3-10,0	-	3, 0, В, К	T4	300	15	75
АЛ9	6,0-8,0	-	0,20-0,40	-	3, 0, В, К	T6	160-230	1-2	50-70
АЛ12	-	9-11	-	-	3	T6	200	1	70
АЛ19	-	4,50-5,30	-	0,6-1,0Mn 0,15-0,30Ti	3, 0, В, К	T4 T5	300 340	8 4	70 90
АЛ27	-	-	9,5-10,5	0,05- 0,15Ti 0,05- 0,20Zr 0,05-0,2Vc	3,0,К,Д	T4	300	15	75

моделі, що виплавляються; К - кокіль; Д - лиття під тиском; М - сплав при литті модифікується. 2 . Позначає наступні види термічної обробки: Т4 - гартування; Т5 - гартування та часткове старіння; Т6 - гартування та повне старіння до максимальної твердості

Структура силумінів складається із твердого розчину кремнію в алюмінії (α фаза - світлі ділянки) і евтектики $\alpha + \text{Si}$, яка формується при вмісті кремнію 11,6 %. Кремній у евтектиці не модифікованого силуміну має вигляд прямих ліній, але після модифікування натрієм відбувається суттєве подрібнення структури силумінів.

Найбільш поширено використовуються силуміни марок АЛ2, АЛ6 і АЛ9.

Сплав АЛ2 з вмістом кремнію від 10 до 13% є близьким до евтектичного. Структура доевтектичного сплаву АЛ2 ($\text{Si} < 11,6\%$) Рис. 9.2. Мікроструктура (а, б) та схема структури (в, г) силуміну до (а, в) і після (б, г) модифікування натрієм. складається з евтектики і невеликої кількості надлишкової α - фази, заевтектичного ($\text{Si} > 11,6\%$) - з евтектики ($\alpha + \text{Si}$) та кристалів твердого розчину α . Сплав АЛ2 термічній обробці не піддається.

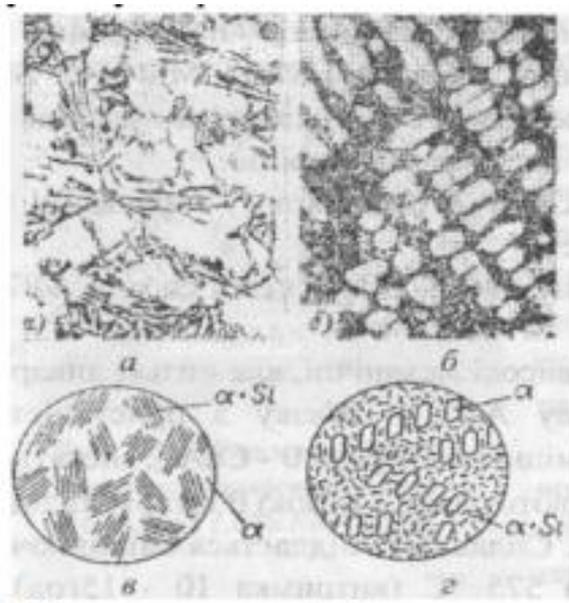
Силуміни використовують для виготовлення мало- й середньонавантажених литих деталей, часто складної конфігурації.

Для покращення механічних властивостей силуміни легують міддю, магнієм і марганцем.

Сплав АЛ6 — низькокремнистий силумін легований міддю. Мікроструктура сплаву АЛ6 складається з кристалів α -твердого розчину, подвійної та потрійної евтектики. З мідних силумінів виготовляють корпуси компресорів, головки та блоки циліндрів автомобільних двигунів.

Сплав АЛ9 - низькокремнистий силумін (6,0-8,0% Si) з добавками магнію. Основою магнієвих силумінів є система Al - Si - Mg. Основними структурними складовими є первинні кристали, а з подвійною евтектикою $\alpha + \text{Si}$, а також вторинні кристали Mg_2Si , що виділяються з твердого розчину. При нерівноважній кристалізації виділяється також потрійна евтектика. Сплав АЛ9 піддається загартуванню і старінню. У структурі загартованого сплаву присутні скоагульовані частинки кремнію евтектичного

походження і компактні включення нерозчинної складової (Al, Mn, Fe, Si). Силіцид Mg_2Si повністю переходить у α -твердий розчин і забезпечує зміцнення сплаву при наступному старінні.



Мікроструктура (а, б) та схема структури (в, г) силуміну до (а, в) і після (б, г) модифікування натрієм.

Термічна обробка сплавів АЛ6 і АЛ9 полягає у гартуванні та старінні до максимальної твердості.

До алюмінієвомідних ливарних сплавів відносяться сплави АЛ7 і АЛ12 (табл. 9.1).

Для сплаву АЛ7 характерні високі механічні, але низькі ливарні властивості. У структурі сплаву АЛ7 у зв'язку з присутністю домішок заліза і кремнію, крім зміцнюючої фази θ - $CuAl$, містяться інші нерозчинні фази, що утворюють разом з фазою θ інтерметалідні оболонки по границях дендритів. Сплав АЛ7 піддається зміцнюючій термообробці з нагріванням до $575\text{ }^{\circ}C$ (витримка 10 - 15 год) і гартуванню у гарячій воді і штучному старінню при $150\text{ }^{\circ}C$ (витримка 2-4 год). У тих випадках, коли не потрібно максимальної міцності, але важливо зберегти підвищену

пластичність, обмежуються одним загартуванням (без старіння). Зі сплаву АЛ7 виготовляють невеликі виливки, що піддаються значним механічним навантаженням.

Структура сплаву АЛ12 складається з кристалів α - твердого розчину (світлого кольору) і евтектики $\alpha + \text{CuAl}_2$ (кристали фази CuAl_2 темного кольору). Сплав АЛ12 має високі ливарні, але низькі механічні властивості. Термічна обробка сплаву АЛ12 полягає у гартуванні та старінні до максимальної твердості.

До *алюмінієвомагнієвих ливарних сплавів* відноситься сплав АЛ8, який називають *магналиєм*. Сплав АЛ8 має високу механічну міцність порівняно з іншими алюмінієвими ливарними сплавами, найменшу питому вагу, високі антикорозійні властивості, але відносно ливарних властивостей, він поступається іншим сплавам. Структура литого сплаву АЛ8 складається з α -твердого розчину магнію в алюмінію (світлий фон) і незначної кількості β - фази (Mg_2Al_3) розташованої по границях твердого розчину. Фаза β (Mg_2Al_3) крихка і виділяється у формі великих скупчень, що утворюють суцільну сітку.

Для усунення гетерогенної структури сплав АЛ8 піддають гартуванню при 430°C (з витримкою 15-20 год) у гарячій воді з використанням у такому стані. Структура після гартування складається з однорідних зерен α - твердого розчину.

У загартованому стані сплав володіє високою корозійною стійкістю. Старіє цей сплав при температурі більше 150°C .

Старіння для цього сплаву шкідливе, оскільки після старіння різко знижується пластичність і корозійна стійкість. Для виливок будівельних конструкцій рекомендується застосовувати сплав марки АЛ8, що містить від 10 до 12% магнію.

Залежно від способу підвищення механічних властивостей, *алюмінієві деформовані сплави* поділяються на: сплави, що не

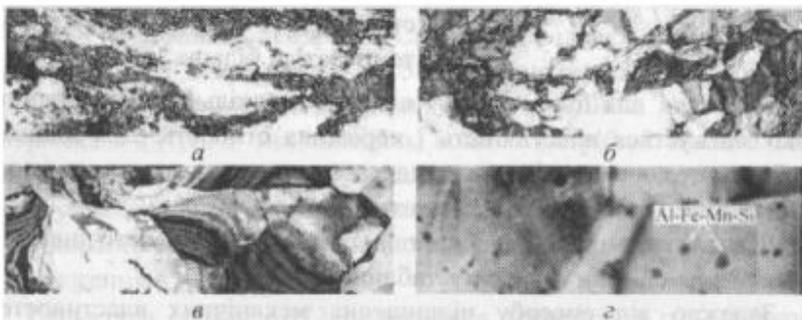
зміцнюються термічною обробкою, та сплави, що зміцнюються термічною обробкою.

До алюмінієвих *деформованих сплавів*, що не зміцнюються термообробкою, належать сплави алюмінію з марганцем і магнієм.

Вміст марганцю в *алюмінієво-марганцевих* сплавах не перевищує 1,6%. При вмісті марганцю до 0,3% він знаходиться тільки в твердому α - розчині. При більшій кількості він частково (до 0,3%) буде знаходитися в твердому α - розчині та частково у вигляді інтерметалідного з'єднання $Al_6(Mn,Fe)$, що не розчиняється в алюмінію.

Вміст магнію в *алюмінієво-магнієвих* деформівних сплавах коливається від 2 до 7%. При вмісті магнію в сплаві понад 1,4% він знаходиться частково у твердому розчині та частково у вигляді інтерметалідних з'єднань Al_3Mg_4 і Al_3Mg_2 , які розчиняються в алюмінію з підвищенням температури. Евтектика в Al - Mg сплавах утворюється при температурі 448 °C та вмісту Mg = 17,4 %.

У сплавах системи Al - Mg, які додатково містять марганець, кремній і залізо можливо утворення Al_6Mn , Mg_2Si та комплексного з'єднання, яке містить Al, Fe, Si, Mn. Мікроструктура таких сплавів після відпалу складається з α - твердого розчину та вищенаведених фаз.



Мікроструктура алюмінієво-магнієвого сплаву з 2,5 %Mg після холодної прокатки (а) та відпалу при 160 °C протягом 20 (б) і 150 (в) год. і включення, які містять Al, Fe, Mn, Si. (а, б, в) - $\times 800$; з - $\times 40000$

Al - Mg сплави мають невисоку міцність, високу пластичність і корозійну стійкість, але міцність зварних з'єднань алюмінієво-магнієвих сплавів досягає 92-97% міцності основного металу, а відносна міцність порівняно зі сталлю марки Ст. 3 становить 1,9; з легованою сталлю марки 15ХСНД - 1,38; марки 10ХСНД - 1,17.

Сплави, що містять магнію більше 3%, можуть зміцнюватися шляхом термічної обробки, але ефект від зміцнення буде невеликий. Більш ефективно зміцнення цих сплавів досягається шляхом холодної обробки тиском (наклепування, нагартування).

Зі сплавів, що деформуються шляхом гарячої або холодної обробки тиском, виготовляють різні профілі (кутники, таври, двотаври, тощо), листи, дріт, труби, плити, що широко застосовуються в будівництві та техніці для виготовлення різних конструкцій, а також напівфабрикати для різних деталей машин.

Структура алюмінієвих деформованих сплавів, що зміцнюються термічною обробкою, у рівноважному (відпаленому) стані складається з твердого розчину легуючих елементів в алюмінії і частинок вторинних фаз, що розчиняються в алюмінії з підвищенням температури та виділяються при охолодженні або старінні.

Термічна обробка деформованих алюмінієвих сплавів полягає в загартуванні та старінні. Гартування ґрунтоване на існуванні змінної розчинності міді, магнію і деяких інших елементів (Cu, Mg, Si та ін.) у твердому алюмінії при підвищенні температури. Метою гартування є одержання пересиченого твердого розчину декількох легуючих елементів (міді, магнію, кремнію та інших) в алюмінію.

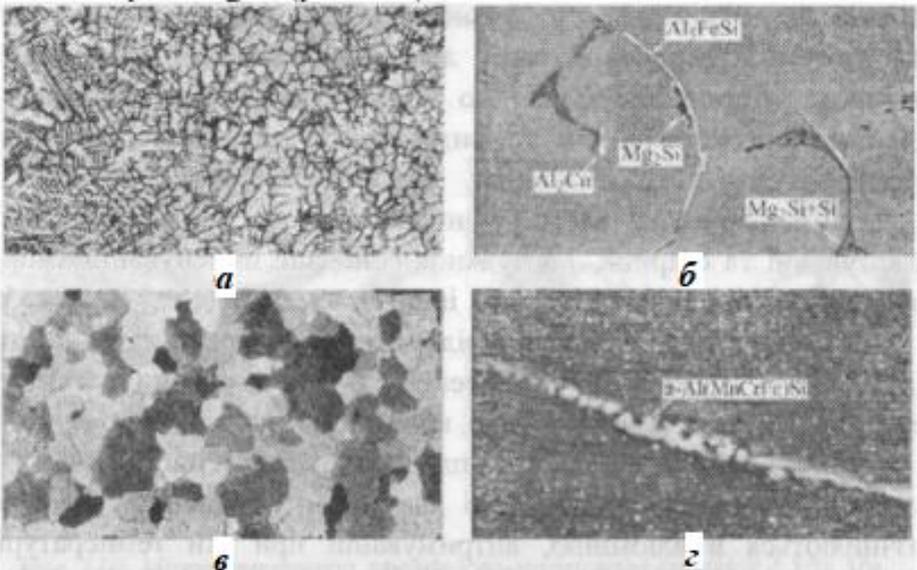
Загартування алюмінієвих сплавів полягає в нагріванні їх до температури, при якій легуючі елементи цілком або частково розчиняються в алюмінію, витримуванні при цій температурі і швидкому охолодженні до низької температури (10-20°C). Значна пересиченість твердих розчинів обумовлює їх нестабільність і

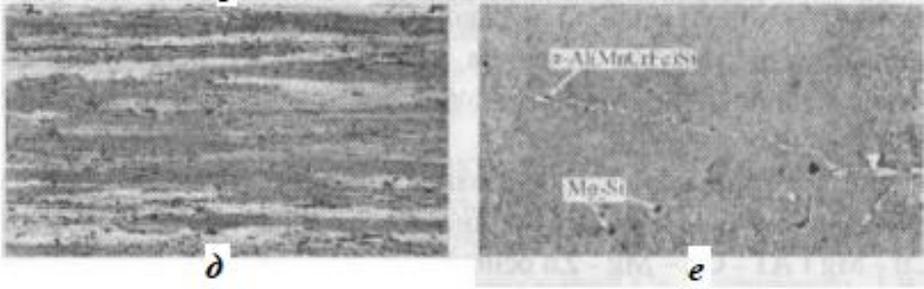
розпад з виділенням вторинних фаз при старінні, які зміцнюють алюмінієвий сплав.

До алюмінієвих деформованих сплавів, що зміцнюються термообробкою, в основному, відносяться сплави на Al - Mg - Si, Al - Cu - Mg і Al - Cu - Mg - Zn основах.

Сплави алюміній - магній - кремній з додаванням міді, марганцю, хрому називають *авіалями*. До них відноситься сплав марки АК5. Після охолодження в цих сплавах відбувається розпад твердого розчину з утворенням фази Mg_2Si та невеликих кількостей θ фаз ($CuAl_2$) і Al_6Mn . Основною зміцнюючою фазою в сплаві є фаза Mg_2Si .

Алюміній - магнієво - кремнієві сплави гартують від температур 515 - 525°C з наступним природним або штучним (при 150-160 °C) старінням. Після старіння протягом 6 годин сплави мають максимальну міцність. Структура сплаву після штучного старіння складається з α -твердого розчину, навколо якого розміщуються темні включення фази Mg_2Si .





Мікроструктура алюміній-магніє-кремнієвого сплаву з 0,44 % Mg і 1.15 % Si у литому стані (а, б), після відпалу при 425 °С протягом 10 годин і 550 °С протягом 8 годин (в, г), після гарячої прокатки та старіння при 175 °С протягом 0,5 години (д, е). а - × 100, б-× 1300, в-× 200, г-× 3600, д-× 150, е-× 1000.

Сплав АК5 добре зварюється, кується та штампується. Застосовується для виготовлення деталей складної конфігурації, яким потрібна висока пластичність в холодному і гарячому стані.

Сплави потрійної системи алюмінієво - мідно - магнієві, з добавками марганцю та кремнію, називаються дюралюмініями. Ці сплави добре поєднують міцність і пластичність. Головними легуючими елементами дюралюмінів є мідь і магній.

У рівноважному (відпаленому) стані при кімнатній температурі мікроструктура алюміній-магніє-кремнієвого сплаву з 0,44 % Mg і 1.15 % Si у литому стані (а, б), після відпалу при 425 °С протягом 10 годин і 550 °С протягом 8 годин (в, г), після гарячої прокатки та старіння при 175 °С протягом 0,5 години (д, е). а - × 100, б-× 1300, в-× 200, г-× 3600, д-× 150, е-× 1000. структура алюмінієво - мідно - магнієвих сплавів буде складатися з твердого розчину міді, магнію, марганцю та ін. елементів в алюмінії і великої кількості частинок вторинних фаз. Згідно з діаграмою Al- Cu-Mg, внаслідок граничної розчинності міді і магнію в твердому алюмінії, зі збільшенням вмісту магнію та міді в сплаві утворюються тверді фази θ (CuAl₂), S (Al₂CuMg), Т (Al₆CuMg₄).

Крім того, у структурі Al-Cu-Mg сплавів завжди присутні у невеликих кількостях фази (Al, Mg, Fe, Si) і Mg₂Si.

При нагріванні до температур 490 - 510°C вторинні фази розчиняються та переходять у твердий розчин і збагачують його міддю та іншими елементами. При швидкому охолодженні (загартуванні) розчинені елементи не встигають виділитися та залишаються в твердому розчині, тобто фіксується пересичений твердий розчин міді, магнію та марганцю в алюмінії.

Алюмінієві сплави типу дюралюмінію при гартуванні необхідно охолоджувати у холодній воді, тому що дифузійні процеси, що приводять до розпаду пересиченого розчину, у них протікають дуже швидко.

Недогрівання до оптимальних температур призводить до того, що вторинні фази не повністю переходять у твердий розчин і міцність з пластичністю після гартування будуть нижчими. Перегрівання - викликає інтенсивний ріст зерен твердого розчину, окислення границь зерен і навіть розплавлення легкоплавких евтектичних домішок. Перегрітий сплав володіє низькими механічними властивостями і є непоправним браком термічної обробки.

Пересичені тверді розчини метастабільні (нестійкі). Надлишкові елементи прагнуть виділитися з пересиченого твердого розчину при природному або штучному старінні. У процесі старіння (дисперсного твердіння) міцність сплавів росте, пластичність падає. Дюралюмінії зміцнюються при природному старінні на протязі 10 діб. При цьому максимальну міцність сплави матимуть через 7 діб. Дюралюмінії можна піддавати і штучному старінню, при температурі нагрівання до 250 °C, але при цьому спостерігається деяке зниження корозійної стійкості.

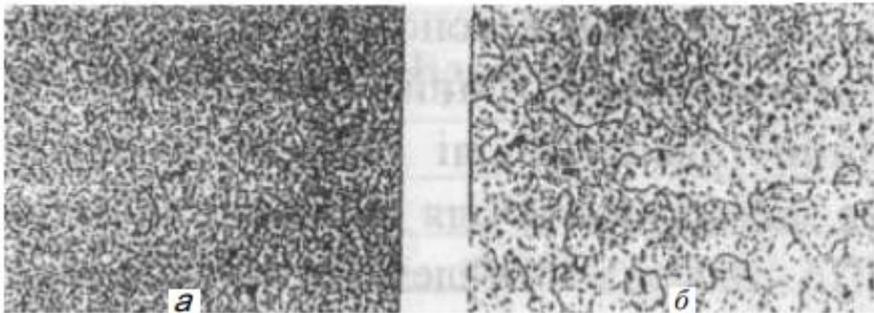
Марки дюралюмінів позначають літерою Д і числом, що означає номер сплаву, наприклад Д16. Хімічний склад дюралюмінів наведено в таблиці.

Хімічний склад дюралюмінів

Марка сплаву	Вміст елементів, мас. час. %			
	Cu	Mg	Mn	Si
Д1	3,8 - 4,8	0,4 - 0,8	0,4 - 0,8	<0,7
Д6	4,6 - 5,2	0,65-1,0	0,5 - 0,9	<0,5
Д16	3,8 - 4,5	1,2-1,8	0,3 - 0,9	<0,5

Сплав Д1 після кристалізації має структуру, що складається з первинних кристалів α -твердого розчину та світлих включень евтектичного походження, що утворюють своєрідну сітку. Кількість евтектичної складової тим більша, чим більший вміст міді та магнію в сплаві.

Мікроструктура сплавів алюмінію марки Д1 після гартування і природного старіння - це перенасичений α - твердий розчин та інтерметалідне з'єднання Al_2CuMg і $CuAl_2$, а після гартування від $510\text{ }^\circ\text{C}$ у воді та старіння при температурі $250\text{ }^\circ\text{C}$ складається із зерен твердого α -розчину (світла основа) і темних включень $FeAl_3$, Al_6Mn (рис. 9.5). Зміцнюючу інтерметалідну фазу $CuAl_2$, яка утворюється при старінні, під світловим мікроскопом не видно.



Мікроструктура сплаву Д1: а - після відпалювання; б - після гартування і старіння при $250\text{ }^\circ\text{C}$

Сплав Д16 відрізняється від Д1 більш високим вмістом магнію. У зв'язку з цим кількість зміцнюючої фази θ ($CuAl_2$) зменшується, α - фази S (Al_2CuMg) збільшується. Структура сплаву

після відпалювання подібна до структури, отриманої після лиття: α -твердий розчин з включеннями вище перерахованих фаз. Після гартування у воді α - твердий розчин і включення різних нерозчинних в алюмінію, при нагріванні, фаз (сполуки заліза і марганцю).

Після старіння сплав Д16 не відрізняється від сплаву Д1 і складається з зерен α -твердого розчину і включень нерозчинних фаз.

Механічні властивості дюралюмінів наведені в таблиці.

Таблиця

Механічні властивості алюмінієвих сплавів, що деформуються

Марка сплаву	Після відпалювання					Після гартування і старіння				
	$\sigma_{0.2}$, МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , %	Ψ , %	НВ	$\sigma_{0.2}$, МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , %	Ψ , %	НВ
Д1	210	110	18	58	45	420	240	15	35	100
Д6	220	110	15	48	50	460	300	15	-	105
Д16	220	110	18	55	50	470	320	17	30	105

Дюралюміній марок Д1, Д6, Д16 рекомендується застосовувати для несучих клепанних конструкцій, споруд і будівель (арки, ферми, балки, а також для елементів конструкцій, що суміщують функції захисних і несучих конструкцій (покрівельні панелі, каркаси панелей для стін, підвісні стелі тощо). Дюралюміній марки Д1 рекомендується застосовувати для елементів конструкцій середньої міцності; Д6, Д16 - для силових елементів конструкцій.

Дюралюміній та інші високоміцні термічно оброблені сплави, окрім авіаляй, не рекомендується зварювати у відповідальних конструкціях, оскільки при зварюванні відбувається значне зниження міцності біля шовної зони внаслідок відпалювання. Зварювання можна застосовувати тільки в тих конструкціях, в яких зварні шви знаходяться у малонавантажених зварних зонах.

Жароміцні алюмінієві сплави системи: алюміній - мідь - магній - нікель - залізо. До цієї групи сплавів належать сплави марок

АК2 і АК4 та ін. Хімічний склад жароміцних сплавів АК2 і АК4 наведено в таблиці.

Таблиця

Хімічний склад жароміцних алюмінієвих сплавів

Марка сплаву	Вміст елементів, мас. час. %					
	Cu	Mg	Ni	Fe	Si	Mn
АК2	3,55-4,5	0,4-0,7	1,8-2,3	0,5-1,0	<0,8	<0,2
АК4	1,9-2,5	1,4-1,8	1,0-1,5	1,1-1,6	<0,8	<0,2

Жароміцні сплави гартують у воді з подальшим штучним старінням. Властивості сплавів АК2 і АК4 (порівняно з сплавом АЛ2) при різних температурах наведено в таблиці.

З жароміцних алюмінієвих сплавів виготовляють поршні, головки циліндрів, крильчатки, лопатки та диски компресорів турбореактивних двигунів тощо, для роботи при температурах до 350°C.

Таблиця

Вплив температури на властивості сплавів АЛ2, АК2 і АК4

Марка сплаву	Термічна обробка	Властивості	Температура, °С			
			20	150	260	315
АЛ2	-	σ_b , МПа	180	160	105	63
		δ , %	6	1	10	30
АК2	Гартування від 510 - 520 °С. Штучне старіння при	σ_b , МПа	440	340	80	50
		δ , %	17	10	32	50
АК4	100-180 °С, протягом 15-20 год	σ_b , МПа	430	360	310	150
		δ , %	18	20	15	20

Мідь і її сплави

Мідь - метал червоного кольору з гранецентрованою кубічною ґраткою ГЦК, температурою плавлення 1083°C. Питома вага міді -

8,94 г/см³ . У литому стані міцність міді (σ_b) становить 150 - 200 МПа, пластичність (δ) -15-20 %, у гарячедеформованому стані - $\sigma_b = 240$ МПа, $\delta = 45$ %. Мідь має високу корозійну стійкість в атмосферних умовах, у прісній і морській воді та інших агресивних середовищах, але низьку стійкість проти сірчаних газів та аміаку. Мідь легко оброблюється тиском, але погано різанням та має невисокі ливарні властивості через велику усадку. Мідь погано зварюється, але легко паяється. Чиста мідь має найбільшу (після срібла) електро- і теплопровідність. Мікроструктура деформованої і відпаленої міді складається з рівновісних зерен з наявністю двійників.

Структура та властивості міді істотно залежать від присутності домішок. Кисень з міддю утворює закис міді Cu_2O та підвищує крихкість. При вмісті кисню 0,39 % утворюється крихка подвійна евтектика ($\text{Cu}+\text{Cu}_2\text{O}$), яка виділяється на границях зерен міді. Під мікроскопом Cu_2O виявляється у вигляді світлих включень.

Сірка практично нерозчинна в міді і при температурі 1067 °С утворює крихку евтектику. Вона різко знижує пластичність міді при деформуванні в холодному стані, але покращує обробку різанням.

Свинець утворює з міддю легкоплавку евтектику, яка складається з чистого свинцю та має температуру плавлення 327 °С. Свинець не призводить до холодноламкості міді, як вісмут, але через низьку температуру плавлення евтектики викликає червоноламкість.

Застосовується мідь як провідниковий матеріал в електротехнічній промисловості та інших галузях народного господарства. Випускається у вигляді напівфабрикату: листа, прутка, смуги, труби та дроту. Маркують мідь залежно від наявності в ній домішок:

M00: Cu > 99,97%; M0: Cu > 99,95 %; M1: Cu > 99,9 %; M2: Cu > 99,8 %; M3: Cu > 99,7 %; M4: Cu > 99,6; M5: Cu > 99,5 тощо.

Латуні - це подвійні або багатокомпонентні сплави міді, у яких основним легуючим елементом є цинк (до 45 %). При вмісті цинку більше 45% в латуні знижується міцність і зростає крихкість. Вміст інших легуючих елементів у спеціальних латунях не перевищує 7-9 %.

При вмісті цинку до 39 % формується однофазна латунь. Структура такої латуні складається з однорідного твердого розчину цинку в міді (α -фаза) α - латуні (рис. 102, а). Зі збільшенням вмісту цинку з'являється друга фаза, що являє собою твердий розчин цинку в електронному з'єднанні Cu_2Zn і (β -фазою (твердий розчин на базі з'єднання CuZn , ОЦК гратка) з електронним типом зв'язку ($3/2$ =число електронів/число атомів), яка є твердою і крихкою структурною складовою.

Такі домішки, як вісмут і сурма є шкідливими та викликають червоноламкість латуней.

Структура латуней, що містять цинку від 39 до 45%, буде складатися з твердого розчину цинку в міді (α - фаза), оточеного твердим розчином CuZn (β -фаза) (рис. 9.6, б). Іноді двофазні латуні називають $\alpha+\beta$ -латунями. Наявність у структурі міцнішої і твердішої β фази сприяє підвищенню міцності латуні, проте різко знижує її пластичність.

Латуні маркують буквою Л (латунь) і цифрою, яка показує вміст міді в сплаві. Наприклад, марка Л80 означає латунь з 80% міді, решта — цинк.

У марках спеціальних латуней легуючі елементи позначають початковими буквами їх назв (наприклад, А — алюміній, К — кремній, Мц — марганець). Перші дві цифри, що стоять у марках за буквеними позначеннями, вказують середній вміст міді, а наступні — вміст інших елементів; решту (до 100%) становить цинк. Наприклад, марка ЛКС 80-3-3 означає латунь з вмістом 80% Си, 3% Si, 3% РЬ, решта — цинк.

Якщо у складі латуні окрім міді і цинку є ще інші елементи, то для їхнього позначення після літери Л пишуть початкові літери назв цих елементів (О - олово, С - свинець, Ж - залізо, Ф - фосфор, Н - нікель, А - алюміній). Відсоток вмісту кожного з цих елементів показують відповідні цифри, які стоять після кількісного показника міді в латуні. Наприклад, сплав ЛАЖ60-1-1 містить 60 % Cu, 1 % Al, 1 % Fe і 38%Zn.

Для покращення властивостей латуней їх легують елементами, які сприяють наступному впливу:

- алюміній, олово і нікель підвищують міцність, твердість і корозійну стійкість, але алюміній ускладнює паяння;
- нікель і марганець збільшують міцність і корозійну стійкість;
- свинець поліпшує антифрикційні властивості і оброблюваність різанням, але одночасно надає крихкість однофазним латуням при підвищених температурах.

Латуні діляться на ливарні та деформовані. Ливарні латуні призначені для виготовлення виробів шляхом фасонного литва. Деформовані латуні випускаються у вигляді дроту, прутка, стрічки, смуги, листа, труби та інших прокатаних та пресованих виробів.

Деформовані латуні використовуються у наступних галузях:

- Л90, Л80 для виготовлення деталей трубопроводів, фланців;
- Л68 - теплообмінна апаратура, що працює при 250°C;
- ЛА77-2, ЛО70-1, ЛН 65-5, Л062-1 (корозійностійкі морські латуні) - деталі для роботи у морській воді, наприклад, конденсаторні та манометричні трубки.

З ливарних латуней виготовляють наступні вироби:

- ЛС59-1Л - втулки, арматура, фасонне литво;
- ЛС63-3 - антифрикційні деталі, підшипники, втулки;

- ЛМцЖ55-3-1 - теплообмінна апаратура, що працює при 300°C;

- ЛА67-2,5 - корозійностійкі деталі;

- ЛАЖ-60-1-1 - черв'ячні гвинти, що працюють у важких умовах.

Бронзи - це сплави міді з оловом, алюмінієм, марганцем, кремнієм, берилієм, свинцем, де цинк не є основним легуючим елементом.. Залежно від основного легуючого елемента, бронзи називають олов'янистими, алюмінієвими, берилієвими тощо. Для підвищення механічних властивостей бронзи легують Fe, Ni, Ti, Zn, P, а для підвищення корозійної стійкості - Mn, пластичності - Ni, міцності - Fe, оброблюваності різанням - Pb.

Маркуються бронзи наступним чином: літери Бр. означає «бронза», наступні літери вказують на наявність легуючих елементів - О - олово, Мц - марганець, Ж - залізо, Ф - фосфор, Б - берилій, Ц - цинк, А - алюміній, С - свинець тощо. Після цього цифрами вказують середній вміст елементів у відсотках (вміст міді цифрами не вказують). Наприклад, бронза марки Бр.ОФ10-1 має наступний хімічний склад: Sn = 10%, P = 1, Cu - решта (89%); БрОЦ4-3 означає, що бронза містить 4 % олова і 3 % цинку, решта - мідь; БрОЦС5-5-5 - бронза містить олова, цинку і свинцю по 5 %, решта - мідь.

Бронзи мають високу корозійну та антифрикційну стійкість, добре працюють в умовах тертя та обробляються різанням. У промисловості використовуються олов'янисті бронзи з вмістом олова до 14 %, які складаються з однорідного твердого розчину олова і міді та мають високі механічні властивості. При вмісті олова понад 5 % бронзи стають більш схильними до дендритної ліквідації, у зв'язку із значним температурним інтервалом між лініями ліквідує і солідус, що доводить до зниження їх пластичності.

Якщо олов'янисту бронзу піддати дифузійному відпалу при температурах 700 - 750° С, то відбудеться вирівнювання хімічного складу і структура являтиме собою однорідний твердий розчин. Одним з характерних представників олов'янистих бронз є бронза марки Бр.О10, що містить до 10% олова, структура якої складається з α -фази (твердий розчин атомів олова у кристалічній ґратці міді) і евтектоїда $\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ у вигляді світлих ділянок (рис. 9.6).

Олов'яністі бронзи мають високі механічні, пружні і антифрикційні властивості, добре обробляються різанням та ллюються.

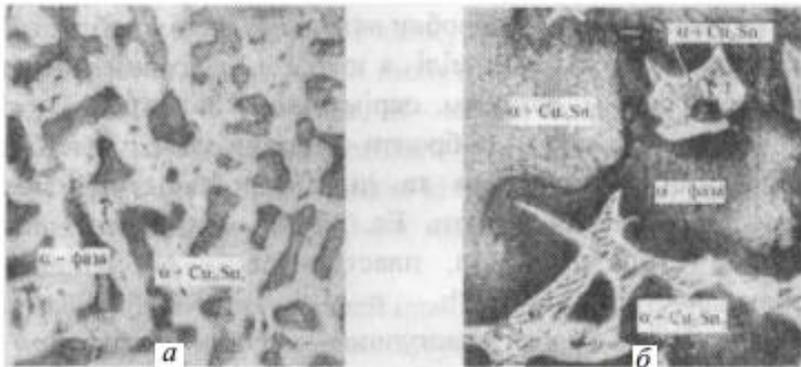
Для покращення властивостей олов'яністі бронзи легують Zn, P, Pb, Ni та іншими елементами. Цинк покращує технологічні властивості бронзи і робить її дешевшою. Фосфор покращує її рідкотекучість, міцність, пружність і антифрикційні властивості. Нікель підвищує механічні властивості, корозійну стійкість та щільність зливків і зменшує ліквіацію.

Із олов'янистих бронз виготовляють вкладиші та підшипники ковзання (Бр.О10, Бр.ОФ10-1, Бр.ОЦС5-5-5), арматуру (клапани, задвижки, крани), що працює на повітрі, у воді, оливі, паливі й парі під тиском до 25 атм. (Бр.ОЦН7-5-1, Бр.ОЦС5-5-5), зубчасті колеса (Бр.ОЦС5-5-5), стрічки, штаби, дріт діаметром 0,1-12 мм.

Основним недоліком олов'янистих бронз є їх висока вартість. Для заміни олов'янистих бронз використовують безолов'яністі бронзи, які містять алюміній, свинець, марганець, берилій, кремній, залізо та сполуки цих металів.

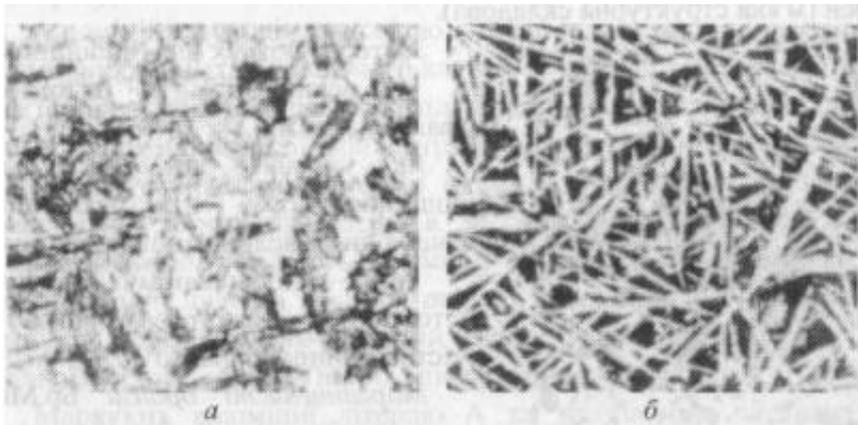
Алюмінієві бронзи з вмістом алюмінію від 4 до 11% використовують, як заміники олов'янистих. Вони мають високу корозійну стійкість, механічні та технологічні властивості. Алюмінієві бронзи добре обробляються тиском в гарячому стані, а при вмісті алюмінію до 8% - і у холодному. При вмісті алюмінію до 9,8% бронзи мають однофазну структуру твердого розчину атомів алюмінію у кристалічній ґратці міді (α -фаза). При вмісті алюмінію

від 9,8 до 16%, окрім α - твердого розчину, утворюється ще й евтектоїд.



Мікроструктура бронзи Бр.010: а- $\times 200$, б- $\times 1000$

На рисунку зображено мікроструктуру алюмінієвої бронзи Бр.А10 у литому стані (а) та після гартування та відпуску (б), яка складається з твердої α -фази (світлі ділянки) і евтектоїду $\alpha+\gamma$ (темні ділянки).



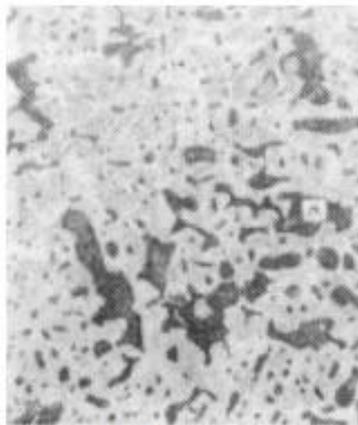
Мікроструктура бронзи Бр.А10: а — в литому стані; б - після гартування від $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ у воді та відпуску при $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ і охолодженні у воді. а— $\times 250$, б- $\times 200$

Бронзи, що містять від 9 до 11% алюмінію, а також залізо, нікель, марганець, зміцнюються термічною обробкою і піддаються гартуванню та відпуску. Наприклад, бронза Бр.АЖН 10-4-4 після

гартування з 980 °С та відпуску при 400 °С підвищує твердість з 200 до 400 НВ.

З алюмінієвих бронз виготовляють пружини, поковки, арматуру, черв'ячні та зубчасті колеса, втулки, трубки, стрічки, штаби, прутки діаметром 16-120 мм, монети тощо. Наприклад, з бронзи Бр.АЖ9-4 виготовляють арматуру трубопроводів для різних середовищ (крім морської води), Бр.АМц9-2Л - деталі, що працюють у морській воді (гвинти, лопасті), Бр.АМц10-2 - підшипники ковзання.

Свинцеві бронзи (Бр.С30) відрізняються високими антикорозійними властивостями та теплопровідністю (в чотири рази вища, ніж олов'янистих бронз). Мідь зі свинцем утворює просту механічну суміш без формування твердих розчинів і хімічних сполук. Структура свинцевої бронзи складається із зерен міді (тверда і досить пластична структурна складова - світлий фон) і темних включень свинцю, переважно розташованих по границях зерен (м'яка структурна складова).



Мікроструктура бронзи марки Бр.С30. ×200

Застосовують їх для підшипників з великими питомими навантаженнями. Як сплави для вкладишів підшипникових механізмів, працюючих з великими швидкостями і при

підвищеному тиску, застосовується свинцева бронза із вмістом свинцю близько 30%.

Марганцевисті бронзи Бр.Мц5 мають порівняно невисокі механічні властивості, але високу пластичність і стійкість проти корозії, а також зберігають механічні властивості при підвищених температурах.

Берилієві бронзи після термічної обробки мають високі механічні властивості, наприклад Бр.Б2 має міцність 1250 МПа, твердість 350НВ і високі корозійну та теплостійкість. З берилієвих бронз виготовляють пружини, пружинні контакти приладів та деталі особливо відповідального призначення.

Кремністі і кремній-марганцевисті (Бр.КН1-3, Бр.КМц3-1) бронзи застосовують як замітники дорогих берилієвих бронз.

Підшипникові (антифрикційні) сплави

До підшипникових (антифрикційних) сплавів відносяться сплави, які мають наступні властивості:

1. Низький коефіцієнт тертя;
2. Низьку твердість, тобто не викликають знос поверхні, з якою контактують;
3. Високу міцність, пластичність (для витримки великого питомого тиску), теплопровідність і корозійну стійкість.

Крім того, вироби з підшипникових (антифрикційних) сплавів повинні добре припрацьовуватися, тобто за мінімальний час приймать контури поверхні з якою контактують, та забезпечувати хороше змащення.

Для дотримання вказаних вимог антифрикційні сплави повинні мати різномірну структуру, тобто складатися з м'якої, пластичної основи, в яку повинні бути вкраплені тверді частинки. Наприклад, при роботі підшипника ковзання з валом тверді

структурні складові підшипника є опорою для нього, а м'які частинки, спрацьовуючись при терті, сприяють утворенню на поверхні мікроканалів, по яких циркулює олива. При збільшенні тиску на вал тверді частинки вдавлюватимуться у м'яку основу підшипника ковзання і тому не зношуватимуть вал.



Поверхня розділу вкладиш — вал

Найбільш задовільно вище наведеним вимогам відповідають чавуни, бронзи і легкоплавкі сплави на основі свинцю, олова, цинку або алюмінію, які застосовують для виготовлення вкладишів підшипників ковзання.

Чавунні вкладиші виготовляють з сірого перлітного чавуну (АЧЦ-1 і АЧЦ-2). Це найдешевший матеріал для вкладишів. Він може витримувати значний питомий тиск, але, зважаючи на більш високий коефіцієнт тертя (у пари сталь - чавун порівняно з парою сталь- бронза або сталь - бабіт) чавунні вкладиші не слід застосовувати у швидкохідних двигунах.

Бронзові вкладиші виготовляють з високоміцних олов'янистих і свинцевих бронз. Через неоднорідну структуру бронзи (у олов'янистої бронзи α -твердий розчин є м'якою основою, а евтектоїд $\alpha+\delta$ -твердими включеннями) мастило добре утримується на поверхні вкладиша. Бронзові вкладиші застосовують для відповідальних підшипників, що працюють у важких умовах де є великі питомий тиск і частота обертання вала.

При застосуванні дуже м'яких легкоплавких підшипникових сплавів забезпечується краще збереження поверхонь, з якими вони контактують. Тому разом з чавунними і бронзовими вкладишами широке застосування в машинобудуванні мають вкладиші з легкоплавких сплавів на основі олова, свинцю, цинку та алюмінію, які мають назву бабіти.

Бабіти - це антифрикційні сплави на основі олова, свинцю, цинку та алюмінію, які мають низький коефіцієнт тертя та високу теплопровідність, добре припрацюються до іншої деталі та здатність утримувати мастило.

За хімічним складом бабіти поділяються на олов'яністі, свинцеві, цинкові та алюмінієві. Хімічний склад та властивості бабітів показані в таблиці.

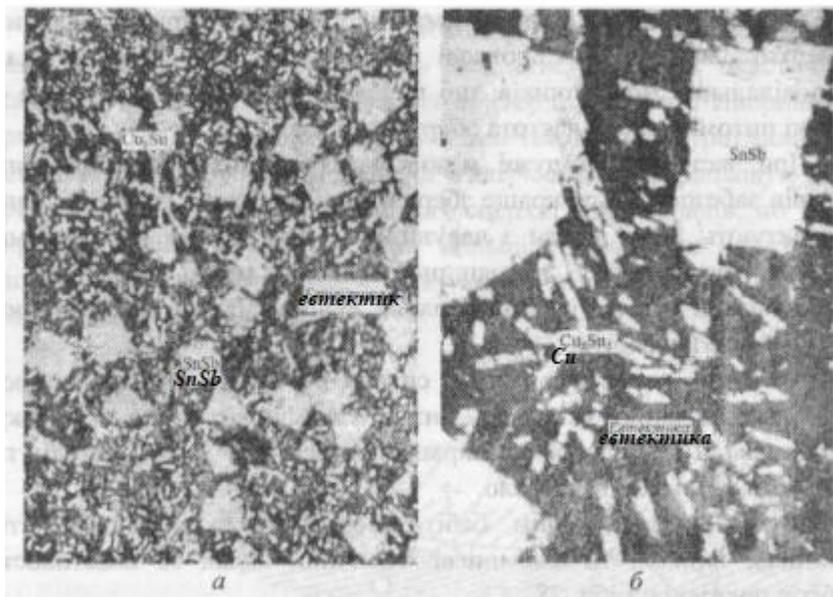
Кращими антифрикційним сплавом є олов'яністі бабіти марок Б89 і Б83. Олов'яна основа в'язка, пластична і менш схильна до втомного руйнування. Мідь вводиться в сплави для запобігання ліквідації елементів за питомою вагою, а також для утворення твердих структурних складових. Мідь з оловом утворює хімічну сполуку Cu_3Sn , яка кристалізується, насамперед, і утворює начебто скелет, на якому затримуються кристали β -твердого розчину олова в хімічній сполуці $SnSb$, що має малу питому вагу.

Мікроструктура бабіту Б83 складається з темної пластичної основи твердого розчину Sb в Cu і Sn (α -фаза), світлих твердих частинок $SnSb$ квадратної або прямокутної форми та дрібних зірочок і голочок кристалів Cu_6Sn_5 (Cu_3Sn). При перегріванні бабіту утворюються фази великих розмірів і його якість погіршується.

Олов'яністі бабіти використовують для виготовлення підшипників і вкладишів турбін, дизельних двигунів, крупних теплоходів та турбонасосів і турбо-компресорів, електричних та інших навантажених деталей машин.

Бабіти марок Б6, БТ, окрім свинцю, олова, сурми і міді, містять кадмій та телур, для утворення дрібних твердих включень, які збільшують твердість і підвищують зносостійкість бабіту.

Олов'яно-свинцево-сурм'яні бабіти, де м'яка основа - свинець, значно дешевше олов'яно-свинцевих, а за якістю поступаються їм не набагато. Мікроструктура бабіту марки Б16, що містить 15-17% Sn; 15-17% Sb; 1,5-2,0 % Cu, складається з м'якої основи - евтектики (свинцю і твердого розчину сурми в олові).



Мікроструктура олов'янистого бабіту марки Б83: а - структура в нормальному стані; б - виліток з перегріванням. × 200.

Дефіцитність олова, а також і свинцю змушує знаходити і застосовувати сплави на іншій, менш дефіцитній основі. Для легкоплавких підшипникових сплавів застосовують сплави на основі 2п (з добавками Си і А1) і алюмінієві бабіти на основі А1 (з добавками Cu, Sb, Ni та ін.).

ЦИНКОВІ сплави ЦАМ-10-5 і ЦАМ-5-10 поступаються бабітам на олов'яній основі за пластичністю, коефіцієнтами тертя і лінійного розширення і приблизно рівноцінні свинцевим бабітам.

Таблиця

Хімічний склад, структура, питома вага (γ), температура плавлення ($T_{пл}$), межа міцності (σ_b), відносне подовження (δ) та коефіцієнти тертя з мастилом (f) і лінійного розширення (α) бабітів

Марка	Вміст елементів, % мас.					Структура		Властивості					
	Sn	Sb	Cu	Pb	Інші	М'ягка основа	Фаза	$\rho, \text{г/см}^3$	$T_{пл}, \text{°C}$	$\sigma_b, \text{МПа}$	$\delta, \%$	f	$\alpha \times 10^6$
Олов'яністі бабіти													
Б83	Решта	10-12	5,5-6,5	-	-	Sn		7,4	380	90	6	0,005	21
Б89	Решта	7,3-8,3	2,5-3,5	-	-	Sn	SnSb, Cu ₂ Sn, Cu ₃ Sn	7,3	342	90	9	-	-
Свинцеві бабіти													
Б6	5-6	14-16	2,5-3,0	Решта	1,8-2,3 Cd	Pb	SnSb, Cu ₃ Sn	9,6	460	70	0,5	0,005	21
БТ	9-11	14-16	0,7-1,1	Решта	0,05-0,20 Tc	Pb	SnSb,	-	-	80	2	0,009	23
Біб	15-17	15-17	1,5-2,0	Решта	-	Pb	SnSb, Cu ₂ Sn	9,3	410	80	0,5	0,006	24
Цинкові бабіти													
ЦАМ-10-5	-	5	-	10Al	Евтектика	Al		6,3	395	300	0,5	0,009	27
ЦАМ-10-5	-	10	-	5Al	(Zn+Al+CuZn ₂)	CuZn ₃		7,1	500	300	1	-	28
Алюмінієві бабіти													
АСС6-5	-	5-6	-	-	0,5-0,7 Mg	Al	AlSb	3,10	750	80	14	-	24
АСМ	-	3-5	-	4-5	Mg	Al	AlSb	2,80	750	85	29	-	24
АН 2,5	-	-	-	-	2,7-3,4 Ni	Al	Al ₃ Ni	2,85	650	140	23	-	26

Алюмінієві підшипникові сплави (АСС6-5, АСМ, АН 2,5) мають гарні властивості (низький коефіцієнт тертя і високу зносостійкість), але за технологічністю вони поступаються звичайним бабітам. Їх висока твердість вимагає обробки цапф і вкладиша підвищеної чистоти, а шийка вала повинна бути твердою.

Недотримання цих умов викличе прискорений знос. Високий коефіцієнт лінійного розширення алюмінієвих бабітів вимагає більш ретельного складання із збільшеними зазорами. Алюмінієві бабіти застосовуються замість олов'яних і свинцевих бабітів, а також свинцевої бронзи.

Крім алюмінієвих сплавів, вказаних в табл. 9.5, починають застосовуватися алюмінієво-олов'яні сплави такого ж призначення, що містять 6 - 7% Sn і Ni, Cu, Si в кількості від 1 до 2%.

Контрольні питання

1. Як маркують алюміній високої і технічної чистоти?
2. Якими властивостями володіє алюміній і де його використовують?
3. Які постійні домішки містить алюміній і як вони впливають на його властивості?
4. Як класифікують алюмінієві сплави залежно від технології виготовлення із них деталей?
5. Якими властивостями повинні володіти ливарні алюмінієві сплави?
6. Як маркують ливарні алюмінієві сплави?
7. Які алюмінієві сплави називають силумінами?
8. Які алюмінієві деформівні сплави не зміцнюються і зміцнюються термічною обробкою?
9. Як впливають марганець і магній на механічні властивості алюмінієвих деформівних сплавів?
10. Як впливає холодна пластична деформація на механічні властивості алюмінієвих деформівних сплавів, що не зміцнюються термічною обробкою?
11. Які вироби виготовляють із алюмінієвих деформівних сплавів, що не зміцнюються термічною обробкою?
12. Які алюмінієві деформівні сплави відносяться до тих, що зміцнюються термічною обробкою?
13. Яка структура алюмінієвих деформівних сплавів марок АМц і АМг5?

14. Які сплави називають латунями?
15. Як маркують латуні?
16. Як змінюється структура і властивості латуней із збільшення у них вмісту цинку?
17. Які легуючі елементи використовують для покращення властивостей латуней?
18. Які деталі виготовляють із ливарних і деформівних латуней?
19. Які сплави називають бронзами?
20. Як маркують бронзи?
21. Як класифікують бронзи за вмістом легуючих елементів?
22. Які легуючі елементи використовують для покращення властивостей бронз?
23. Які деталі виготовляють із олов'яних, кремнієвих, свинцевих, марганцевих і берилієвих бронз?
24. Які сплави називають бабітами?
25. Якими властивостями повинні володіти бабіти, виходячи із умов використання їх як антифрикційного матеріалу?
26. Як маркують олов'яні бабіти?
27. Де використовують олов'яні бабіти?
28. Якими властивостями володіють свинцеві бабіти?