

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
з виконання практичних робіт
з навчальної дисципліни
«Наноматеріали та нанотехнології у ливарному виробництві»

Для студентів денної та заочної форм навчання
За спеціальністю G10 Металургія

Затверджено редакційно
видавничою радою університету
Протокол № 3 від 30.10.2025 р.

Харків
НТУ «ХП»
2025

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Наноматеріали та нанотехнології у ливарному виробництві» для студентів денної та заочної форм навчання за спеціальністю G10 Металургія / Уклад.: Пономаренко О. І., Масалітіна О.В. – Харків: НТУ «ХП», 2025. –55 с.

Укладач: Пономаренко О. І., Масалітіна О. В.

Рецензент: Берлізева Т. В.

Кафедра ливарного виробництва

ВСТУП

Методичні вказівки призначені для студентів денної та заочної форми навчання за спеціальністю G10 “Металургія” рівня магістр.

Практичні роботи з курсу «Наноматеріали та нанотехнології у ливарному виробництві» спрямовані на закріплення та поглиблення знань студентів щодо принципів створення, властивостей та застосування наноматеріалів, які використовуються для удосконалення технологічних процесів у ливарному виробництві. Виконання практичних завдань дає можливість не лише опрацювати теоретичний матеріал, але й розвинути навички дослідження впливу нанодобавок на структуру і властивості металів та сплавів, а також навчитися оцінювати ефективність використання нанотехнологій у виробничих умовах.

У кожній практичній роботі подано перелік необхідних матеріалів, короткий огляд теоретичних аспектів, сучасних методів дослідження та застосування наноматеріалів, а також детальний порядок виконання завдань. Така структура дозволяє студентам послідовно і свідомо виконувати роботу, робити обґрунтовані висновки та формувати власні науково–практичні підходи до впровадження інноваційних технологій у виробництво.

Мета методичних вказівок – надати студентам знання щодо сучасних напрямів розвитку наноматеріалів і нанотехнологій, розкрити їх фізико–хімічні та технологічні особливості, а також сформувати практичні вміння застосування новітніх методів модифікування та контролю якості відливок.

Окрім цього, методичні матеріали покликані стимулювати інтерес студентів до наукових досліджень, сприяти засвоєнню інноваційних підходів у галузі нанотехнологій, що у майбутньому стане важливою основою при виконанні курсових і дипломних робіт.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

СТРУКТУРА, ВЛАСТИВОСТІ І ЗА- СТОСУВАННЯ СПЛАВІВ НА ОС- НОВІ АЛЮМІНІЮ

Мета роботи – вивчити мікроструктури типових сплавів на основі алюмінію; встановити взаємозв'язок між складом, структурою та властивостями цих сплавів; вивчити вплив термічної обробки на структуру та властивості алюмінієвих сплавів; освоїти принципи маркування та ознайомитися з галузями призначення.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Алюміній

Алюміній – найпоширеніший у земній корі сріблясто-білий метал з ГЦК кристалічною решіткою, не має алотропічних модифікацій. Характеризується малою густиною ($\gamma=2,72 \text{ г/см}^3$) – у три рази легший за сталь; низькою температурою плавлення ($t_{\text{пл}}=660^\circ\text{C}$). Алюміній має високу корозійну стійкість завдяки утворенню на його поверхні тонкої, але щільної і міцної оксидної плівки Al_2O_3 , що захищає його поверхню від взаємодії із середовищем. Він стійкий у морській воді, у багатьох органічних кислотах, у концентрованій азотній кислоті, у повітрі, забрудненому сірчистими газами і т. д. Стійкість алюмінію проти атмосферної корозії в ~ 20 разів більша за стійкість сталі. Однак алюміній легко руйнується під дією лугів, соляної кислоти і деяких інших мінеральних кислот.

Механічні властивості відпаленого алюмінію високої чистоти $\sigma_B=80\dots 100 \text{ МПа}$, $\sigma_{0,2}=30\dots 40 \text{ МПа}$, $\delta=35\dots 40\%$, $\text{НВ } 25\dots 30$. Холодна пластична деформація підвищує σ_B до 150 МПа , але знижує δ до 6% . Алюміній легко обробляється тиском, зварюється усіма видами зварювання, але його обробка різанням ускладнена, має значну ливарну усадку. Після деформування і відпалу алюміній має однорідну зернисту структуру (рис. 1,1 а). Супутні алюмінію домішки (залізо, кремній тощо) утворюють з ним різні сполуки, які виділяються на границях зерен та всередині них (рис.1,1 б). Алюміній із залізом утворює крихку інтерметалеву сполуку Al_3Fe , яка знижує його пластичність. За вмісту кремнію понад $0,05\%$ на межах зерен алюмінію з'являються голчасті крихкі кристали кремнію сірого кольору. У випадку одночасної присутності в алюмінії та його сплавах кремнію і заліза утворюються потрійні сполуки цих металів $\alpha\text{-(Al-Fe-Si)}$ та $\beta\text{-(Al-Fe-Si)}$ пластинчастої або голчастої форми. Склад α -фази описує формула Fe_2SiAl_8 , а β -

фази – FeSiAl_5 . Шкідливий вплив заліза на механічні властивості технічного алюмінію та сплавів на його основі нейтралізують введенням невеликої кількості марганцю і хрому, які утворюють фазу $\alpha\text{-(Al, Fe, Si, Mn)}$ з формою часточок, близькою до поліедричної.

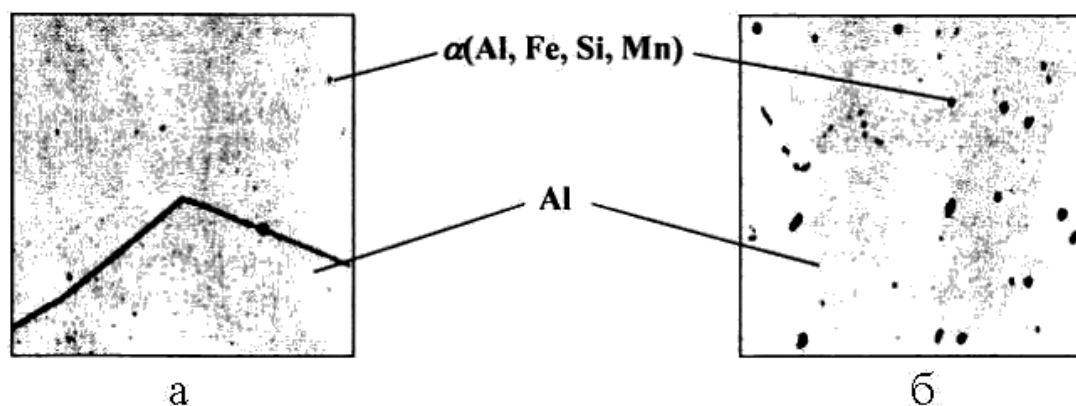


Рисунок 1.1 Мікроструктури алюмінію, х 250: а – високочистого (99,99% Al); б – технічного (99,5% Al, 0,2% Si, 0,3% Fe)

Постійні домішки у первинному алюмінії істотно знижують пластичність алюмінію та зумовлюють погіршення фізико-хімічних властивостей, через що їх вміст суворо обмежують. Залежно від сумарної частки домішок первинний алюміній поділяють на алюміній *особливої, високої та технічної чистоти*.

Алюміній *особливої чистоти* – А999 містить: Al – 99,999%, домішок – 0,001%

високої чистоти – А995 – вміст Al – 99,995%, домішок – 0,005%

А99 – вміст Al – 99,99%, домішок – 0,01% А97 – вміст Al – 99,97%, домішок – 0,03% А95 – вміст Al – 99,95%, домішок – 0,05%

технічної чистоти – А85, А8, А7, А6, А5, А0 – від 0,15% до 1,0% домішок Крім того, виробляють технічний деформівний алюміній (АД0, АД1).

У промисловості використовують переважно алюміній високої та технічної чистоти.

В електротехнічній промисловості алюміній замінює мідь у виробництві масивних провідників, у харчовому і хімічному виробництві алюміній використовують як матеріал для обладнання, зберігання і транспортування харчових продуктів, води, азотної, оцтової кислот та ін., а також для виготовлення предметів домашнього вжитку. В металургії алюміній використовують для розкислення сталей і як домішок до сплавів, що застосовуються у машинобудуванні та інших галузях. В алюмінію низька міцність, тому як конструкційний матеріал у незміцненому стані не використовується. Міцність алюмінію підвищується наклепом. Окрім того, міцність алюмінію можливо значно підвищити легуванням, завдяки чому стає можливим використання зміцнюючої термічної обробки.

1.2 КЛАСИФІКАЦІЯ І МАРКУВАННЯ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

У сучасній техніці як конструкційний матеріал використовують головним чином не сам алюміній, а сплави на його основі, які мають значно вищі механічні властивості. Головна перевага алюмінієвих сплавів – їх мала густина 2,5–2,8 г/см² (у сталей, чавунів, мідних сплавів $\rho=7,2\text{--}8,5$ г/см²) і висока питома міцність (відношення тимчасового опору до густини) та здатність чинити опір інерційним і динамічним навантаженням.

Перевагою алюмінієвих сплавів є висока питома міцність (відношення границі міцності до густини) та здатність чинити опір інерційним і динамічним навантаженням. Межа міцності алюмінієвих сплавів сягає 500...700 МПа за густини не більше, ніж 2,85 г/см³. За питомою густиною окремі алюмінієві сплави наближаються до високоміцних сталей, але поступаються їм у жорсткості (модуль Юнга сталей наближено дорівнює $2,10 \cdot 10^5$ МПа, а сплавів алюмінію – $0,71 \cdot 10^5$ МПа). Більшість алюмінієвих сплавів мають високу корозійну стійкість (за винятком сплавів з міддю), тепло– та електропровідність і добру технологічну пластичність, значне розмаїття механічних та фізичних властивостей. Сплави з особливими фізичними властивостями застосовують у приладобудуванні. Корозійностійкі сплави використовують в умовах морського і тропічного кліматів, у хімічному машинобудуванні тощо; спеціальні жароміцні сплави в умовах підвищених температур (короткочасної або тривалої дії). З антифрикційних алюмінієвих сплавів виготовляють підшипники ковзання. Добра зварюваність сплавів дає змогу отримувати нероз’ємні з’єднання високої міцності та корозійної стійкості.

За технологією виготовлення виробів розрізняють три групи алюмінієвих сплавів: **деформівні, ливарні, спечені (спеціальні)**.

Деформівні алюмінієві сплави здатні добре пластично деформуватися. Головними легувальними елементами таких сплавів є мідь, магній, манган, цинк, кремній, а також титан, хром, берилій, нікель, цирконій, залізо тощо. Перевагою деформівних алюмінієвих сплавів, є те, що вони не схильні до окрихчення за низьких температур.

З деформівних сплавів способом напівбезперервного лиття одержують круглі та площинні злитки, які піддають гарячій та холодній обробці тиском (пресування, прокатка, кування, штампування тощо).

Головною структурною складовою деформівних сплавів є твердий розчин на основі алюмінію, а об’ємна частина крихких інтерметалідів порівняно невелика, що забезпечує високу здатність до деформування цих сплавів.

Ливарні сплави алюмінію вирізняються підвищеною рідкоплинністю, що забезпечує виготовлення тонкостінних та складних за конфігурацією виливків, порівняно невеликою усадкою, малою схильністю до утворення гарячих тріщин. Ливарні сплави, призначені для одержання відливок фасонних виробів у піщаних формах, кокілях методом лиття під тиском та іншими способами, повинні мати високі ливарні властивості – високу рідкоплинність, опір утворенню гарячих тріщин, малу схильність до розсіяної пористості та ін. Для цього в кінці кристалізації вони повинні мати достатньо велику кількість евтектичної рідини, яка кристалізується при постійній температурі.

Для підвищення міцності більшість алюмінієвих сплавів піддають загартуванню і старінню. При нагріванні під загартування відбувається розчинення всіх або окремих надлишкових фаз, які називають фазами–зміцнювачами, а при подальшому прискоренні охолодження ці фази не встигають виділитись і фіксуються пересичений твердий розчин легуючих елементів в алюмінії. При старінні загартованого сплаву (в залежності від температури і тривалості процесу) в пересиченому твердому розчині утворюються дільниці, збагачені легуючими елементами (зони Гінье–Престона), дисперсні часточки проміжних метастабільних фаз або виділяються стабільні фази. На цих стадіях старіння через високу дисперсність продуктів розпаду мікроструктура зістареного алюмінієвого сплаву під світловим мікроскопом зазвичай така, як і у загартованого.

Промислові алюмінієві сплави є багатокомпонентними багатофазовими системами. Розшифровка фазового складу таких сплавів є зазвичай складним завданням. Для цих цілей застосовують спектральні фазові аналізатори з використанням комп'ютерної техніки.

За здатністю зміцнюватися *деформівні* та *ливарні* сплави поділяють на такі, що *зміцнюються* та такі, що *не зміцнюються* термічною обробкою.

Спечені (спеціальні) алюмінієві сплави виготовляють за спеціальними технологічними процесами порошкової та гранильної металургії. Такі матеріали мають високу жароміцність навіть близько 300...500°C, малий температурний коефіцієнт лінійного розширення, високу корозійну стійкість.

Легуючі елементи, які переважно застосовують у сплавах на основі алюмінію (Cu, Mg, Si, Zn та ін.), утворюють з алюмінієм обмежені тверді розчини змінної концентрації, в яких розчинність елемента зі зниженням температури зменшується (рис. 1.2). З аналізу діаграми випливає, що всі сплави, які знаходяться лівіше за точку D, за допомогою нагрівання можна перевести в однофазний стан твердого α -розчину. Такі сплави мають високу пластичність, добре оброблюються тиском і належать до групи деформівних. Точка D відповідає найбільшій

розчинності легуючого елемента в α -розчині за евтектичної температури. Тому сплави, які розміщуються правіше за точку D, мають у структурі поряд з α -розчином евтектику. Ці сплави більш крихкі, погано оброблюються тиском, але завдяки евтектиці мають високі ливарні властивості.

Деформівні сплави (лівіше за точку D), своєю чергою, поділяються на термічно незміцнювані (сплави А, які розташовані лівіше за точку F), термічно зміцнювані (сплави Б, які розташовані між точками F і D). Незміцнювані сплави (А) внаслідок нагрівання не змінюють структури, зберігаючи зерна твердого α -розчину до солідуса. Термічно зміцнювані сплави (Б) мають змінну концентрацію легуючого елемента по лінії FD, розчинність якого зменшується зі зниженням температури.

Для зміцнення сплавів на основі алюмінію застосовують гартування і старіння, а для знеміцнення й усунення нерівноважних структур і дефектів будови, підвищення пластичності – відпал (дифузійний, рекристалізаційний).

Для позначення алюмінієвих сплавів нині застосовують дві системи маркування: традиційну літерно-цифрову й нову – цифрову.

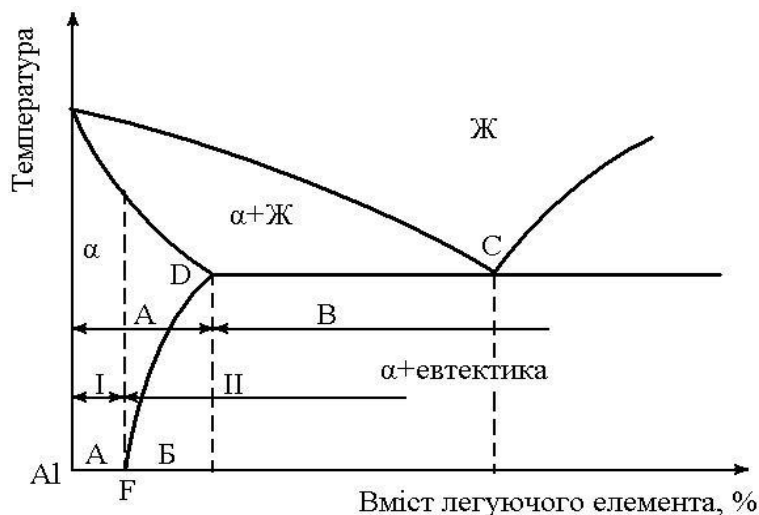


Рисунок 1.2 Области вмісту деформівних А та ливарних В сплавів: I – термічно незміцнювані сплави;
II – термічно зміцнювані сплави

Літерно-цифрова система маркування передбачає позначення сплавів за такими ознаками:

- за хімічним складом, наприклад, із вмістом мангану – АМц, магнію – АМг;
- за назвою сплаву, наприклад, дуралюміній – Д1, Д6;
- за технологічним методом одержання заготовок, наприклад, алюміній кувальний – АК, ливарний – АЛ, спечений порошок (САП) або сплав (САС);
- за властивостями – високоміцний – В95, В96;

– за видом термічної і механічної обробки, наприклад, м'який відпалений – М, термооброблений – Т (Т1, Т2, ..., Т8 – вид термообробки), гартований (5...7%) – Н, напівгартований – П.

Цифрова система маркування передбачає позначення сплаву чотирма цифрами. Перша цифра 1 у всіх марках позначає алюміній, друга має головне змістове значення й умовно показує хімічний склад основи сплаву (табл. 1.1). Останні дві цифри – це порядковий номер сплаву. Наприклад, у сплаві 1510: 1 – алюміній, 5 – основна система Al–Mg; 10 – номер сплаву.

Таблиця 1.1

Приклади позначення алюмінієвих сплавів

Хімічний склад основи	Умовне позначення основи	Приклади марок	
		Літерно-цифрове позначення	Цифрове позначення
Al–Cu–Mg	1	Д1, В65	1110, 1165
Al–Cu–Mn, Al–Li	2	Д20, Д21	1220, 1221
Al–Mg–Si, Al–Mg–Si–Cu	3	АД31, АД35	1310, 1350
Al–Mn	4	АМц, АМцС	1400, 1401
Al–Mg	5	АМг1, АМг3	1510, 1530
Резервні групи	6,7,8	–	–
Al–Zn–Mg, Al–Zn–Mg–Cu	9	В95	1950

1.2.1. ДЕФОРМІВНІ СПЛАВИ АЛЮМІНІЮ

ДЕФОРМІВНІ СПЛАВИ АЛЮМІНІЮ, ЩО НЕ ЗМІЦНЮЮТЬСЯ ТЕРМІЧНОЮ ОБРОБКОЮ

До них належать технічний алюміній, сплави на основі системи Al–Mn і на основі системи Al–Mg. Марки технічного алюмінію АД00 (99,7% Al), АД0 (99,5% Al), АД1 (99,3% Al).

Належних механічних властивостей сплавам надають за рахунок легування манганом та магнієм, а також, меншою мірою, внаслідок утворення часточок надлишкових вторинних фаз та інтерметалевих сполук. Додаткове зміцнення сплавів отримують пластичним деформуванням у холодному стані, проте застосування наклепу обмежує помітне зменшення пластичності, і тим більше, чим більший ступінь деформації. Вироби з деформівних сплавів постачають у відпаленому, напівнаклепаному ($\epsilon=10\ldots40\%$) або наклепаному станах ($\epsilon=80\%$).

Небажана втрата пластичності ускладнює проведення технологічних операцій обробки сплавів тиском, тому з метою повернення пластичності

застосовують відпал.

Сплави алюмінію з манганом (АМц), що містять 1,0...1,6% Mn, мають вищу за чистий алюміній міцність ($\sigma_B = 130 \dots 220$ МПа) та високу пластичність ($\delta = 10 \dots 23\%$), підвищену корозійну стійкість та добру зварюваність, але вони незадовільно обробляються різанням.

Манган утворює з алюмінієм твердий розчин та сполуку Al_6Mn . Сплави помітно не зміцнюються гартуванням та старінням внаслідок незначного зменшення розчинності мангану в алюмінії за умови зниження температури та через недостатній ступінь дисперсності Al_6Mn . За наявності у сплаві невеликої кількості заліза утворюється практично нерозчинна у твердому стані фаза $Al_6(Mn, Fe)$, яка має форму пластинчастих кристалів. Такі часточки зменшують міцність сплавів та здатність пластично деформуватися.

Мікроструктура сплаву АМц (1,0...1,6% Mn; не більше 0,7% Fe; 0,6% Si; 0,2% Cu; 0,2% Ti; 0,1% Zn; 0,05% Mg; решта Al) після холодного пластичного деформування і відпалу складається з твердого розчину, у якому розташовані часточки Al_6Mn та $Al_6(Mn, Fe)$ (рис. 1.3, а).

Сплави алюмінію з магнієм (магналії) (АМг) містять до 6% Mg та у невеликих кількостях манган (0,2...0,8%), цирконій (0,08...0,10%), титан (0,02...0,10%), ванадій (0,02...0,15%), берилій (0,002...0,010%), а також до 0,5% Fe; 0,5% Si; 0,2% Cu; 0,2% Zn; решта Al. Міцність сплавів зростає зі збільшенням концентрації магнію ($\sigma_B = 190 \dots 300$ МПа), але пластичність мало залежить від його вмісту ($\delta = 15 \dots 23\%$). Сплави корозійностійкі, характеризуються високим опором втомі, добре зварюються, але погано обробляються різанням.

Промислові сплави на основі системи Al–Mg у рівноважному стані мають двофазну структуру, що складається з α –твердого розчину та фази β (Al_3Mg_2). Проте внаслідок малої швидкості дифузії магнію в алюмінії вторинна β –фаза в сплавах за вмісту до 6% Mg не виділяється навіть під час повільного охолодження. За наявності мангану, заліза та кремнію утворюються фази, що містять ці хімічні елементи (Al_6Mn , $AlMg_2Mn$, Fe_2SiAl_8 тощо), а також силіцид магнію (Mg_2Si).

Кожний легувальний елемент відіграє певну роль у формуванні структури та властивостей магналіїв. Титан подрібнює зерна твердого розчину, що підвищує міцність та в'язкість сплавів і зменшує їх схильність до утворення тріщин під час зварювання. Манган утворює з алюмінієм дисперсні часточки Al_6Mn , які сповільнюють процес рекристалізації.

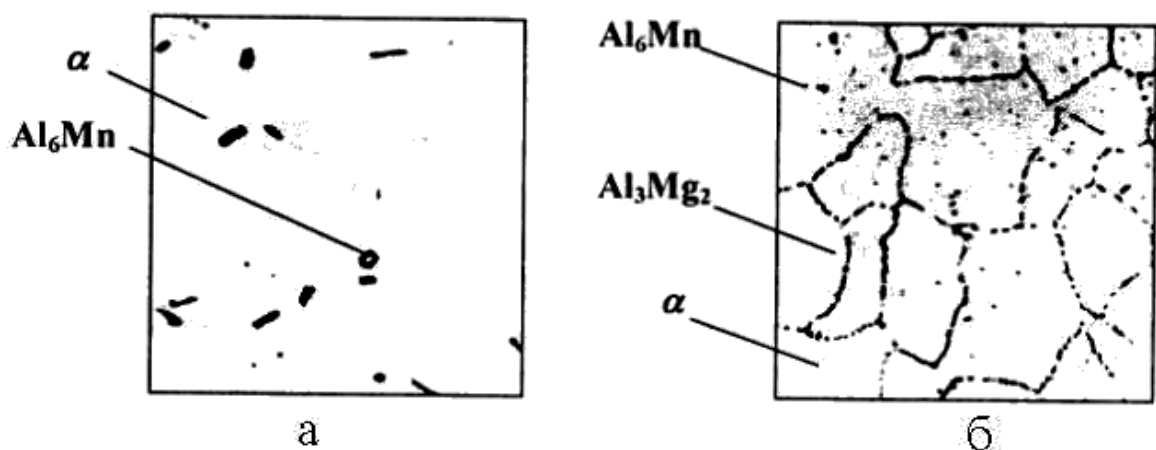


Рисунок 1.3 Мікроструктура відпалених сплавів: а – АМц, х250; б – АМг5, х250

Цирконій інтенсивніше за манган та хром підвищує температурний поріг рекристалізації і тим самим дає можливість досягти значного зміцнення магнеліїв. Берилій очищує сплав від оксидів і посилює захисну дію оксидної плівки.

Переважну частину продукції зі сплавів на основі системи Al–Mg постачають у відпаленому стані. Підвищення міцності зі зменшенням пластичності одержують у напівнаклепаному стані ($\varepsilon = 20 \dots 30\%$). Мікроструктура відпаленого сплаву АМг5 (4,8...5,8% Mg; 0,5...0,8% Mn; 0,02...0,10% Ti; 0,002...0,005% Be; не більше 0,5% Fe; 0,5% Si; 0,1% Cu; 0,2% Zn; решта Al) складається з α -твердого розчину та фаз Al_3Mg_2 і Al_6Mn (рис. 1.3, б).

1.3. ДЕФОРМІВНІ СПЛАВИ АЛЮМІНІЮ, ЩО ЗМІЦНЮЮТЬСЯ ТЕРМІЧНОЮ ОБРОБКОЮ

До деформівних сплавів, які зміцнюються термічною обробкою, належать складні алюмінієві сплави на основі потрійних і багатокомпонентних систем :

- дуралюміни Д1, Д16, Д18, В65;
- авіалі (авіаційний алюміній) – сплави підвищеної пластичності та корозійної стійкості АВ, АД31, АД33, АД35;
- високоміцні сплави (В95, В94);
- сплави для кування та штампування АК6, АК8;
- жароміцні сплави АК4, АК4–1;
- зварювані 1915, 1925.

Зміцнення деформівних сплавів термічною обробкою забезпечується як за рахунок легування алюмінію, так і внаслідок розпаду пересиченого твердого розчину. Термічна обробка сплавів полягає у гартуванні та старінні (природному або штучному). Додаткове зміцнення (з втратою пластичності) проводять

наклепом у холодному стані між гартуванням та старінням або після старіння.

Дуралюміні є сплавами потрійної системи Al–Cu–Mg, до яких додають манган з метою підвищення опору корозії і знешкодження негативного впливу заліза та кремнію. Залежно від марки сплави містять 3,8...4,9% Cu; 0,4...2,6% Mg; 0,3...0,9% Mn. Шкідливими домішками в дуралюмінах є Fe і Si (не більше 0,3...0,8% кожного). Окрім цих елементів, сплави можуть містити до 0,1% Ni; 0,1% Ti; 0,1...0,3% Zn. Сплави поєднують високу міцність із задовільними пластичністю, зварюваністю, оброблюваністю різанням та корозійною стійкістю.

У відпаленому стані структура більшості дуралюмінів складається з α -твердого розчину компонентів сплаву в алюмінії, розчинних під час нагрівання в твердому розчині інтерметалевих сполук CuAl_2 (θ -фаза) і Al_2MgCu (S-фаза) і нерозчинних фаз. Фази θ та S зміцнюють сплави завдяки високим твердості та міцності. Зі зростанням вмісту магнію кількість θ -фази зменшується, а кількість S-фази зростає. Сплави з 4...5% Cu і 1,5...2,0% Mg практично містять тільки S-фазу, яка є основним їх зміцнювачем.

Нерозчинними в твердому розчині сполуками, утворення яких можна очікувати в дуралюмінах різного складу, є $\text{Al}_{12}\text{Mn}_2\text{Cu}$, $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$, AlMgMn , Fe_2SiAl_8 , FeSiAl_5 , α -(Al,Fe,Si,Mn) тощо. Вони знижують їх пластичність та в'язкість. Домішки заліза, кремнію і мангану, що входять до твердого розчину або утворюють нерозчинні в твердому стані сполуки, істотно не впливають на фазові перетворення під час термічної обробки. Легування сплавів манганом незначно послаблює шкідливий вплив домішок заліза та кремнію на властивості дуралюмінів. Проте ефективнішим способом підвищення їх пластичності та в'язкості вважають зменшення вмісту цих елементів до 0,1...0,3% кожного.

Найпоширенішим зі сплавів цієї групи є Д16 (3,8...4,9% Cu, 1,2...1,8% Mg, 0,3...0,9% Mn, не більше 0,5% Fe, 0,5% Si, 0,1% Ni, 0,1% Ti, 0,3% Zn, решта Al). Мікроструктура сплаву в литому стані показана на рис. 1.4, а. У структурі, окрім світлих зерен твердого розчину на основі алюмінію, бачимо світлі включення Al_2Cu і темніші Al_2CuMg ; обидві фази розташовуються на межах зерен твердого розчину. Крім них, у сплаві в невеликій кількості присутні й інші фази, які не виявляють за малих збільшень.

Структура деформованого та відпаленого дуралюмініу також складається з твердого розчину з великими часточками зміцнювальних фаз і дрібнішими виділеннями нерозчинних в твердому стані сполук (рис. 1.4, б). Відпаленому сплаву властива мала міцність ($\sigma_B=220$ МПа, $\sigma_{0,2}=100$ МПа), але висока пластичність ($\delta=13\%$, $\psi=30\%$).

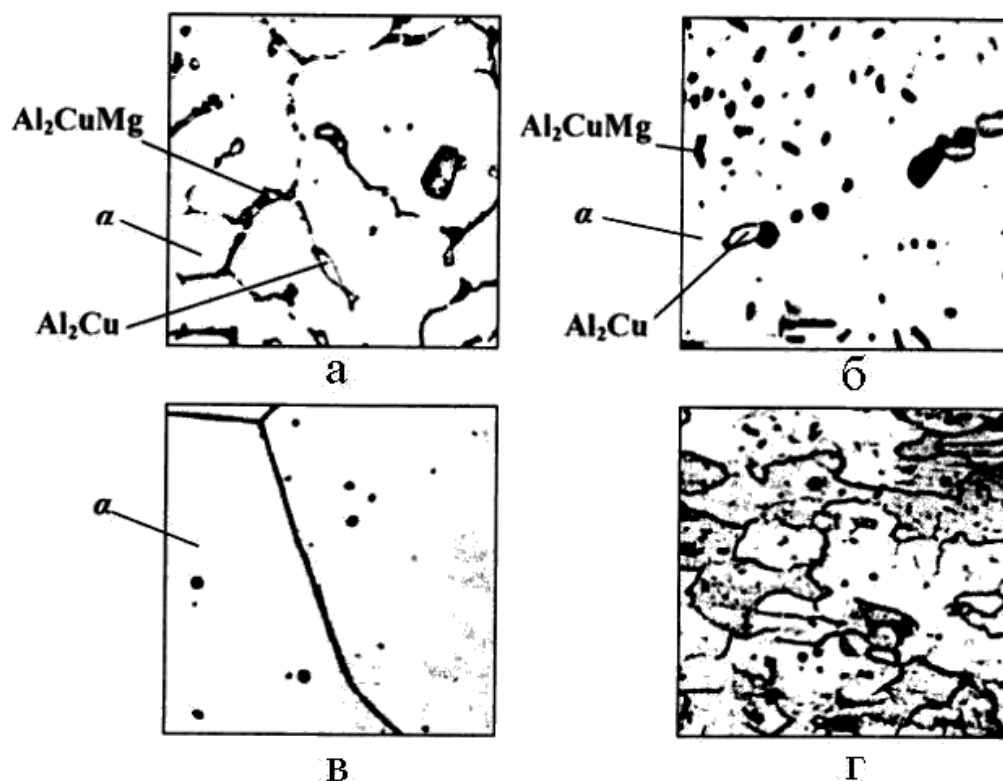


Рисунок 1.4 Мікроструктура дуралюмінію Д16

а – литого, $\times 150$; б – деформованого та відпаленого, $\times 1000$;
в – загартованого, $\times 500$; г – деформованого та зістареного, $\times 200$

Після гартування (для Д16 від $495\ldots 505^\circ\text{C}$) дуралюмініни мають структуру пересиченого σ -твердого розчину і фаз, що не розчинилися в ньому під час нагрівання (рис. 1.4, в). За рахунок пересичення твердого розчину міцність напівфабрикатів дещо зростає ($\sigma_B=430$ МПа, $\sigma_{0,2}=230$ МПа), а пластичність зменшується ($\delta=13\%$, $\psi=15\%$).

Природне старіння викликає перерозподіл компонентів твердого розчину, який супроводжується утворенням на кристалографічних площинах

$\{100\}$ алюмінію, збагачених міддю зон Гінґе–Престона діаметром $1\ldots 10$ нм та товщиною $0,5\ldots 1,0$ нм.

Структура дуралюмініу після гартування та *штучного старіння* (за $185\ldots 195^\circ\text{C}$ упродовж $6\ldots 13$ год) складається з α -твердого розчину, дуже тонких пластинок або дисків проміжної фази θ' (діаметром $20\ldots 30$ нм) і часточок нерозчинних фаз.

Зміцнення сплавів після природного та штучного старіння зумовлене тим, що зони Гінґе–Престона та часточки інтерметалевих фаз гальмують дислокації. Загартовані та природно зістарені напівфабрикати (профілі, листи тощо) з Д16 мають $\sigma_B=440\ldots 520$ МПа, $\sigma_{0,2}=290\ldots 380$ МПа, $\delta=11\ldots 18\%$, $\psi=15\%$

Оптична мікроскопія не виявляє будь-яких фазових змін в структурі

природно і штучно зістарених дуралюмінів порівняно зі структурою загартованого сплаву (рис. 1.4, г). Часточки фази θ' можна побачити тільки в електронному мікроскопі або виявити рентгенографічно. Дисперсні частинки фази θ в структурі перевареного дуралюмініу (температура старіння понад

200°C) мають достатньо великі розміри, щоб їх можна було виявити за допомогою оптичного мікроскопа, застосовуючи максимальні збільшення (1000...2000 разів). Перестарювання викликає втрату міцності сплавом.

Авіалі умовно вважають потрійними сплавами системи Al–Mg–Si (0,4...1,4% Mg; 0,3...1,2% Si), оскільки мідь, манган та хром додають у невеликій кількості (0...0,6% Cu; 0...0,5% Mn; 0,15...0,35% Cr). Авіалі мають високу пластичність у нагрітому та відпаленому станах; після гартування та старіння вона дещо знижується. Сплави добре зварюються, вирізняються підвищеним опором корозії. Здатність оброблятися різанням після гартування та старіння – задовільна.

Основною зміцнювальною фазою авіалів є Mg_2Si . Крім неї, менш значний приріст міцності дають часточки Al_2Cu та Al_6Mn . Природне старіння в авіалях проходить дуже повільно (упродовж 240...360 год.). Переважно після гартування від 515...530°C проводять штучне старіння сплавів за 150...170°C тривалістю до 12 год. Сплави мають такі механічні властивості: $\sigma_B=320$ МПа, $\sigma_{0,2}=210$ МПа, $\delta=16\%$, $\psi=20\%$.

Мікроструктура штучно зістареного сплаву АВ (0,2...0,6% Cu; 0,45...0,9% Mg; 0,5...0,12% Si; 0,15...0,35% Mn; не більше 0,5% Fe та 0,2% Zn; решта Al) складається із зерен α -твердого розчину і часточок Mg_2Si , які розподіляються як в тілі зерен, так і на їх межах (рис. 1.5, а). Мікроструктура відпаленого сплаву відрізняється від попередньої більшими розмірами часточок фази Mg_2Si .

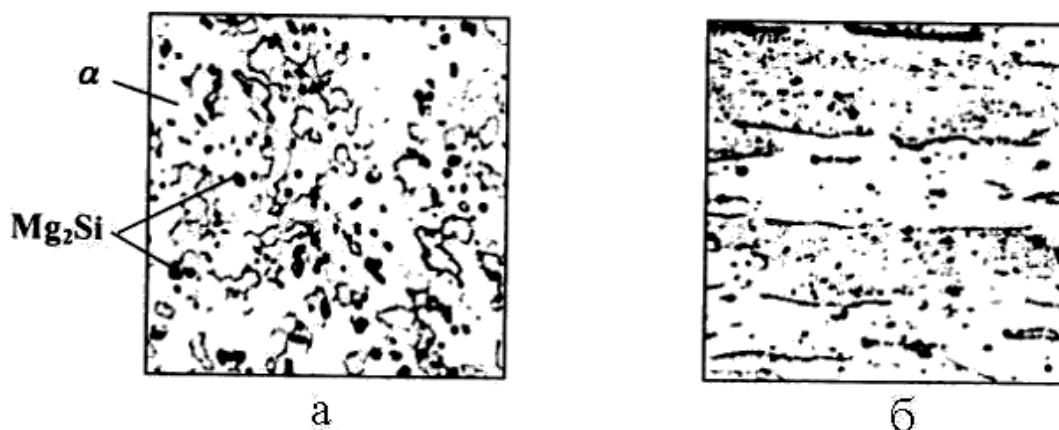


Рисунок 1.5 Мікроструктура сплавів після штучного старіння: а – сплав АВ, х500; б – сплав В95, х500

Високоміцні сплави системи Al–Zn–Mg, Al–Zn–Mg–Cu мають найвищу міцність серед сплавів на основі алюмінію. Різні сплави цієї групи містять

0,1...2,8% Cu; 1,2...3,2% Mg; 0,2...0,6% Mn; 0,2...8,0% Zn; до 0,08% Ti та 0,25% Cr кожного; не більше 0,7% Fe; 0,7% Si; решта Al. Найбільш використовуваним сплавом є В95 (1,4...2,0% Cu; 1,8...2,8% Mg; 5,0...7,0% Zn; 0,2...0,6% Mn; 0,10...0,25% Cr; не більше 0,5% Fe; 0,5% Si; решта Al). Мікроструктура загартованого від 480°C і штучно зістареного сплаву (за 120°C, витримка 24 год) складається з α -твердого розчину і часточок зміцнювальних фаз Al_2CuMg , MgZn_2 та $\text{Al}_2\text{Mg}_3\text{Zn}_3$, які важко металографічно відрізнити одну від одної через однаковий колір після травлення (рис. 1.5, б).

Значного підвищення опору крихкому руйнуванню та зменшення схильності до корозійного розтріскування високоміцних сплавів досягли за рахунок зменшення вмісту в них заліза та кремнію. Сплави підвищеної чистоти та особливо чисті за високої міцності (σ_B до 650...670 МПа, $\sigma_{0,2}$ до 630 МПа) є досить пластичними ($\delta=8\ldots12\%$), вони мають добрі ливарні властивості. Цього типу високоміцні сплави використовують для виготовлення корпусів ракет, обшивок крил, шпангоутів фюзеляжів літаків.

Сплави для кування та штампування відрізняються від авіалів підвищеним вмістом міді та мангану (1,8...4,8% Cu; 0,4...1,0% Mg; 0,4...1,0% Mn; 0,6...1,2% Si; до 0,2 % Cr та до 0,1% Ti; решта Al). Додавання міді збільшує межу міцності та особливо межу текучості зі збереженням належної пластичності.

Манган сприяє подрібненню зерен після деформування і рекристалізації та забезпечує зміцнювальну дію під час гартування (від 495...510°C). Особливістю сплавів є підвищені ливарні властивості та висока пластичність у гарячому стані. З них легко одержувати великі виливки, а потім виготовляти поковки та штамповки великої маси (1,0...1,5 т) та складної форми. Основними зміцнювальними фазами сплавів на відміну від дуралюмінів є Mg_2Si та Al_2Cu . Фаза S присутня у малій кількості і питомого впливу на зміцнення сплавів не має. Найбільшого зміцнення сплавів для кування та штампування досягають гартуванням та штучним старінням за 150...165°C упродовж 12...15 год. ($\sigma_B=480$ МПа, $\sigma_{0,2}=380$ МПа, $\delta=10\%$, $\psi=25\%$). Мікроструктура сплаву АК8 після гартування від 510°C та штучного старіння за 150°C 12 год. показана на рис. 1.6, а. Усередині та на границях зерен α -фази розташовуються включення зміцнювальних фаз Mg_2Si та Al_2Cu .

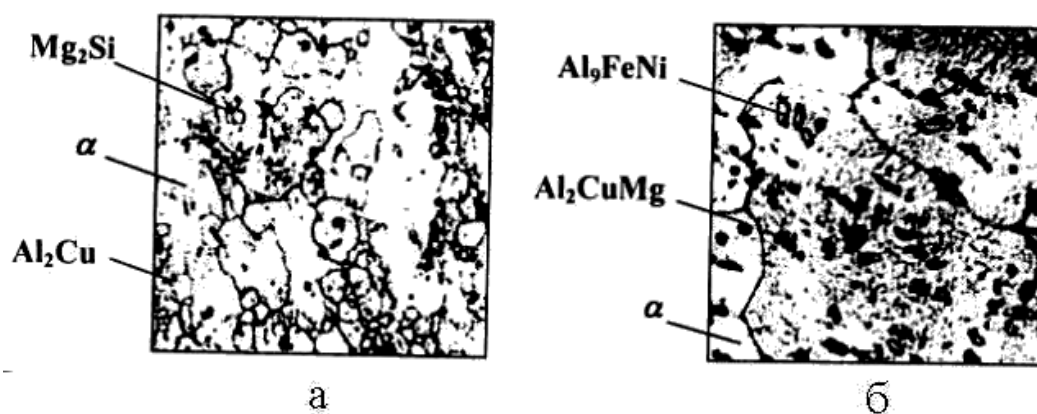


Рисунок 1.6 Мікроструктура сплавів після штучного старіння: а – сплав АК8, х250; б – сплав АК4–1, х500

Недоліком високоміцних сплавів є схильність до корозії під напруженням, чутливість до наявності концентраторів напружень та недостатня жароміцність.

Зварювальні сплави системи Al–Zn–Mg задовільно зварюються аргонно–дуговим зварюванням, мають достатню міцність при кімнатній і криогенних температурах та високу пластичність у гарячому стані, мають задовільну корозійну стійкість.

Жароміцні деформівні сплави застосовують для виготовлення деталей машин та елементів конструкцій, які тривалий час або короткочасно працюють за підвищених температур (200...300°C і навіть 350°C). Вони переважно є складнолегованими і на відміну від інших алюмінієвих сплавів містять більшу кількість легувальних елементів, таких як залізо, нікель, манган, титан. Висока жароміцність цих сплавів, передусім, обумовлена наявністю у їх фазовому складі міцних та твердих фаз (ферумнікелевої, манганової, титанової тощо) і слабким їх знеміцненням зі зростанням температури. Окрім того, ферумнікелева та манганова фази майже не розчиняються у твердому розчині і забезпечують високий опір повзучості.

За механічними та технологічними властивостями найкращим жароміцним деформівним алюмінієвим сплавом є АК4–1 (1,9...2,5% Cu; 1,4...1,8% Mg; 0,35% Si; 0,8...1,3% Ni; 0,8...1,3% Fe; 0,02...0,10% Ti; не більше

0,2% Mn; 0,3% Zn; решта Al). Особливістю сплаву є малий і регламентований вміст кремнію, а також наявність у складі титану. Обмеження вмісту кремнію порівняно з іншими сплавами цієї групи звужує інтервал кристалізації і зменшує імовірність утворення грубих скупчень нерозчинної сполуки Al_9FeNi , яка додатково зміцнює сплав, але водночас й окрихчує його. З пониженням вмісту кремнію у сплаві також не утворюється сполука Mg_2Si , яка погіршує його пластичність і викликає зменшення кількості основної зміцнювальної фази

S. Титан є модифікатором, він сприяє одержанню дрібнозернистої структури сплаву і зменшує ступінь анізотропії механічних властивостей у кованках. Зменшення вмісту мангану забезпечує повніше проходження процесу рекристалізації під час гарячого пластичного деформування.

Мікроструктура сплаву після гартування від 530°C та старіння за 190°C упродовж 12 год. зображена на рис. 1.6, б. Вона складається з твердого розчину на основі алюмінію, темних часточок фази $S(Al_2CuMg)$ та сірих включень сполуки Al_9FeNi . Після такої обробки напівфабрикати мають ($\sigma_B=430$ МПа, $\sigma_{0,2}=280$ МПа, $\delta=13\%$, $\psi=26\%$).

Сплави з літієм систем $Al-Li-Mg$, $Al-Li-Cu-Mg$ та $Al-Li-Cu$ мають малу густину ($2,47...2,63$ г/см³) та досить високий модуль пружності (до $80...97$ ГПа), тому їх застосовують в аерокосмічній техніці. Серед інших алюмінієвих сплавів вони вирізняються високою корозійною стійкістю, доброю зварюваністю, малою швидкістю поширення тріщин утоми. Використання цих сплавів замість Д16 дає можливість зменшувати масу окремих елементів конструкцій літаків на $16...24\%$.

1.4.ЛИВАРНІ СПЛАВИ АЛЮМІНІЮ

Область розташування ливарних сплавів позначена літерою В на рис. 1.2. Більшість ливарних сплавів доєвтектичні, тому у стані після лиття вони мають дві головні структурні складові первинні кристали розчину на базі Алюмінію та евтектику.

До ливарних належать сплави, поділені за стандартом на п'ять груп: $Al-Mg$, $Al-Si$, $Al-Cu$, $Al-Cu-Si$, Al – інші хімічні елементи (у тому числі нікель, цинк, залізо).

Сплави на основі системи $Al-Mg$ ($4,5...13,0\%$ Mg) – ливарні магналії ($AMg4K1$; $AMg5K$; $AMg10$) мають високу корозійну стійкість, велику питому міцність та ударну в'язкість, добре обробляються різанням. Їх недоліком є мала герметичність та низькі ливарні властивості.

Основною зміцнювальною фазою є Al_3Mg_2 . Сплави нагрівають під гартування до $430\pm 5^\circ C$ упродовж $12...20$ год. і з метою зменшення внутрішніх напружень у виливках охолоджують в олії, нагрітій до температури $40...100^\circ C$. Сплави системи $Al-Mg$ використовують для виготовлення деталей машин, які працюють за температур близько $80^\circ C$, оскільки за вищих температур вони швидко знеміцнюються внаслідок огрублення часточок Al_3Mg_2 . Високий ступінь пересичення твердого розчину магнієм після гартування посилює схильність сплавів типу магналіїв до утворення тріщин за тривалої експлуатації або навіть зберігання. Тріщини виникають під дією підвищених внутрішніх напружень термічного або

механічного походження. Окрім того, високі внутрішні напруження сприяють природному старінню, що може тривати декілька років. Чим інтенсивніший процес старіння, тим більшою є схильність сплавів до розтріскування та корозії під напруженням. Одним із засобів підвищення експлуатаційної надійності деталей машин та елементів конструкцій є обмеження вмісту магнію: бажано, щоб його масова частка у сплавах не перевищувала 10%.

У литому стані часточки Al_3Mg_2 розташовуються на межах зерен α -фази і відіграють роль концентраторів напружень. Більшість сплавів Al–Mg застосовують у стані з гомогенною структурою α -твердого розчину, одержуваною гартуванням. Такою термічною обробкою запобігають виділенню крихкої фази Al_3Mg_2 .

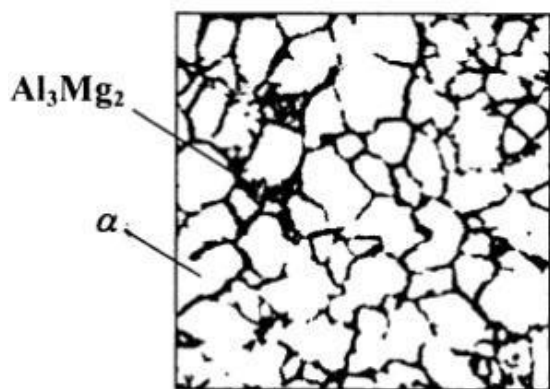


Рисунок 1.7 Мікроструктура сплаву АМг10 у литому стані, $\times 100$

Мікроструктура литого сплаву АМг10 (9,5...10,5% Mg; 0,05...0,20% Zn; 0,02...0,10% Be; 0,05...0,15% Ti; Fe не більше 0,2%; загальний вміст домішок не більше 0,6%; решта Al) показана на *рис. 1.7*.

На межах зерен α -твердого розчину розташовуються включення фази Al_3Mg_2 темного кольору, і за наявності заліза та кремнію – феруммістких фаз та Mg_2Si . Структура загартованого сплаву складається з α -твердого розчину і часточок нерозчинних фаз на межах зерен.

Безкремністі сплави Al–Mg легують титаном (0,05...0,15%), берилієм або цирконієм (0,02...0,20%). Додавання мангану (0,4...1,0%) дещо зменшує швидкість розпаду пересиченого твердого розчину.

Сплави Al–Mg з вмістом кремнію 0,5...1,3% мають кращі ливарні властивості, ніж інші сплави цієї групи: більшу рідкоплинність, меншу схильність до утворення гарячих тріщин, підвищену густину виливків. Підвищення ливарних властивостей сплавів пов'язують з наявністю силіциду магнію у складі потрібної евтектики $\alpha + \beta(Al_3Mg_2) + Mg_2Si$. Проте Mg_2Si має павукоподібну форму і тому зменшує пластичність; саме це є причиною обмеження вмісту кремнію у сплавах до 1,5%.

Зі сплавів Al–Mg виготовляють литі деталі машин, які працюють в умовах підвищеної вологості, у судно– та літакобудуванні.

Сплави на основі системи Al–Si (6...13% Si), які називають силумінами (AK12, AK13, AK9, AK8, AK7, AK21M2 та ін.), вирізняються високою рідкоплинністю, малими лінійною усадкою (0,9...1,2%) та схильністю до утворення гарячих тріщин. Такі високі ливарні властивості стають можливими завдяки великій кількості у сплавах подвійної евтектики (40...75%), до складу якої входять кристали α –твердого розчину та часточки практично чистого кремнію (β –фаза). Зі збільшенням кількості евтектики зростає ступінь герметичності виливків. Перевагою сплавів Al–Si є також їх підвищена корозійна стійкість. Недоліки сплавів – наявність газової шпаристості та низька жаростійкість.

До складу більшості марок силумінів, окрім кремнію як основного легувального елементу, входять манган (0,2...0,6%), магній (0,2...0,55%) та титан (0,1...0,3%), які збільшують їх міцність. Окрім того манган підвищує антифрикційні властивості, а титан є модифікатором, який подрібнює структуру.

Зі збільшенням вмісту кремнію кристали β –фази гострокутної форми у структурі евтектики стають усе грубішими, що зменшує міцність та пластичність сплавів, окрихчує їх і погіршує здатність оброблятися різанням. У структурі заевтектичних сплавів з вмістом понад 13% Si утворюються грубі тверді кристали кремнію, що виділяються під час кристалізації до початку утворення евтектики. Наявність кристалів первинного кремнію негативно позначається на механічних та технологічних властивостях, оскільки вони є концентраторами напружень.

Для подрібнення структури евтектики, підвищення механічних властивостей і поліпшення здатності оброблятися різанням сплави, що містять понад 6% Si, перед розливанням модифікують натрієм, який входить до складу фторхлоридних солей (NaF+NaCl). За оптимального вмісту натрію (0,01...0,003%) у доевтектичних сплавах (до 11,8% Si) β –фаза кристалізується у вигляді дрібних часточок округлої форми, що й підвищує механічні та технологічні властивості сплавів. Висококремністі сплави з метою подрібнення первинних кристалів β –фази та її часточок у складі евтектики модифікують також одночасним додаванням (0,05...0,008%) сірки та фосфору.

Мікроструктури сплаву AK12 (10,0–13,0% Si; найбільший сумарний вміст домішок у виливках, одержаних литтям під тиском, до 2,8% у тому числі Fe не більше 1,5%; решта Al) зображені на рис. 1.8. Унаслідок модифікування евтектика подрібнюється і утворюються дендрити α –твердого розчину (рис. 1.8, а,б).

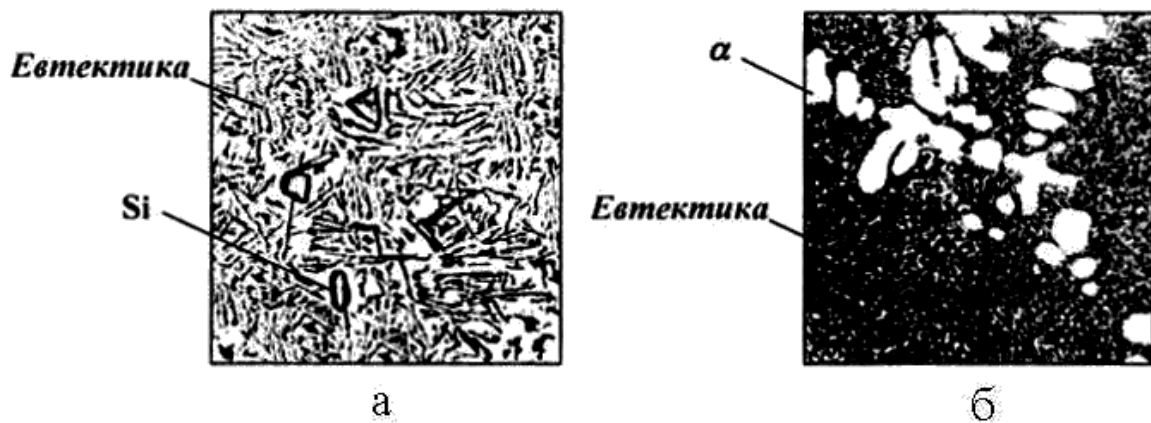


Рисунок 1.8 Мікроструктура сплаву АК12: а – немодифікований, х200;
б – модифікований фосфором та сіркою, х 150

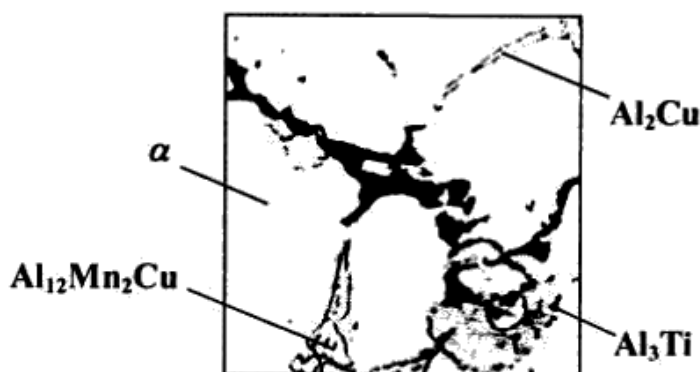
Силуміни застосовують для виготовлення виробів, які працюють у вологих середовищах та морському кліматі. Виливки одержують литтям у піщані та оболонкові форми, кокіль, під тиском та за витоплюваними моделями.

Сплави на основі системи Al–Cu (до 6% Cu) зміцнюють термічною обробкою. Порівняно з іншими ливарними алюмінієвими сплавами вони відзначаються особливо високою межею міцності ($\sigma_B=330\text{--}430$ МПа), яку виливкам після лиття в кокіль надають гартуванням від $510\text{--}530^\circ\text{C}$ та штучним старінням за $150\text{--}175^\circ\text{C}$. Сплави мають підвищену жароміцність, добре обробляються різанням та зварюються. Недоліками їх є гірші від інших сплавів цього типу ливарні властивості, недостатні герметичність, корозійна стійкість та підвищена схильність до утворення гарячих тріщин. Сплавам на основі системи Al–Cu властивий широкий температурний інтервал кристалізації та велика лінійна усадка (1,35%), тому їх не використовують для виготовлення деталей складної конфігурації. Сплави системи Al–Cu застосовують для відливання невеликих деталей нескладної конфігурації (арматура, кронштейни тощо), які експлуатують за середніх навантажень і температур до 200°C .

Висока міцність сплавів обумовлена значною розчинністю міді в алюмінії (до 5,7%). Подвійні сплави Al–Cu застосовують тільки у загартованому стані, оскільки за наявності великої відносної кількості іншої фази вони є крихкими. Підвищена крихкість пов'язана з виділенням на межах зерен відносно грубих часточок крихкої фази Al_2Cu , а за наявності заліза ще й $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$. Утворення $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$ викликає також знеміцнення сплавів, оскільки зменшується вміст міді у твердому розчині.

Мікроструктура сплаву AM5 (4,5...53% Cu; 0,6...1,0% Mn; 0,15...0,35% Ti; загальний вміст домішок при литті у піщані та оболонкові форми до 1,0% у

тому числі Fe до 0,3%; решта Al) зображена на рис. 1.9. У структурі на фоні α -фази видно включення Al_2Cu , $\text{Al}_2\text{Mn}_2\text{Cu}$, Al_3Ti , а за наявності заліза – $\alpha(\text{Al}, \text{Fe},$



Si, Mn).

Рисунок 1.9 Мікроструктура сплаву AM5, $\times 250$.

Додаткове легування титаном та манганом зміцнює сплави і поліпшує їх ливарні властивості. Виділення фаз $\text{Al}_{12}\text{Mn}_2\text{Cu}$ та Al_3Ti на межах зерен твердого розчину підвищує жароміцність сплавів до 300°C . Такі сплави використовують для виготовлення деталей, які працюють в умовах підвищених статичних та динамічних навантажень.

Мідні силуміни разом з алюмінієм містять 4...22% Si; 1...8% Cu; 0,2...1,3% Mg; 0,2...0,8% Mn; 0,1...0,3% Ti. Порівняно з простими силумінами вони мають кращі механічні властивості, але дещо гірші ливарні. З мідних силумінів виготовляють корпуси компресорів, головки та блоки циліндрів автомобільних двигунів.

Серед мідних силумінів сплав АК8М (7,5...9,0% Si; 1,0...1,5% Cu; 0,5% Mg; 0,2...0,5% Mn; 0,3% Ti; домішок Fe не більше 0,9%; решта Al) зміцнюється гартуванням та штучним старінням. Причиною цього є змінна розчинність міді та магнію в алюмінії. Сплав має добру зварюваність і корозійну стійкість.

Сплави на основі систем Al – інші компоненти, крім основного елемента, можуть містити кремній (6...10%) або цинк (0,1...12,0%). Підвищення міцності сплавів досягають за рахунок легування твердого розчину цинком. Структура сплавів цієї групи мало відрізняється від структури звичайних силумінів за аналогічного вмісту кремнію. Окремі сплави за рахунок малої критичної швидкості гартування мають здатність самогартуватися, тому з них виготовляють об'ємні деталі із застосуванням зварювання, оскільки зварний шов має такі самі властивості, як литий виріб.

Ливарні алюмінієві сплави цієї групи переважно застосовують як жароміцні з максимальною робочою температурою близько 300°C для виготовлення

деталей автомобілів та тракторів.

ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Мікроскопи металографічні МИМ–7, набори мікрошліфів деформівних та ливарних алюмінієвих сплавів у різному структурному стані, атлас мікроструктур, державні стандарти.

ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Отримайте набір протравлених мікрошліфів алюмінієвих сплавів відомих марок.
2. Розгляньте мікроструктури зразків за збільшення у 100...500 разів та схематично їх зобразіть.
3. За атласом визначте структурні та фазові складові у мікроструктурі кожного сплаву.
4. За маркою сплаву розшифруйте його хімічний склад, класифікуйте за структурою та призначенням, охарактеризуйте властивості.
5. Вкажіть особливості термічної обробки та можливі галузі застосування досліджуваних сплавів.

ЗМІСТ І ВИМОГИ ДО ЗВІТУ

У звіті необхідно:

1. Вказати порядковий номер і назву лабораторної роботи.
2. Висвітлити тему роботи.
3. Сформулювати основні поняття про будову та принцип класифікації сплавів алюмінію.
4. Подати схематичні рисунки мікроструктур зразків досліджуваних сплавів з позначеннями структурних та фазових складових.
5. Кожнен рисунок супроводжувати підписом та коментарем, у якому вказати хімічний склад, класифікувати сплав за структурою та призначенням, охарактеризувати особливості його будови та застосування.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Охарактеризувати основні властивості алюмінію.
2. Як маркують алюмінієві сплави?
3. Охарактеризувати зв'язок властивостей алюмінієвих сплавів з діаграмою стану.
4. Які основні групи деформівних алюмінієвих сплавів ви знаєте?
5. Охарактеризувати принципи зміцнення алюмінієвих сплавів.
6. Як впливають постійні домішки на властивості технічного алюмінію?
7. Як класифікують алюмінієві сплави?
8. Які фази у складі можуть зменшувати пластичність алюмінію та окричувати його?
9. Які види термічної обробки застосовують для алюмінієвих сплавів?
10. Як впливає легування манганом та магнієм на властивості сплавів на основі алюмінію?
11. Які сплави називають дуралюмінами? Вкажіть особливості їх фазового складу, термічної обробки та застосування.
12. Склад, характер термічної обробки, властивості та застосування деформівних алюмінієвих сплавів, що зміцнюються термічною обробкою.
13. Склад, властивості та застосування ливарних алюмінієвих сплавів.
14. Способи підвищення механічних властивостей ливарних алюмінієвих сплавів.
15. Особливості будови порошкових алюмінієвих сплавів.
16. Спосіб одержання та властивості спечених алюмінієвих сплавів на основі системи $Al-Al_2O_3$ (САП).

ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

СТРУКТУРА, ВЛАСТИВОСТІ Й ЗАСТОСУВАННЯ ТИТАНУ ТА СПЛАВІВ НА ЙОГО ОСНОВІ

Мета роботи: ознайомитись з властивостями, застосуванням, структурними методами підвищення питомої міцності, жароміцності та корозійної стійкості; самостійно провести дослідження мікроструктури окремих деформівних та ливарних титанових сплавів.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

2.1 ТИТАН, ЙОГО ВЛАСТИВОСТІ

На сучасному етапі розвитку машинобудування все більше зростають вимоги до металевих матеріалів. Промисловості необхідні метали й сплави з підвищеною міцністю при різних температурах експлуатації, досить пластичні і в'язкі, стійкі проти дії агресивних середовищ, що мають ряд спеціальних властивостей.

Завдяки особливим фізико–механічним властивостям титан знаходиться у ряді нових конструкційних матеріалів, які значною мірою задовольняють ці вимоги.

Безупинне розширення виробництва і застосування титану в різних галузях техніки зумовлене насамперед його підвищеною питомою міцністю (відношення межі міцності до густини). Відмінна корозійна стійкість титану в атмосферних умовах, морській воді і ряді високоагресивних середовищ обумовлює ефективне його використання для виготовлення конструкцій, що працюють у найважчих умовах експлуатації.

Титан – один із найбільш розповсюджених елементів. За вмістом у земній корі він посідає четверте місце після алюмінію, заліза і магнію.

Зараз вітчизняна промисловість випускає широку номенклатуру напівфабрикатів з титану і сплавів на його основі. Це листи, плити, прутки, труби, дріт, профілі, панелі, штамповки. Збільшуються габарити напівфабрикатів, освоюються їхні нові види і форми, підвищується точність.

Створено і знаходять промислове застосування різні за призначенням титанові сплави: конструкційні, жароміцні, для роботи при низьких температурах, корозієстійкі тощо. Досить перспективними є високолеговані термічно зміцнювані титанові сплави, що дозволяють найбільш повно реалізувати всі переваги

сплавів такого типу.

Обсяг промислового використання титанових сплавів багато в чому залежить від досконалості технологічних процесів виготовлення конструкцій і, в першу чергу, від зварювання.

Титан – поліморфний метал і може знаходитися у вигляді двох алотропічних модифікацій: низькотемпературної α , стійкої до $882,5^{\circ}\text{C}$, яка має гексагональну щільноупаковану решітку. Від $882,5^{\circ}\text{C}$ до точки плавлення ($T_{\text{пл}}=1668^{\circ}\text{C}$) стабільна високотемпературна β -модифікація титану з ОЦК решіткою. Поліморфне перетворення дає можливість зміцнювати сплави на основі титану термічною обробкою.

β -фазу титану при нормальній температурі не вдається зберегти навіть при швидкому охолодженні металу, нагрітого вище від температури $\beta \rightarrow \alpha$ -перетворення, наприклад гартуванням у воду. При охолодженні з будь-якою швидкістю наявне перетворення β -фази на α -фазу, що має бездифузійний, мартенситний характер. Однак, залежно від швидкості охолодження, виникають різні кінцеві мікроструктури чистого титану від звичайної поліедричної рівноважної структури α -фази, що характерна для чистих металів при формуванні структури в умовах повільного охолодження (рис. 2.1, а) до мартенситоподібної у вигляді зазубрених пластин при швидкому охолодженні. Така голчаста структура перетвореної β -фази зветься α -фазою (рис. 2.1, б).

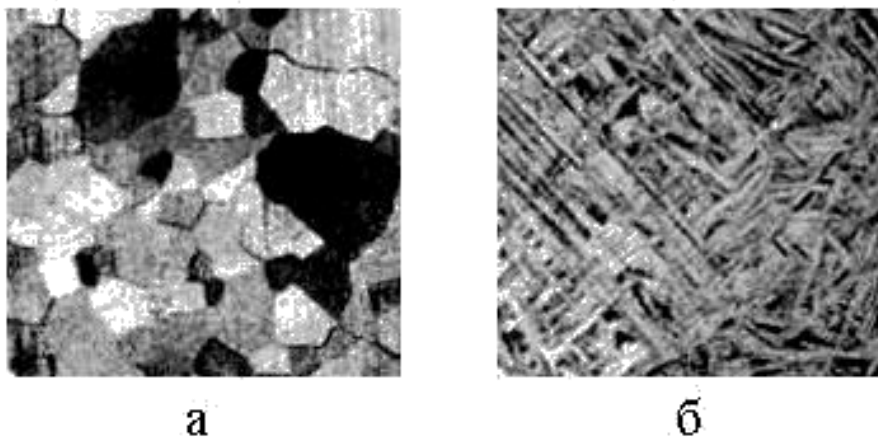


Рисунок 2.1 Мікроструктура титану:

а – кований і відпалений титан з рівноважними зернами α -фази, $\times 250$;

б – технічно чистий титан, загартований з β -поля: голчаста структура перетвореної β -фази, $\times 250$

Чистий титан має підвищену пластичність. Це пояснюється тим, що на відміну від класичних гексагональних металів, наприклад магнію, які мають переважно одну площину ковзання, в α -титані ковзання відбувається переважно по

4 площинах (призматичних та пірамідальних), які лежать у площині базису.

Механічні властивості титану істотно залежать від чистоти металу, від домішок. Розрізняють домішки проникнення – *кисень, азот, вуглець, водень* і домішки заміщення, до яких відносять *залізо та кремній*. Хоча домішки підвищують міцність, але одночасно різко зменшують пластичність, причому найбільш негативну дію завдають домішки проникнення, особливо газу. При введенні всього лише 0,03% H, 0,2% N або 0,7% O титан повністю втрачає здатність до пластичного деформування та крихко руйнується.

На поверхні титану легко утворюється стійка плівка завтовшки 5–6 нм, тому титан має високу корозійну стійкість в атмосфері, прісній та морській воді і деяких кислотах, стійкі проти кавітаційної корозії та корозії під напруженням.

Недоліком титану є погана оброблюваність різанням.

2.2. КЛАСИФІКАЦІЯ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

Оскільки технічний титан має порівняно низьку межу міцності (до 550 МПа), сфера застосування його як конструкційного матеріалу досить обмежена. Сплави на основі титану дозволяють забезпечити велику міцність при нормальних і високих температурах, достатню пластичність і в'язкість, зберігають стійкість проти дії агресивних середовищ, а також мають деякі спеціальні властивості, що у поєднанні з високою питомою міцністю у ряді випадків робить їх незамінним конструкційним матеріалом. Великий діапазон титанових сплавів з різноманітними структурами обумовлений поліморфізмом титану, гарною розчинністю багатьох елементів, принаймні, в одній з фаз, а також утворенням хімічних сполук із змінною розчинністю в титані.

Титанові сплави у порівнянні з алюмінієвими та магнієвими мають більшу питому міцність, жароміцність та корозійну стійкість. Працюють до температур 500°C.

Основними легуючими елементами титанових сплавів є *алюміній, молибден, ванадій, марганець, хром, олово, кремній, цирконій, ніобій, залізо*. За своїм впливом на температуру поліморфного перетворення (рис. 2.2) легуючі елементи поділяють на – стабілізатори (*алюміній, кисень, азот – розширюють α -область*), β -стабілізатори (*молибден, ванадій, марганець, хром, залізо – розширюють β -область*) та нейтральні (*олово, цирконій, гафній, торій* мало впливають на $\alpha \rightarrow \beta$ перетворення).

Практично всі титанові сплави в своєму складі містять алюміній Al, який зменшує густину сплаву, знижує здатність до водневої крихкості, підвищує окалинотійкість, модуль пружності та характеристики міцності (до 6...8%).

Більшість β -стабілізаторів підвищують міцність, жароміцність, термічну стабільність, дещо зменшують пластичність.

Для досягнення вищих механічних властивостей сплави системи Ti–Al додатково легують Cr, Fe, Mn, Si. Висока жароміцність досягається легуванням

Mo та Zr, корозійна стійкість – Mo, Nb та Ta. Легування Sn забезпечує підвищення міцності Ti–Al сплавів без їх окрихчення.

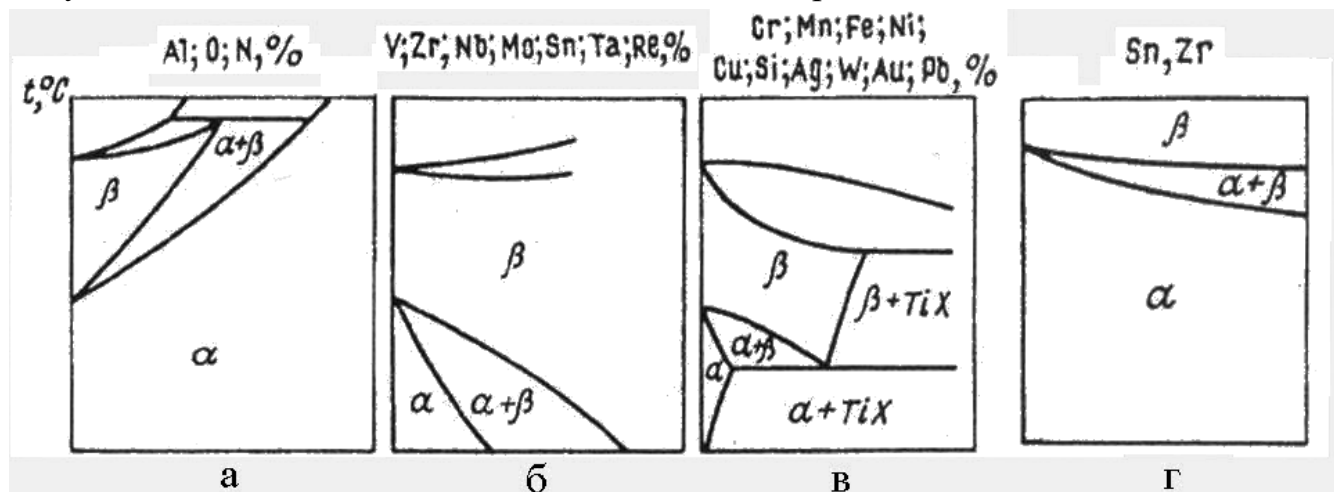


Рисунок 2.2 Діаграми стану систем титан – легуючий елемент (схеми): а – Ti– α -стабілізатори; б – ізоморфні β -стабілізатори; в – Ti-евтектоїдні β -стабілізатори; г – Ti-нейтральні елементи.

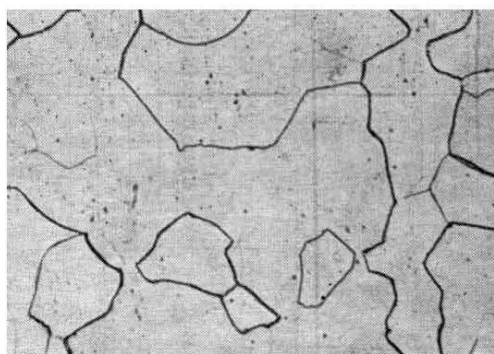
Легування змінює структуру титанових сплавів через вплив на температуру поліморфного перетворення та утворення хімічних сполук Ti з атомами легувальних елементів. Основними фазами сплавів в рівноважному стані є тверді розчини легувальних елементів в Ti_α та в Ti_β (α - та β -фази). Після гартування утворюється мартенситна структура.

Титанові сплави класифікують за різними ознаками:

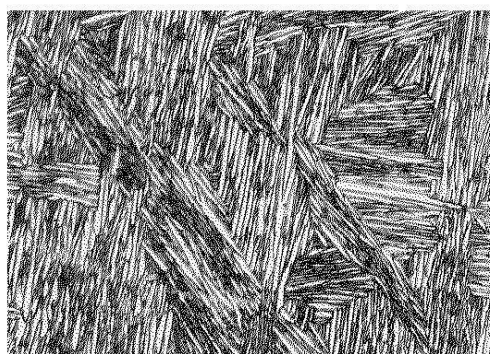
- за технологією виготовлення (деформівні, ливарні та порошкові);
- за здатністю зміцнюватися термічною обробкою (такі, що зміцнюються і що не зміцнюються);
- за механічними властивостями (сплави нормальної міцності, високоміцні, жароміцні, високопластичні);
- за структурою в рівноважному стані (після відпалу) або після гартування.

Маркуються літерами ВТ, ОТ, АТ (наприклад, ВТ8, ОТ4–1, АТ3). У ливарних сплавах додається літера Л (ВТ5Л), цифра вказує на умовний номер.

У відпаленому стані сплави поділяються на однофазні (зі структурою α - або β -твердого розчину, рис. 2.3, б). Термічною обробкою зміцнюються двофазні ($\alpha+\beta$)-сплави.



а



б

Рисунок 2.3 Мікроструктура сплавів титану у рівноважному стані: а – однофазний, б – двофазний сплав; $\times 200$

За структурою у відпаленому стані конструкційні деформівні титанові сплави розрізняють на α , псевдо- α , $(\alpha+\beta)$ –, псевдо- β – та β –сплави (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Механічні властивості титанових сплавів (ДСТУ 19807–74)

Марка сплаву	Клас за структурою	σ_B , МПа	δ , %, не менше	KCU, Дж/см ² , не менше	Термо-оброблення	Область застосування
Технічний титан VT1-0	α -сплав	390–540	20	100	Відпал	Хімічна промисловість, криогенні установки
VT5 VT5-1 OT4	α -сплав Псевдо α -сплав	700–950 750–950 700–900	10 10 12	50 40 40	Те ж » »	Деталі для роботи при криогенних і підвищених температурах до 450°C
VT6	$(\alpha+\beta)$ -сплав мар-тенситного класу	1100–1150	14	40	Відпал, гартування, ста-ріння	Зварні конструкції для тривалої роботи при 400°C, короткочасно до 750°C
VT14	Те ж	1150–1400	6	50	Те ж	
VT16	»	1150–1250	4	–	»	Деталі для тривалої роботи до 350°C
VT22	$(\alpha+\beta)$ -сплав	1100–1500	9	–	»	Деталі, що працюють при 500°C
VT15	Псевдо β -сплав	1300–1800	4	–	»	Деталі для тривалої роботи до 350°C, короткочасно до 750°C

До α -сплавів належать сплави титану з алюмінієм, а також сплави додатково леговані оловом чи цирконієм. Псевдо- α -сплави мають переважно α -структуру та велику кількість β -фази (до 8%) внаслідок додаткового легування β -стабілізаторами (*марганець, ванадій, ніобій, молібден та цирконій*). Двофазні ($\alpha+\beta$)-сплави, леговані алюмінієм та β -стабілізаторами, і в стабільному стані мають від 3 до 10% β -фази. У відпаленому стані мають гарне співвідношення міцності і пластичності, їх можна зміцнювати термічною обробкою. Однофазні β -сплави не мають промислового використання оскільки вони дорого коштують і для них характерна знижена питома міцність, до їх складу входять *ванадій, молібден та титан* в значній кількості (до 33%).

Псевдо- β -сплави мають β -структуру з невеликою кількістю α -фази. Для легування використовують молібден, ванадій, хром, цирконій (сумарна кількість легуючих елементів складає приблизно 20%). Міцність таких сплавів досягає 1000 МПа.

2.3. ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕФОРМІВНИХ І ЛИВАРНИХ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ ТИТАНУ

Найбільшого поширення набули α -сплави титану, оскільки вони технологічні і мають задовільну пластичність при обробці тиском. З цих сплавів виготовляють листи, смуги, плити, поковки, штамповані і заготовки, пресовані профілі, труби, дріт. Вони добре зварюються, мають високу корозійну стійкість в атмосферних умовах і у багатьох агресивних середовищах. Найменшу міцність має нелегований технічний (BT1-00, BT1-0) титан. Однак він має найвищі пластичність і корозійну стійкість. Технічний титан застосовується у конструкціях, що працюють довгостроково при температурах до 200...250°C.

Типові однофазні сплави зі структурою α -фази (BT5 і BT5-1) мають невисоку технологічну пластичність, але відзначаються гарною жароміцністю і використовуються в конструкціях, що працюють довгостроково при 400°C.

Псевдо- α -сплави, що містять, як вказувалося, крім α -стабілізаторів невелику кількість β -стабілізуючих елементів, добре штамнуються, гнуться, обробляються різанням, задовільно зварюються. З цієї групи сплавів у промисловості широко використовуються сплави загального призначення марок OT4-0, OT4-1, OT4. Вміст мангану в них приблизно однаковий, проте алюмінію – різний, завдяки чому рівень міцності змінюється в широких межах і значно зростає жароміцність. Ці сплави призначаються для виробів, що працюють довгостроково при температурах 350...500°C та короткочасно – при 700...800°C. Слід зазначити, що найбільш міцний і жароміцний сплав OT4-2 є найменш пластичним. Аналогічний вплив алюмінію на міцність і жароміцність спостерігається у сплавах марок

АТЗ, АТ4 і АТ6. Підвищують жароміцність титанових сплавів введенням, поряд із алюмінієм, нейтральних зміцнювачів – олова і цирконію (сплави ВТ20, ТС5 і ВТ5–1). Псевдо- α -сплави відносять до сплавів середньої міцності. Вони термічно стабільні і малочутливі до зміцнювальної термічної обробки. На цю групу сплавів припадає максимальний обсяг виробництва напівфабрикатів, що застосовуються у машинобудуванні.

Двофазні ($\alpha+\beta$) – сплави марок ВТЗ–1, ВТ14, ВТ16, ВТ22 і ВТ23 після відпалу (рис. 2.4) мають задовільні технологічні властивості. Тому у відпаленому стані з них, як правило, виготовляють конструкції, що потім можна піддавати зміцнювальній термічній обробці – гартуванню і старінню. Границя міцності двофазних сплавів після такої термічної обробки може досягати 1400 МПа і більше. Двофазні термічно зміцнювані сплави застосовують для виготовлення навантажених конструкцій, що працюють при температурах до 400°C. Сплави ВТ15 і ТС6 є ще більш легованими і у рівноважному стані належать до псевдо- β -сплавів. Після гартування з β -області вони майже цілком зберігають β -структуру і мають чудову пластичність. Однак переваги цих сплавів, як конструкційного матеріалу, виявляються після гартування і старіння.

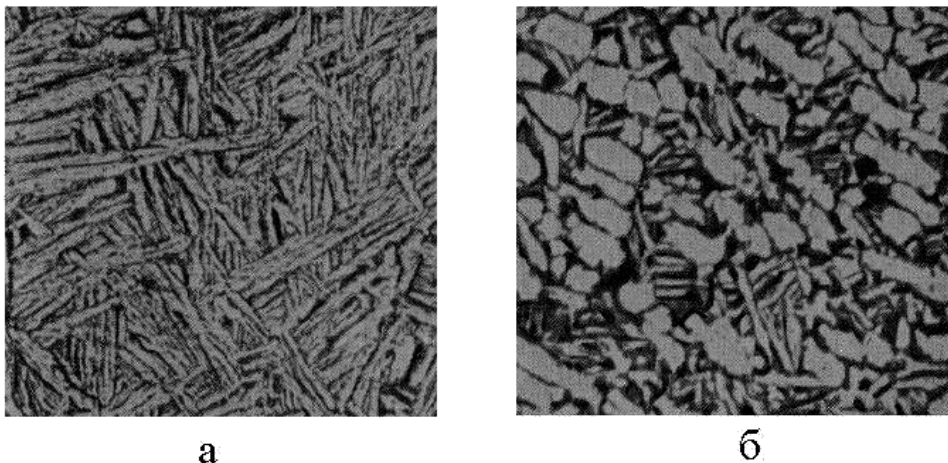


Рисунок 2.4 Мікроструктури сплаву ВТЗ після деформації та ізотермічного відпалу: а – в $(\alpha+\beta)$ –області, $\times 250$; б – в α –області, $\times 250$

Широкому застосуванню високоміцних ($\alpha+\beta$)– і псевдо– β –сплавів у зварних конструкціях перешкоджає недостатня пластичність зварних з'єднань у термічно зміцненому стані.

Крім розглянутих вище, значний інтерес становлять титанові сплави зі спеціальними властивостями: для роботи при криогенних температурах, в особливо агресивних середовищах тощо. У наш час для виготовлення деталей і конструкцій, що працюють при криогенних температурах, рекомендуються титанові сплави марок ВТ1–0, АТ2, ОТ4, ВТ5–1, ВТ6С і ВТ14. Перші чотири марки можна використовувати при температурах до мінус 253°С, а дві останні – при

температурах не нижче за мінус 193°C.

Слід зазначити, що висока пластичність і надійність роботи титанових сплавів при низьких температурах можуть бути гарантовані тільки за умови вмісту домішок, що не перевищують, %: 0,1 O₂; 0,3 N₃; 0,04 C і 0,008 H₂.

Хоча титан є корозійно стійким металом, однак у деяких середовищах, наприклад, у безкисневих кислотах, його стійкість недостатня. Її можна підвищити шляхом легування великою кількістю молібдену (близько 30%), а також невеликими домішками паладію або платини. Такі сплави починають застосовувати в спеціальних галузях хімічної промисловості.

Сплав 4201 має стабільну β-структуру; його рекомендують для апаратури, що зазнає при підвищених температурах впливу агресивних середовищ, які містять сірчану, соляну, мурашину кислоти.

Сплав 4201 має гарну технологічну пластичність і зварюється усіма видами зварювання.

Ливарні титанові сплави почали застосовувати для виробництва фасонних виливків значно пізніше, ніж для виробництва деформівних напівфабрикатів. Обумовлено це було необхідністю використовувати спеціалізоване ливарне устаткування, що дозволяє заливати форми у вакуумі. Крім того, хімічна активність розплавленого титану і висока температура лиття зумовили певні високі вимоги до матеріалу ливарних форм. Найкращою вогнетривкою основою формувальних сумішей для титанового лиття виявився графіт.

Для фасонного лиття використовують титанові сплави тих самих сполук, що і для виробництва деформівних напівфабрикатів. В кінці марки ливарного сплаву додають літеру Л (наприклад, BT5Л, BT20Л). Відмінність ливарного сплаву від деформівного полягає у тому, що у першому допускають більший вміст домішок.

Промислові титанові сплави не містять евтектик. Разом із тим, їхній інтервал кристалізації не перевищує 50...70°C, що зумовлює цілком задовільні ливарні властивості.

Міцність фасонних виливків знаходиться практично на тому ж рівні, що і zdeформованих напівфабрикатів, а показники пластичності, ударна в'язкість і утомні характеристики – істотно нижчі. Наприклад, у прутків зі сплавів BT5 $\delta \geq 10\%$ і KCU ≥ 50 Дж/см², а виливок зі сплаву BT5Л $\delta \geq 6\%$ і KCU ≥ 30 Дж/см². Це зумовлено тим, що при литті формується структура із великим β-зерном і пластинчастою α-фазою, яку термічна обробка не виправляє. Технічно чистий титан BT1Л і сплав BT5Л, що мають добрі корозійну стійкість і зварюваність, широко використовують для виливків деталей хімічного машинобудування, зокрема

корпусів і робочих коліс насосів для перекачування агресивних рідин, патрубків, арматури тощо. Виливки з титанових сплавів дуже щільні і при гідравлічних випробуваннях брак практично відсутній.

Структура сплаву ВТ5Л представлена в основному пластинчастою α -фазою всередині вихідного β -зерна. Сплав не схильний до утворення гарячих тріщин, добре зварюється.

Сплави ВТ20Л, ВТ6Л і ВТ9Л використовують в авіаційній промисловості, зокрема, замість штамповок. Сплави ВТ20Л і ВТ9Л застосовують як жароміцні для роботи при температурах до 500°C. Ресурс роботи навантажених литих деталей з титанових сплавів підвищують за допомогою високотемпературної газостатичної обробки.

2.4. ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

Титанові сплави піддають таким видам термічної обробки:

- відпалу для зняття залишкових напружень та наклепу (рекристалізаційний відпал);
- відпалу з фазовою перекристалізацією;
- гартуванню з наступним старінням;
- азотуванню.

Відпал для зменшення залишкових напружень від попередньої обробки (різання, зварювання тощо) виконують, залежно від хімічного складу сплавів, в інтервалі температур 500–650°C з видержкою 1–15 год.

Рекристалізаційний відпал застосовують для усунення наклепу після холодної обробки сплавів тиском. Температура відпалу має бути вищою за температурний поріг рекристалізації, але для уникнення зміни фазового складу не повинна перевищувати температури переходу в β -стан. Відпал здійснюється переважно при 700–800°C у вакуумі чи нейтральній атмосфері для захисту від насичення газами та окрихчування.

Відпал з фазовою перекристалізацією використовують для подрібнення зерна. Для цього застосовують комбіновану обробку: відпал з неповною фазовою перекристалізацією з $(\alpha+\beta)$ -стану (нагрів дещо нижче $T_{\text{пл}}$) та наступний рекристалізаційний відпал.

Гартування для більшості титанових сплавів виконують з інтервалу температур 850–950°C найчастіше у воді. Глибина прогартуваності титанових сплавів відносно мала і для більшості сплавів не перевищує 25 мм.

В результаті гартування утворюється *мартенсит* – пересичений твердий розчин легувальних елементів у T_{α} (рис. 2.5). Оскільки основні легувальні

елементи титанових сплавів є елементами заміщення, то вони незначно зміцнюють сплав. Для отримання необхідних властивостей після гартування проводять *старіння*.

Старіння забезпечує зміцнення за рахунок виділення дисперсних фаз. Режим старіння залежить від багатьох чинників. Старіння проводять переважно в інтервалі 450–600°C протягом 1–16 год.



Рисунок 2.5 Мартенситна структура загартованого сплаву BT3–1, x300

Азотування застосовують для підвищення зносостійкості титанових сплавів. Азотують вироби при температурі 850–950°C протягом 10–50 год в атмосфері сухого азоту. Внаслідок азотування на поверхні утворюється нітридний шар завтовшки до 0,2 мм з твердістю 1000–1200 HV.

2.5 ЗАСТОСУВАННЯ ТИТАНУ І ЙОГО СПЛАВІВ У ХІМІЧНОМУ ТА ХАРЧОВОМУ МАШИНОБУДУВАННІ

Переважну більшість промислових титанових сплавів становлять α –, $(\alpha+\beta)$ –, β –тверді розчини, або тверді розчини з досить невеликою кількістю хімічних сполук. Ведуться роботи зі створення титанових сплавів на основі хімічних сполук, головним чином алюмінідів і нікелідів титану.

Конструкційні та високоміцні титанові сплави становлять α –, $(\alpha+\beta)$ –, β –тверді розчини, що дозволяє забезпечувати оптимальне співвідношення характеристик міцності і пластичності.

Жароміцні титанові сплави становлять α –, $(\alpha+\beta)$ – тверді розчини з більшою або меншою кількістю хімічної сполуки, що забезпечує їм підвищену жароміцність при мінімальному зниженні пластичності.

Наведені в табл. 2.2 основні групи промислових титанових сплавів мають свої технологічні особливості та області застосування в хімічному машинобудуванні.

Таблиця 2.2

Класифікація титанових сплавів (ДСТУ 19807–74)

Група сплавів	Марка сплаву	Середній хімічний склад, % (мас.)
α -сплави	BT1–00 BT1–0 BT5 BT5–1	Нелегований титан Те ж Ti – 5Al – 2,5Sn Ti – 5Al – 2,5Sn
псевдо α -сплави	OT4–0 OT4–1 OT4 BT20	Ti – 0,8Al – 0,8Mn Ti – 1,5Al – 1,0Mn Ti – 3,5Al – 1,5Mn Ti – 6,0Al – 1,0Mo – 1V – 2Zr
$(\alpha+\beta)$ -сплави мартен- ситного класу	BT6C BT6 BT14 BT16 BT23	Ti – 5Al – 4,0V Ti – 6Al – 4,5V Ti – 4,5Al – 3Mo – 1V Ti – 2,5Al – 5Mo – 5V Ti – 5,5Al – 2Mo – 4,5V – 1Cr – 0,7Fe
$(\alpha+\beta)$ -сплави перехід- ного класу	BT22 BT22И BT30	Ti – 5Al – 5Mo – 5V – 1Fe – 1Cr Ti – 2,5Al – 5Mo – 5V – 1,0Fe – 1,0Cr Ti – 11Mo – 6Sn – 4Zr
псевдо β -сплави	BT35 BT32 BT15	Ti – 3Al – 1,5Mo – 15V – 3Sn – 3Cr Ti – 2,5Al – 8,5Mo – 8,5V – 1,2Fe – 1,2Cr Ti – 3Al – 7Mo – 11Cr
β -сплави	4201	Ti – 33Mo

Стійкість титану до хлормістких оксидних середовищ обумовила його широке використання в хімічній промисловості для виробництва хрому, хлоратів, діоксиду хлору, лимонної кислоти, для виготовлення устаткування для целюлоз–паперової промисловості. При цьому устаткування з титанових сплавів характеризується високою довговічністю і низькими витратами на поточний ремонт. Завдяки високій стійкості до хлоридної дії титанові контейнери доцільно використати для поховання радіоактивних відходів у спеціальних підземних шахтах і галереях.

У вітчизняній промисловості титанові сплави застосовуються, головним чином, у хімічному, важкому, енергетичному і транспортному машинобудуванні, машинобудуванні для легкої, харчової промисловості та у побутових приладах.

Стандартне устаткування, в основному, виготовляється заводами хімічного машинобудування. Номенклатура цих заводів досить широка і включає в себе запірну (вентилі, кульові та зворотні крани), помпувальну (насоси), ємнісну та спеціальну апаратури.

Висока корозійна стійкість у різних середовищах робить сплави титану перспективними для застосування в харчовій промисловості. Деякі харчові

продукти можуть псуватися від контакту зі сталлю, тоді як титан не надає їм стороннього запаху, кольору або смаку. Завдяки пластичності та в'язкості при низьких температурах, титанові сплави застосовуються в холодильній і криогенній техніці.

Усе більше розширюється застосування титану в спортивному інвентарі (спортивні велосипеди, альпіністське спорядження).

Титан використовується в медицині завдяки повній біологічній сумісності з тканинами людського організму. Титан не відторгається кістковою і м'язовою тканинами та легко обростає ними. За своєю біологічною інертністю він перевершує всі відомі корозійностійкі сталі і сплави. Титан і його сплави (наприклад, VT6 і VT14) є ідеальним матеріалом для протезування. Поєднання високої питомої міцності та практично ідеальної сумісності титану і його сплавів з тканинами людського організму робить їх найбільш перспективним матеріалом для виготовлення протезів (заміна кісток), імплантів, зубних металокерамічних коронок і каркасів мостоподібних протезів, базисів знімних зубних протезів. В ортопедичній хірургії титанові сплави використовують як протези плечових, стегнових, колінних суглобів, а також для з'єднання і зрощування переламів. Їх застосовують для виготовлення серцево-судинних клапанів і електронних стимуляторів.

В Японії широко використовують листовий титан для зовнішнього обшивання дахів, внутрішнього інтер'єра.

На титанових виробках методом анодного окислювання можна утворювати шари оксидів різної товщини, що змінюють колір поверхні. Регулюючи рівень напруг і час оброблення, можна одержати темно-синій, ясно-синій, жовтий, рожевий, бірюзовий, зелений кольори. Відпалювання титанових виробів в атмосфері азоту або іонноплазмове оброблення дозволяють формувати на поверхні стійкі нітриди титану золотих відтінків. Цю технологію використана для реставрації пам'ятників і виготовлення хрестів і дахів на відновлюваних і заново побудованих церковних спорудах.

Широке впровадження титанових сплавів поки стримується їх порівняно високою вартістю. Пояснюється це високою спорідненістю титану до багатьох елементів і міцністю хімічних зв'язків у його природних сполуках. Удосконалення технологічних процесів виробництва і широкі перспективи застосування титанових сплавів у різних галузях дозволяють упевнено стверджувати, що вони стануть найважливішими конструкційними матеріалами найближчого майбутнього.

ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Мікроскопи металографічні МИМ–7, мікрошліфи деформівного та відпаленого технічного титану ВТ1–0, загартованого з β -поля титана ВТ1–0 і сплавів ВТ5, ОТ4, ВТ3, ВТ6, ВТ5Л у різному структурному стані, атлас мікроструктур.

ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Отримайте протравлені мікрошліфи титанових сплавів відомого хімічного складу: ВТ1–0, ОТ4, ВТ3, ВТ5, ВТ6, ВТ5Л у деформівному стані та після рекристалізаційного відпалу.
2. Розгляньте мікроструктури зразків за збільшень у 100...1000 разів та схематично їх замалюйте.
3. За атласом охарактеризуйте мікроструктури кожного сплаву.
4. За маркою сплаву розшифруйте його хімічний склад, класифікуйте за структурою та призначенням, охарактеризуйте властивості.
5. Вкажіть можливі галузі застосування досліджуваних сплавів.

ЗМІСТ І ВИМОГИ ДО ЗВІТУ

У звіті необхідно:

1. Вказати порядковий номер і назву лабораторної роботи.
2. Висвітлити мету роботи.
3. Сформулювати основні поняття про структуру титанових сплавів.
4. Подати схематичні рисунки мікроструктур зразків досліджуваних сплавів з характеристикою особливостей їх будови.
5. Кожен рисунок супроводжувати підписом та коментарем, у якому за літературними даними охарактеризувати особливості структури та застосування титанових сплавів.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Титан, його властивості. Порівняйте властивості Al і Ti. В чому переваги титану?
2. Вплив водню на структуру і властивості титану.
3. За якими ознаками класифікують титанові сплави?
4. Вплив α -стабілізаторів на структуру і властивості титану.
5. Вплив β -стабілізаторів на структуру і властивості титану.

6. Вплив нейтрально зміцнювальних елементів на структуру і властивості титану.
7. Склад, структура та властивості однофазних α -титанових сплавів.
8. Склад, структура та властивості однофазних β -титанових сплавів.
9. Склад, структура та властивості двофазних ($\alpha+\beta$) – титанових сплавів.
10. Термічна обробка титанових сплавів.
11. В яких галузях промисловості використовують титанові сплави?
Поясніть, чому?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

ВПЛИВ РАФІНУВАННЯ ТА МОДИФІКУВАННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

Мета роботи – встановити вплив рафінування та модифікування на ливарні властивості алюмінієвого сплаву.

Застосовне обладнання та матеріали

Плавильна піч, модельно–опочне оснащення, формувальний інструмент, формувальна суміш, шихтові матеріали, датчик температурний з реєструючим приладом, металевий “дзвіночок”, лабораторні терези, вимірювальний інструмент.

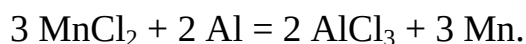
ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Найбільше розповсюдження у промисловості серед кольорових сплавів одержали алюмінієві ливарні сплави системи Al–Si. За вмістом кремнію вони близькі до евтектичних, тому мають кращі ливарні та технологічні властивості, невелике ливарне зсідання, добру рідкотекучість, не прихильні до утворення тріщин при утрудненому зсіданні, добре обробляються різанням після термічної обробки та мають добру корозійну стійкість. Усі вказані властивості дозволяють виготовляти з цих сплавів деталі для будь–якої галузі промисловості практично усіма відомими способами лиття.

Алюмінієві сплави виплавляють у відкритій атмосфері у печах різного типу. Під час плавлення алюмінієві сплави окислюються та насичуються воднем. Крім того, в алюмінієвих сплавах присутні неметалеві включення у вигляді нерівномірно розподілених по об’єму макроскопічних великих частинок, плин та у вигляді тонкодисперсної зависі розміром 1 мкм, які розподілені відносно рівномірно. Через велику поверхню та малу різницю густини плин та включень від густини розплавів спливання та осадження їх йде повільно, тому велика частина включень і плин утягується у виливок, що може стати причиною негерметичності, осередку корозії, зниження механічних властивостей, концентрації напружень. Коагуляція навкруги неметалевих включень і плин пухирців водню призводить до газової пористості, що ще більше знижує якість внаслідок зменшення перерізу стінки виливка.

Очищення від неметалевих включень і розчиненого водню у промисловості називається *рафінуванням* і здійснюється такими методами: відстоюванням, продуванням розплаву інертними та активними газами, обробленням хлористими солями та флюсами, вакуумуванням і фільтрацією крізь сітчасті, зернисті фільтри, електрофлюсовим рафінуванням.

Хлористі солі (хлористий марганець MnCl_2 , гексахлоретан C_2Cl_6 , чотирьохлористий вуглець C_2Cl_4 , хлористий цинк ZnCl_2 та ін.), які застосовуються для рафінування, через гігроскопічність піддають сушінню. Просушені хлористі солі вводять у розплав за допомогою “дзвіночка”, який занурюють на дно тигля, у кількості 0,02...0,05% хлористого цинку або хлористого марганцю (при температурі 700...730°C), або 0,3...0,7% гексахлоретану (при температурі 740...750°C). Рафінування хлоридами ефективно при малій питомій поверхні розплаву (у глибоких тиглях), при безперервному переміщенні “дзвіночка” по дну тигля до припинення виділення газоподібних продуктів реакції та дальшого устоювання розплаву протягом 5...10 хвилин для видалення дрібних пухирців газу. Хлористі солі взаємодіють з алюмінієм за реакцією



Якість рафінування визначається за макроструктурою проби. Забрудненість оцінюється розмірами крапкових розривів оксидної плівки, яка становить собою сліди пухирців водню, який виділяється під час кристалізації сплаву, а також розмірами макрозерна на поверхні проби. Малому вмісту зависей відповідає крупне зерно злому.

Під час виготовлення сплавів, крім введення легувальних добавок і очищення розплаву, інколи доводиться виконувати *модифікування*. Операція модифікування припускає вплив на розплав, який, не змінюючи істотно складу сплаву, впливає на структуру затверділого металу. Звичайно добиваються зміни макро– та мікроструктури в такому напрямі, щоб підвищити пластичні та міцнісні властивості металу. Модифікування здійснюється шляхом введення до розплаву невеликих кількостей елементів–модифікаторів та впливом на метал при твердінні коливаннями різної частоти. Звичайно внаслідок модифікування спостерігається або подрібнення та змінення внутрішньої будови евтектики або окремих фазових складових. Механізм модифікування в багатьох випадках залишається остаточно невиразним. Із загальноприйнятих пояснень слід згадати про запалювальну дію модифікаторів, яка виявляється з–за того, що модифікатор утворює з компонентом сплаву тугоплавкі ізоморфні частинки, які служать центрами кристалізації для основного розплаву.

Модифікування шляхом введення елемента–модифікатора є звичайною операцією легування сплаву. Через те, що кількість модифікатора невеличка (не більше 0,3%) та він становить собою або надто легкоплавкий, або надто тугоплавкий метал, який дуже окислюється, введення його до розплаву найчастіше здійснюється в результаті обмінних реакцій солей з металом або використання

лігатур. За допомогою солей вводять натрій у доевтектичні та евтектичні силуміни для подрібнення евтектики алюміній–кремній. При цьому користуються сумішшю фтористих і хлористих солей натрію. Солі перед використанням повинні бути старанно просушені. У практиці ливарного виробництва застосовують такі сольові композиції: а) подвійний модифікатор, який містить 67% NaF і 33% NaCl, при температурі 780...810°C і б) потрійний модифікатор, який містить 62,5% NaCl, 25% NaF і 12,5% KCl, при температурі 730...750°C. У кількості 1...2% від маси розплаву сольову композицію засипають на поверхню розплаву, витримують 12...15 хвилин, після чого корочку солей січуть та замішують у розплав на глибину 50...100 мм. При цьому має місце взаємодія



Після виведення продуктів реакції розплав повинен бути розлитий по формах протягом 50...60 хвилин.

Якість модифікування оцінюється за зломом проб та мікроструктурою. Злом модифікованого сплаву характеризується дрібним зерном ясно–сірого кольору. Довжина частинок кремнію в мікроструктурі немодифікованого сплаву складає 100, добре модифікованого сплаву – 3...5 мкм.

ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1 Розплавити алюмінієвий сплав. Перегріти його до температури 780°C.

2 Заформувати дев'ять ливарних форм для заливання проб на рідкотекучість, об'ємне та лінійне зсідання.

3 Приблизно третю частину алюмінієвого сплаву вилити з печі до ливарного ковша та при температурі розплаву 740...750°C залити три ливарні форми для визначення рідкотекучості, об'ємного та лінійного зсідання сплаву.

4 Приготувати наважку рафінуючої солі: зважити просушений гексахлоретан у кількості 0,3% від маси розплаву, що залишився у печі, розташувати цю наважку, загорнувши її у папір, в підігрітому до 120...150°C металевому “дзвіночку”.

5 Зробити рафінування розплаву: опустити “дзвіночок” на дно тигля з розплавом. Після закінчення барботажу “дзвіночок” вийняти, зняти шлак і зробити видержку протягом 10 хвилин.

6 Приблизно половину розплаву вилити з печі до ливарного ковша та при температурі 740...750°C залити три ливарні проби: на рідкотекучість, об'ємне та лінійне зсідання.

7 Приготувати наважку потрібного модифікатора у кількості 1,5% від маси розплаву, що залишився у печі.

8 Здійснити модифікування розплаву: наважку модифікатора засипати на поверхню розплаву, зробити видержку протягом 12...15 хвилин, після чого корочку солей посікти та замішати на глибину 50...100 мм у розплав, зняти шлак і дати видержку до 5...7 хвилин.

9 Увесь розплав з печі вилити до ливарного ковша та при температурі 740...750°C залити три ливарні проби: на рідкотекучість, об'ємна та лінійна усадка.

10 Зробити усі необхідні виміри та розрахунки. Приготувати зломи зразків вільної лінійної усадки.

11 Одержані результати занести до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Узагальнені результати дослідження алюмінієвих сплавів

Номер сплаву	Рафінування	Модифікування	Одержані результати				
			Рідкотекучість, мм	Глибина усадкової раковини, мм	Лінійна усадка, %		Макроструктура
					вільна	утруднена	
1	—	—					
2	+	—					
3	+	+					

Зміст звіту

1 Назва, мета, стислий опис загальних відомостей та порядок виконання практичної роботи.

2 Таблиця узагальнених результатів дослідження.

3 Рисунки зломів зразків.

4 Висновки.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ЛИВАРНИХ СПЛАВІВ НА ЇХ МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

Мета роботи – засвоїти методику випробування на розтягнення, визначити вплив хімічного складу ливарних сплавів на межі міцності, текучості, пластичні властивості, модуль пружності, теоретичну міцність.

Матеріали, обладнання та інструмент: Розривна випробувальна машина для статичних випробувань металів Р-10, зразки металів і ливарних сплавів для випробувань на розтягнення, папір для запису діаграм розтягнення, штангенциркуль.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Випробування на розтягнення – найбільш поширений метод статичних механічних випробувань. За допомогою цього методу можна визначити важливі механічні властивості сталі та чавуну як конструкційних матеріалів. До цих властивостей належать:

– межа пропорційності (умовна) $\sigma_{\Pi} = \frac{P_{\Pi}}{F_0}$ – напруження, за яким порушується пропорційне навантаженню зростання деформації. Коли $P < P_{\Pi}$, то, якщо зняти навантаження деформація зникає. Така деформація зветься пружиною;

– межа пружності $\sigma_{0,01}$ або $\sigma_{0,05}$ – напруження, що відповідає залишковій деформації 0,01 або 0,05 відсотка від початкової довжини зразка;

– межа текучості (фізична) σ_r – найменше напруження, за якого зразок деформується без явного збільшення розтягуючого навантаження;

– межа текучості (умовна) $\sigma_{0,2} = \frac{P_{\Pi}}{F_0}$ – напруження при якому подовження досягає 0,2 % від розрахункової довжини зразка. У деяких випадках можливі значення цієї величини $\sigma_{0,01}$;

– межу міцності (тимчасовий опір) $\sigma_B = \frac{P_{\Pi}}{F_0}$ – напруження, відповідне найбільшому навантаженню в момент руйнування проби або зразка;

– дійсний опір розтягування $S = \frac{P_K}{F_K}$;

– відносне положення $\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} * 100\% = \frac{\Delta l}{l_0} * 100\%$ – відношення приросту довжини зразка в момент руйнування до початкової довжини зразку;

– відносне звуження $\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} * 100\% = \frac{\Delta F}{F_0} * 100\%$.

Машини для випробувань на розтягнення мають спеціальний пристрій, який фіксує на папері діаграму розтягнення. Типова діаграма розтягнення наведена на рис. 4.1.

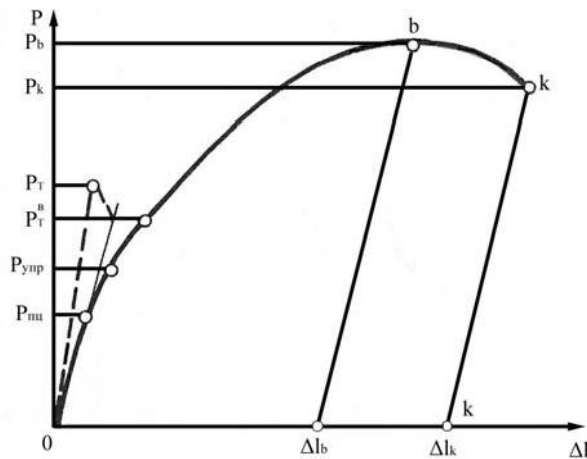


Рисунок 4.1 – Типова діаграма розтягування пластичних ливарних сплавів

Згідно стандарту температура при випробуванні на розтягнення повинна дорівнювати 20 ± 10 °C.

Зразки для випробування на розтягування виготовляються циліндричними або плоскими з розрахунковою довжиною $l_0 = 5,65 * \sqrt{F_0}$ (короткі) або $l_0 = 11,3 * \sqrt{F_0}$ (довгі). Литі зразки і зразки з крихких матеріалів можна виготовляти з розрахунковою довжиною $l_0 = 2,82 * \sqrt{F_0}$.

Для циліндричних зразків як основні беруть зразки діаметром $d_0 = 10$ мм, розрахунковою довжиною $l_0 = 50$ мм і 100 мм (рис. 4.2). Для визначення межі міцності при розтягуванні сірого чавуну основними є проби діаметром 20 мм. Під час виготовлення зразків на металорізальних верстатах температура зразків не повинна перевищувати $100-120$ °C, не допускається наклеп поверхневого шару. Припуск на останній прохід перед шліфуванням має дорівнювати не більше $0,3$ мм, припуск на шліфування – $0,1-0,3$ мм, шліфування виконують в умовах інтенсивного охолодження рідиною. Шорсткість R_a робочої частини зразка повинна бути не більше $0,63$, а головок R_z – не більше 20 мкм.

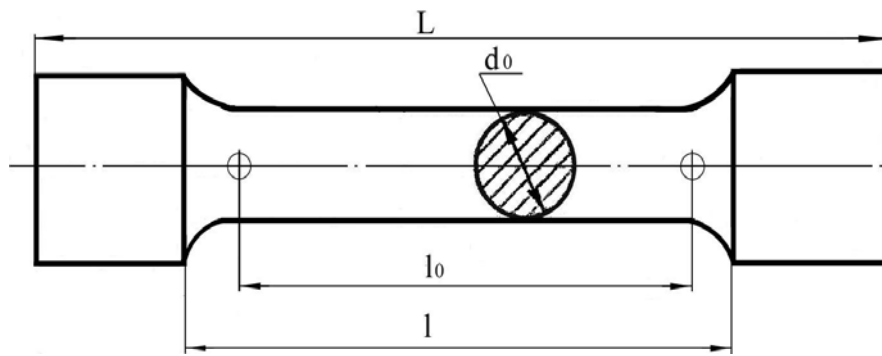


Рисунок 4.2 – Циліндричний зразок для випробувань на розтягнення

Машина Р–10 призначена для випробувань на розтягнення (рис. 4.3) і складається із навантажуючого пристрою і пульта керування. Навантажуючий пристрій призначений для деформування і руйнування зразку. Навантаження зразка здійснюється переміщенням траверси 2, яка пов'язана за допомогою тяг 3 і попереки 4 із толоком гідравлічного циліндру 5. Навантаження на зразку визначається за тиском мастила у робочому циліндрі 5 за допомогою спеціального торсійного силовимірювача 1, розміщеного в пульті керування.

Пульт керування призначений для керування процесом навантаження зразку і контролювання за величинами навантаження і деформацій.

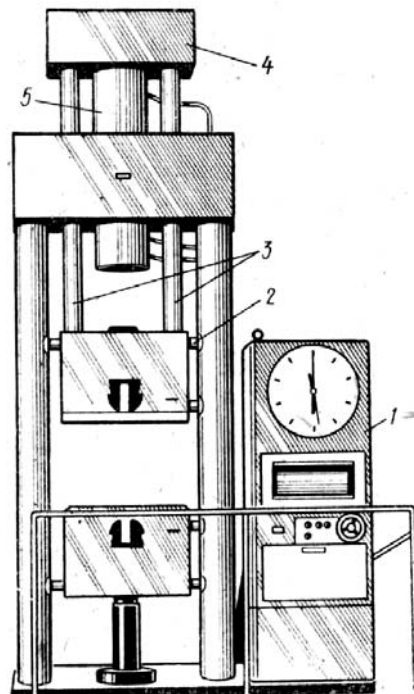


Рисунок 4.3 – Машина для випробувань металів і сплавів на розтягнення Р–10

До складу пульту керування входить помповий пристрій з системою керування, вимірювач навантаження і діаграмний пристрій для запису діаграми «навантаження – деформація».

Навантажуючий пристрій і пульт керування монтуються на міцному фундаменті і з'єднуються трубопроводами.

Технічні дані машини Р–10. Найбільше навантаження – 100 кН. Число діапазонів навантаження – 3.

Діапазон вимірювання навантаження: від 4 до 20 кН; від 10 до 50 кН; від 20 до 100 кН.

Масштаби діаграмного запису деформації: 5:1, 50:1.

Діапазон швидкостей руху захвату без навантаження від 0 до 200 мм / хв.

Зміст роботи

Підготувати машину і зразки до випробування. Виконати випробування зразків із міді, латуні, алюмінію, силуміну, сталі з записом діаграми розтягування для визначення σ_B і σ_T . Визначити залежність цих показників від хімічного складу сплаву. Визначити модулі пружності і теоретичну міцність досліджуваних сплавів.

Порядок виконання роботи

- 1.Накреслити ескізи зразків з розмірами.
- 2.Підготувати зразки до випробування (перевірити якість виготовлення, виконати необхідні виміри, необхідні для розрахунків розміри занести у табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Розрахункові розміри

№ п / п	Матеріал	№ зразка	l_0	l_K	Δl	d_0	d_K	F_0	F_K	ΔF

- 3.Підготувати машину до випробування.
- 4.Провести випробування.
- 5.Виконати необхідні виміри після випробування зразків, результати занести до табл. 1.2.
- 6.Зробити необхідні обчислення, результати занести до табл. 4.2.
- 7.Зробити висновки.

Таблиця 4.2

Результати випробувань

№ п / п	Матеріал	№ зразка	Межа міцності		Межа текучості		Дійсна межа міцності		Відносні			
			P_0	σ_B	P_T	σ_T	P_K	S_K	Подовження		Звуження	
									Δl	δ	ΔF	Ψ

Методика проведення роботи

На головках зразків клеймами позначити марку сплаву, на робочій довжині навести поділки через кожні 5 або 10 мм керном. Можна позначити довжину двома поділками, виконаними за допомогою керна. Вимірити початкову розрахункову довжину l_0 з точністю до 0,1 мм за допомогою штангенциркуля.

Для визначення робочого перерізу F_0 виміряти в трьох місцях робочої частини зразку (по кінцях і всередині) діаметр d_0 , обчислити площину перерізу для кожного вимірювання і в табл. 1.1 занести найменші значення. Обчислені величини площини перерізу заокруглити відповідно до табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Величини заокруглення площини перерізу зразків

Площина перерізу, мм ²	Заокруглення, мм
від 2 до 10	до 0,01
від 10 до 20	до 0,05
від 20 до 100	до 0,1
від 100 до 200	до 0,5
більше 200	до 1,0

Внести в журнал випробувань маркірування і результати вимірів. Закріпити зразок у пристосуванні машини і розтягнути його із записом діаграми. Визначити зусилля P_B і P_K за шкалою вимірювача навантаження на пульті керування машиною. Межу міцності, а також зусилля P_B і P_K можна визначити по діаграмі розтягування (див. рис. 4.1).

Коли на діаграмі «навантаження – деформація» є, так звана, платформа

текучості – горизонтальна лінія, P текучості визначається безпосередньо (див. рис. 4.1).

Коли на діаграмі розтягнення немає платформи текучості, то треба визначити навантаження $P_{0,2}$ умовної межі текучості, для чого на діаграмі проводиться пряма ОА, яка збігається з прямолінійною частиною діаграми розтягнення (рис. 4.4). Через точку О проводиться вісь ординат ОР. Від точки О відкладається відрізок ОВ, який дорівнює завданому залишковому подовженню, тобто 0,2% від початкової розрахункової довжини зразка, збільшеному з урахуванням масштабу діаграми розтягнення. З точки В треба провести пряму, паралельну прямій ОА. Точка Д пересічення прямої ВС з кривою розтягування визначить навантаження $P_{0,2}$, яке відповідає умовній межі текучості.

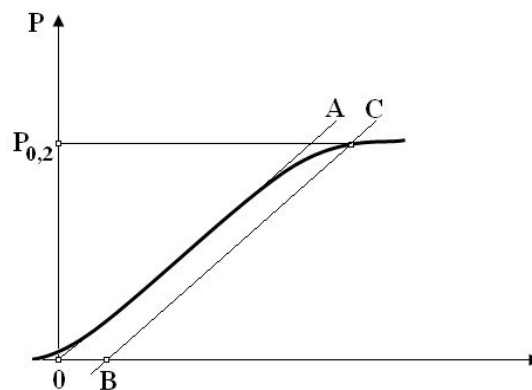


Рисунок 4.4 – Визначення по діаграмі розтягування навантаження умовної межі текучості

Для визначення розрахункової довжини зразку після руйнування l_0 половинки останнього складають, щільно притиснувши одну до одної. Довжину поміж кернами вимірюють з точністю 0,1 мм. Далі за наведеною вище формулою розраховується відносне подовження.

Для визначення відносною звуження вимірюють у круглому зразку найменший діаметр (у двох взаємно перпендикулярних напрямках) з точністю до 0,1 мм. Визначають середній діаметр d_K .

Обчислити площину перерізу F_K . За результатами визначення P_T , P_B , P_K та розмірами l_0 , l_K , F_0 , F_K обчислити за наведеними вище формулами σ_T , σ_B , S_K , δ , ψ і занести результати в табл. 3.2.

Модуль пружності визначається за формулою:

$$E = \frac{\sigma_{\Pi}}{\varepsilon}, \quad (4.1)$$

Вихідні дані для обчислення P_{Π} і ε визначають по діаграмі розтягування (рис. 4.5). На ділянці діаграми, що знаходиться в галузі пружної деформації, наноситься точка Е. З цієї точки треба провести пряму, перпендикулярну вісі

ординат і визначити зусилля P_{Π} .

Пряма, проведена з точки Е перпендикулярно вісі абсцис, дозволяє (з урахуванням масштабу) визначити пружну деформацію, що відповідає навантаженню P_{Π} . Для цього треба вимірити довжину відрізка ОК.

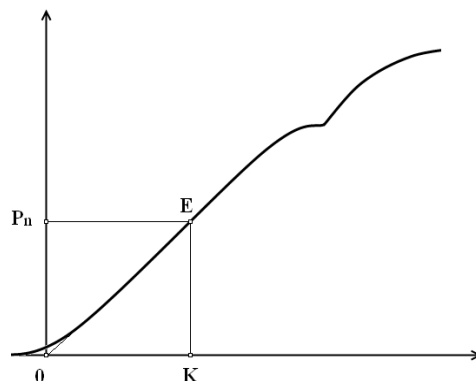


Рисунок 4.5 – Визначення навантаження і відповідної цьому навантаженню деформації на ділянці пружної деформації

Тоді, $\varepsilon = \frac{OK}{M} * l_0$ (M – масштаб деформації на діаграмі).

Напруження $\sigma_{\Pi} = \frac{P_0}{F_0}$

Теоретична міцність металів і сплавів визначається за формулою:

$$\sigma_{Th} = \frac{E}{10} \quad (4.2)$$

Контрольні запитання

1. Дати визначення основним міцнісним властивостям сплавів.
2. Пластичні властивості сплавів.
3. Вимоги щодо зразків, призначених для механічних випробувань на розтягування.
4. Будова машини для випробування сплавів на розтягування.
5. Визначення механічних властивостей сплавів по діаграмі «навантаження – деформація».
6. Визначення модулю пружності і теоретичної міцності сплавів.
7. Порівняння механічних властивостей чистих металів і сплавів на їх основі.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5

ПЛАВКА СПЛАВІВ НА ОСНОВІ МІДІ

Мета роботи – вивчити технологічний процес плавки сплавів на основі міді, перевірити якість і механічні властивості (твердість) сплаву.

Матеріали та обладнання: плавильна піч для сплавів на основі міді; плавильний інструмент; інструкція з техніки безпеки на плавильній печі; матеріали: мідь, олово, алюміній, цинк, фосфориста мідь, відходи виробництва і брухт латуней, олов'яних і алюмінієвих бронз, деревне вугілля; форми для заливання проб; прилад для вимірювання твердості.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Для виготовлення виливків використовують три групи мідних сплавів: олов'яні бронзи, безолов'яні бронзи і латуні.

Олов'яні бронзи широко застосовують для виготовлення водяної та парової арматури, підшипників, шестерен, втулок, що працюють в умовах стирання, підвищеного тиску води і водяної пари. Характерна особливість цих сплавів – великий інтервал між температурами ліквідусу і солідусу (150...200 °С), що сприяє утворенню у виливках розосередженої усадкорі пористості. Олов'яні бронзи мають високі ливарні властивості.

Дуже шкідливими домішками в олов'яних бронзах є алюміній і кремній, які при вмісті в сотих частках відсотка знижують їх механічні властивості і сприяють насиченню рідкого металу воднем.

Механічні властивості олов'яних бронз залежать від вмісту олова. При збільшенні вмісту олова міцність підвищується, а пластичність знижується.

Легування бронз цинком підвищує ливарні властивості і зменшує вартість сплаву. Уведення свинцю покращує антифрикційні властивості, оброблюваність різанням і рідкоплинність. Фосфор підвищує рідкоплинність і зносостійкість. Для підвищення механічних властивостей і роздріблення зерна олов'яні бронзи легують нікелем.

Безолов'яні бронзи використовують для заміни олов'яних. За механічними, антикорозійними і антифрикційними властивостями безолов'яні бронзи перевершують олов'яні. Серед сплавів цієї групи особливо виділяється алюмінієва бронза. Вона має високу стійкість проти корозії у прісній і морській воді, добре протистоїть кавітації, має менший, ніж у олов'яної бронзи, знос при терті. Із алюмінієвих бронз виготовляють гребені, гвинти великих кораблів, корпуси насосів та ін.

Механічні, технологічні та експлуатаційні властивості алюмінієвих бронз підвищують легуванням залізом, марганцем, нікелем та іншими елементами. Залізо і марганець запобігають самовільному відпалюванню виливків (схильність до утворення крупнозернистої структури), підвищують механічні властивості. Легування нікелем підвищує зносостійкість і стійкість проти корозії. Особливо широко застосовують бронзи марок БрАМц9–2; БрАЖ9–4.

Алюмінієві бронзи схильні до окислення під час плавки. При цьому розплав забруднюється твердими дисперсними включеннями Al_2O_3 , які важливо видаляти.

Латуні. Для фасонного литва застосовують складнолеговані мідно–цинкові сплави; прості латуні використовують рідко.

Латуні мають кращі, ніж у бронз, ливарні властивості, мало схильні до газової пористості, оскільки дегазуються парами цинку в процесі плавки.

Для плавки мідних сплавів використовують індукційні печі, футеровані шамотом, дінасом або кварцом. Тип плавильної печі вибирають з огляду на технологічні можливості. Дугові печі мало придатні для плавки алюмінієвих бронз і латуней.

Олово, алюміній, цинк та інші компоненти, що входять у склад мідних сплавів, мають високу спорідненість до кисню, тому добавка цих компонентів у розплав супроводжується розкисленням міді і утворенням твердих, рідких і газоподібних оксидів. Це може призвести до браку виливків за неметалевими домішками і газовій пористості. Протікає також процес насичення металу газами із атмосфери.

Для забезпечення високої якості виливків під час плавки сплави захищають від взаємодії з газами; рафінують від шкідливих домішок, неметалевих включень і газу, а також часто модифікують метал. Захисне покриття для сплавів на основі міді утворюється за допомогою деревного вугілля, бури, кальцинованої соди, битого скла, фторидів кальцію і магнію та інших флюсів. Але захисні покриття не забезпечують повного захисту розплаву від окислювання. В кінці плавки виконується розкислення мідних сплавів.

Для розкислення основної маси сплавів на основі міді застосовують фосфор, який вводять у вигляді лігатури мідь–фосфор (7–10% фосфору) у кількості 0,1–0,15% від маси розплаву. Розкислення супроводжується утворенням пари фосфорного ангідриду P_2O_5 і фосфорнокислої солі оксиду міді $CuPO_3$ у рідкому стані. Для розкислення мідних сплавів можна також використовувати цинк, алюміній, олово, магній, барій, церій, але для повноти розкислення їх треба додавати з надлишком, що не завжди можливо.

Добре розкислений метал має світлий дрібнозернистий злам. Дегазацію розплавів можна виконати обробкою фторидами, методом охолодження (відстоюванням із зниженням температури), вакуумуванням і продувкою інертними газами – аргоном або азотом. Ці способи можна також, нарівні з вакуумуванням і обробкою флюсами, застосовувати для очищення рідкого металу від суспендованих домішок.

Одним із найкращих рафінуючих флюсів для мідних сплавів є суміш фторидів кальцію і магнію (1:1), у кількості 1–2% від маси металу. В переплавленому і подрібненому вигляді суміш засипають на поверхню розплаву, витримують до повного розплавлення і замішують у сплав при температурі 1150...1250 °С. Перед розливанням у форми метал відстоюють протягом 10–15 хв.

Модифікування сплавів на мідній основі виконують тугоплавкими елементами: титаном, бором, ванадієм, молібденом, вольфрамом, цирконієм та іншими у кількості 0,02–0,1% від маси розплаву. Ці елементи утворюють з компонентами сплаву тугоплавкі інтерметаліди, які стають додатковими центрами кристалізації. Модифікуюча дія присадок тугоплавких елементів визначається присутністю у сплаві заліза. У сплавах, які не містять заліза, титан, бор, вольфрам та інші елементи (кожен окремо) не забезпечують стабільного роздрібнення зерна. Усталену дрібнозернисту структуру у таких сплавах (олов'яні бронзи, свинцеві бронзи та ін.), можна отримати введенням в них титану, цирконію, молібдену та інших в кількості 0,05% разом з 0,02% бору.

Тугоплавкі модифікатори вводять у вигляді лігатур: алюміній–ванадій (до 50% ванадію), мідь–бор (3–5% бору), алюміній–титан (5% титану), мідь–титан (30% титану) та інші при температурі 1200...1250 °С. Перегрівання модифікованого металу перед заливкою ливарних форм знижує ефект модифікування.

Алюмінієві бронзи чутливі до перегрівання і більше олов'яних схильні до насичення газами, тому плавку їх бажано вести у слабкоокислювальній атмосфері під шаром флюсу, складеного із битого скла і соди (Na_2CO_3) у співвідношенні 1:1, не допускаючи перегрівання розплаву вище 1200 °С.

Зміст роботи

Вивчити особливості плавки сплавів на основі міді. Засвоїти технологічний процес плавки мідних сплавів. Виконати роботу і підготувати звіт.

Порядок виконання роботи

Робота виконується в діючому ливарному цеху.

1. Вивчити теоретичні основи плавки і розливки мідних сплавів.
2. Вивчити інструкцію з техніки безпеки на плавильних печах.
3. Засвоїти роботу обладнання для плавки.
4. Виконати плавку і здійснити її хронометраж (табл. 5.1).
5. Залити проби, перевірити якість і механічні властивості (твердість) металу.
6. Зробити висновки і підготувати звіт.

Таблиця 5.1

Хронометраж плавки

Технологічні операції	Тривалість хв	Параметри плавки				Температура, С
		I, А	U, В	cos φ	W, кВт	
1	2	3	4	5	6	7
Завантаження шихти і включення печі						
Плавлення шихти						
Розкислення фосфористою міддю, 0,1...0,15%						
Уведення легуючих елементів						
Проба металу на насиченість газами						
Виключення печі						
Кінцеве розкислення фосфористою міддю, 0,1...0,15%						
Випуск металу						
Загальна тривалість плавки						

Витрата електроенергії на плавку, кВт·год						
Питома витрата електроенергії, кВт·год/кг						

Запитання для самоконтролю

1. Правила техніки безпеки під час виконання роботи.
2. Яке призначення захисних покриттів в процесі плавки сплавів на основі міді?
3. Які елементи і у якому вигляді використовують для розкислення мідних сплавів?
4. Що таке рафінування сплавів? Які методи рафінування мідних сплавів застосовують? Шкідливі домішки у мідних сплавах.
5. Чому при сильному перегріві сплаву на основі міді модифікуючий ефект знижується?

ЗМІСТ

ВСТУП 3

- 1. Практична робота № 1. СТРУКТУРА, ВЛАСТИВОСТІ І ЗАСТОСУВАННЯ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЮ.**
- 2. Практична робота № 2. СТРУКТУРА, ВЛАСТИВОСТІ І ЗАСТОСУВАННЯ ТИТАНУ ТА СПЛАВІВ НА ЙОГО ОСНОВІ**
- 3. Практична робота № 3. ВПЛИВ РАФІНУВАННЯ ТА МОДИФІКУВАННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ**
- 4. Практична робота № 4. ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ЛИВАРНИХ СПЛАВІВ НА ЇХ МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ**
- 5. Практична робота № 5. ПЛАВКА СПЛАВІВ НА ОСНОВІ МІДІ**

Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання практичних робіт
з навчальної дисципліни «Наноматеріали та нанотехнології у ливарному»
для студентів денної та заочної форм навчання
за спеціальністю G10 Металургія

Укладачі:

ПОНОМАРЕНКО Ольга Іванівна
МАСАЛІТІНА Олена Володимирівна

Відповідальний за випуск
Роботу до видання рекомендував

проф. Акімов О. В.
проф. Дьомін Д. О.

В авторській редакції

План 2025 р., поз.828

Підп. до друку 2025 р. Гарнітура Times New Roman

Видавничий центр НТУ «ХПІ»,
вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5478 від 21.08.2017 р.

Електронна версія