

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

Мікроскопічне дослідження металів та сплавів.

Мета роботи. Ознайомитись з методикою мікроскопічного аналізу, дослідити мікроструктуру сталей, ознайомитись з конструкцією і принципом роботи металографічного мікроскопа МІМ7.

Основні теоретичні відомості.

Мікроаналіз - дослідження структури і недоліків металів за допомогою мікроскопу. Дослідженням підлягають спеціально підготовлені зразки (**мікрошліфи**). Мікроаналіз дозволяє визначити структуру металів та сплавів в твердому стані після різних видів термічної обробки та пластичного деформування.

За допомогою мікродосліджень виявляють структурні складові, їх величину, форму і розташування, неметалічні включення, мікротріщини, характер та глибину поверхневого насичення сталей деталями вуглецем, азотом та іншими елементами і т.д.

Мікроструктурний метод дослідження металів складається з декількох етапів:

- виготовлення шліфів - шліфування і полірування;
- травлення шліфів - виявлення структури;
- дослідження структури, дефектів металів та сплавів під мікроскопом.

Зразок металу спеціально підготовлений для дослідження його структури під мікроскопом, називається **мікрошліфом**. Зразок препарують з тієї частини деталі, котра в данному дослідженні представляє інтерес. Наприклад, якщо потрібно встановити причину руйнування, зразок беруть з місця близького до руйнування. Для дослідження мікроструктури деталей після хіміко-термічної обробки зразок відбирають таким чином, щоб його поперечний розтин вмщував поверхневий шар. Найбільш придатний розмір мікрошліфа є циліндр діаметром 12мм і висотою 10мм, або паралелепіпед з площею основи **12x12** мм при тій же висоті (рис. 2.1а та 2.1 б). Заготовку для **мікрошліфа** відрізають ножовкою або на токарному чи фрезерному станках. Метали і сплави з високою твердістю, що важко оброблюються (загартовані сталі, білий чавун, сталі аустенітного класу), відрізають на тих же

станках, але за допомогою інструменту з абразивних матеріалів або надтвердих сплавів, а також електроіскровим різанням. Під час різання і заторцовки зразок охолоджують водою, або іншими охолоджуючими рідинами, тому що нагрівання може змінити структуру ділянки, що досліджується. Для дрібних зразків незручної форми, або малих розмірів застосовують спеціальні пристрої (рис. 2.1 в і 2.1 г). Найбільш поширений метод – заливання дрібних зразків легкоплавким сплавом, сіркою, пластмасою в оправку з труби діаметром 10-20 мм. Оправка шліфується разом зі зразком. Для шліфування обирають шліфувальні шкурки, шліфувальний папір з різною величиною абразивного зерна. Починають шліфування на шліфувальному матеріалі з більшою величиною зерна і поступово переходять на матеріал з більш дрібним зерном.

При переході з одного шліфувального матеріалу на інший напрям шліфування змінюється на 90°.

Для інтенсивного відзеркалення променів світла поверхня мікрошліфа повинна бути дзеркальною, тому після шліфування виконують полірування на фетрі, замші, тонкому сукні, що змочені водною суспензією дрібних частинок оксидів хрому, алюмінія, або алмазного порошку в гасі. Змінення структури під дією наклепу усувають застосуванням електролітичного полірування. В усіх випадках після полірування мікрошліф промивають водою, спиртом і сушать. Наступний етап – травління поверхні мікрошліфа розчинами кислот, лугів, солей для виявлення мікроструктури. При травленні на поверхні мікрошліфа утворюються гальванічні елементи. Структурні складові з більш електронегативним електродним потенціалом є анадами і швидше розчинюються, інші – катоди залишаються незмінними. Утворюються мікрорельєф у вигляді западин та виступів, що по різному розсіюють світло. Западини на границях зерен розсіюють світло сильніше і тому виглядають як темні лінії. Виступи є світлими, тому зерна фериту в полі зору більш світлі ділянки (рис. 2.2а). Структура перліту має вигляд темних та світлих смуг (рис. 2.2б), тому що цемент виступає, відбиває більше променів і в полі зору буде світлим, а ферит навпаки темним.

Металографічний мікроскоп – це прилад для дослідження структури металів та сплавів, що використовує відбите світло від

непрозорого об'єкта – мікрошліфа. Набір об'єтивів та окулярів забезпечує збільшення до 2000 разів, спеціальні пристрої дають можливість зафіксувати зображення фотографічним методом.

Основні характеристики металографічного мікроскопу.

Збільшення V_m оптичної системи визначається збільшенням об'єктива $V_{об}$ і окуляра $V_{ок}$ за допомогою яких провадиться дослідження:

$$V_m = V_{об} \times V_{ок} = 250 \times L / f_{об} \times f_{ок},$$

де 250 мм- відстань найкращого зору ока;

L – оптична довжина тубуса;

$f_{об}, f_{ок}$ – фокусні відстані об'єктива та окуляра.

Характеристика збільшення набору об'єтивів і окулярів мікроскопу МИМ -7, приведені в табл.1.

Роздільна здатність світлової оптики – це здатність давати різке зображення двох як найближче розташованих точок об'єкта.

Математично межу дозволяючої здатності металографічного мікроскопу можна представити у вигляді:

$$d = \lambda / A$$

де d – найменша відстань між двома точками, відображення яких в мікроскопі виглядає роздільно;

λ – довжина хвилі;

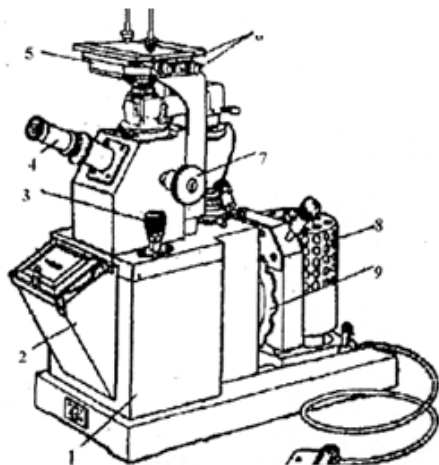
A –апертура.

При цьому чим більша числова апертура об'єктиву і чим менша довжина хвилі, тим вища дозволяюча здатність мікроскопу, тобто меншу частинку можна побачити на об'єкті.

Існує декілька модифікацій металографічних мікроскопів, але найбільш придатний для вивчення в умовах університетських лабораторій

є металографічний дослідний мікроскоп МИМ-7,

зовнішній вигляд якого показано на рис. 2.3: 1- корпус, 2- фото-камера, 3- мікрометрична подача предметного столика; 4 – візуальний тубус; 5 – предметний столик; 6 – рукоятки переміщення



столика; 7 – рукоятка грубої подачі столика; 8 – освітлювач; 9 – диск з набором світлофільтрів.

Перш ніж приступити до роботи з мікроскопом, необхідно ознайомитися з його будовою та окремими частинами, їх розміщенням та призначенням. При роботі з мікроскопом забороняється припускати швидких рухів при –фокусуванні об'єктів і при встановленні та заміні оптики (об'єтивів та окулярів). Якщо обертання макро- та мікрогвинтів чомусь заважке, не потрібно використовувати надмірну силу, необхідно відразу звернутися до технічного персоналу.

Забороняється ставити на предметний столик шліф, що не висушений або зразу ж після травлення, залишки реактивів можуть пошкодити об'єктив, а також предметний столик мікроскопа. Забороняється рухати шліфом по столику та торкатися його поверхні пальцями. Забороняється без керівника торкатися відповідальних частин мікроскопу, крім макро- і мікрометричних гвинтів та гвинтів переміщення столика.

Вимірювання мікроскопічних об'єктів за допомогою окулярних та об'єктивних мікрометрів.

Розмір зерна, глибину поверхні азотування, цементування, тощо можливо визначити під мікроскопом за допомогою об'єктмікрометра та окулярмікрометра. Об'єктмікрометр представляє собою невелику поліровану лінійку, на котрій нанесено 1 мм, розділений на 100 частинок з ціною поділки 10 мкм.

Окулярмікрометр - це звичайний окуляр зі встановленою в нього допоміжною шкалою, поділеною на 100 поділок.

До вимірювання об'єкту необхідно визначити ціну поділки шкали окулярмікрометра, Для чого в полі зору суміщають дві шкали: окулярмікрометра та об'єктмікрометра таким чином, щоб вони **співпадали**. Наприклад, данному окулярі **25поділок** окулярмікрометра в полі зору мікроскопу, покривають всю шкалу об'єктмікрометра (рис. 2.4). Це значить, що ціна однієї поділки окулярмікрометра дорівнює $1:25= 0,04$ мм. Знаючи ціну поділу окулярмікрометра можна легко міряти об'єкт, встановлений на предметний столик замість об'єктмікрометра. Припустимо, що об'єкт займає 10 поділок тоді це число помножуємо на ціну поділки окулярмікрометра, і отримуємо розмір об'єкту.

1. Визначення розміру зерна (за допомогою окулярного мікрометра).

Стандартний номер зерна за допомогою окулярмікрометра визначають наступним чином. Спочатку підраховують лінійний розмір в горизонтальному напрямку по формулі:

$$L_{гор} = kc/M_{гор},$$

Де k – число поділок окулярмікрометра; c – ціна поділки окулярмікрометра для данного об'єктива;

M – число зерен, що припадає на « k » поділок окулярмікрометра. Тим же методом визначають лінійний розмір в вертикальному напрямку $L_{вер}$. Середній розмір зерна $L_{сер}$ дорівнює

$$L_{сер} = (L_{гор} + L_{вер}) * 0,5$$

Якщо вважати зерно рівновісним, то середній лінійний розмір зерна є середнім діаметром зерна

$$L_{сер} = d_{сер} \text{ і площа зерна дорівнює}$$

$$\frac{\pi L_{сер}^2}{4} [\text{мкм}^2]$$

Визначивши за допомогою окулярмікрометра дійсну площу зерна в мкм^2 , стандартний номер зерна N визначають по табл.2

$$a/cp = 500$$

$$n=2$$

a - натуральна площа зерна в мкм^2

N – стандартний номер (бал) зерна

n – число зерен, приходячих на площу $6,25 \text{ см}$ при збільшенні в 100 разів.

Таблиця 2

ерно ³	Дійсна площа зерна, мкм^2		
	найменша	середня	найбільша
1	40 000	64 000	80 000
2	20 000	32 000	40 000
3	10 000	16 000	20 000
4	5 000	8 000	10 000
5	2 500	4 000	5 000
6	1 200	2 000	2 500
7	600	1 000	1 200
8	300	500	600

Даний метод застосовують для виливків, відпалених металів і сплавів, тому що вони мають зерна приблизно однакові за розмірами і по формі наближуються до кулі.

2. Визначення розміру зерна методом порівняння.

Стандартний номер зерна N приблизно можна визначити шляхом порівняння мікроструктури при 100-разовому збільшенні з стандартними мікрофотографіями (рис.2.5). Шкала стандартних розмірів зерна складається з восьми номерів (балів). Зерна $N1-4$ вважають великими, а більше ніж $N5$ дрібним.

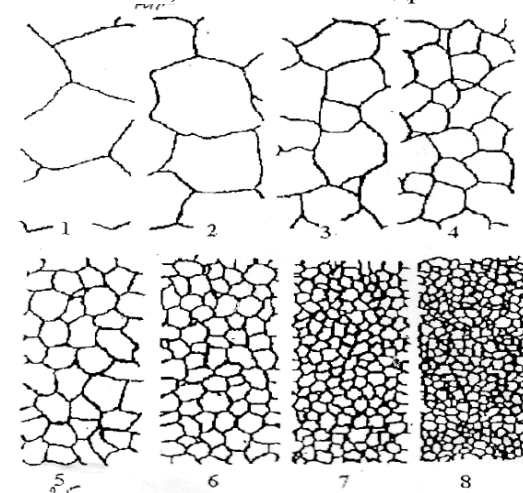


Рис. 2.5 Шкала стандартних розмірів зерен.

Обладнання, прилад і матеріали.

Металографічний мікроскоп ММ7, набір мікрошліфів технічного чистого заліза та сталі 45, об'єктив-мікрометр, окулярмікрометр.

Порядок виконання лабораторної роботи.

1. Ознайомитись з методикою виготовлення мікрошліфа.
2. Ознайомитись з конструкцією та принципом роботи металографічного мікроскопу ММ7.
3. Виконати вимір середнього діаметру зерна технічно чистого заліза або сталі 45.
4. Визначити номер зерна технічно чистого заліза і сталі 45 методом порівняння зі стандартною шкалою.

Питання для самоконтролю.

1. Що таке мікрошліф?
2. Поясніть методику виготовлення мікрошліфа.
3. Як виконується шліфування мікрошліфа?
4. Як виконується полірування мікрошліфа.
5. Обґрунтуйте призначення травління мікрошліфа.
6. Назвіть основні характеристики мікроскопу.
7. Назвіть основні частини конструкції мікроскопу.
8. Поясніть метод вимірювання величини зерна за допомогою об'єктивмікрометра.
9. Поясніть метод визначення величини зерна з порівнянням зі стандартною шкалою.

Звіт про виконану роботу.

Письмовий звіт про виконану роботу студент надає в довільній формі. В звіті потрібно описати основні задачі мікроаналізу, методику виготовлення мікрошліфа. Навести основні характеристики мікроскопу ММ7. Описати методику вимірювання величини зерна за допомогою об'єктивмікрометра та метод порівняння досліджуемого зерна зі стандартною шкалою.

Лабораторна робота №2

Визначення твердості металів і сплавів

Мета роботи: вивчити найбільш розповсюджені методи вимірювання твердості металів і сплавів

Основні теоретичні відомості

Твердість- це властивість поверхневого шару матеріалу чинити опір пружній пластичній деформаціям або руйнуванню при місцевій пластичній взаємодії з боку іншого, більш твердішого тіла (індентора) відповідної форми та розмірів.

Для багатьох сплавів встановлена чітка залежність між твердістю, механічними та технологічними характеристиками (міцністю, оброблюваністю різанням, тиском тощо). Тому вимірювання твердості є найбільш поширеним методом механічних випробувань. Способи визначення твердості поділяють на статичні та динамічні в залежності від швидкості прикладання навантаження, а за способом його прикладання – на методи вдавлення та шкрябання. Найбільш розповсюджені методи де використовується статичне навантаження індентора перпендикулярно до поверхні зразка. Це методи Брінеля, Роквелла та Віккерса

Твердість за методом Брінеля визначається відповідно до ГОСТ-9012-59. Як індентор використовується стальна загартована кулька діаметром 10,5 або 2,5 мм яка вдаюється у поверхню матеріалу під навантаженням від 153 до 29400 Н (від 15,6 до 3000 кг/с). На поверхні зразка утворюється відбиток (лунка) у формі кульового сегмента діаметром d . Цей діаметр вимірюють за допомогою спеціального мікроскопа, на окулярі якого нанесена вимірювальна шкала з поділками, що дорівнюють одній десятій долі міліметра. Діаметр відбитка визначають середнім значенням двох його вимірювань у взаємно перпендикулярних напрямках з точністю до 0,05 мм (рис. 6-б). Число твердості за Брінеллем, яке позначається літерами НВ вимірюється відношенням навантаження P , що діє на кульку діаметром D , до площі відбитка

$$HB = P / F = 2P / \pi D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})$$

Одиниці вимірювання твердості за Брінеллем - кгс/мм², МН/м² (МПа). В першому випадку твердість записується так : НВ 200, НВ 250, де 200; 250-величина твердості в кгс/мм². Якщо твердість

Твердість за методом Роквелла.

Визначається шляхом вдавлювання в зразок індентора у вигляді алмазного конуса з кутом при вершині 120⁰ або сталльної кульки

Матеріал	Інтервал твердості зразка МПа	Мінімальна товщина зразка, мм	Діаметр кульки, мм	Співвідношення між навантаженням Р, кгс та діаметром кульки D, мм	Навантаження		Тривалість Витримки, с		
					кГс	Н			
Чорні метали	1400..4500	6...3 4...2 <2	10 5 2.5	P=30D	300 0 750 187,5	2943 0 7357 1839	10		
	<1400	>6 6...3 <3	10 5 2.5		P=10D	100 0 250 62,5		9800 2452 613	10
Кольорові метали	>1300	6...3 4...2 <2	10 5 2.5	P=30D	300 0 750 187,5	2943 0 7357 1839	30		
	3500..1300	9...6 6...3 <3	10 5 2.5		P=10D	100 0 250 62,5		9810 2452 613	30
	80...350	>6 6...3 <3	10 5 2.5			P=2,5D		250 62,5 15,6	

1,568мм(1/16 дюйма – 1/16”). Навантаження на індентор послідовно: спочатку попереднє P₀, що дорівнює 100Н, потім основне P₁. Сума попереднього і основного навантаження складає загальне навантаження Р, яке вибирається в залежності від індентора і очікуваної твердості табл.5

За різницею глибин вдавлювання індентора під дією двох послідовних навантажень P₀ і P₁ роблять висновок про твердість матеріалу. Стрілка індикатора приладу Роквелла показує не цю різницю, а величину (100 - v) по чорній шкалі С або А та (130 - v) по червоній шкалі В, де $v = (h_1 - h_0) / 0.002$; h₁ і h₀ глибина вдавлювання індентора при прикладанні відповідно повного та попереднього навантаження; 0,002-умовна одиниця твердості (ціна поділки шкали індикатора приладу).

Одиниця твердості за Роквеллом-безрозмірна величина, що відповідає осьовому переміщенню індентора на 0,002мм. Твердість за Роквеллом позначається так: HRB 30, HRC 60, HRA 80 тобто твердість 30 – за шкалою В,

60-за шкалою С, 80-за шкалою А. Числа HRA можна перевести на числа HRC за формулою $HRC = 2HRA - 104$.

Таблиця 5 – Умови вимірювання твердості за Роквеллом

Приблизна твердість за Брінеллем, кгс/мм ²	Сфера застосування	Шкала приладу Роквелла	Тип індентора	Навантаження Р, Н	Межі вимірювання твердості за шкалою Роквелла
Більше 700	Надтверді матеріали, цементовані сталі	А чорна	Алмазний конус	600	70...90
230... 700	Тверді та термічно оброблені сталі	С чорна	Алмазний конус	1500	20...67
60...230	М'які матеріали	В червона	Стальна кулька	1000	25...100

Схема вимірювання твердості за Роквеллом приведена на рис.7.

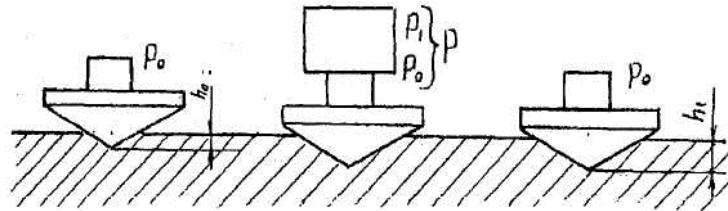


Рисунок 7 - Схема вимірювання твердості за Роквеллом

3.1.3 Твердість за Віккерсом

При стандартному вимірюванні твердості за Віккерсом, де в поверхню зразка вдавлюється алмазний індентор у формі чотиригранної піраміди з кутом при вершині 136° під дією навантаження Р, яке вибирають в межах 49...1176 Н (5...120 кгс) на протязі 5...10 с

(ГОСТ 2999-75). В результаті вимірювання на поверхні зразка утворюється відбиток у вигляді ромба, діагональ якого вимірюється спеціальним мікроскопом (рис.6-б),

Число твердості за Віккерсом HV визначають діленням навантаження Р на площу бічної поверхні отриманого пірамідального відбитка F:

$$HV = 2P \sin(\alpha/2) / d^2 = 1.854 P / d^2,$$

Де d-середнє арифметичне двох діагоналей відбитка;

$\alpha = 136^\circ$ -кут при вершині піраміди.

Твердість вимірюють в кгс/мм² і записують HV 200 без вказання одиниці вимірювання, або в Н/м² і записують з вказанням одиниці вимірювання, наприклад HV 200 МПа.

Числа HB і HV близькі за абсолютною величиною, однак тільки до значення приблизно HB 400.

Вище цих значень метод Брінелля дає спотворені результати в наслідок залишкової деформації сталльної кульки. Алмазна піраміда в методі Віккерса дозволяє визначити твердість практично будь-яких металевих матеріалів. Ще більш важлива перевага цього методу полягає у суворому співставленні чисел твердості HV будь-яких матеріалів, випробуваних при різних навантаженнях.

Лабораторна робота 3

Мікроаналіз залізовуглецевих сплавів в рівноважному стані

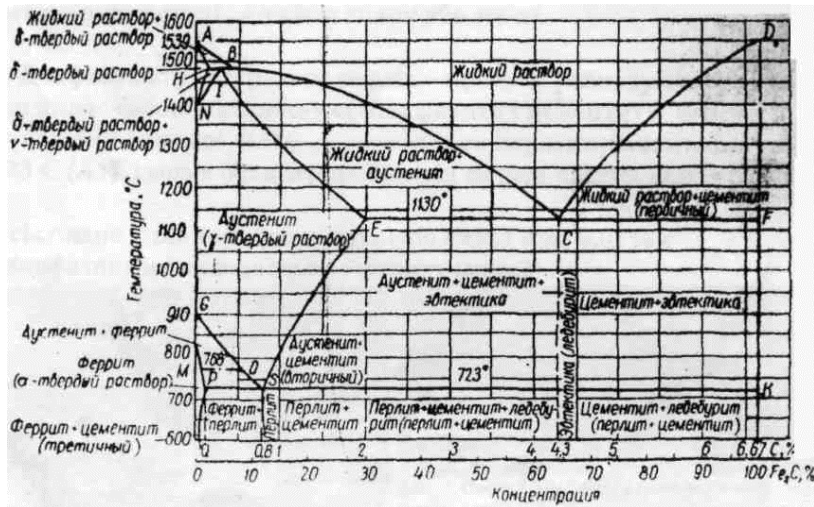
Мета роботи

Дослідити мікроструктуру технічного заліза, вуглецевих сталей (доевтектоїдної) в рівноважному стані.

Основні теоретичні відомості

Під рівноважним станом сплаву мається на увазі, що при повільному охолодженні в ньому скінчилися усі фазові перетворення відповідно з діаграмою залізо-вуглець. Згідно діаграми можна вставити фазовий склад і структурні складові залізовуглецевих сплавів, що знаходяться в стані рівноваги.

В роботі розглядається "сталевая" частина діаграми залізо-вуглець (мал.1). Вивчають сплави при повільному охолодженні від рідинного стану до кімнатної температури, можна спостерігати утворення одно- і двофазних структурних складових.



Мал. 1. Діаграма стану системи залізо-вуглець.

Однофазні структури - ферит, аустеніт, цементит. Ферит - це твердий розчин впровадження вуглецю (Мал.2) в альфа-залізі, практично його можна вважати чистим залізом, тому, що розчинність

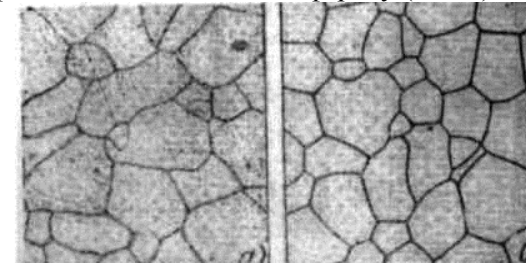
вуглецю в альфа залізі при кімнатній (20 C) температурі складає 0.01%, а при 723 C - 0.03%. Ферит має високу пластичність, незначні твердість і міцність. Ферит магнітний, кристалізується в об'ємноцентровану кубічну решітку. На діаграмі Fe-C існує в областях GPQ та інших, що розташовані нижче лінії PSK (A₁).

Аустеніт - твердий розчин впровадження вуглецю в гама-залізі. Найбільша концентрація вуглецю в аустеніті складає 2.14% при температурі 1147 °C. При зниженні температури розчинність вуглецю зменшується і при температурі 723 C (A₁) складає 0.8%. Аустеніт має високу пластичність, підвищені твердість і міцність в порівнянні з феритом. Аустеніт немагнітний, кристалізується в гранецентровану кубічну решітку. На діаграмі Fe-C аустеніт займає область GNIES, а також є в інших областях, вище лінії PSK, що відповідає температурі 723 C, до температури плавлення.

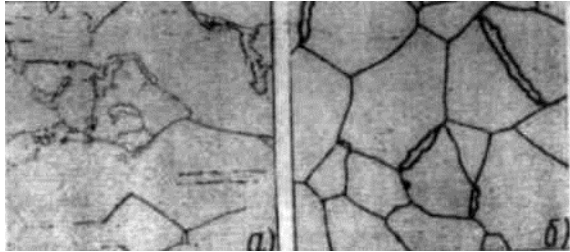
Цементит або карбід заліза - це хімічна сполука з вуглецем Fe₃C, що вміщує 6.67% вуглецю, дуже тверда, але крихка. Цементит кристалізується в октаедричну решітку. В залізовуглецевих сплавах цементит має різні форми сітки по межах зерен сталі, а також голок або зерен.

Двофазна структура - це перліт - продукт розпаду аустеніту, що є механічною сумішшю фериту і цементиту. Вміст вуглецю в перліні 0.8%, утворюється перліт при температурі 723 C (A₁) і залежно від форми часток цементиту може бути зернистим або пластинчастим.

Всі сплави, що вміщують вуглецю менш ніж 0.01% є однофазними і складаються з фериту (мал.2).



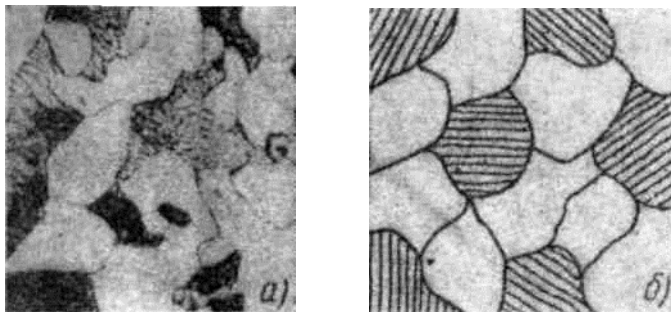
Мал. 2. Технічне залізо-ферит: а) мікроструктура (x500); б) схема мікроструктури.



Мал. 3. Сталь з 0.015% С - ферит-цементит (третинний):
а) мікроструктура (x500); б) схема мікроструктури.

Сплави, де вуглецю від 0.01% до 0.03% є двофазним, їх структура складається з фериту і третинного цементиту, виділення якого на діаграмі відповідає лінії PQ (мал.3).

Сплави, де вуглецю не більше 0,03% називаються технічно чистим залізом. Мікроструктура чистого заліза - світле поле зерен фериту, облямованих темними лініями, тобто межами зерен, де розміщується перетинний цементит.

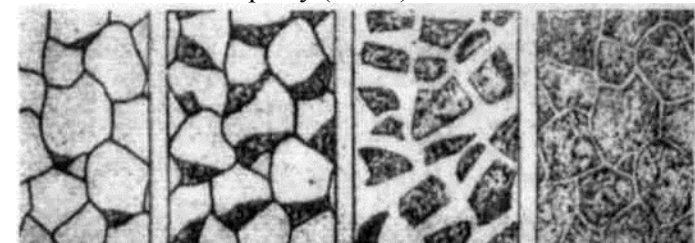


Мал. 4. Доевтектоїдна сталь з 0.3% С - ферит і перліт:
а) мікроструктура (x500); б) схема мікроструктури.

Сталі-сплави заліза, що вміщують вуглецю до 2.14%. Доевтектоїдні сталі вміщують від 0.03% до 0.8% вуглецю, заевтектоїдні від 2.14%. Сталь з концентрацією вуглецю 0.8% називається евтектоїдною. Структура доевтектоїдних сталей складається з світлих зерен фериту і темних зерен перліту (мал.4)

Розглянемо фазові перетворення, що відбуваються при охолодженні доевтектоїдної сталі. При охолодженні аустеніту від лінії солідусу до температури лінії GOS, ніяких перетворень в структурі аустеніту не відбувається. При подальшому охолодженні нижче лінії GOS з аустеніту починає перетворюватись на ферит. Утворення фериту, що майже не вміщує вуглець, збагачує вуглецем аустеніт. Вміст вуглецю в аустеніті змінюється по лінії GOS; при досягненні точки S аустеніт отримує евтектоїдну концентрацію вуглецю 0.8% і при постійній температурі 723 С відбувається перетворення аустеніту в перліт. Після закінчення процесу перетворення структура сталі складається з фериту і перліту (мал.4).

Кількість перліту і фериту в сталі залежить від вмісту вуглецю в ній. Збільшення вуглецю веде до зменшення кількості фериту і збільшенню кількості перліту (мал.5).



0,1%С 0,3% С 0,5 %С 0,7% С

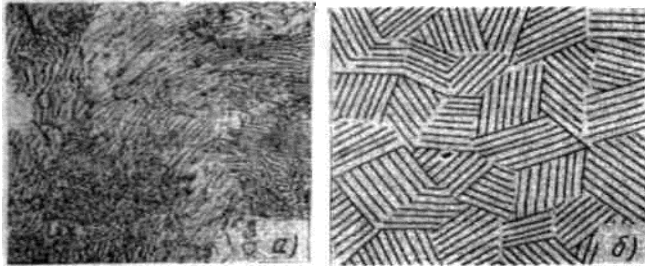
Мал. 5. Вплив кількості вуглецю на структуру сталей.

Практично вважають, що весь вуглець знаходиться в перліті, тому його вміст в відсотках можна знайти по формулі:

$$C = 0.8 \cdot S_n / 100$$

де: S_n – площа, яку займає перліт в % (визначається при розгляданні в мікроскоп).

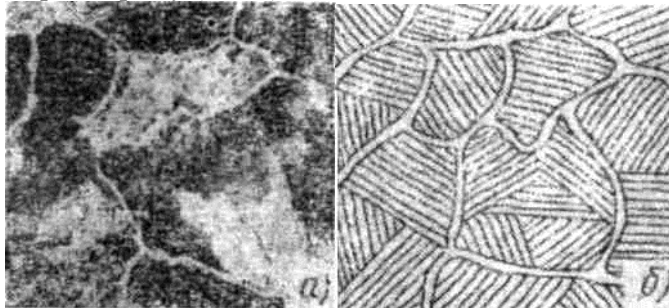
Евтектоїдна сталь, що вміщує 0.8% вуглецю, складається з одного перліту, часто її називають перлитною (мал.6).



Мал. 6. Евтектоїдна сталь з 0.8% C - перлит:
а) мікроструктура (x500); б) схема мікроструктури.

Структура заевтектоїдної сталі при кімнатній температурі складається з перлиту і цементиту. Цементит може бути в вигляді сітки, що облямовує зерна перлиту, або в вигляді зерен чи голок.

Роздивимось фазові перетворення в заевтектоїдній сталі, які відбуваються при повільному охолодженні з аустенітної області. При охолодженні аустеніту до лінії ES (Ас_т) ніяких змін в структурі аустеніту не відбувається. Нижче лінії ES з аустеніту виділяється надлишковий вуглець в вигляді вторинного цементиту. Процес утворення цементиту відбувається від АС_т до А₁, концентрація вуглецю в аустеніту буде зменшуватись по лінії ES. При температурі 723 °С починається утворення перлиту, в результаті утворюється структура, що складається з перлиту і сітки цементиту, розташованої на межах зерен перлиту (мал.7).



Мал. 7. Заевтектоїдна сталь з 1.2% C - перлит + цементит (у вигляді сітки): а) мікроструктура (x500); б) схема мікроструктури.

В заевтектоїдних сталях розрахунок вмісту вуглецю виконується по сумі площин, які займають перліт і цементит, згідно формули:

$$C = (0.8 * S_n / 100 + 6.67 * S_u / 100),$$

де S_n і S_u - площини, що займають перліт і цементит в % до всієї площини поля зору шліфа під мікроскопом.

Якісні вуглецеві сталі маркуються двозначним числом, що вказує середній вміст вуглецю в сотих долях відсотку, і належать до конструкційних сталей. Як правило, вміст вуглецю в них не більше 0.8%.

Якісні вуглецеві сталі, що вміщують вуглецю більше 0,7%, відносяться до інструментальних і маркуються буквою У, праворуч якої стоїть одно- або двозначне число, що вказує вміст вуглецю в десяткових долях відсотку.

Обладнання, прилади і матеріали

Для виконання роботи необхідно мати металографічний мікроскоп, колекцію мікрошліфів технічного заліза і залізобуглецевих сталей в рівноважному стані з різним вмістом вуглецю, а саме доевтектоїдної, евтектоїдної і заевтектоїдної, циркуль, лінійку.

Методичні вказівки і порядок виконання роботи

В даній роботі студенти вивчають структуру вуглецевих сталей і встановлюють зв'язок між мікроструктурами шліфів та діаграмою залізо-вуглець.

Структура вуглецевих сталей вивчається за допомогою мікроскопу. При відповідних збільшеннях мікроскопу вивчають спеціально підготовлені мікрошліфи вуглецевих сталей.

Мікроструктуру, яку видно в окуляр, замальовують в звіт, при цьому не добиваючись фотографічної точності. На малюнку необхідно показати характерні особливості певного шліфа.

За наданими формулами підраховують кількість вуглецю в кожній сталі і визначають її марку.

Студенти аналізують діаграму залізо-вуглець і визначають фазові перетворення при охолодженні кожної з дослідних сталей.

Завдання.

1. Провести дослідження мікроструктури технічного залізі і вуглецевих сталей з різним вмістом вуглецю за допомогою мікроскопу.

2. За заданими формулами розрахувати вміст вуглецю в кожній сталі і визначити її марку.

3. Нарисувати нижню ліву частину діаграми залізо-вуглець і вказати структуру складові, температури перетворень і концентрації вуглецю в фазах.

4. Провести лінії відповідно вивчаємим сплавам і надати опис процесів перетворень, що відбуваються при охолодженні сплавів.

5. Підготувати звіт по роботі відповідно пунктам завдання.

Звіт про виконану роботу

Письмовий звіт про виконану роботу студент надає в довільній формі. В звіті потрібно описати процеси вивчення мікроструктури, зарисувати мікроструктури всіх вивчених сталей. Рисунки виконати в колах діаметром 50 мм або в відповідних квадратах. Надати характеристику кожному сплаву і його структурним складовим.

Питання для самоконтролю

1. Які однофазні і двофазні структури утворюються при взаємодії заліза з вуглецем?

2. Поясніть будову і властивості фериту.

3. Поясніть будову і властивості аустеніту.

4. Що таке цементит?

5. Що таке перліт?

6. Які сплави заліза з вуглецем називають технічно чистим залізом?

7. Які сплави заліза з вуглецем називають сталями?

8. Скільки вуглецю вміщують доевтектоїдні і заевтектоїдні сталі?

9. Поясніть фазові перетворення при охолодженні доевтектоїдних сталей.

10. Які перетворення відбуваються при охолодженні заевтектоїдних сталей?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4 „ТЕРМІЧНЕ ОБРОБЛЕННЯ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5
„ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ ЛЕГОВАНИХ
СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ”

Мета:

1. Дослідити макроструктуру конструкційних сталей і сплавів, що використовуються в літако- і двигунобудівництві.
2. Ознайомитись з властивостями досліджуємих сталей в умовах нормальних і високих температур, їх термічною обробкою і використанням.

ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ.

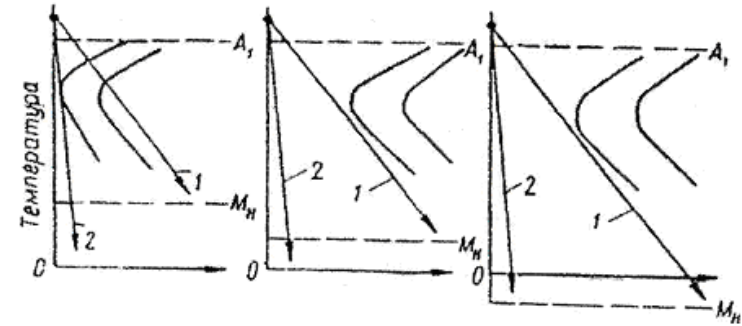
В конструкціях літальних апаратів і авіаційних двигунів використовують леговані сталі, що мають комплекс специфічних та механічних властивостей.

Леговані сталі - багатокомпонентні системи, в яких наряду з вуглецем (основа сплаву - залізо) входить ряд легуючих елементів (хром, марганець, нікель, вольфрам, молібден, ванадій, титан, алюміній, кремній, бор та інші) в різних комбінаціях, що надає сталям особливі властивості жароміцність, жаростійкість, корозійну стійкість, зносостійкість та інші.

Існує декілька ознак, що дозволяють класифікувати леговані сталі:

за рівноважною структурою (після відпалу); за структурою, отриманою після охолодження на повітрі (після нормалізації); за призначенням. Найбільш цікавою є класифікація сталей за структурою, отриманою після охолодження на повітрі (тобто нормалізації). Згідно цієї класифікації сталі поділяються на мартенситний і аустенітний.

Наочне уявлення класифікації дають діаграми ізотермічного розпаду аустеніту, мал..



. Діаграми перетворення аустеніту для трьох класів сталей

Вектор швидкості охолодження 1 відповідає охолодженню на повітрі (нормалізації) сталей з різною кількістю і концентрацією легуючих елементів. Криві початку і кінця ізотермічного розпаду зміщуються вправо (по мірі збільшення концентрації легуючих елементів), а температура мартенситного перетворення - вниз.

В першому випадку результатом охолодження на повітрі сталей з невеликою кількістю і концентрацією легуючих елементів є утворення структур перлітного типу (перліт, сорбіт, тростит); В другому - сталей з більшою кількістю і концентрацією легуючих елементів - мартенситу; в третьому - сталей з великою кількістю і концентрацією легуючих елементів - аустеніту. Також з діаграм видно, що при критичній швидкості охолодження (гартування), показаній вектором 2, сталь перлітного класу матиме структуру мартенситу, а структура сталей мартенситного і аустенітного класів не змінюється.

Легуючі елементи утворюють з залізом тверді розчини і

і сполуки. Легований ферит - твердий розчин легуючих елементів в Альфа-залізі. Під мікроскопом має вигляд світлих . однорідних зерен, як і ферит звичайно вуглецевої сталі, але відрізняється за механічними властивостями.

Легований аустеніт - твердий розчин легуючих елементів в гама-залізі і може існувати в стабільному стані при кімнатній

температура під мікроскопом виглядає як світлі рівноважні зерна з наявністю двійників.

Легований цементит - твердий розчин легуючих елементів в карбіді заліза. Під мікроскопом він не відрізняється від цементиту звичайної вуглецевої сталі, але має значно більшу твердість.

Легуючі елементи поділяються на дві групи:

1) елементи, що не утворюють карбідів (нікель, кремній, кобальт, алюміній);

2) карбідоутворюючі елементи (хром, марганець, вольфрам, молібден, ванадій, титан та інші). Ці елементи утворюють з вуглецем стійкі прості і складні карбіди. Прості карбіди - це хімічні сполуки типу Fe_3C , Mn_3C , та інші, складні або подвійні - Fe_2Mo_2C , Fe_2W_2C та інші. Карбіди мають велике значення у формуванні властивостей легованих сталей.

Роздивимось вплив конкретних, найбільш поширених легуючих елементів на структуру і властивості сталей.

Хром - утворює з залізом твердий розчин, з вуглецем — карбіди. Розподіл хрому між твердим розчином і карбідами залежить від концентрації вуглецю і хрому в сталі. При нагріванні гартування карбіди хрому переходять в твердий розчин і легують аустеніт. Хром збільшує загартуваність і прогартуваність, в кількості більше 12% робить сталь нержавіючою.

Нікель — цінний легуючий елемент, використовується лише там, де заміна його іншим легуючим елементом неможлива. В сталях знаходиться в твердому розчині фериту або аустеніту. Нікель є аустенітоутворюючим елементом, тобто стабілізатором гама-фази. Нікель збільшує прогартуваність сталі, але менше ніж хром; збільшує її міцність, але не зменшує при цьому пластичність і ударну в'язкість. Для зменшення кількості нікелю його вводять в сталі спільно з іншими легуючими елементами.

Марганець є одним з важливих розкислювачів сталі при плавленні, тому кожна сталь має деяку кількість марганцю (0,2-0,5%), як постійну домішку. Марганець збільшує стабільність аустеніту і

прогартуваність сталі. 1% марганцю є рівноцінним заміником 4% нікелю.

Вольфрам — цінний легуючий елемент, утворюючий стійкі карбіди, що розчиняються в аустеніті лише при дуже високих температурах. Інструментальні сталі, що вміщують вольфрам у значній кількості, після відповідальної термообробки отримують червоністьійкість, тобто зберігають твердість при підвищених температурах. Вольфрам збільшує прогартуваність, сприяє отриманню дрібного природного зерна, підвищує твердість сталі і усуває крихкість при відпустці.

Молібден утворює карбіди і частково розчинюється в фериті, є дефіцитним елементом і вживається в невеликих кількостях (0,2...0,6%). Молібден збільшує прогартуваність, подрібнює природне зерно, збільшує міцність сталі при високих температурах, усуває відпускну крихкість.

Ванадій додається в сталь в невеликій кількості (0,1.. 0.2%). Це ефективний карбідоутворювач. Карбіди ванадію мало розчинюються в аустеніті навіть при дуже високих температурах. Найбільша кількість ванадію розчиняється у фериті. Ванадій запобігає росту зерна аустеніту і є хорошим розкислювачем.

Кремній використовується при плавленні як розкислювач, тому кожна сталь має постійну домішку (0,15-0,3%) кремнію. Як легуючий елемент додається до сталі не більше 1,5% і знаходиться в твердому розчині. Кремній затримує відпуск і сприяє збереженню міцності при підвищенні температури відпуску.

Алюміній є розкислювачем, що додається в сталі при плавленні, сприяє утворенню природно дрібного зерна і додається в сталі, що азотуються, тому що утворює на поверхні тверді та стійкі нітриди. Алюміній збільшує стійкість сталі проти газової корозії при високих температурах.

Бор в сталях використовується у виключно малих кількостях (0,01-0,005%) і цього досить для значного збільшення прогартуваності сталі. Вплив бору на ефективність прогартуваності пов'язана із вмістом вуглецю в сталі: при збільшенні концентрації вуглецю вплив бору зменшується і при 0,9%

вуглецю корисний вплив бору на прогартуваність зникає. В жароміцних сталях і нікелевих сплавах мала кількість бору (0,01%) запобігає руйнуванню між зерен, чим підвищує жароміцність.

Леговані конструкційні сталі маркують цифрами і буквами. Двозначні цифри на початку марки вказують на середній вміст вуглецю в сотих долях відсотку, букви праворуч від перших цифр позначають легуючий елемент:

А - азот, Б - ніобій, В — вольфрам, Г — марганець, Д — мідь, Е - селен, К — кобальт, М - молібден, Н - нікельден, Р - бор, С — кремній, Т - титан, Ф - ванадій, Х - хром, Ц — цирконій, Ч — рідкоземельні, Ю - алюміній.

Цифри після букв вказують на вміст відповідного елемента в цілих відсотках; відсутність цифр вказує, що середній вміст легуючого елемента не перевищує 1%. Основна маса легованих конструкційних сталей виплавляється якісними ($\leq 0,035\% \text{ P}$, $\leq 0,035\% \text{ S}$).

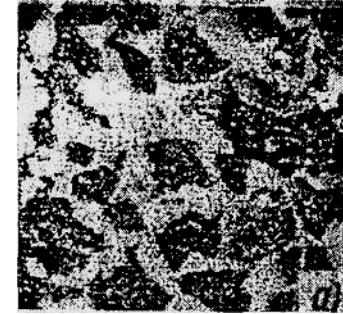
Високоякісні сталі вміщують менше шкідливих домішок і позначаються буквою А в кінці марки. Особливоякісна сталь позначається буквою Ш в кінці марки.

Найбільш поширені в авіабудуванні конструкційні леговані сталі - 30ХГСА, 30ХГСНА, 38ХМЮА, 40 ХНМА.

Сталь 30ХГСА

Вуглецева сталь середньої міцності належить до перлітного класу. 30ХГСА (хромансіль) є однією з основних конструкційних сталей для виробництва відповідальних зварних і механічно оброблених деталей: болтів, деталей шасі, лонжеронів, поясів, стикових з'єднань, полук, трубок, форсунок.

Хімічний склад: 0,3% С; 1,0% Cr; 1,0%Mn; 1,0%Si; основа-Fe. В нормалізованому стані (нормалізація виконується з температури 900° з охолодженням на повітрі) має структуру легованого фериту і перліту.



Сталь 30ХГСА. Відпал: легований ферит + легований перліт, - а) мікроструктура (*500)

Після гартування (з температури 900° з охолодженням в маслі) і середнього відпуску сталь набуває структури сорбіту, що зберігає орієнтацію мартенситу.

Для зменшення чуттєвості до надрізу, сталь додатково легують нікелем в кількості 1-2%. Хромансіль з нікелем 30ХГСН2А, як і 30ХГСА добре зварюється двома видами зварювання і використовується для відповідальних деталей шасі, полук, поясів крила і центроплану, болтів і вісей.

Сталь 38ХМЮА

Вуглецева сталь перлітного класу, що вміщує 0,4% С; 1,0% Cr; 1,0%A1; 1,0% Мо, основа - Fe. Сталь азотують при температурі 500 - 560° С на глибину 0,5 мм. Перед азотуванням сталь

<p>Легований ферит+перліт – після</p>	<p>Сталь 38ХМЮА. Відпал: легований ферит + легований перліт.</p>

підлягає гартуванню (температура 950° з охолодженням в маслі) і високотемпературному відпуску. Після азотування термічна обробка не призначається. Структура сталі в нормалізованому стані - легований ферит і перліт

Використовується в деталях поршневого і реактивного двигунів, що працюють в умовах тертя ковзанням; дзеркало циліндрів поршневих авіадвигунів, пальці причіпних шатунів, штоки клапанів, відповідальні шестерні редукторів. Після азотування поверхні деталі із сталі 38ХМЮА можуть працювати при високих температурах 400 - 500° С, не втрачаючи твердості поверхневого (азотованого) шару.

Сталь 40ХНМА

Високоміцна сталь перлітного класу, вміщує 0,4% С, 1,0%Cr, 1,0% Ni, 1,0% Мо, основа - Fe.

Структура сталі після відпалу - легований ферит і перліт.

Сталь 40ХНМА. Відпал - ферит і перліт (*500) Після термічної (гартування і відпуску) і хімотермічної (азотування) обробок в середині деталі структура сорбіту з орієнтацією мартенситу і нітриду, розташовані на межах зерен, і також на поверхні деталі. Сталь 38ХМЮА

Сталь використовується для відповідальних деталей авіаційних двигунів, що працюють в умовах змінних і ударних навантажень; з неї виробляють вали турбін, редукторів, гвинтів, колінчаті вали, головні і причіпні шатуни поршневих двигунів та інші важко навантажені деталі.

Жароміцні і жаростійкі сталі і сплави

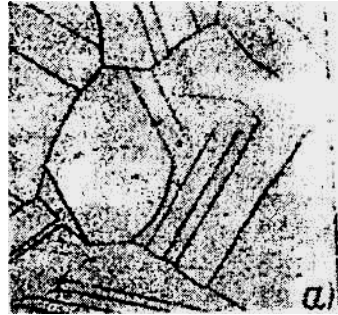
Розвиток реактивної техніки потребує використання жароміцних і жаростійких матеріалів, що здатні довгий час працювати при високих температурах в середовищі розпечених продуктів згоряння реактивних палив, витримуючи при цьому значні зовнішні і внутрішні напруги. До найбільш відповідальних деталей сучасного двигуна, які витримують великі термічні і механічні напруги, відносяться турбіни, лопатки соплового апарату, диски турбін, камери згоряння. Температура стінок камер

згоряння доходить до 1000 - 1050° С, а в деяких випадках і вище, при цьому температура розподіляється нерівномірно. Матеріали лопаток турбіни працюють при менших температурах ніж матеріали камер згоряння, але в них з'являються великі напруги від інерційних сил вібрації. До матеріалів цих деталей ставлять високі вимоги в відношенні їх жароміцності і жаростійкості.

Жароміцністю називають опір матеріалу пластичній деформації і руйнуванню при високих температурах. Жароміцність матеріалів досягається методом легування твердого розчину, але збільшує енергію зв'язку між атомами, тим самим затримує процеси дифузії і самодифузії, а температуру рекристалізації збільшує. Інший шлях утворення в сплавах спеціальної структури, що складається з вкраплених в основний твердий розчин і на межах зерен дисперсних, карбідних та інших інтерметалідних фаз. Така гетерогенна структура утворюється після гартування у високих температурах і наступного старіння. Жароміцні сплави, що працюють при високих температурах (до 1000° С) вміщують залізо нікель і кобальт, а для роботи в умовах дуже високих температур (1200-1500° С) молібден та інші тугоплавкі метали.

Жаростійкістю називають опір матеріалу газовій корозії (окисненню) при високих температурах. Висока жаростійкість досягається завдяки легуванню сплавів елементами, що утворюють оксидну плівку, яка щільно прилягає до основного матеріалу. Такими елементами є хром, алюміній, кремній.

Сталь Х18Н10Т належить до нержавіючих сталей аустенітного класу і вміщує 0,10% С, 18%Cr, 10%Ni, 1,0%Ti. В оксиді сталі нікель є аустенізатором і дозволяє отримати аустеніт при кімнатній температурі.



Сталь X18H10T

Як відомо аустенітна структура більш жароміцна ніж феритна. Хром надає сталі корозійної стійкості, тому що утворює на поверхні тверду і міцну плівку, що запобігає проникненню кисню в середину матеріалу. Титан запобігає інтеркристалічній корозії, що веде до руйнування зерна. Структура сталі X18H10T складається з зерен аустеніту з наявністю двійників і деякою кількістю карбідів титану. Сталь X18H10T в авіа будівництві використовується для зварних конструкцій, що працюють в умовах підвищених температур і невеликих напруг. З неї виробляють корпуси камер згоряння реактивних двигунів, зовнішні корпуси реактивного сопла, кожухи турбін, подовжувальні труби.

Сплав XH77TiOR

Деформуємий сплав XH77TiOR (ЭИ437Б) вміщує 0,02% С, 20% Cr, 2,5% Ti; 0,8% Al; 0,01%B, основа - нікель. Широко використовується для відповідальних деталей газотурбінного двигуна (лопатки турбін, диски турбін, що працюють при температурах 700 - 750°)



Сплав на нікелевій основі XH77TiOR. гартування + старіння. а) – мікроструктура (*500); б) - схема мікроструктури.

Сплав XH70VMTiO

Сплав XH70VMTiO вміщує 0,12% С; 15,0%Cr; 6,0% W; 3,0% Mo; 2,0% Ti; 2,0% Al; 0,02% B; 5,0%Fe основа - нікель. Легування вольфрамом і молібденом збільшує температуру рекристалізації як наслідок, жароміцність, також ці легуючі елементи утворюють карбіди комплексного типу, що підвищують опір пластичній деформації при високих температурах. Використання сплаву - лопатки турбін.

Сплав ЖС6КП

Сплав ЖС6кп найбільш жароміцний і жаростійкий з попередніх сплавів. Його хімічний вміст: 0,13%С; 10,5%Cr; 4,0% W; 5,0% Mo; 3,0%Ti; 4,6%Al; 0,03%B; 6,5%Co; 2,0% Fe, основа - нікель. Міцність сплаву при високих температурах досягається завдяки легуванню тугоплавкими металами - вольфрамом і молібденом, а також кобальтом, залізом і бромом. Сплав ЖС6кп використовують для виготовлення соплових і робочих лопаток газотурбінних двигунів, що працюють при температурах 900 -1050° С.

Обладнання прилади і матеріали

Для виконання роботи треба: металографічний мікроскоп, набір мікро шліфів легованих сталей і нікелевих сплавів, циркуль, лінійку.

Методичні вказівки і порядок виконання роботи

В даній роботі студенти знайомляться з поняттям леговані сталі, їх маркуванням, класифікацією, вивчають вплив головних легуючих елементів на властивості сталі. Далі вивчають мікроструктуру авіаційних сталей, встановлюють зв'язок між структурою, термічною обробкою і механічними властивостями сталей і сплавів.

Ознайомлюються з поняттям жароміцність і жаростійкість, а також методами їх досягнення. Проводять дослідження мікроструктур авіаційних жароміцних та жаростійких сплавів.

Завдання

1. Отримати набір мікро шліфів авіаційних легованих сталей і

сплавів.

2. Підготувати до роботи оптичний мікроскоп МІМ-7.
3. Провести дослідження мікроструктури кожної сталі під мікроскопом.

Робота №6 **Вивчення мікроструктури і властивостей сплавів** **на основі алюмінію.**

Мета роботи.

Дослідження мікроструктури алюмінію і сплавів на його основі, і встановлення зв'язку між структурами, діаграмами стану цих сплавів та їх фізико-механічними властивостями, встановлення області застосування алюмінію і його сплавів.

Основні теоретичні відомості.

Алюміній-метал сріблясто-білого кольору. Порядковий номер 13. Це один з найпоширюваніших у природі металів (ГКЦ - решітка, $a=0,404\text{нм}$). Найважливішою особливістю алюмінію являється низька густина - $2,7\text{ г/м}^3$ проти $7,8\text{ г/м}^3$ для заліза. Алюміній володіє сполученням цілого ряду властивостей: низькою температурою плавлення 660°C , високим тепло- і електропровідністю, великою пластичністю (до 50%), високою корозійною стійкістю.

В залежності від чистоти відрізняють алюміній особливої чистоти: А999 (99,999% Al); високої чистоти: А995 (99,995% Al); А97 (99,97% Al); А95 (99,95% Al); і технічної чистоти: А85, А8, А7, А6, А0 (99,85% Al). Як домішки в алюмінію присутні Fe, Si, Cu, Mn, Zn, Ti.

Алюміній має високу корозійну стійкість внаслідок утворення на його поверхні тонкої міцної плівки Al_2O_3 . Характерно, що чим чистіше алюміній, тим вище корозійна стійкість.

Комплекс властивостей, притаманний алюмінію, зумовлює застосування його в багатьох областях техніки. Алюміній особливої і високої чистоти використовують у електротехніці (фольга, струмопровідні та кабельні вироби). Технічний алюміній (АД і АД1) у зв'язку з низькою міцністю використовують для виготовлення елементів конструкції та деталей, які не несуть навантаження.

Значно більше використання, чим чистий алюміній, отримали його сплави, які мають більш високі міцнісні характеристики. Як леговані елементи у сплавах алюмінію використовуються Cu, Mg, Mn, Zn, Si, Li, Sc, Zr і деякі ін. речовини. Схема діаграми стану системи алюміній-легований елемент показана на рис. 1

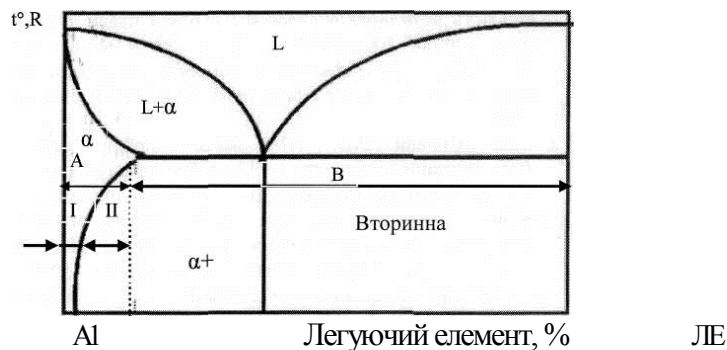


Рис 1. Діаграма стану Al-ЛЕ (легуючий елемент): А- деформовані сплави: не змінюючи I і змінюючи II термообробкою; область В - ливарні сплави; L - рідина; α - твердий розчин.

На основі цієї діаграми сплави алюмінію поділяються на деформуючі та литі, деформуючі сплави, в свою чергу поділяються на дві підгрупи: 1) сплави, які не зміцнюються термообробкою; 2) термічні сплави, які термічно зміцнюються. Деформуючі сплави використовують для виготовлення напівфабрикатів (листи, стрічки, профілі, дрід і т.д.), а ливарні - для виплавки деталей.

Деформуючі алюмінієві сплави, які не зміцнюються термообробкою. До цих сплавів відносять сплави алюмінію з марганцем (АМц) або з магнієм (АМг). Структура цих сплавів навіть після повільного охолодження являє собою однофазний твердий розчин відповідно марганцю магнію в алюмінії. Магній сильно підвищує міцність сплавів. До 12-14% Mg пластичність зміцнюється мало, а потім різко падає. Сплави системи Al-Mg додатково легують марганцем, який, при утворенні дисперсної частинки Al в Mg, зміцнює сплав і сприяє подрібненню зерна. В сплавах АМг2, АМг3, АМг5, АМг6 кількість марганцю складає 0,31-0,6%. Сплави АМг мають межу міцності 200-340 МПа, а АМц - трохи менше ($\sigma_{\text{в}} = 130-150$ МПа). Для підвищення міцності сплави підлягають гартуванню. В таких сплавах (АМг2Н, Маг6Н) $\sigma_{\text{в}} = 250-400$ МПа.

Сплави АМг і АМц легко оброблюються тиском (штамбування, гнучкість і т.і.), добре зварюються і мають високу корозійну стійкість. Для виготовлення ємкостей для рідин (бочка для бензину), трубопроводів, морських та річкових суден,

вітражів, перегородок, дверей, віконних рам і т.і використовують сплави АМц, АМг2, АМг3. Для середньонавантажених деталей і конструкцій використовують сплави АМг5 і АМг6 (рами та кузови вагонів, перегородки суден, ліфти, вузли підймальних кранів, корпуси та шогли суден та ін.)

Деформуючі алюмінієві сплави, які зміцнюються термообробкою.

До цієї групи сплавів відносять дюралюміній, сплав авіаль, високоміцні, кувальні та жароміцні сплави.

Дюралюміній - це сплав системи Al-Cu-Mg-Mn, що вміщує 2,2 - 5,2 % Cu, 0,15 - 2,7 % Mg і 2,2 - 5,2 % Mn. Представниками цієї групи сплавів є Д1, Д16, Д16М, Д16Т. Сплав Д16 витісняє Д1 так як він має більшу міцність ($\sigma_{\text{в}} = 470$ МПа) чим Д1 ($\sigma_{\text{в}} = 380$ МПа). Мікроструктура литого дюралюмінію Д16 складається із світлих дендритів α -твердого розчину з включенням фаз Cu Al₂, Al₂ Cu Mg₄ в міждендритних просторах.

Термообробка дюралюмінію складається з гартування і старіння. Так, наприклад, дюралюміній Д16 нагрівається до температури 495 - 502 °C і охолоджується з максимальною швидкістю для фіксації розчинившихся в решітці алюмінію атомів легованих елементів. Ця швидкість досягається при охолодженні у воді. В наслідок гартування сплав зміцнюється незначно, подальше зміцнення сплаву настає при натуральному старінні (витривалість у декілька днів при 100-150°C). Сутність старіння міститься у розпаді перенасиченого твердого розчину з часом (так як перенасичений стан кристалічної решітки алюмінію атомами міді є нестійким) і появою за рахунок розпаду дрібних груп міцних пластин, які називають зонами Гінье-Престона.

Зони Гінье-Престона викривляють кристалічну решітку алюмінію, деформують її, а це збільшує кількість дефектів решітки, що призводить до зміцнення сплаву.

Мікроструктура сплаву Д16 після загартування і старіння складається з перенасиченого алюмінієвого твердого розчину (світлий фон шліфу) і інтерметалічних з'єднань, які не розчиняються в твердому алюмінії (темні включення): Fe Al₃, Al Fe Si і ін. Після натурального старіння сплав Д16 маркується як Д16Т (літера Т значить твердий). Якщо сплав оновлений, то у

кінці ставиться літера М, що означає м'який (Д16М). Сплав Д16М після гартування і старіння може зміцнюватися нагартуванням (Д16Н). Якщо листи мають підвищену якість викатки, то у кінці марки ставиться літера В (Д16НВ, після загартування і штучного старіння сплав маркується як Д16Т1).

Для підвищення корозійної стійкості дюралюміній підлягає електрохімічному оксидуванню (анодуванню).

Дюралюміній використовується для виготовлення обшивки, шпангоутів, лонжеронів і стрингерів літаків, сталевих каркасів, будівельних конструкцій, кузовів вантажних автомобілів, троллейбусів і т.д.

Авіаль (АВ). Ці сплави поступаються дюралюмінію по міцності, але мають кращу пластичність у холодному та гарячому станах.

Авіаль загартовують від 515-525 °С з охолодженням у воді, а потім піддають натуральному старінню (АВТ) або штучному при 160 °С 12г (АВТ1). Зміцнюючою фазою в авіалі є з'єднання Mg₂Si.

Сплави цієї групи використовуються у елементах, що несуть помірні навантаження, а також для виготовлення лопастей гвинтів вертольотів, кувальних деталей двигунів, рам, дверей і т.д.

Високоміцні сплави. Це сплави системи Al-Zn-Mg- Cu. Їхня межа міцності досягає 550-700 МПа, але при меншій пластичності, ніж у дюралюмінію. Зміцнюючими фазами є MnZn₂, Al₂Mg₃Zn₃, Al₂CuMg. Сплави загартовуються від 460-470°С (з охолодженням у гарячій або холодній воді) і піддаються штучному старінню при 135-145°С 16г. Недоліком цих сплавів є більша чутливість до концентраторів напруги і зниження корозійної стійкості під напругою.

Представниками цієї групи сплавів є В95 (1,4-2% Cu, 1,8-2,8% Mg, 5-7 % Zn) і В96(2,2-2,8% Cu, 2,5-3,5% Mg, 7,6-8,6% Zn). Структура ливарних В95 і В96 складається з дендритів складнолегованого твердого розчину, по межах якого розташовані вище перелічені фази. Вони використовуються у літакобудуванні, для навантажених конструкцій, які працюють довгий час при t = 100-120°С (обшивка, стрингери, шпангоути, лонжерони, силові каркаси будівельних споруд і т.д.)

Кувальні сплави. До цієї групи сплавів відносяться АК2, АК4, АК6, АК8, АК10. Кування та штампування цих сплавів проводять при температурі 450-475°С. Це сплави системи Al-Cu-Mg-Mn-Si. В сплав АК4 додають ще 1-1,5%Ni. По хімічному складу вони близькі дюралюмінію, але

відрізняються більш високою кількістю кремнію. Зміцнюючими фазами в цих сплавах слугують CuAl₂ і Mg₂Si. Сплави загартовують з 520°С (АК6), або з 500°С (АК8) з охолодженням у воді і старінню при температурі 160-170°С протягом 12-15 годин.

Сплави для кування і штампування відрізняються високою технологічністю, пластичністю у гарячому стані, але вони схильні до корозії під напругою і до міжкристалічної корозії під напругою. Для підвищення корозійної стійкості виробів із сплавів їх захищають анодуванням і лакофарбовими покриттями.

Найбільш поширеними сплавами є АК6 і АК8. Сплави АК8 менш технологічні ніж сплави АК6, але вони добре зварюються.

Із сплавів АК6 виготовляють великогабаритні штампування для несучих підмоторних рам, фітінгів, стійок та інших силових деталей. Сплави АК8 рекомендуються для високонавантажених штампованих деталей (рам, стикових вузлів, поясів лонжеронів лопастей гвинтів вертольотів).

Сплави для заклепок. Вони мають особливе значення, так як метод клепаєння є одним з основних методів з'єднання деталей авіаконструкцій з алюмінієвих сплавів. Ці сплави повинні мати підвищену пластичність і високий опір на зріз. Хімічний склад і механічні властивості деяких сплавів для заклепок надані у таблиці хімічного складу, % і механічні властивості сплавів для заклепок.

Табл. 1. Хімічного складу, % і механічні властивості сплавів для заклепок

Марка сплаву	Cu	Mg		Zn	Ti	τ зр. МПа	σ в МПа	δ , %
АМг5П	-	5.2	-	0,4	-	190	270	23
Д18	2.6	0,35	-	-	-	200	300	24
В65	4,2	0,2	-	0,4	-	260	400	20
В94	2,1	1.4	6.4	-	0,06	320	520	15

Для виготовлення заклепок, що застосовуються при з'єднанні малонавантажених деталей, використовують сплави АМг5П і Д18, а в більш відповідальних конструкціях - В65 і В94.

Високомодулеві сплави. Це сплави систем Al-Be і Al-Be-Mg. Згідно діаграми стану Al-Be сплави цієї системи мають

евтектичну суміш. Промисловими є сплави, що вміщують в собі від 5 до 80% Ве, тобто заевтектичні. Міцність сплавів з 30 і 50 % складає тільки 200 та 300 МПа, відповідно. З метою підвищення міцності сплаву його легують магнієм. При цьому міцність сплаву досягає 470 МПа, а модуль пружності 135 ГПа.

Жароміцні алюмінієві сплави. В їх складі знаходяться більше хімічних елементів, ніж у інших алюмінієвих сплавах. До цієї групи сплавів відносяться АК4-1, ВД17, ВД17-Т1, ВАД1, ВАД2, ВАД23, Д20, 1201. Жароміцні сплави додатково легують залізом, міддю, титаном, нікелем, цирконієм та іншими елементами які позитивно впливають на жароміцність. Так, наприклад, сплав АК4-1 складається з 1,9-2,5% Cu; 1,4-1,8% Mg; 0,35% Si; 0,8-0,1% Fe; 0,8-1,4% Ni; 0,02-0,1% Ti; основа Al. Цей сплав гартується при температурі 530°C з охолодженням в воді і старінням при 200°C.

Зміцнюючими фазами жароміцних алюмінієвих сплавів є: Cu Al₂, Mg₂ Si, Fe Ni Al₃, Al₆ Cu₃ Ni, S – фаза (Al₂ Cu Mg), W - (Al₄ Cu Mg₅ Si₄) та інші.

Алюмінієві жароміцні сплави мають порівняно високу невисоку температуру солідусу $\approx 505-504^\circ\text{C}$, що обмежує їх резерв жароміцності.

Ливарні алюмінієві сплави. Сплави цієї групи повинні володіти високою рідиннотекучістю, порівняно невеликою усадкою, малою схильністю до появи гарячих тріщин і поруватості у співвідношенні з високими механічними властивостями, опору корозії та інше. Вони мають у своєму складі евтектику - найбільші легкоплавкі компоненти, які утворюються у системах Al-Si, Al-Cu, Al-Mg, які додатково легуються у невеликій кількості Cu, Mg, (Al-Si), Mn, Ni, Sn (Al-Cu). Для подрібнення зерна, а таким чином, покращення механічних властивостей, до сплаву вводять домішки - модифікатори, а саме титан, ванадій, цирконій, бор та інші. До основних ливарних сплавів відносяться: АЛ2, АЛ4, АЛ9, АЛ32, АЛ7, АЛ19, АЛ20, АЛ8, АЛ27, ВАЛ5 (АЛ34)

Силуміни. Це сплави системи Al-Si. Вони володіють високими ливарними властивостями.

Згідно діаграми стану Al-Si рис. 2. при вмісті кремнію 11,6 % виникає евтектика. В більшості випадків силуміни близькі до складу евтектичного. Представниками цієї групи будуть сплави АЛ2, АЛ4, АЛ9. Ці сплави легко обробляються різанням. Найбільш поширеним сплавом даної групи є АЛ2, який вміщує 10-13% Si.

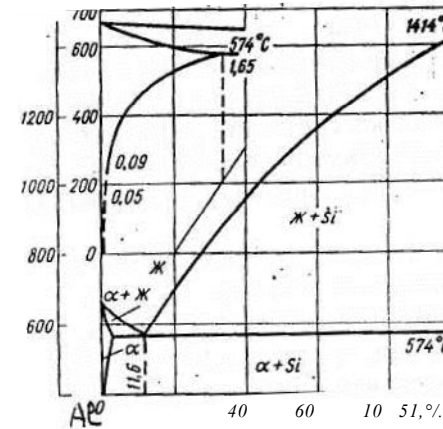


Рис. 2 Діаграма стану Al-Si

В структурі цього сплаву крім евтектики $\alpha + \beta$ не рідко знаходяться первинні кристали кремнію, які погіршують механічні властивості сплаву. З метою підвищення цих властивостей сплави АЛ2 модифікують натрієм (0,05-0,08%), який подрібнює евтектику та усуває лишні кристали кремнію. Модифікування сприяє підвищенню границі міцності сплаву до 170-200 МПа. Термічній обробці АЛ2 не піддається. Подвійномодифіковані силуміни характеризуються малою густиною, добре зварюються, корозійно-стійкі. Вони застосовуються для виготовлення малонавантажених деталей підвищеної корозійної стійкості (деталі приладів, корпуси водяних насосів, барабани та інше). В силумінах з домішкою магнію АЛ4 (8-10% Si; 0,17-0,3% Mg) АЛ9 (6-8% Si, 0,2-0,4% Mg) після термічної обробки (гартування та штучне старіння) межа міцності підвищується з 150-170 МПа до 240-260 МПа за рахунок виділення після старіння з α -твердого розчину дисперсних частин Mg₂ Si, (силіцид магнію). Силуміни АЛ4, АЛ9 використовуються для виготовлення середньо- навантажених деталей підвищеної корозійної стійкості (АЛ4-блоки циліндрів, картери і корпуси різних агрегатів) або володіючих високою стабільністю розмірів (АЛ9-гальмівні барабани, головки блоків та інше).

Представники сплавів системи Al-Si-Cu є силуміни з домішкою міді - АЛ6 (4,5-6% Si; 2-3% Cu) і АЛ 15 (3-5% Si, 3-5 %Cu). В склад евтектики силумінів, легованих міддю, входить фаза Cu Al₂ та евтектика змісту α +Si+CuAl₂. Деталі складних конфігурацій з цих силумів відливаються у землю і відпалюються.

Представниками сплавів системи Al-Si-Mg-Cu є силуміни з домішкою магнію та міді - АЛ5 (4,5-5,5 % Si, 0,3-0,6% Mg, 1-1,5% Cu). АЛ10В (4,5-6,5% Si, 0,2-0,5% Mg; 6-8% Cu). Ряд сплавів цієї групи, наприклад АЛ10В і АЛ114В, виготовляються з використанням вторинних відходів (в кінці марки ставиться літера В). За змістом кремнію ці сплави доевтектичні.

Сплави цієї системи використовуються для відливання великих та середніх за розмірами деталей складної конфігурації, які працюють у тяжких температурних умовах з нагріванням до 250°C (АЛ5-в авіаційному і машинобудівельному виробництві для виготовлення головок, блоків циліндрів, двигунів внутрішнього згорання з повітряним охолодженням; АЛ 10В-для виробництва поршнів автомобільних та тракторних двигунів).

Алюмінієво-мідні. Сплави системи Al-Cu рис.3, вміщують більше 4% Cu. Розчинність міді у алюмінію обмежена, залежить від температури (максимальна -5.65% при 548°C), (мінімальна -0,2% при 20°C). Представником подвійних атомів Al-Cu є АЛ7 (4-5% Cu, 1,2 % Si) який має структуру у відкритому стані α - твердого розчину з вторинною фазою CuAl₂.

Рис. 3. Діаграма стану системи Cu-Al.

При комплексному легуванні алюмінію створюється сплав АЛ19 (4,5-5,3% Cu, 0,2-0,5 Mg, 0,6-1% Mn, 0,3% Si, 0,25-0,45 Ti у мікроструктурі якого крім CuAl₂ присутня фаза Al₃ Ti та фаза Al₂Mn₂Cu.

Ці сплави (АЛ7, АЛ19) після термічної обробки мають високі механічні властивості при нормальній та підвищеній температурах та добре піддаються різанню. Ливарні властивості сплавів низькі (велика усадка, схильність до появи гарячих тріщин та інше). Зміцнення сплавів досягається загартуванням та старінням при 175°C 3-5 год.

По жаровитривалості вони перевищують ливарні алюмінієві сплави. З них виготовляють дрібні відповідальні деталі, які працюють при підвищених температурах (250-300 °C).

Сплави системи Al-Mg. Сплави алюмінію з магнієм мають низькі ливарні властивості, так як не вміщують евтектики. Характерною властивістю цих сплавів є добра карозійна стійкість, підвищені механічні властивості та добре обробляються різанням.

Розчинність Mg у Al складає 17,4% при 450°C, а при 20°C - 1,4%. Представниками цієї групи сплавів є АЛ8 (9,5-11,5% Mg), АЛ13 (4,5-5,5% Mg), АЛ27.

З АЛ8 виготовляють відповідальні деталі простої конструкції, які працюють в умовах великих вібраційних і динамічних навантажень, при підвищеній вологості чи у морській воді.

Сплави системи Al-Cu-Mg-Ni. Відносяться до жароміцних ливарних сплавів. Це сплави АЛ1(3,75-4,5% Cu, 1,25-1,75% Mg, 1,75-2,25% Ni), АЛ21(4,6-6,0% Cu, 0,8-1,3% Mg, 2,6-3.6% Ni). Крім цих сплавів якості жаровитривалих у використанні знаходяться сплави АЛ20, АЛ21, АЛ33, ВАЛ1, АЦ1 та інші. Висока жаровитривалість цих сплавів обумовлена домішками у сплави Mn, Ti, Ni, Ce, Zn, які утворюють нерозчинні (малорозчинні) інтерметалічні фази (Al₆Cu₃, Al₃Ce, Al₂Zn та інші). Максимальна тривала міцність спостерігається у сплаві АЛ33.

Найпоширенішим являється сплав АЛ1. Структура сплаву АЛ1 складається з α -твердого розчину, який містить Cu, Mg, Ni та надлишкові фази Al₂CuMg та Al₂Cu₃Ni.

З АЛ1 виготовляють поршні, головки циліндрів та інші деталі, які тривало працюють при температурі до 250°C. Сплав АЛ21, ВАЛ1, використовують для виробництва великогабаритних

деталей які повинні мати стабільні робочі розміри при підвищених температурах (до 300-350°C).

Алюмінієві антифрикційні (підшипникові) сплави.

Основними компонентами сплавів є Sn, Cu, Ni, Si, які утворюють з алюмінієм гетерогенні структури. До цієї групи сплавів відносяться А03-1, А09-2, А020-1, АН-2,5. Вони бувають ливарні і деформовані. В ливарних сплавах відсоток олова не повинен перевищувати 10-20%, так як створюється груба сітка олов'яної структури, що знижує виробничу довговічність при підвищених температурах. Деформовані сплави з антифрикційних властивостей кращі за ливарні.

Сплави А03-1 та А09-2 використовуються для відливок монометалічних вкладишів і втулок товщиною більш ніж 10мм.

Сплави А020-1 та АН2.5 використовуються для біметалічної стрічки з сталі методом прокатування з наступним штампуванням.

Спечені композиційні алюмінієві матеріали.

САП – спечений алюмінієвий порошок, який складається з порошоків алюмінію і дисперсних частинок А12О3. Склад А12О3 у САП коливається від 6-9 (САП-1) до 13-18% (САП-3). Із підвищенням вмісту А12О3 межа міцності збільшується. Ці матеріали отримують методом гарячого брикетування при t 500-600°C окисленого алюмінієвого порошку і наступної деформації гарячепресованих брикетів. Висока жароміцність САП визначається присутністю оксиду А1, який має вигляд тонкої плівки на поверхні дрібнодисперсних частинок алюмінієвого порошку.

Спечені алюмінієві сплави (САС) отримують гарячим брикетуванням з наступним пресуванням при t 500°C, порошоків алюмінію з деякими іншими речовинами. Сплави САС1 (25-30% Si, 5-7% Ni) та САС2 (25-30% Si 5-7% Fe) мають низькі коефіцієнти розширення і застосовуються для виготовлення окремих деталей приладів. Сплав САС-1 характеризується задовільною межею міцності (220-240 МПа) і низьким відносним продовженням (0,5%).

Зі САП та САС виготовляють обшивку, диски, лопатки компресорів та інші деталі, які працюють тривало при 300-500°C.

Гранульовані алюмінієві сплави.

Вони отримуються шляхом компактування з частин (гранул) відлитих з надвисокою швидкістю кристалізації. Гранульованні алюмінієві сплави вміщують перехідні метали (Fe, Ni, Co, Mn, Sn, Zn, Ti, V та

інші), в малій степені розчиннів алюмінію, а у деяких випадках ці елементи практично не розчинні. Такі сплави мають гетерогенну структуру, яка представляє собою алюмінієву матрицю з рівномірно дисперсними включеннями твердої фази. При підвищеннях вмісту перехідних металів, межа міцності гранульованих алюмінієвих сплавів досягає 800 МПа.

Нові алюмінієві сплави. Перспективними матеріалами космічної та авіаційної техніки ХХІ століття.

Особливе положення серед нових сучасних легких сплавів займають алюмінієві сплави літієм, скандієм та цирконієм.

До основних алюмінієво-літієвих сплавів належать: 1420, 1424 (Al-Mg-Zr-Li-Cu), 1440, 1441 (Al-Mg-Li-Sc-Zr-Cr), 1424, 1423 (Al-Mg-Li-Sc). Легування алюмінієвих сплавів літієм дає можливість підвищити ІХ міцність на 30% при цьому зменшити масу на 20%.

До групи алюмінієво-скандієвих сплавів відносяться: 1515, 1523, 1535, 1545, 1570, 1571. Сплави системи Al-Mg-Sc (1515, 1523, 1570) належать до групи термічно незміцнюючих, а сплави системи Al-Mg-Zn-Sc (1970, 1975) до групи термічно зміцнюючих. Вони поєднують високу міцність з добрими пластичними та ресурсними характеристиками, а також з достатньою стійкістю.

Прибори та матеріали.

Металографічні мікроскопи МИМ-7, ММР-2Р, об'єктиметр, комплект шліфтів алюмінію та його сплавів, мікротвердометр Г1МТ-3, атлас мікроструктур алюмінієвих сплавів.

Методичні вказівки і порядок виконання роботи.

При вивченні алюмінію та сплавів на його основі необхідно встановити взаємозв'язок з структурними і фізико-механічними властивостями. Спершу вивчається мікроструктура сплавів. Для цього встановлюється шліф на предметний столик мікроскопу. Зарисувавши структуру

РОБОТА № 7 "ВИВЧЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ МІДІ"

МЕТА РОБОТИ:

Дослідження мікроструктури міді, бронзи і латуні та встановлення взаємозв'язку між структурами, діаграмами стану цих сплавів і основними властивостями; встановлення області застосування міді та сплавів на її основі. Сірка покращує обробку міді різанням, а кисень, утворюючи закис міді, викликає «водневу хворобу».

Мідь добре чинить опір корозії в звичайних атмосферних умовах, у прісній та морській воді і інших агресивних середовищах. Вона легко оброблюється тиском, але погано різанням, має невисокі ливарні властивості за рахунок великої усадки. Мідь погано зварюється, проте легко підлягає паянню. Чиста мідь застосовується в основному в електротехніці як провідниковий матеріал, а в машинобудуванні використовують сплави міді: латуні і бронзи.

СПЛАВИ НА ОСНОВІ МІДІ.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.

Мідь - це метал червонуватого кольору з температурою плавлення 1083°C та густиною $8,94 \text{ г/см}^3$. Вона має кубічну гранецентровану гратку. За властивостями мідь наближена до срібла і золота та характеризується високою гнучкістю і електропровідністю. Границя міцності ливарної міді складає $16\text{-}20 \text{ кг/мм}^2$, відносне здовження 25%, а модуль пружності - 11500 кг/мм^2 . За електропровідністю мідь займає друге місце після срібла. Питомий електричний опір міді складає $0,0175 \text{ мкОм.м}$. В залежності від частоти мідь виготовляють наступних марок: МОО (99,99% Cu), МО (99,97% Cu), М1 (99,9% Cu), М2 (99,7% Cu), М3 (99,5% Cu). Присутні

в міді домішки мають великий вплив на її властивості. За характером взаємодії домішок з міддю, їх можна розділити на 3 групи.

1. Домішки, які утворюють з міддю тверді розчини: Ni, Zn, Sb, Sn, Al, As, Fe, P та інші.
2. Домішки, практично не розчинні в міді: Pb, Bi та інші. Вони утворюють легкоплавкі евтектики, які під час виділення по границям зерен, ускладнюють обробку тиском.
3. Домішки кисню та сірки, утворюючи з міддю крихілі хімічні сполуки Cu_2O і Cu_2S , які входять до складу евтектики.

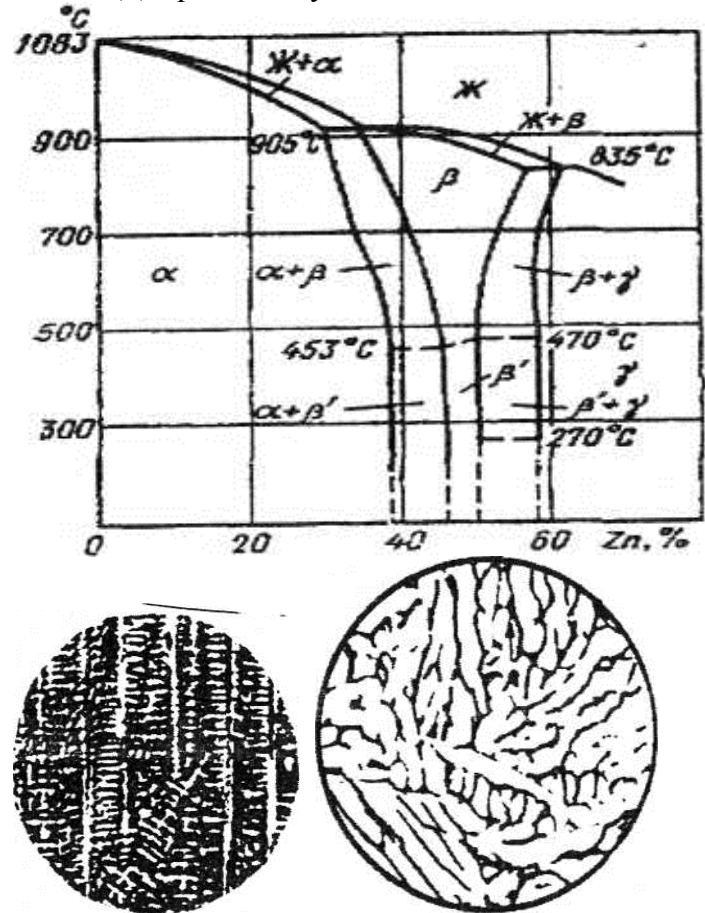
Мідні сплави володіють високими фізико-механічними властивостями, добре чинять опір корозії та зносу. Прийняте наступне маркування міді. Після літер «Л» - (латунь) чи «Бр» -(бронза) слідує буква основних елементів, які утворюють сплав. Наприклад: О - олово, Б - берилій, А - алюміній, З - залізо, Н - нікель, Х - хром, Ф - фосфор, Су - сурма, Мц - марганець та ін. Цифри, що слідує за літерами, вказують кількість легуючих елементів. Порядок цифр для бронз і латуней відмінний. В марках деформованих латуней перші дві цифри після букви «Л» позначають середній вміст міді в відсотках. Наприклад, Л70 - латунь, в якій міститься 70% Cu, а в латуні ЛА360-1-1 кількість міді 60%, алюмінію 1% і заліза 1%. Вміст цинку визначається за різницею від 100%.

На відміну від латуні, в бронзах вміст основного компонента – міді – не вказується, а визначається за різницею від 100%. Цифри після букв, відокремлені одне від іншого через тире, вказують середній вміст легуючих елементів у відсотках. Наприклад: Бр А9 -бронза, яка містить в собі 9% Al, а в деформованій бронзі БрАЗН10-4-4 кількість міді складає $100 - (10+4+4) = 82\%$, алюмінію - 10%, заліза - 4% і нікелю - 4%. Ливарні бронзи маркують наступним чином: Бр 05С5Ц5, що означає 5% Sn, 5% Pb, 5% Zn, а залишок – мідь.

Латуні. Латунями називають подвійні, або багатокомпонентні сплави на основі міді, в яких основним легуючим компонентом є цинк. Згідно діаграми стану Cu - Zn (рис.1), мідь з цинком утворює окрім основного α - розчину ряд фаз електронного типу $\beta, \gamma, \varepsilon$.

При кімнатній температурі практично вживані латуні або складаються з одних α -кристалів, або є сумішшю α та β -кристалів (мал.2).

Мал. 1. Діаграма стану Cu - Zn



Мал.2. Мікроструктура латуні Х200: а) α - латунь, б) $\alpha + \beta$ - латунь.

Сплави, які відповідають по складу області α (до 39% Zn) - однофазні і називаються α -латуні (рис.2,а). Це твердий розчин цинку в міді. З підвищенням кількості цинку у сплаві його міцність і пластичність підвищуються та досягають максимуму при 45% Zn для міцності і 30% Zn для пластичності. Кристалічна решітка α -латуні кубічна гранецентрована.

На відміну від α -фази, β -фаза в сплавах, які містять більше 39% Zn, є крихкою і більш твердою. Вона являє собою твердий розчин цинку в хімічній сполуці $CuZn(Zn)$. Такі сплави називають $(\alpha + \beta)$ -латунями. Це двофазні сплави, мікроструктура яких складається зі світлих зерен β -твердого розчину і темних зерен α -твердого розчину.

Мікроструктура деформованої відпаленої α -латуні (мал.3) має зернисту будову і характерні смужки двійників.



Мал.3. Мікроструктура деформованої і відпаленої латуні Х200: а) α - латуні, б) β -латуні.

а)

б)

Однофазні латуні містять міді не менше 61%. Марки цих латуней Л62, Л68, Л70, Л80, Л85, Л90, Л96 та ін. Латуні, які містять в собі

до 20% Zn, називаються томпаками (Л96, Л90), до 30% - патронними (Л80, Л85, Л70). Однофазні латуні відрізняються високою корозієстійкістю, пластичністю і добре оброблюються тиском в холодному стані.

Їх виготовляють у вигляді тонких листів, стрічок та ін. Напівфабрикатів, з котрих штамнують різноманітні деталі. Латуні Л62 і Л68 застосовуються для виготовлення трубопроводів, ущільнювальних прокладок, шайб, сильфонів, втулок та ін.

Латуні $\alpha + \beta$ містять 55-61% Cu; найбільш поширена марка Л59. Із латуні цієї марки виготовляють прутки, а з них за допомогою обробки різанням - різні деталі. Двофазні латуні нерідко легують Al, Fe, Ni, Sn, Mn, Pb та іншими елементами. Такі латуні називаються спеціальними або багатокомпонентними. Легуючі елементи збільшують міцність (твердість), але зменшують гнучкість латуні. Нікель збільшує розчинність цинку в міді, а всі інші елементи - зменшують. Опір корозії підвищують Al, Zn, Si, Mn, Ni. Свинець полегшує обробку різанням і покращує *антифрикційні* властивості. Останнім представником являється латунь ЛС59-1, яка називається автоматною.

Усі латуні по технологічній ознаці підрозділяються на дві групи: *деформовані*, із яких виготовляють листи, стрічки, труби, дріт та інші напівфабрикати і *ливарні* - для фасованого лиття. Ливарні латуні мають гарну рідинотекучість і високі антифрикційні властивості. Склад і властивості багатокомпонентних латуней приведені в таблиці. Головним видом термообробки латуней являється пом'ягшувальний відпал перед пластичним деформуванням при 600-700°C з повільним охолодженням. Така обробка сприяє збільшенню доли пластичності α -фази в структурі латуней. Для підвищення міцності і твердості латуні охолодження з вказаних вище температур проводиться прискорено в середовищі води чи повітря, що забезпечує збільшення вмісту β -фази.

Бронза - сплав міді з різними елементами, включно і цинк в невеликій кількості. В залежності від легуючих елементів, присутніх в бронзі, відрізняють олов'яні, алюмінієві, бериллові, свинцеві, кремністі, сурм'яністі, кадмієві, олов'яно-фосфорні та ін. Бронзи. Фазовий склад їх описується діаграмами стану двох основних елементів. Наприклад бронза

БрОФ 6,5-0,4 діаграмою Cu- Sn. Відмітимо, що структуру і властивості бронз змінюють в залежності від швидкості охолодження.

Бронзи, як і латуні, по технологічній ознаці підрозділяють на деформовані та ливарні. Для покращення ливарних властивостей (підвищення рідинотекучості) в бронзу додають у невеликій кількості такі елементи, як фосфор, свинець, алюміній (в залежності від основних елементів).

До основних фізико-механічних властивостей бронз відносяться: висока корозійна стійкість, міцність, тепло - та електропровідність, немагнітність. Для покращення властивостей їх піддають термічній обробці: відпалу, загартуванню, відпуску.

Розглянемо найбільш поширені бронзи. Олов'яниста бронза являється одним із давніших металічних сплавів, які володіють дуже малою *усадкою* і гарними ливарними властивостями.

Сплави з вмістом олова до 14% повинні мати однофазну структуру α -твердого розчину Sn в Cu-Cu(Sn). При кількості Sn > 14% на ряду з α -твердим розчином в структурі з'являється друга фаза евтектоїд $\alpha + \beta$ (β -твердий розчин на базі хімічного з'єднання Cu₃₁Sn₈).

Однофазні α -бронзи отримують в звичайних умовах твердіння лише при кількості Sn до 5-6 %. Вони мають структуру α -твердого розчину і відрізняються також гнучкістю. Внаслідок сильної ліквідації олов'янисті бронзи, маючи > 5% Sn, в звичайних умовах охолодження часто поряд з неоднорідним α -розчином містять усередині ділянки цього розчину багатого оловом, *островки евтектоїда*. Після відпалу структура такої бронзи стає однофазною. Вплив Sn на механічні властивості міді аналогічно впливу Zn, але проявляється він більш різко.

Гнучкість сплаву починає падати при утриманні олова більше 5-7%, а міцність при 15-20% олова.

В двофазних бронзах наявність включень твердого евтектоїда забезпечує високу стійкість проти тертя і тому такі бронзи являються гарним антифрикційним матеріалом і широко застосовуються як підшипникові сплави. Завдяки високій хімічній стійкості бронзи із них виготовляють арматуру (водяну, парову і т.д.). Для покращення обробки різанням, підвищення зносостійкості і щільності *відливок* в бронзи вводять свинець та цинк. Останній зменшує *ліквідаційні*

явища, які характерні для олов'яних бронз. Прикладом бронз, які містять цинк і свинець. Являється бронза БрО5С5Ц5, із яких роблять підшипники ковзання, *антифрикційні втулки* та інші деталі в навантажених двигунах, працюючих на тертя. Бронзи корозійностійкі в атмосфері і прісній воді. В *віддаленому* стані вони мають слідувачі механічні характеристики:

$\sigma_{\text{в}} = 300-320$ Мпа; $\delta = 30-35$ %; 60-65НВ; в наклепаному - $\sigma_{\text{в}} = 500-520$ Мпа; $\delta = 5$ % при 180 НВ.

До деформованих олов'яних бронз відносяться, наприклад, бронза БрОФ8,5-0,3, із якої виготовляють деталі, які витримують дуже високі навантаження: *опорні шайби, шестерні, пружини та інші.*

Алюмінієва бронза в багатьох випадках може замінити олов'яну. Оптимальний вміст алюмінію в бронзах – 8-10 %. Порівняно з олов'янистою такі бронзи є більш міцними і гнучкими, а також більш стійкі проти корозії і проти зносу.

Недоліком алюмінієвих бронз є велика усадка (до 2,5 %), а також забрудненість окисом алюмінію (Al_2O_3). Бронзи, які містять до 7,4 % Al - однофазні з структурою α -твердого розчину. Якщо Al більше 7,4%, то бронзи двофазні, наприклад БрА10. Їх структура: первинні зерна – твердого розчину і евтектоїд $\alpha + \gamma$, де α -твердий розчин на основі сполучення $\text{Cu}_{31}\text{Al}_{19}$. Однофазні бронзи (брА5, БрА7) дуже гнучкі. Їх використовують для виготовлення напівфабрикатів різного профілю. Двофазні алюмінієві бронзи містять у собі 9-11 % Al. Звичайно їх легують такими елементами як Ni, Mn, Fe. Двофазні бронзи мають структуру α -розчину і евтектоїда ($\alpha + \gamma_2$), як це видно із діаграми стану сплавів Cu-Al (мал.4).

Мал. 4. Частина діаграми стану Мідь-алюміній.

Залізо, марганець і нікель вводяться в бронзу для підвищення її механічних властивостей. Нікель також збільшує жароміцність і *стійкість* проти корозій. По корозійній стійкості ці бронзи перевищують олов'янисті і латунні, вони стійкі до дії атмосфери морської води. Мікроструктура ливарної алюмінієвозалізної бронзи Бр АЖ9-4 представлена на рис. 5, а. По границям дендритів α -твердого розчину (світлі кристали) видно включення евтектоїда $\alpha + \gamma$.



Рис.5. Мікроструктура алюмінієвозалізної бронзи Бр АЖ 9-4:
а) ливарна Х75; б) деформована і відпалена Х250

Усередині зерен γ -фази – дрібні включення залізовмісткої фази. У деформованій і відпаленій бронзи Бр АЖ9-4 видно зерна α -твердого розчину (світлі) і включення евтектоїду (темні). Темні крапки усередині α -фази залізовмістка складова (FeAl_3).

Алюмінієві бронзи можуть термічно оброблятися. Під час нагрівання до температури 900°C вони отримують однофазний склад β -розчину, який після *гартування* має структуру, подібну мартенситу, з дуже високою твердістю. Послідувачий *відпуск* дає можливість в широких межах змінювати механічні властивості алюмінієвих бронз. Ці бронзи гнучкі і легко обробляються тиском.

Алюмінієві бронзи – застосовують для виготовлення відповідальних навантажених деталей, які підлягають великому зносу і нагріву в експлуатації (фрикційні шестерні, зубчаті колеса, сальники, втулки та ін.). Алюмінієва бронза БрАЖМц 10-3-1,5 відноситься до двофазних бронз. Вона підлягає наступній термічній обробці – *гартуванню* температурою 900-930°C в воду і відпуску при температурі

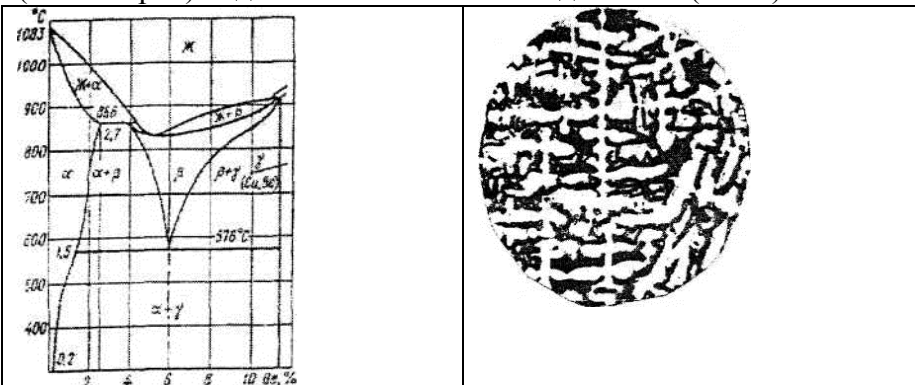
600°C протягом 1-2 годин. Застосовують для виготовлення деталей, підвищеної твердості, котрі працюють в умовах тертя. Наприклад: втулок, шестерень і ін.

Кремністі бронзи. При легуванні міді кремнієм (до 3,5 %) підвищується міцність а також гнучкість. Нікель та марганець покращують механічні та корозійні властивості кремністих бронз. Ці бронзи легко оброблюються тиском, різанням добре зварюються. Структура властивостей кремністих бронз залежить від вигляду термічної обробки.

Кремністі бронзи мають поряд з високими міцними характеристиками пружність і корозійну стійкість. У зв'язку з цим вони застосовуються для виготовлення пружин і пружинних деталей приладу і радіообладнання, працюючих при температурах до 250°C, а також в агресивному середовищі (прісна, морська вода).

Кремністу бронзу Бр КЦ4-4 використовують як заміник олов'янистих бронз, наприклад, Бр 05Ц5С5.

Берилієві бронзи. Ці бронзи відносять до сплавів, зміцненими термічною обробкою. Границя розчинення берилію при температурі 866°C складає 2,7 %, при температурі 600°C - 1,5 %, а при 300°C всього 0,2 % (мал.5). Це вказує на можливість зміцнення берилієвої бронзи методом дисперсного твердження. В структурі литої берилієвої бронзи (рис.6) в простірах α -твердого розчину (світлі зерна) видно включення евтектоїда $\alpha + \lambda$ (CuBe).



Діаграма стану мідь-берилій

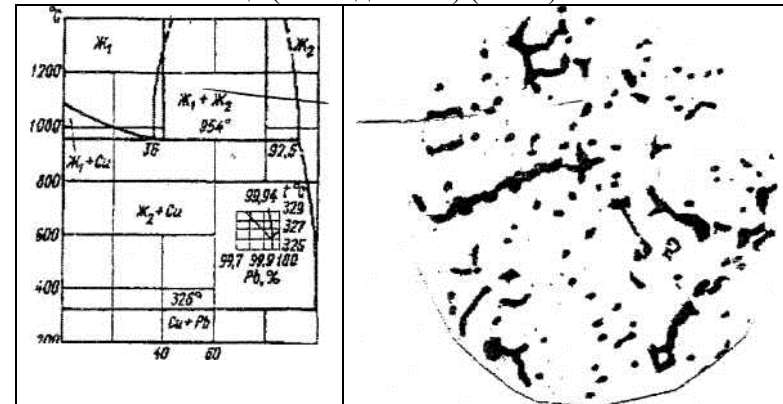
Мал. 7. Макроструктура литої берилієвої бронзи БрБ2 x150

Берилієві бронзи підлягають термічній обробці: котра проводиться при температурах 300-350°C. При старінні із перенасиченого твердого розчину виділяються дисперсні частинки γ -фази (CuBe), що сильно підвищує міцність бронзи.

Бронзу іноді легують також нікелем і титаном (не більш 0,25%): БрБНТ1,9; БрБН1,7. Ці елементи створюють сполучення $TiBe_2$, $Cu_3(Ti,Ni,Be)$ додатково зміцнюючи сплави при термічній обробці.

Володіючи високими значеннями часового опіру, межі текучості і пружності, берилієві бронзи гарно опираються корозії, зварюються та оброблюються різанням. Вони застосовуються для виготовлення мембран, пружин, пружинних контактів, деталей, працюючих на знос (кулачки напівавтоматів), в електронній техніці та ін. Враховуючи високі антифрикційні властивості берилієвих бронз їх використовують для виготовлення підшипників, працюючих при великих швидкостях, тисках і підвищених температурах, а також шестерен, зубчастих колес, черв'ячних передач...

Свинцевисті бронзи. Свинець практично не розчиняється в рідкій міді. Відповідно діаграмі стану (мал.8) мідь зі свинцем в твердому стані утворюють тільки механічну суміш. Тому структура сплаву складається із зерен міді (основне світле поле шліфа) і включення свинця (темні ділянки) (мал.9).



Мал. 8. Діаграма стану мідь-свинець

Мал. 9. Свинцевиста бронза БрС30 (схема мікроструктури)

Така структура бронзи забезпечує високі антифрикційні властивості. Це надає широке застосування свинцевистих бронз для

виготовлення вкладок підшипників ковзання, які працюють з великими швидкостями і підвищеному тиску. Порівнюючи з олов'яними підшипниковими бронзами, теплопровідність свинцевистої бронзи БрС30 в 4 рази більше, тому вона добре відводить теплоту, яка виникає при терті. Для підвищення зносостійкості і корозійної стійкості свинцевисті бронзи легують нікелем (БрСН60-2,5), оловом (БрОС8-12), котрі, розчиняючись в міді сприяють зміцненню сплава.

ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ І МАТЕРІАЛИ.

Мікроскоп МИМ-7, комплект шліфов латуней і бронз, мікротвердометр ПМТ-3, об'єктмікрометр, атлас структур мідних сплавів.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ І ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ.

При вивченні сплавів на основі міді необхідно встановити взаємозв'язок структури цих сплавів з їх фізико-механічними властивостями. Структура сплавів вивчається за допомогою мікроскопа, шляхом встановлення шліфа на предметний столик мікроскопа та його прогляду. Зарисовавши структуру сплаву і підписавши її, студент за допомогою навчальної літератури, довідників ідентифікує структуру сплаву і описує його фізико-механічні властивості. При необхідності слід використовувати діаграму стану.

ЗАВДАННЯ.

1. Ознайомитися з метою роботи.
2. Вивчити діаграми стану сплавів, наведених в роботі.
3. Вивчити мікроструктури відповідних сплавів, вказати їх структурні складові.
4. Встановити хімічний склад, фізико-хімічні властивості, область застосування сплавів.
5. Скласти звіт.

VI. ЗВІТ ПРО ВИКОНАНУ РОБОТУ.

1. Викласти мету роботи.
2. Зарисувати діаграми стану і мікроструктури досліджуваних сплавів.
3. Привести характеристику вивчаємих сплавів (хімічний склад, властивості).
4. Описати область застосування сплавів.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ.

1. Дати означення латуні і бронзи.
2. Пояснити діаграми стану вивчаємих сплавів.
3. Пояснити мікроструктуру вивчаємих сплавів.
4. Вказати марки сплавів та їх хімічний склад у зв'язку з маркуванням.
5. Пояснити взаємозв'язок структури сплава, його хімічного складу з фізико-механічними властивостями.
6. Вказати області застосування сплавів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

Фізико-механічні властивості полімерних матеріалів

Мета роботи - вивчити деякі групи неметалевих конструкційних матеріалів, порівняти їх експлуатаційні властивості із властивостями металевих конструкційних матеріалів, навчитись обирати металеві матеріали для конкретних виробів.

Загальні відомості

Використання в машинобудуванні різноманітних неметалевих матеріалів (пластмас, кераміки, композиційних матеріалів на основі пластмас, гуми, неорганічного скла тощо) на протязі багатьох десятиліть засвідчили низку переваг зазначених матеріалів у порівнянні зі стопами на основі заліза та кольорових металів:

- малу густину (0,15...2,2) кг/дм³;
- високу хімічну стійкість;
- особливі фізичні властивості (парамагнетизм, високий питомий електричний опір; особливі оптичні властивості);
- високу технологічність;
- низькі або високі значення коефіцієнтів тертя, високу зносостійкість;
- понижено вартість.

Поєднання унікальних властивостей неметалевих матеріалів робить їх за певних умов незамінними конструкційними матеріалами.

Термопластичні пластмаси

Пластична маса - це матеріал, що уявляє собою композицію полімера чи олігомера із різними компонентами, які знаходяться при формуванні виробів у в'язкоплинному або високоеластичному стані, її при експлуатації - у склоподібному або кристалічному стані.

Полімер - речовина, котра характеризується багаторазовим повторенням однієї або більше основних макромолекулярних ланок, поєднаних між собою у кількості, достатній для прояви комплексу влас-

тливостей, що залишаються практично незмінними при додаванні або вилученні однієї або декількох ланок.

Олігомер - речовина, молекули котрої вміщують складові ланки, з'єднані одна із однією певним чином, комплекс властивостей котрого змінюється при додаванні або вилученні однієї або декількох складових ланок.

До складу пластмас входять полімери (зв'язка), наповнювачі, пластифікатори, стабілізатори, забарвники, уповільнювачі старіння, антистатики, антифрикційні домішки, прискорювачі твердіння тощо.

У пластмасах, що розглядаються, використовують термопластичні полімери, котрі при багаторазовому нагріванні розм'якшуються, а при охолодженні твердіють без зміни властивостей внаслідок термоцилювання. Їх основа - полімери із лінійною або розгалуженою структурою. Для більшості термопластмас робоча температура не перевищує 90°C. При довготривалому статичному навантаженні спостерігається еластична деформація. Границя міцності при розтягу знаходиться в межах 10... 100 МПа, модуль нормальної пружності (1,8...3,5)10³МПа.

В табл. 12.1 наведено дані про механічні властивості та максимальні температури експлуатації основних термопластів.

Для виготовлення виробів найчастіше використовується лиття під тиском. Температура розтопу, температура пресформи, тиск та тривалість витримки під тиском визначають якість виробів. Завищена температура розтопу може привести до деструкції полімеру. Тому, наприклад, для полістиролу рекомендують наступні режими лиття: температура розтопу 170...250°C, тиск 6...10 МПа, температура пресформи 40...60°C.

Для зниження внутрішніх напруг, підвищення однорідності структури відлиті деталі термічно обробляють. Так, наприклад, поліетилен нагрівають у воді до 70...80°C, витримують 1,5...2 хв на 1мм товщини і охолоджують на повітрі.

Таблиця 1 - Механічні властивості та максимальні температури експлуатації термопластів

Термопласт	Границя міцності, МПа,	Відносне відо- вження,	Ударна в'язкість , кДж/м ²	Максим, температура експлу-ат., °С (без навантаж.)	Густина, кг/дм ³
Поліетилен ПЕВТ	10...18	300...600	Не руйнується	75	0,92-0,93
Поліетилен ПЕНТ	18...32	250...1000		80	0,95
Поліпропілен	26...38	700...800	30...70	100	0,90
Полістирол	40...50	3...4	10...20	70	1,05-1,08
	75...8S	50...130	3...10	100	
Фторопласт-4	20...40	250...300	100	250	1,90.-2,20
	80	5...6	2...10	90	1,18
Полівінілхлорид (ЖОРСТКИЙ [^])	50...65	20...50	2...4	85	і,ю
Полівінілхлорид	10...40	50...350	Не руннується	55	1,05

Призначення термопластів:

- поліетилен - для виготовлення контейнерів, ємностей, деталей хімічного обладнання, плівок тощо;
- поліпропілен - труби, деталі насосів, конструкційні деталі автомобілів
- полістирол – ручки, корпуси та інші деталі приладів, ємності для хімічних речовин;
- капрон – шків, болти, втулки, шестерні, гайки, вальниці;
- фторопласт-4- труби, вальниці, втулки, елементи ущільнень, шестерні;
- органічне скло – кришки, резервуари, деталі арматури, трубки;
- полівінілхлорид – труби, оболонки для електричних кабелів та

дротів, деталі вентиляційних установок, покриття хімічного обладнання.

Термореактивні пластмаси (реактопласти)

Полімери, котрі при нагріванні набувають просторову структуру, незворотно втрачають здатність розм'якшуватися при повторному нагріванні та розчиняються називають термореактивними. Ці полімери використовують у термостабільному стані після отвердіння, що створює сітчасту структуру із високою щільністю поперечних зв'язків.

Переваги реактопластів порівняно із термопластами: підвищена надійність; стабільність механічних властивостей та відносно мала їх залежність від температури, швидкості деформування та тривалості дії навантаження; більш високий рівень допустимих напруг (15...40 МПа); висока питома жорсткість (Б/р) та питома міцність (ав/р)- За останніми показниками деякі реактопласти мають перевагу над сталлями, стопами на основі міді та алюмінію. В той же час при розтягуванні реактопласти руйнуються без пластичної деформації і утворення шийки, характеризуються низькою ударною в'язкістю.

До найважливіших термореактивних полімерів відносяться фенолформальдегідні, епоксидні, поліефірні та кремнійорганічні смоли.

В залежності від наповнювача термореактивні пластмаси поділяють на порошкові, волокнисті та шаруваті. їх властивості наведено в табл. 2. "

Пластмаси із порошковими наповнювачами використовують для виготовлення електроарматури, кнопок, ручок, контейнерів, кронштейнів, інструментального пристосування, ливарних моделей, витяжних та формовочних пристосувань. Волокниті використовують для виготовлення виробів, що працюють на згин та кручення: маховики, зубчасті колеса, шків, фланці, втулки тощо.

Листові наповнювачі у шаруватих пластмасах надають матеріалам анізотропність, їх використовують спочатку для виготовлення листів, плит, труб, стрижнів, а потім із напівфабрикатів виготовляють деталі вальниць ковзання, зубчасті колеса, шків, втулки, деталі автомобілів, корпусні деталі, гальмівні колодки, фрикційні диски, лопатки насосів тощо.

Таблиця 2 – фізико-механічні властивості термореактивних пластмас

Пластмаса	Густина, кг/дм ³	Максим. температура доводгопривалої експлуат., °С	Границя міцності, МПа	Відносне видовження, %	Ударна в'язкість, кДж/м ²	Модуль нормальної пружності, МПа	Твердість, МПа
Порошкова	1,40...1,45	100...110	30	0,3...0,7	4...6	6300...8030	300...400
Волокниста: -волокнит	1,35...1,45	110	3060	1...3	9...10,4	8500	250...270
-асбоволокнит	1,95	200	40	1...3	20	18000	300
-скловолокнит	1,70...1,90	280	80...500	1...3	25...150	-	-
Шарувата: -гетинакс	1,30...1,40	150	80...100	1...3	12...25	10000	
-текстоліт	1,40	115	65...100	1...3	30	5000...10000	-
-деревно-шарувата плита	1,35	140...200	180...300	-	80...90	18000, 30000	-

Конструкційна кераміка

Кераміка, що призначена для виготовлення механічно навантажених деталей, називається конструкційною. Її переваги проявляються при підвищених температурах, спрацюванні та у хімічно активних робочих середовищах. До конструкційної кераміки відносять оксидну та безкисневу кераміку.

Оксидну кераміку на основі чистих оксидів алюмінію, цирконію, берилію, магнію, кальцію, церію, кремнію одержують у процесі високотемпературного випалювання (1200...2500°С). Властивості такої кераміки наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – властивості оксидної кераміки

Оксид	Густина кг\дм3	Температура топлення, °С	Границя міцності (при стиску)		Модуль нормальної пружності	
			t, °С	a", МПа	X, °С	E, ГПа
Al2O3	3,99	2050	20 1500	3000 50	20 1200	390 350
ЪгOг	5,6	2700	20 1500	2100 20	20 1350	172 96
BeO	3,0	2570	20 1500	800 50	20 1200	310 70
M^O	3,58	2680	20 1500	1400 1150	25 1300	300 220

Безкиснева кераміка (карбіди, бориди, нітриди та силіциди металів) відрізняється від оксидної більшою вогнетривкістю, твердістю та зносостійкістю, але опір окисленню при температурах вище 1000 °С недостатній. Тому її властивості найбільшою мірою реалізуються у вакуумі, нейтральній або відновлювальній атмосфері. Виняток складають SiC, SiI₄, на поверхні яких утворюється оксид SiO₂, котрий захищає вироб від подальшого оксидного руйнування. При експлуатації у вакуумі спостерігається сублімація, яка зростає в наступній послідовності: карбіди->бориди->силіциди->нітриди. Порівняно із металами та стопами безкиснева кераміка меншою мірою знеміцнюється при високих температурах. Безкиснева кераміка із кремнієм характеризується високою окалиностійкістю до 1700°С. Властивості основних безкисневих керамічних матеріалів наведено в табл. 4.

Таблиця 4 - Властивості безкисневих керамічних матеріалів

Кераміка	Густина, кг/дм ³	Температура топлення °С	Границя міцності (при стиску)		Модуль нормальної пружності	
			i, °С	$\sigma_{в}^{ст}$ МПа	t, °С	E, ГПа
SiC	3,2	2600	20	2250	20	394
BN	2,34	2350	20	500...600	25	1,16
	3,19	1820			20	317
MoSi ₂	6,24	2030	50 1500	1100 50	20	430

Конструкційна кераміка використовується для виготовлення деталей газотурбінних двигунів та двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ), що дозволяє на 30...40% збільшити ККД внаслідок підвищення робочих температур, виключення системи охолодження, зниження втрат на тертя та зношення. Так, наприклад, в газотурбінних двигунах камеризгорання, робочі лопатки, сопловий апарат виготовляють із SiC, статорні лопатки, теплообмінники виготовляють із SiC. Для виготовлення деталей ДВЗ використовують: Si₃N₄ (гільзи циліндрів, сидла клапанів, ротори турбонаддуву); ZrO₂ (поршні); Al₂O₃ZrO₂ (кулачки, насадки та штовхачі). Обшивання топків енергетичних установок здійснюють SiC, в верстатах вальниці ковзання та кочення виготовляють із Si₃N₄ та ZrO₂.

Завдання на підготовку до лабораторної роботи

Описати склад, властивості і призначення пластмас та конструкційних керамік.

Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості до лабораторної роботи

1. Що таке пластмаса і які компоненти входять до складу пластмас ?
2. Призначення компонентів пластмас.
3. Термопластичні пластмаси: полімери для цих пластмас і їх характеристики.
4. Термопластичні пластмаси, їх властивості та призначення.
5. Термореактивні полімери, основні види і властивості.
6. Властивості та призначення термореактивних пластмас.
7. Види, властивості та призначення оксидної кераміки.
8. Види, властивості та призначення безкисневої кераміки.
9. Особливості складу і властивостей неметалевих конструкційних матеріалів у порівнянні із металами та стопами.

Матеріали, інструменти, прилади та обладнання

Для виконання лабораторної роботи надається набір зразків із різних неметалевих матеріалів, машина для випробування на розтяг, термічна піч, твердомір, термометр, мікрометр, штангенциркуль.

Вказівки із техніки безпеки

Робота виконується відповідно до загальної інструкції з техніки безпеки (додаток А).

Порядок проведення лабораторної роботи

1. Ознайомитись із зразками, виготовленими із термопластичних, термореактивних та керамічних конструкційних матеріалів.
2. Визначити початкові розрахункові розміри зразків і позначити I₀.
3. Провести випробування наданих зразків на розтяг при різних температурах.

4. Визначити границі міцності та відносне видовження і твердість.
5. Розрахувати значення питомої міцності з використанням також даних таблиць 1...4.

Зміст звіту

Коротка характеристика термопластів, реактопластів та конструкційної кераміки, опис властивостей, складу, призначення. Графіки залежності границі міцності та відносного видовження від температури випробування пластмас. Гістограми питомої міцності пластмас, кераміки та вуглецевих (легованих) сталей. Висновки за отриманими даними.