

Міністерство освіти України
Дніпропетровський державний університет
Кафедра технології виробництва

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
з дисципліни «Матеріалознавство»

Дніпропетровськ
ДДУ
1999

Викладено теоретичні основи метало- та матеріалознавства. Вміщено рекомендації щодо вивчення структури та властивостей конструкційних та інструментальних сталей, особливих сталей і сплавів, кольорових металів.

Для студентів фізико-технічного інституту, які навчаються за спеціальностями «Технологія проектування та виробництва РКЛА»,
«Металорізальні верстати та системи».

Темплан 1999, поз. 64

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Матеріалознавство»

Укладачі: канд. техн. наук, доц. В. М. Демура
канд. техн. наук, доц. Д. І. Шевчук
О. В. Кулик

Редактор В. П. Шиян
Техредактор Л. В. Куценко
Коректор

Підписано до друку 00. 05. 99. Формат 60×84/16. Папір друкарський.
Друк плоский. Умов. друк. арк. 0,00. Облік.-вид. арк. 0,00.
Тираж 100 примірників. Замовлення.

Редакційно-видавничий відділ ДДУ, 320625, МПС, м. Дніпропетровськ-10, пр. Гагаріна, 72
Ротапринт ДДУ, 320050, м. Дніпропетровськ, вул. Казакова, 4б

ЛАБОРАТОРНА РАБОТА 1

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Мета роботи: 1) ознайомлення з методами вимірювання твердості і мікротвердості металів і сплавів;
2) вивчення будови і застосування пресів Брінеля, Роквелла, і мікротвердоміра ПМТ–3.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Методи вимірювання твердості матеріалів

Вимірювання твердості різних матеріалів є одним з найбільших легко і швидко виконуваних механічних випробувань. Практичне вимірювання твердості металів здійснюється за допомогою твердомірів різних систем згідно з методами Брінелля та Роквелла.

За методом Брінелля в досліджуваний зразок вдавлюється сталева загартована кулька під дією заданого навантаження (Р) протягом певного часу.

Розмір діаметра кульки, величину навантаження та тривалість його дії вибирають в залежності від матеріалу та його товщини за таблицею.

Число одиниць твердості за Брінеллем (НВ) визначається як відношення навантаження Р, під дією якого вдавлюється кулька, до площі сферичної поверхні відбитка в матеріалі:

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \text{ МПа (кг/мм}^2\text{)}$$

де Р – навантаження Н (кг);

F – площа утвореного відбитка кулькою на зразку;

D – діаметр кульки, м (мм);

d – діаметр відбитка, м (мм).

Обчислення твердості за формулою є досить складним. Тому, як правило, користуються готовими таблицями, в яких наведено число твердості в залежності від діаметра відбитка.

За метод Роквелла твердість визначається вдавлюванням у досліджуваний зразок алмазного конуса з кутом при вершині 120° або сталевій загартованій кульки діаметром 1,588 мм під дією двох послідовно прикладених навантажень: попереднього 100 Н (Р₀) і повного (Р), яке дорівнює сумі попереднього і основного навантаження у 1500, 1000 або 600 Н. Число твердості за Роквеллом є умовним розміром і визначається різницею глибин, на які переміститься наконечник під дією послідовно прикладених попереднього і загального навантажень (рис. 1).

Число твердості за Роквеллом обчислюється за формулою:

$$HR = \frac{k - (h - h_0)}{c},$$

де h і h₀ – величини переміщення наконечника під дією відповідно попереднього і загального навантажень;

k – постійна величина: для кульки – 0,26,
для конуса – 0,2;
 c – ціна поділки циферблата індикатора;

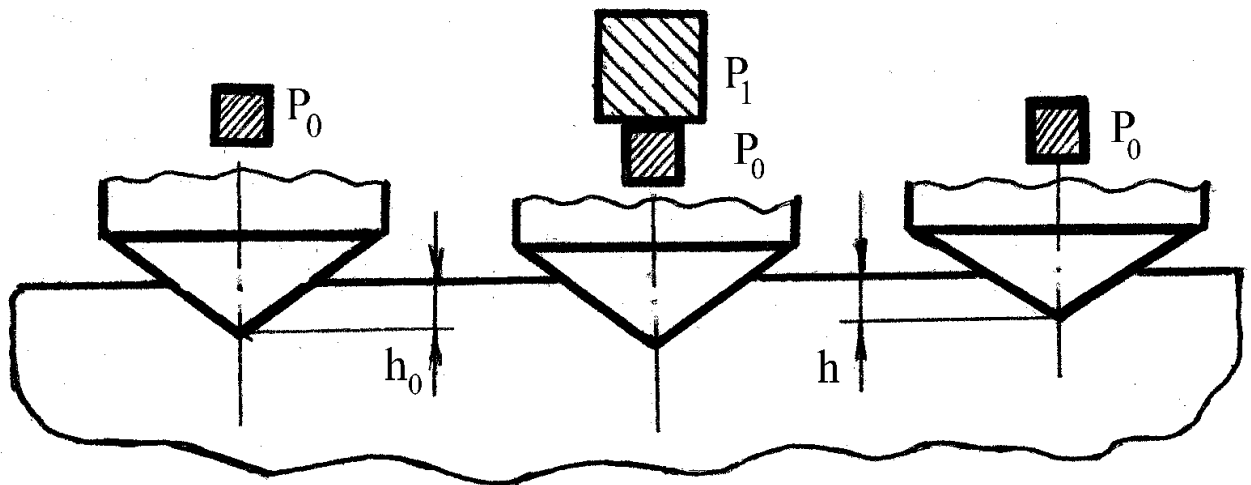


Рис. 1 Схема вимірювання твердості за Роквеллом.

На практиці число твердості за Роквеллом не обчислюють, а відлічують на шкалі індикаторного приладу, котрий автоматично вимірює глибину проникнення наконечника в досліджуваний метал. Тип наконечника і величину навантаження для випробування вибирають відповідно до заданої твердості металу.

Сталева кулька застосовується при випробуваннях виплавленої сталі, твердість якої HB 250, і кольорових металів; алмазний конус – для сталей, підданих термічній або хіміко-термічній обробці, а також для випробування сплавів з твердістю HB 700.

Визначення твердості виконують на приборах типу ТК. При обиранні на зразку місця для випробування дотримуються такого правила: відстань від центра відбитка до краю зразка повинна становити не менше 2,5 мм, а відстань між двома сусідніми відбитками – не менше 4 мм. Отриманий відбиток вимірюють за допомогою лупи або мікроскопа у двох взаємно перпендикулярних напрямках, діаметр відбитка визначається як середнє арифметичне результатів двох вимірювань.

Порядок виконання роботи

1. Для визначення твердості за Брінеллем користуються твердоміром ТШ-2.
2. Вимірявши діаметр відбитка, число твердості HB обчислюють за наведеною вище формулою або знаходять за таблицею.

Результати випробування заносять в протокол 1.

Протокол 1

№ п/п	Назва матеріалу	Діаметр кульки	Наванта- ження, Н	Твердість за Брінеллем				HB, МПа
				1	2	3	середнє	

2. Для визначення твердості за Роквеллом користуються лупою, яка має шкалу, мала поділка якої дорівнює 0,1 мм. Лупу нижньою опорною частиною

треба щільно установити на досліджувану поверхню зразка над відбитком. Повертаючи окуляр, необхідно добитися, щоб краї відбитка були різко окреслені. Пересуваючи лупу, один край відбитка сполучити з початком шкали. Відмітити поділку шкали з якою збігається протилежний край відбитка. Даний відлік і буде відповідати розміру діаметра відбитка. Потім лупу чи зразок треба повернути на 90° і відміряти діаметр відбитка вдруге.

Таким чином виконують декілька випробувань і за число твердості беруть середнє арифметичне значення.

Результати вимірювань заносять у протокол 2.

Протокол 2

№ п/п	Назва матеріалу	Наконечник	Наванта- ження, Н	Твердість за Роквеллом				НВ, МПа
				1	2	3	середнє	

Число твердості за Роквеллом не відповідає числу твердості за Брінеллем, але користуючись спеціальною таблицею, можна перевести одну величину в іншу.

Вимірювання мікротвердості проводять за допомогою приладу ПМТ-3. При визначенні твердості окремих структурних складових поверхня повинна бути підготовлена так, як для металографічного дослідження, тобто слід отримати мікрошліф. Зразки стрічки і фольги випробують без підготовки. Азотовані та ціановані зразки шліфують і полірують. Випробування на мікротвердість проводять вдавленням у досліджуваний зразок чотиригранної алмазної піраміди з кутом при вершині 136° , тобто таким же, як у піраміди при випробуваннях на твердість за Віккерсом. Мікротвердість визначається за формулою:

$$H_0 = \frac{P}{F} = \frac{2 \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = \frac{P \cdot 1,854}{d^2},$$

де α – кут між протилежними гранями піраміди при вершині, який дорівнює 136° ;
 d – середнє арифметичне довжин двох діагоналей відбитка після зняття навантаження, мм.

Характерною особливістю випробувань на мікротвердість є застосування малих навантажень від 0,05 до 0,5 кгс, тому в основному цей метод використовують для вимірювання твердості таких зразків та деталей, котрі не можуть бути випробувані звичайними методами (за Брінеллем, Роквеллом, Віккерсом), а саме: дрібних деталей приладів, тонких напівфабрикатів (стрічок, фольги, дроту), тонких шарів металу, отриманих в наслідок хіміко-технічної обробки (азотування, ціатування), гальванічних покриттів, поверхневих шарів металу, які змінили свої властивості внаслідок наклепу, тиску, механообробки, тертя, а також окремих структурних складових сплавів.

Метод дозволяє одержати значення твердості окремих структурних складових частин, оскільки прилад дає збільшення $\times 500$.

Порядок проведення випробування на мікротвердість

1. Риски приладу розташуйте праворуч від відбитка (рис. 2, а).

2. Обертанням барабана і окулярного мікрометра лівий кут, утворений рисками, підведіть (справа наліво) до правого кута відбитка (рис. 2, *а*) так, щоб товщина рисок залишалася праворуч від контуру відбитка.

3. Виконайте відлік за шкалою лімба барабана окулярного мікрометра; за допомогою окуляра визначте, між якими цифрами шкали розташувався подвійний штрих (перехрестя рисок); цифра, розташована ліворуч від подвійного штриха, означає сотні; до цього числа треба додати показники лімба барабана. Отриманий результат запишіть у графу 4 протоколу випробувань.

4. Обертанням барабана окулярного мікрометра правий кут між рисками підведіть до лівого кута відбитка (рис. 2, *б*).

5. Зробіть відлік за шкалою і лімбом барабана окулярного мікрометра; за допомогою окуляра визначте, як розташований подвійний штрих; до цього числа треба додати показники лімба барабана. Результат запишіть у графу 5 протоколу випробувань.

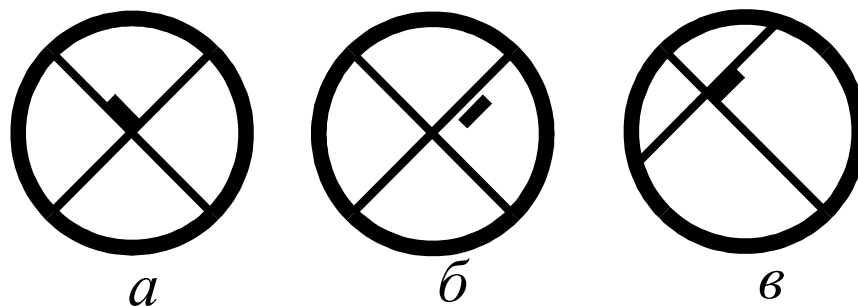


Рис. 2. Схема вимірювання довжини діагоналей у відбитку:

а – підведення рисок до правого кута відбитка;

б – положення рисок біля вершини правого кута відбитка для першого відліку;

в – положення рисок біля вершини лівого кута відбитка.

6. Від першого числа відніміть друге (отримана різниця дорівнює довжині діагоналі відбитка). Результат запишіть у графу 6 протоколу випробувань.

7. Визначте довжину діагоналі відбитка в мікронах; для цього отриману довжину діагоналі відбитка у поділках треба помножити на ціну однієї поділки. Оскільки у приладі ціна поділки дорівнює 0,3 мкм, то отриману довжину діагоналі відбитка в поділках слід помножити на 0,3. Результат вимірювання в мікрометрах запишіть у графу 7 протоколу випробувань.

Число твердості визначають за спеціальними таблицями, розрахованими на навантаження 0,05; 0,1; 0,2; 1,0; 5,0 Н.

Одержані значення мікротвердості запишіть у графу 8 протоколу випробувань.

Протокол випробувань

№ п/п	Об'єкт випро-	Наван- таження,	Перший відлік	Другий відлік	Різниця першого і	Довжина діагоналі	Мікро- твердість,
----------	------------------	--------------------	------------------	------------------	----------------------	----------------------	----------------------

	бування	H			другого відліків (довжина діагоналі відбитка)	відбитка помножена на 0,3	МПа
1	2	3	4	5	6	7	8

Контрольні запитання

1. Чи залежить твердість матеріалу від розміру навантаження?
2. Які особливості вимірювання твердості відпалених, загартованих і крихких матеріалів?
3. У чому перевага методу мікротвердості перед іншими методами вимірювання твердості матеріалу?
4. Яка розмірність значень твердості, одержаних різними методами?

Оформлення звіту

Звіт про виконану роботу повинен містити:

- 1) мету роботи і теоретичні відомості;
- 2) методику роботи;
- 3) таблиці параметрів твердості за Брінеллем, Роквеллом, мікротвердості;
- 4) висновок;
- 5) відповіді на контрольні запитання.

Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов:
Справ./под. ред. М. Л. Бернштейна.— М.: Металлургиздат, 1987.—250с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2 ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРУ ЗЕРНА МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Мета роботи: визначення розміру зерна у зразках сталей і титанових сплавів.

Матеріали та обладнання: металографічний мікроскоп МИМ-7, набір мікрошліфів сталей і титанових сплавів, що мають зерно різних розмірів.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Кристали в полікристалічному агрегаті називаються зернами або кристалами. Виникають кристали незалежно один від одного при кристалізації рідкого сплаву, розчину, пари чи твердого середовища, при фазовому перетворенні. Кожне з зерен росте тільки з свого центра кристалізації, тому характеризується власною випадковою кристалографічною орієнтацією в просторі. Центри кристалізації виникають не одночасно, швидкість виростання кристалів залежить

від конкретних кінетичних умов кристалізації і різна для різних кристалів (рис. 1, 2). Тому до моменту взаємного зіткнення вони встигають розростися до різних розмірів, внаслідок чого форма граничних зерен виявляється неправильною.

Неодночасне виникнення центрів кристалізації і різна швидкість виростання зерен зумовлюють різнозернистість кристалічних тіл: у будь-якому об'ємі металу зерна відрізняються від середніх розмірів у більший чи менший

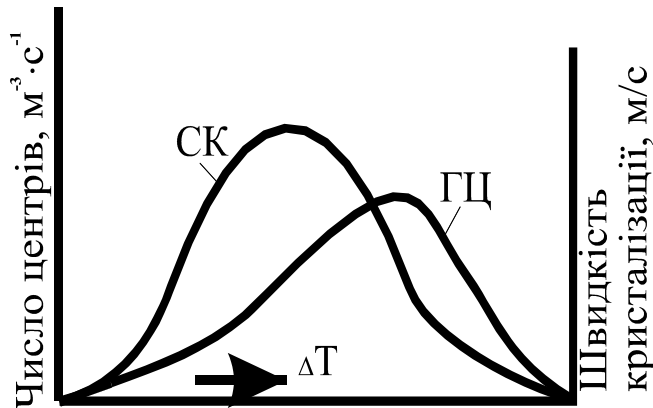


Рис. 1. Швидкість росту кристалів (СК) і швидкість зародження центрів (ГЦ) у залежності від ступеня переохолодження.

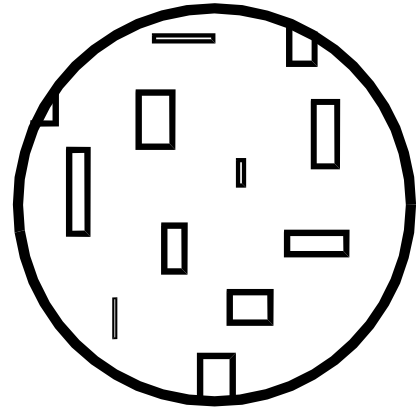


Рис. 2. Схема процесу кристалізації.

бік.

Різнозернистість – шкідливе явище, особливо для виробів відповідального призначення, тобто для виробів, які використовуються в умовах підвищених напружень та температур. Дрібні і крупні зерна мають різну міцність і пластичність, тому середній рівень цих характеристик тим значніше відхиляється від оптимальних значень, чим більшою є різнозернистість сплаву. Ступінь різнозернистості оцінюється за ГОСТами для сплавів відповідального призначення.

Межі зерен (міжкристалеві межі) – це тонкі перехідні зони між суміжними кристалами.

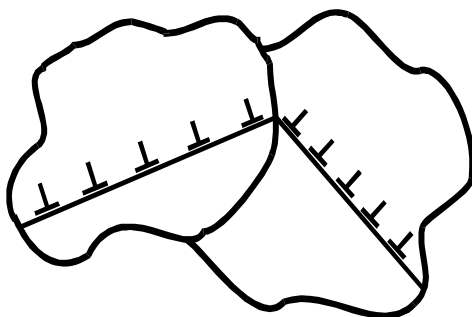


Рис. 3. Схема переходу дислокації через межу зерна

Кристалічна решітка межі зерен відрізняється від нормальної: вона перебуває під дією силових полів решіток обох кристалів, насичена домішковими атомами, дислокаціями, вакансіями, має підвищену потенціальну енергію. Тому дислокаціям під час руху важко перетинати межі зерен. Для цього необхідно затратити додаткову енергію. Згенеровані в лівому зерні дислокації (рис. 3) збираються перед межами зерен, створюючи поле напруження і для перетину межі зерна треба прикласти додаткові зусилля. Чим більша протяжність меж, тим сильніше їхній «бар'єрний ефект»

впливає на рух дислокації і тим більшим є зміцнення металу чи сплаву при кімнатній температурі.

Отже, дрібно-зерниста структура металу в більшій мірі сприяє його зміцненню, ніж крупнозерниста. Крупнозерниста структура забезпечує більш високу пластичність сплавів.

Це явище посилюється у випадку двофазних сплавів, коли на рух дислокації впливає «бар'єрний ефект» не тільки в межах кожної з фаз, але й посилений «бар'єрний ефект» міжфазних меж. Зміцнення цих сплавів ще значніше.

Послідовність визначення розміру зерна металів і сплавів

Розмір зерна сталі і сплавів визначають за допомогою металографічного мікроскопа за одним із описаних нижче методів:

1. Порівнюють мікроструктуру сталі або сплаву, збільшену у 100 раз, зі стандартною шкалою, вміщеною у ГОСТ-5639-65 для визначення розміру зерна. Порядкові номери еталонів цієї шкали відповідають номеру знака. Зерна з номерами 1 – 4 вважаються крупними, а з номером 5 і вище – дрібними.

2. Підраховують кількість зерен, що вміщуються на 1 мм² площі шліфа. Для цього лічать число зерен (N), які потрапили в середину круга (круг діаметром 79,3 мм відповідає 0,5 мм² площі шліфа) при збільшенні в 100 раз. Потім додають до цього числа половину числа зерен, перерізаних колом. Подвоївши цю суму, знаходять число зерен на 1 мм² шліфа:

$$N_0 = 2 \cdot (N + \frac{1}{2} N_{\text{опр}}), \frac{1}{\text{мм}^2}$$

Підраховують середнє значення площі зерна F за формулою:

$$F = \frac{1}{N_0}, \text{ мм}^2$$

і за ГОСТ 5639-65 встановлюють номер зерна.

3. Згідно з методом вимірювання середнього умовного діаметра зерна на мікрофотографії проводять у будь-якому напрямку декілька прямих ліній певної довжини. Підраховують число зерен N_i , перекреслених цими лініями, і, поділивши сумарну довжину ліній на число перекреслених ними зерен, визначають середній умовний діаметр зерна (D) і середню площу (F_0):

$$D = \frac{\sum l_i}{\sum N_i}, \text{ мм}; \quad F_0 = \frac{\pi D^2}{4}, \text{ мм}^2.$$

За ГОСТ 5639-65 знаходять номер зерна.

4. Для визначення розміру текстурованого зерна проводять січні уздовж і поперек текстурованого зерна, підраховують кількість перетинів меж зерен у цих напрямках. Найменше число перетинів спостерігається на січних горизонтального напрямку, а найбільше – вертикального. Середнє число перетинів з межами зерен, про що свідчить метод кількісної металографії, виявляється на січних, проведених під кутом 40° до напрямку орієнтації зерна. Тому для визначення середнього числа перехрещень на одиницю довжини січної, проведеної під кутом 40° до напрямку орієнтації зерен, виконують за 11...15 підрахунків.

Контрольні запитання

1. Що таке зерно металу?
2. Який розподіл зерен за розмірами вважається нормальним?
3. Чим визначається кристалографічна орієнтація зерен у просторі?

Порядок проведення роботи і оформлення звіту

1. Перегляньте всі шліфи набору і виберіть 3 шліфи сталі однієї марки з різним розміром зерна.
2. Замалюйте мікроструктуру у журналі досліджень.
3. Визначити розмір зерна методом підрахунку зерен на 1 мм^2 поверхні кожного з вибраних трьох шліфів сталі.

Для цього:

переведіть зображення мікроструктури на матове скло при збільшенні в 100 раз;

підрахуйте на матовому склі число цілих зерен в середині круга діаметром 79,3 мм;

підрахуйте число зерен перетнутих колом;

підрахуйте загальне число зерен в середині кола;

визначте площу зерна за формулою $F=1/N$;

порівняйте результати досліджень зі шкалою балів.

4. Визначте розмір зерна методом умовного діаметра зерен у відповідності до п. 3.

5. Визначте розмір зерна у зразку з орієнтованою структурою за наведеним описом.

6 Самостійно складіть таблицю і внесіть до неї усі експериментальні дані.

Стандартна шкала ГОСТ 5639-65 для визначення розміру зерна.

Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов: Справ./Под ред. М. Л. Бернштейна. – М.:Металлургиздат, 1987. – 250 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3 КОНСТРУКЦІЙНІ ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ СТАЛІ

Мета роботи: вивчення мікроструктури і властивостей важливих марок конструкційних та інструментальних сталей.

Матеріали та обладнання: колекція зразків конструкційних та інструментальних сталей, металографічні мікроскопи ММУ-5, МИМ-7.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

До конструкційних належать сталі, які відрізняються конструкційною мі-

цністю і застосовуються для виготовлення різних деталей машин. Високий комплекс механічних властивостей забезпечується легуванням та термічною обробкою.

У залежності від термічної обробки конструкційні сталі розділяють на цементовані, поліпшені і середньовідпущені (ресорно-пружинні). Вони можуть бути вуглецевими та легованими із вмістом легуючих елементів не більше 6 – 7%.

Поліпшені конструкційні сталі містять:

0,3 – 0,5% вуглецю;

2 – 3% некарбідоутворюючих елементів (Ni, Si, Mn), котрі в основному зміцнюють твердий розчин;

2 – 3% карбідоутворюючих елементів (Cr, Mn), які входять до складу легованих карбідів;

до 1% тугоплавких елементів (Ti, Zr, Mo, W, Nb, V), спеціальні карбіди котрих, подрібнюючи зерно, знижують схильність до відпускнуї крихкості.

Із сталей виготовляють деталі, що працюють в умовах високих статичних, знакозмінних та динамічних навантажень. Такі сталі повинні мати високий комплекс механічних властивостей: $\sigma_b = 1000-3500$ МПа ($100-350$ кг/мм²), $\delta = 13-17\%$, $\psi = 45\%$, KCV 3,5 МДж/м.

Основним методом термічної обробки сталей є термічне поліпшення, тобто гартування і високий відпуск ($500 - 660^\circ\text{C}$).

Структура сорбіту, яку одержують після поліпшення конструкційних сталей, поєднує високу міцність з ударною в'язкістю, що забезпечує конструкційну міцність деталі. Але, крім поліпшення, деякі деталі піддають і іншим видам термічної обробки: нормалізації, ізотермічній і термомеханічній.

У таблиці 1 наведені механічні властивості поліпшених сталей, а на рис. 1 зображені графіки змін механічних властивостей в залежності від температури відпуску середньовуглецевої (поліпшеної) та маловуглецевої (цементованої) сталей. З графіків видно, що однакові механічні властивості ($\sigma_b = 1200$ МПа, $\psi = 50\%$) мають цементовані сталі після гартування і низького відпуску, а поліпшені – після гартування і високого відпуску.

Міцність $\sigma_b = 1400 - 1700$ МПа та задовільні механічні властивості забезпечує ізотермічне гартування до структури бейніту при температурі $350-400^\circ\text{C}$.

До найбільш перспективних способів одержання конструкційних сталей високої міцності (σ_b до 3000 МПа) при збереженні високих пластичних властивостей належить термомеханічна обробка (ТМО), котра полягає в нагріванні сталей до аустенітного стану (з наступним деформуванням у цьому стані), гартуванні та низькому відпуску.

Низькотемпературній термомеханічній обробці (НТМО) підлягають середньо- та високолеговані сталі в умовах обтиску 70 – 90%. Високотемпературній термомеханічній обробці (ВТМО) піддають вуглецеві та низьколеговані сталі при обтиску 20 – 50%. ВТМО практично усуває розвиток відпускнуї крихкості, різко підвищує ударну в'язкість, істотно знижує температурний поріг холодноламкості і зменшує чутливість до тріщиноутворення при термічній обробці. Наприклад, у 30ХГСНА, 40ХНМА після ВТМО міцність підвищується до

2700 МПа при KCV = 600 кДж/м².

Таблиця 1

Механічні властивості поліпшеної сталі

Деталі	Марка сталі	Механічні властивості після поліпшення					
		σ_B , МПа	σ_B , кг/мм ²	δ , %	ψ , %	KCV, мДж/м ²	KCV, кгм/см ²
Середньо-навантажені	40Х	1000	100	14	50	800	8
Високо-навантажені	30ХГТ	1100	110	14	50	700	7
	30ХГСА	1100	110	14	50	700	7
	40ХНМА	1050	105	16	60	1100	11
	38ХНЗМФД	1300	130	12	55	900	9
	28ХЗСЧНМВФ А	1700	170	6	50	600	6

Високі механічні властивості сталі після ТМО можна пояснити комплексною зміною мікро- і субмікроструктури сталі на різних стадіях обробки, внаслідок чого досягається оптимальне співвідношення щільності та рухливості дислокацій в металі.

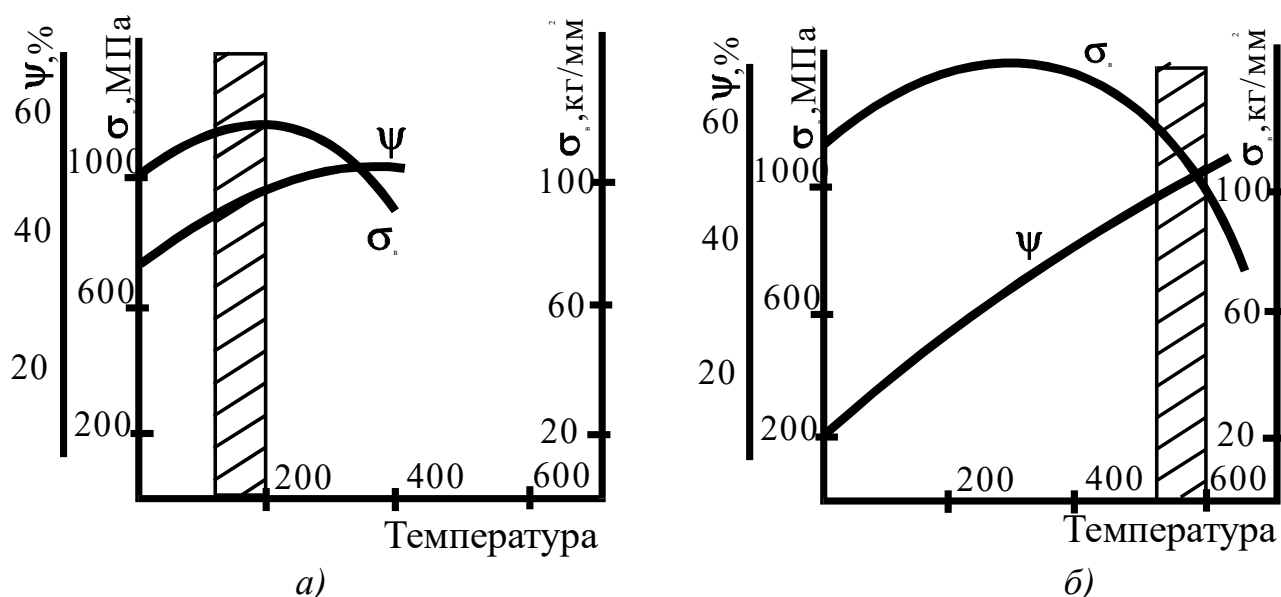


Рис. 1. Змінення механічних властивостей сталей в залежності від температури відпуску: а) – поліпшена сталь 37ХНЗА; б) – цементована сталь 12ХЗА

Із цементованих сталей виготовляють деталі, які в процесі роботи зазнають поверхневого зносу. Вміст вуглецю в них не повинен перевищувати 0,3%. Деталі з цих сталей піддають цементації з наступним гартуванням і низьким відпуском при 150–200°C. Високолеговані сталі (18Х2Н4В2, 12ХНЗА, 25Х2Н2ГА та інші), які містять у сумі 4 – 7% легуючих елементів, після гартування в поверхневому шарі мають підвищену кількість залишкового аустеніту. Для його усунення необхідно після гартування провести обробку холодом, а потім піддати низькому відпуску. Після термічної обробки твердість на поверх-

ні буде становити 58 – 62 HRC при вмісті вуглецю у поверхневому шарі 0,8 – 1,2%. Міцність і твердість серцевини залежить від вмісту вуглецю в сталі до цементації.

До недоліків цих сталей належить підвищена здатність до крихкого руйнування і пересичення вуглецем цементованого шару.

Середньовідпущені сталі, які містять 0,5–0,8% вуглецю і 3–4% легуючих елементів (Si, Cr, Mn, V, W) в сумі, призначені для виготовлення пружин, ресор та інших деталей, які повинні мати межу пружності (текучості). Термічна обробка цих сталей полягає в гартуванні від 780 – 850⁰C у воді чи маслі та поступовому відпуску до структури троститу при температурі 350 – 520⁰C, в залежності від складу сталі.

Контрольні запитання

1. Який механізм зворотної відпускну крихкості?
2. Які з указаних сталей 40ХНР, 40Х, 30ХГС, 45, 30ХГМ можна охолоджувати на повітрі від температури відпуску 600⁰C?
3. Яка конструкційна сталь підходить для зварної високоміцної конструкції?
4. У чому суть технології ТМО?
5. Для виготовлення яких деталей застосовують цементовані сталі?

ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ СТАЛІ

До інструментальних сталей насамперед висувають вимоги високої зносостійкості, що дозволяє інструменту зберігати високу твердість при нагріванні. Висока твердість більшості інструментальних сталей забезпечується високим вмістом вуглецю – від 0,7 до 1,5%.

За призначенням інструментальні матеріали можна поділити на такі групи:

- матеріали для різального інструмента: вуглецеві та леговані сталі, швидкорізальні сталі;
- штампові сталі: для холодного чи для гарячого деформування;
- сталі для вимірювального інструменту.

При класифікації сталей за властивостями в основу прийнята теплостійкість (табл. 1), що характеризує температуру нагріву, при якій сталь втрачає свою твердість, а отже і зносостійкість.

За теплостійкістю розрізняють три групи сталей: нетеплостійкі, напівтеплостійкі, теплостійкі.

До нетеплостійких сталей належать вуглецеві та низьколеговані сталі, котрі після гартування мають високу твердість і зносостійкість внаслідок мартенситного перетворення.

Напівтеплостійкими є середньо- та високолеговані (в основному хромом) сталі. Твердість цих сталей також досягається гартуванням на мартенсит. Але при відпуску цих сталей утворюється більш легований цементит і спеціальні карбіди, завдяки чому сталь зберігає підвищену твердість до температури 300 – 500⁰C.

Теплостійкими легованими вважаються сталі, котрі набувають твердості внаслідок мартенситного перетворення при гартуванні і дисперсійному твердінні під час високого відпуску ($500 - 625^{\circ}\text{C}$) за рахунок дисперсних фаз (складні карбіди W, Mo, V).

За твердістю інструментальні сталі розділяють:

- на сталі високої твердості і зносостійкості (такими є сталі з вмістом вуглецю $0,7 - 1,5\%$, які після гартування і відпуску мають твердість $58 - 65 \text{ HRC}$);
- сталі підвищеної в'язкості з вмістом вуглецю $0,4 - 0,7\%$. Ці сталі після гартування і відпуску при підвищених температурах мають твердість $45 - 50 \text{ HRC}$.

Важливою характеристикою інструментальних сталей є загартованість. Низьку загартованість мають вуглецеві сталі та сталі, леговані вольфрамом (критичний діаметр $D_k = 10 - 15 \text{ мм}$). Підвищена ($D_k = 50 - 80 \text{ мм}$) і висока ($D_k = 80 - 100 \text{ мм}$) загартованість властива легованим сталям у залежності від ступеня легування і характеру легуючих елементів. Усі напівтеплостійкі і теплостійкі сталі мають високу загартованість. В інструментальних сталях вуглець перерозподіляється між мартенситною і карбідною фазою.

Швидкорізальні сталі.

Основною метою легування швидкорізальної сталі є досягнення найважливішої її властивості – теплостійкості. У зв'язку з цим використовують W, V, Mo, присутність яких забезпечує комплекс властивостей, необхідних сучасним швидкорізальним сталям (табл. 2).

Термічна обробка швидкорізальної сталі P18 складається з гартування при температурі $1270 - 1290^{\circ}\text{C}$ і відпуску при $550 - 570^{\circ}\text{C}$. Дуже висока температура гартування необхідна для того, щоб перевести у твердий розчин можливо більшу кількість первинних карбідів.

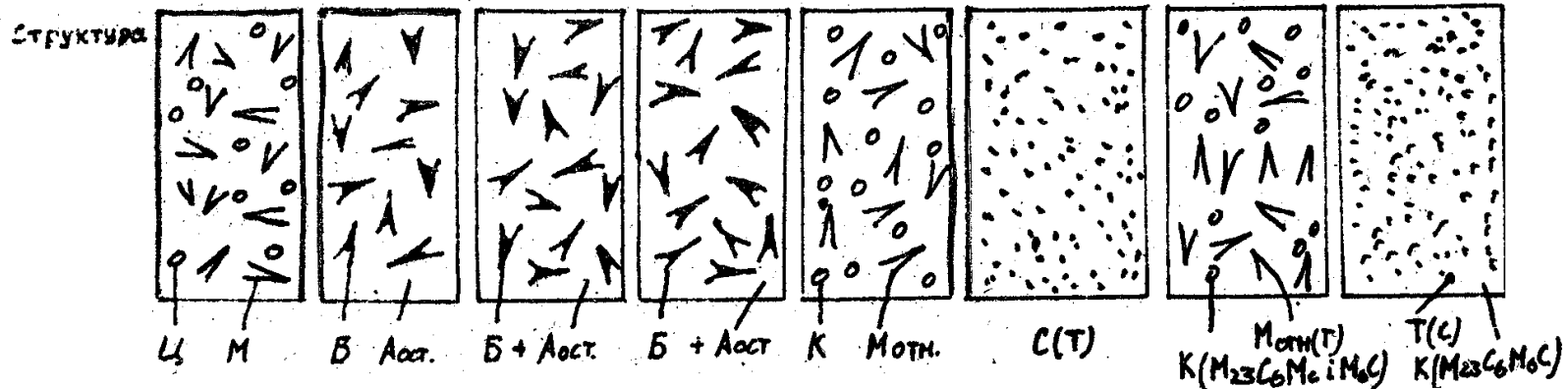
При гартуванні від більш низьких температур мартенсит буде недостатньо насичений легуючими елементами і його теплостійкість зменшиться.

Первинні карбіди в таких умовах не розчиняються в аустеніті, що буде перешкоджати росту зерен. Так як сталь теплопровідна, нагрів проводиться ступінчасто – за 3 етапи.

Мікроструктура загартованої сталі складається з аустеніту, який містить $0,4 - 0,5\%$ вуглецю, карбідів і значної кількості ($30 - 40\%$) залишкового аустеніту. Для забезпечення оптимальних властивостей сталі піддають багатократному, частіше трикратному, відпуску (рис. 2).

Таблица 1

Інструментальні сталі								
	Нетеплостійкі				Напівтеплостійкі		Теплостійкі	
	Підвищеної твердості		Підвищеної в'язкості		Високої твердості	Підвищеної в'язкості	Високої твердості	Підвищеної в'язкості
Прокалюваність	Невелика	Підвищена	Невелика	Підвищена	Висока	Підвищена	Висока	Підвищена
Марка	У8...У13	Х9ЖС, Х8І, 9ХС	У7, 7ХФ	6ХС, 6ХВ2С	9Х5Ф, Х12Ф1, Х12М, Х12	5ХНВ, 5ХНМ, 5ХІМ	Р18, Р12, Р9, Р6М5, Р18Ф2К5	4ХВ2ФС, 4Х2В5М
Твердість, HRC	63–65	59–62	61–63	52–57	57–59	40–50	63–65	40–45
Гартування, °C	770	850–870	780–800	940–960	870–900	760–820	1280 (Р18)	760–820
Відпуск, °C	150–170	180–200, 300–350	180–290	300–350	200–250	460–540	560	460–540
Теплостійкість, °C	200	190–250	200	200	300–500	300–500	620–700	500–550



Таблиця 2

Марка сталі	Хімічний склад, %					
	C	Cr	Mo	W	V	Co
P12	0,8–0,9	3,2–3,7	до 1,0	12,0–13,0	1,5–1,9	–
P18	0,7–0,8	3,8–4,4		17,0–19,0	1,0–1,4	–
P9	0,85–0,95	3,8–4,4	8,5–10,0	8,5–10,0	2,0–2,6	–
P6M5	0,85	4,0	5,0	6,0	2,0	–
P18Ф2К5	0,08–0,95	3,8–4,4	0,5–1,0	17,0–19,0	1,8–2,4	5,0–6,0
B11M7K23	0,05–0,15	до 0,5	7,0–8,0	10,5–12,0	0,4–0,8	22,5–24,0

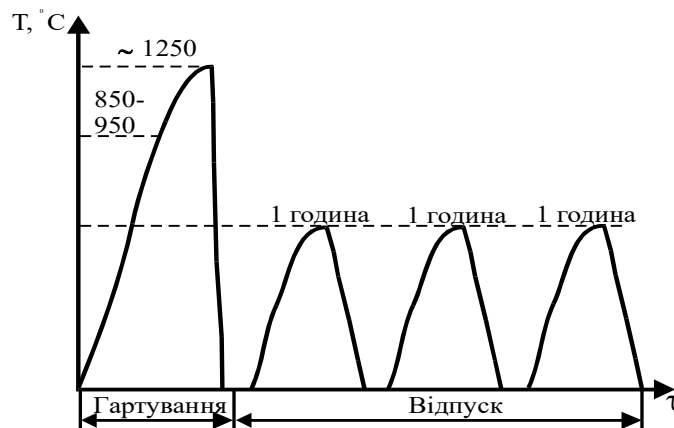


Рис 2. Режим термічної обробки швидкорізальної сталі

Тверді різальні сплави.

Для швидкісного різання металів застосовують інструмент, оснащений твердими сплавами. За способом одержання тверді сплави – металокерамічні. Їх одержують пресуванням (з наступним спіканням) суміші порошків карбідів тугоплавких елементів і металічного кобальту. У процесі спікання кобальт частково оплавляється і розчиняє карбіди. Одержані у такий спосіб сплави мають мікроструктуру твердого розчину тугоплавких елементів у кобальті та карбідів. Теплостійкість таких сплавів досягає 1000°C.

Таблиця 3

Тверді різальні сплави

Група	Марка сплаву	Склад, %			HRA, кг/мм ²
		WC	TiC	Co	
BK	BK2	98	–	2	98
	BK3	97	–	3	89
	BK6	94	–	6	88
	BK8	92	–	8	87,5
BTK	T5K10	85	5	10	88,5
	T14K8	78	14	8	89,5
	T15K6	79	15	6	90
TK	T30K4	66	30	4	92
	T60K6	36	60	6	90

За структурою і природою карбідних фаз сучасні тверді сплави можуть бути розбиті на 4 групи:

група ВК – на основі карбіду W;

група ВТК – на основі карбідів W і Ti;

група ТК – на основі карбідів Ti;

група ТТК – на основі карбідів W, Ti, Та.

У таблиці 3 наведені склад і властивості твердих сплавів.

Штампові сталі

Сталі для холодної штамповки повинні мати високу міцність, зносостійкість, опірність пластичній деформації; у випадку великих ударних навантажень – ще й підвищену в'язкість. Для виготовлення штампів у більшості випадків використовують ті ж самі сталі, що і для виготовлення різальних інструментів.

Для сталей, з яких виготовляють штампи гарячого деформування металів, до загальних вимог додаються необхідність високої окалинотійкості, хорошої теплопровідності, високого прогартовування.

Контрольні запитання

1. Як можна зменшити кількість залишкового аустеніту в інструментальній сталі?
2. До якого класу за структурою в нормалізованому стані належать швидкорізальні сталі?
3. Чому необхідно уповільнювати швидкість нагрівання швидкорізальної сталі при температурах 600⁰C і 900⁰C?
4. Які основні вимоги до сталей з яких виготовляють вимірювальний інструмент?
5. В яких випадках використовують алмазний інструмент?

Виконання роботи

1. Замалюйте в журнал і опишіть структури зразків сталей, що досліджуються.
2. Опишіть фази і структуру: форму, кількість фаз, характер їх розподілу, розмір зерен, характер міжзеренних меж.
3. Оцініть кількість структурних складових.
4. З'ясуйте призначення інструментальних сталей, наведених у таблиці 1.
5. Виміряйте твердість швидкорізальної сталі до і після термічної обробки.

Оформлення звіту

Звіт про виконану роботу повинен містити:

- 1) мету роботи і теоретичну частину;
- 2) опис мікроструктури сталей, які вивчаються, з кількісною оцінкою складових;

- 3) таблицю про призначення інструментальних матеріалів;
- 4) відповіді на контрольні запитання.

Гуляев А. П. Металловедение.—М.: Металлургия, 1978, 542 с.

Гуляев А. П., Малинина К. А. Инструментальные стали: Справочник—М.: Металлургия, 1980, 482 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4 НЕРЖАВІЮЧІ СТАЛІ

Мета роботи: вивчення структури та властивостей найважливіших марок нержавіючих та кислотостійких сталей.

Матеріали та обладнання: колекція зразків нержавіючих сталей, мікроскоп ММУ-3, мікротвердомір ММТ-3.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА.

До нержавіючих сталей відносять хромові та хромонікелеві сталі вмістом хрому не нижче 13%, які зберігають під впливом атмосфери металічний блиск, тобто нержавіючі властивості. Хром підвищує корозійну стійкість сталей і в інших середовищах, переважно окислюючих, що пов'язують з утворенням на поверхні захисної плівки. Збільшення кількості хрому до 28-30% посилює хімічну стійкість сталі.

Для найкращої стійкості проти корозії сплав повинен мати гомогенну структуру та пасивність в агресивних середовищах.

У залежності від кількості легуючих елементів, структур та властивостей, нержавіючі сталі поділяють на класи:

- феріто-мартенситні;
- аустенітні;
- аустенітно-ферітні;
- напіваустенітні.

Сталі феріто–мартенситного складу.

Корозійна стійкість та структура цих сталей залежать від вмісту хрому та вуглецю залежно до діаграми стану. Із рис. 1 видно, що безвуглецеві сталі, які містять понад 12% хрому, є феритними (0X13, X17, X25T, X28). Із введенням у сталь вуглецю граничний вміст хрому, при якому ділянка γ замикається, помітно збільшується і сталі починають сприймати загартування. Так, сталь 10X13 відноситься до феріто-мартенситного класу, а сталі 20X13, 40X13 – до мартенситного. Корозійна стійкість сталі з підвищенням кількості вуглецю погіршується, тому, що вуглець зв'язує частину хрому в карбіди, вилучаючи його з твердого розчину.

Сталі аустенітного класу.

Введення у високохромові сталі нікелю у підвищених кількостях дозволило створити сталі нового типу, що мають аустенітну структуру і велику хімічну стійкість в окислюючих середовищах. З них найбільш широко використовується сталь із вмістом хрому 18% та нікелю 8–10%, марку якої в СНД позначають 1X18H9T, а в інших країнах – 18-8.

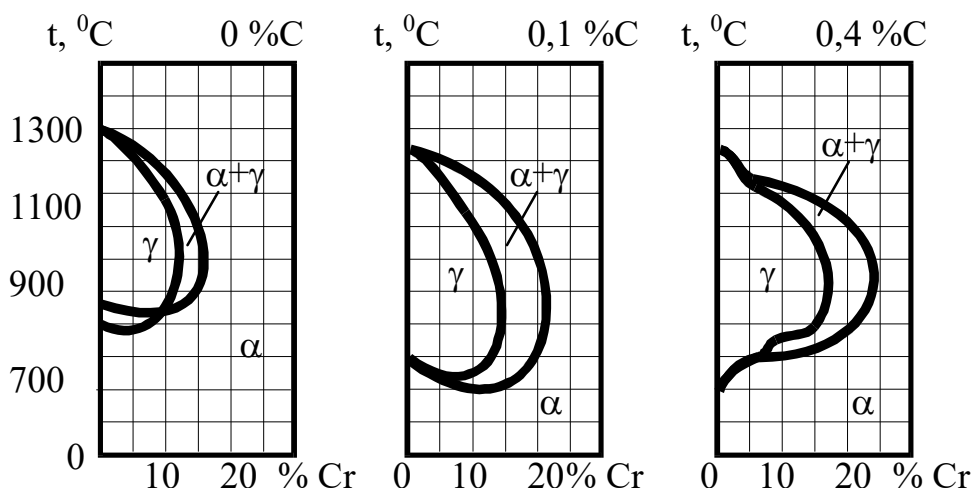


Рис. 1 Діаграма стану Fe–Cr в залежності від кількості вуглецю.

Підвищена хімічна стійкість названої сталі пояснюється як впливом нікелю та хрому, так і утворенням однофазної аустенітної структури. Сталь 1X18H9T містить мінімальну кількість нікелю, що досить вигідно з економічних міркувань. Нікель разом з хромом зміщують мартенситну точку сталі 1X18H9T в бік температур, нижчих від 150°C, тому при будь-якій швидкості охолодження зберігається структура аустеніту. Така сталь добре деформується при штамповці, прокатці, зварюється усіма різновидами зварювання з високим коефіцієнтом тривкості гартування. Сталь 1X18H9T після гартування від температури 1000–1100°C має аустенітну структуру, низьку крихкість та підвищену пластичність.

Якщо загартовану сталь у подальшому нагрівати (наприклад при зварюванні), то при температурі 400–700°C в ній утворюються карбіди. Це зменшує концентрацію хрому у твердому розчині, особливо на межах зерен, і, викликаючи зниження електрохімічного потенціалу, спричиняє міжкристалеву корозію. Зниження потенціалу помітне, при вмісті в сталі вуглецю понад 0,1% і практично відсутнє при його кількості 0,03–0,04%. Для того, щоб уникнути утворення карбідів хрому, виконують легування титаном або ніобієм (1X18H9T, 1X18H11B).

Сталі аустенітно–феритного складу

Великий вміст нікелю в аустенітних сталях нашо́вхнув науковців на думку про пошуки можливостей хоча б часткової заміни цього елемента. Як видно з рис. 2, при зниженні вмісту нікелю сталі мають аустенітно–феритну структуру. Так сталь 1X21H5T є замінником сталі 1X18H9T, і після гартування від 1000°C в її структурі спостерігається приблизно 60% аустеніту та 40% фериту.

Сталь 1X21Н5Т має такі особливості порівняно зі сталлю 1X18Н9Т:

- більшу стійкість;
- здатність до гартування та старіння при 500⁰С;
- анізотропію властивостей за рахунок утворення відокремлених фаз;
- не нижчу стійкість до міжкристалічної корозії;
- жаротривкість тим нижчу, чим більше фериту.

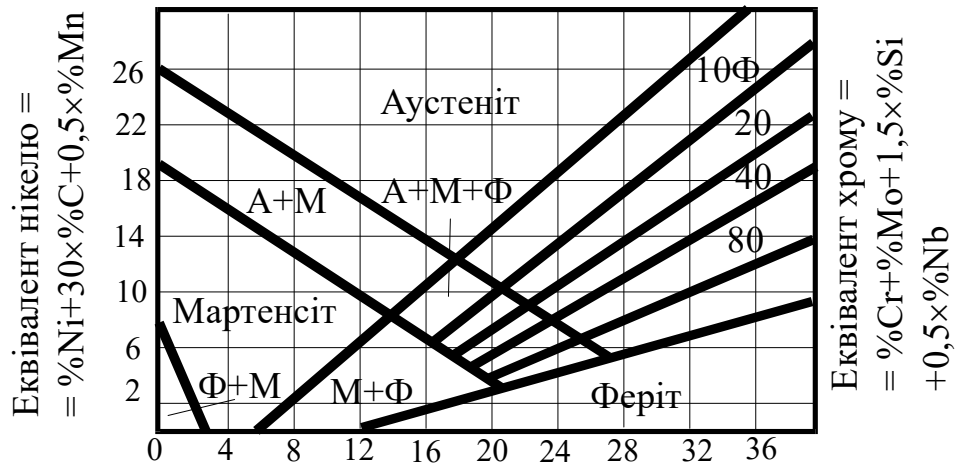


Рис. 2 Структурна діаграма нержавіючих сталей

Сталі напіваустенітного класу

Сталі напіваустенітного класу являють собою нову групу нержавіючих високотривких сталей. Відомо, що сталі мартенситного класу мають мартенситну точку вище 0⁰С, а аустенітного класу – значно нижче 0⁰С. Сталі напіваустенітного класу займають проміжне положення – мартенситна точка таких сталей знаходиться (в межах від 20%) вище або трохи нижче 0⁰С. Тому при гартуванні або нормалізації вони утримують аустенітну структуру, яка з метою зміцнення може бути перетворена у мартенситну старінням, обробкою холодом, або пластичною деформацією. До сталей напіваустенітного класу належить сталь 1X15Н9Ю. За величиною тривкості напіваустенітні сталі помітно поступаються аустенітним. Сталь 1X15Н9Ю добре зварюється аргонно-дуговим способом. Для неї характерна висока міцність ($\sigma_B \geq 140$ кг/мм²), котра зберігається до 400–450⁰С.

Контрольні запитання

1. Які легуючі елементи забезпечують корозійну тривкість нержавіючих сталей?
2. Як попередити розвиток міжкристалічної корозії в сталі 1X18Н10Т?
3. У чому відмінність корозійної стійкості сталей 1X18Н10Т та 1X21Н5?
4. Як зменшується твердість аустенітних сталей при гартуванні?
5. Який клас сталей 0X13, 1X13, 2X13, 3X13 і 4X13 (використати діаграми на рис. 2)?

Виконання роботи

1. Перегляньте шліфи при різних збільшеннях.

2. Накресліть структури переглянутих зразків.
3. Дайте кількісну оцінку структурних складових.
4. Визначте мікротвердості структурних складових.
5. Виконайте оцінку здатності сталей до міжкристалічної корозії.

Оформлення роботи

Звіт про проведену роботу повинен містити:

- 1) мету роботи і теоретичну частину;
- 2) опис мікроструктур та результати вимірювання мікротвердості;
- 3) відповіді на контрольні запитання.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5 ВИВЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЖАРОМІЦНИХ СПЛАВІВ

Мета роботи: експериментальна побудова та розрахунок кривих повзучості різних сплавів.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Жароміцністю називають спроможність матеріалу чинити опір пластичним деформаціям та руйнуванню при підвищених температурах.

Найбільш важливими характеристиками жароміцності є опір повзучості та довгочасна міцність.

Повзучість розглядається як безперервна та повільна деформація, що починається при відносно невеликих температурах під дією постійно прикладеного навантаження.

Для кожного матеріалу на визначений строк служби виробу встановлені допустимі значення пластичної деформації викликані заданими напруженнями при відповідних температурах. Наприклад, для лопаток парових турбін та труб парових котлів допускається деформація, що не перевищує 1% за 100 тис. год. експлуатації, а для лопаток газових турбін – 1-2% за 100–500 год.

Характеристики повзучості встановлюють шляхом випробування матеріалу на спеціальних установках в умовах розтягу, згинання або кручення.

Типова крива повзучості приведена на рис. 1, на якій відмічені:

oa – ділянка деформації, що виникає після прикладення навантаження;

ab – ділянка неусталеної повзучості, при якій метал деформується зі зменшуваною швидкістю (1-а стадія);

bc – ділянка усталеного режиму повзучості: метал деформується з постійною швидкістю;

cd – ділянка прискореної повзучості, що закінчується руйнуванням.

Швидкість повзучості обчислюється за формулою

$$V_n = \frac{d\delta_0}{dt}$$

де V_n – швидкість повзучості (% в год.);
 δ_0 – відносна залишкова деформація;
 t – час.

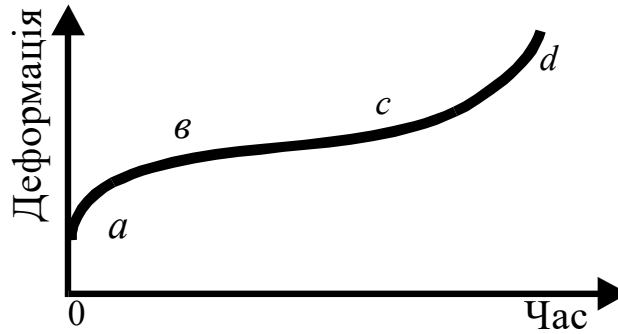


Рис. 1 Типова крива повзучості.

Величиною $\sigma_{1/10}^{900} = 15 \text{ кг/мм}^2$ позначається умовна границя повзучості при допустимій деформації 1% за 10 год. при температурі 900°C .

Явище повзучості найбільш повно проявляється:

- при напругах, вищих границі пружності;
- при температурах, що перевищують температуру рекристалізації.

Таким чином, під час повзучості відбуваються два конкуруючих процеси – зміцнення металу внаслідок пластичної деформації та зниження міцності, викликане поверненням, полігонізацією, які залежать від ступеня розвитку дифузійних процесів.

На першій стадії повзучості пластична деформація відбувається переважно за рахунок звичайного дислокаційного механізму ковзання з переміщенням дислокацій в межах зерен.

На другій стадії повзучості додатково реалізується деформація дифузійного типу за рахунок в'язкого тертя на прикордонних ділянках зерен. Принциповою особливістю даної деформації є можливість обходу дислокаціями перешкод, шляхом переповзання крайових дислокацій (рис. 2).

На початку третьої стадії повзучості при достатньо тривалій роботі у прикордонних об'ємах зерен накопичується підвищена кількість дефектів, що призводить до утворення дислокаційних мікротріщин та руйнувань на межах зерен.

Випробування на довгочасну міцність проводять при постійних температурах та навантаженнях, доводячи зразок до руйнування.

Значення $\sigma_{100}^{800} = 20 \text{ кг/мм}^2$ – довгочасна міцність, виражена як напруга, що викликає руйнування матеріалу при температурі 800°C за 100 год.

При обробці та екстраполяції результатів випробувань на довгочасну міцність використовують залежності, що зв'язують час до руйнування з напругою, наприклад рівняння

$$\tau = A\sigma^{-m},$$

де A і m – константи.



Рис. 2 Схема додання перешкод при пересуванні дислокацій в умовах повзучості: а) невеликі температури; б) значні температури.

Наведена залежність між напругою та часом до руйнування у подвійній логарифмічній шкалі має вигляд прямої лінії (рис. 3)

Ця залежність не завжди залишається прямолінійною впродовж усього періоду випробувань.

Для багатьох сталей пряма на логарифмічній діаграмі зламуються, загинаючись донизу.

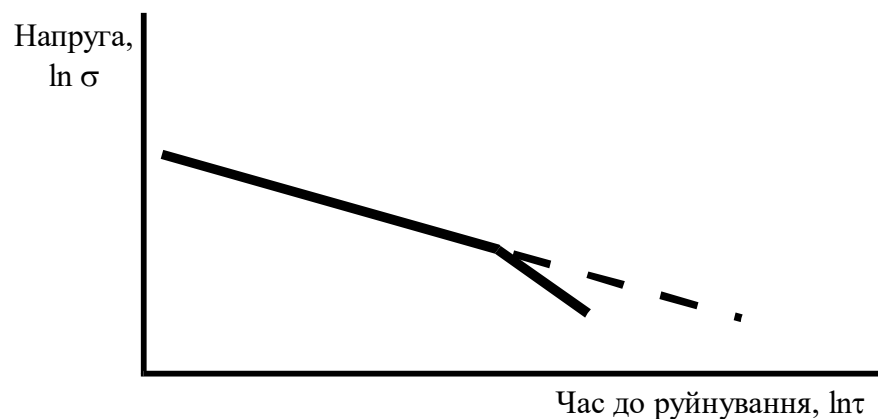


Рис. 3 Залежність руйнівної напруги від тривалості її дії

Причину зламу прямої частіше усього пов'язують зі структурними змінами в матеріалі, в наслідок яких цей злам із звичайного внутрішньокристалевий з часом перетворюється у міжкристалевий (більш похила ділянка).

Контрольні запитання

1. Що таке дислокаційна тріщина?
2. Яку роль при повзучості відіграє рекристалізація та коалесценція?
3. Які відмінності механізмів повзучості в умовах випробувань на розтяг, згин та стиск?
4. Чому на ділянці усталеної повзучості швидкість деформації постійна?
5. Які легуючі елементи забезпечують жароміцність?
6. Які види деформації представлені на кривій повзучості?

Виконання роботи

1. Проведіть прискорене випробування на повзучість при згині за схемою наведеною на рис. 4.

Зразок у вигляді тонкої пластинки 2 встановлюється на дві нерухомі опори 1 і 3. До зразка прикладають зосереджене навантаження – силу P . Пристрій ставлять в піч з автоматично регульованою температурою. Навантаження та температуру при випробуваннях на повзучість змінюють у залежності від марки сплавів.

Під час випробувань визначають зміну стріли вигину f за певний час і будують криві повзучості при різних температурах та напругах.

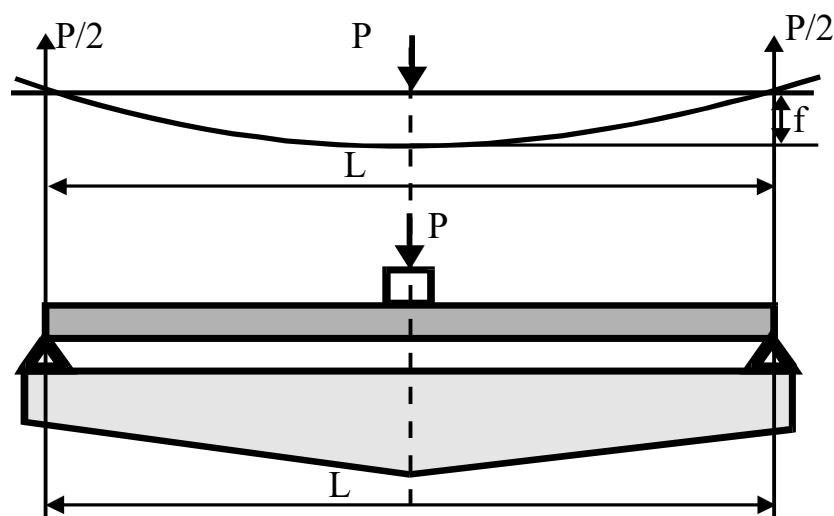


Рис. 4 Схема випробування на повзучість при згині.

Максимальна напруга обчислюється за формулою:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W},$$

де $M = PL/4$ – максимальний момент (P – навантаження; L – відстань між опорами); $W = bh^3/6$ – момент опору (b , h – ширина та висота прямокутного перерізу зразка).

2. Знайдіть довготривалу міцність (σ_{100000}^{500}) котлової сталі методом екстраполяції за даними таблиці:

Номер зразка	Час до руйнування, г.	Руйнівне навантаження, кг/мм	Тип зламу
1	100	18	в'язкий
2	280	16	в'язкий
3	1150	14	в'язкий
4	2800	12	крихкий
5	5800	10	крихкий

Оформлення роботи

Звіт про роботу повинен містити:

1) мету роботи та короткий огляд теми роботи;

- 2) первісні криві повзучості досліджуваного сплаву;
- 3) графік визначення довготривалої міцності за даними таблиці;
- 4) оцінку характеристик жаротривкості досліджуваних матеріалів;
- 5) відповіді на контрольні запитання.

Химушин Ф.Ф. Жаропрочные стали и сплавы.—М.: Металлургия.—1980.—470 с.

Одинг И.А. Теория ползучести и длительность прочности металлов. —М.: Металлургия.— 1978.—253 с.

Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов: Справ./Под ред. М.Л.Бернштейна.— М.: Металлургиздат, 1987.—250 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6 ВИВЧЕННЯ ЖАРОСТІЙКОСТІ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ

Мета роботи: вивчення жаростійкості сталей і сплавів на основі нікелю

Матеріали та обладнання: колекція жаростійких та нежаростійких сплавів; зразки з покриттям; нагрівальні печі для нагріву зразків до 1000°C, мікроскопи ММУ-3.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Корозію металів у газах при великій температурі називають газовою корозією, а спроможність чинити їй опір – жаростійкістю. Газова корозія – це різновид хімічної корозії, при якій метал в наслідок довільної взаємодії з навколишнім середовищем переходить у більш стійкий окислений стан. Розрізняють такі різновиди газової корозії:

- ізотермічне окислення;
- циклічне окислення;
- динамічне окислення – окислення в рухомому потоці газів;
- солева корозія – корозія при наявності в газовому середовищі солей деяких металів, найчастіше солей натрію;
- сульфідна корозія – корозія у середовищі зі сполук сірки.

Жаростійкість при рівномірній корозії визначається характеристиками ступеня корозії – питомим приростом маси; товщиною окисної плівки; питомою втратою маси зразка; глибиною рівномірної корозії.

Під час хімічної реакції кисень, відбираючи у металу валентні електрони, утворює з ним хімічні сполуки. Ряд окислів, наприклад NiO, FeO, CoO, є нестехіометричними. Окисли являють собою іонні кристали, у вузлах кристалічних решіток яких містяться аніони кисню та катіони металу. Через наявність дефектів у кристалічних решітках в оксидах можуть розчинятися метал і кисень.

Зростання окисної плівки супроводжується масопереносом, який може відбуватися:

- внаслідок руху іонів до вакансій (FeO , NiO , CoO);
- шляхом дифузії у міжвузлях (BeO , ZnO);
- через лінійні та поверхневі дефекти, оскільки плівка утворена з зернин та субзернин.

Плівки, що виникають при окисленні металевого зразка, можуть бути суцільними і несуцільними. Плівка виникає на поверхні металу буде несуцільною, якщо об'єм окислу менший ніж об'єм металу, витраченого на утворення цього окислу, тобто при виконанні залежності

$$\frac{V_{\text{ок}}}{V_{\text{мет}}} < 1.$$

Несуцільна плівка не забезпечує метал захисними властивостями. Швидкість реакції утворення окислу у таких окисних плівках не залежить від товщини плівки, а тому з часом не змінюється. Тобто у цьому випадку рис. 1, крива а – залежність окислення від часу є лінійною:

$$\frac{dU}{dt} = K_1$$

де U - товщина окисного шару; K_1 - коефіцієнт

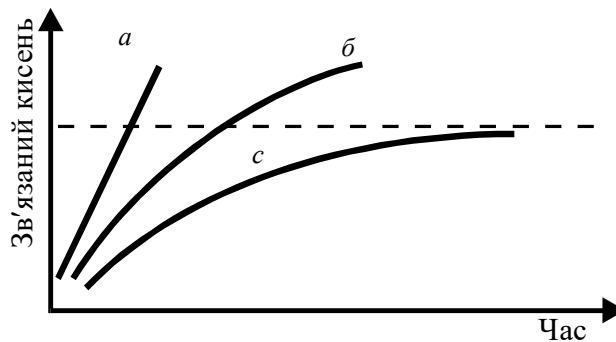


Рис. 1 Криві окислення сплавів

За лінійним законом зростають окисні плівки на поверхнях магнію, натрію, а також на металах, окисли яких сублімуються при високих температурах, наприклад на вольфрамі та молібдені.

Хорошими захисними властивостями володіють плівки, для яких

$$1 < \frac{V_{\text{ок}}}{V_{\text{мет}}} < 2,5$$

Але захисна дія навіть компактної плівки не завжди може бути достатньою. У тих випадках, коли зростання плівки обумовлюється дифузійними процесами, як це має місце у заліза, швидкість окислення змінюється за параболическим законом (рис. 1, крива в):

$$\frac{dy}{dt} = \frac{K_2}{Y},$$

де K_2 - коефіцієнт.

У хрому, алюмінію, берилію окисна плівка є захисною, а закон окислення

відповідає кривій з горизонтальною асимптотою (рис. 1, крива с).

$$\frac{dy}{dt} = K_3 e^{-\alpha y},$$

де K_3, α - коефіцієнти.

Окислення сплавів на основі заліза.

В наслідок окислення заліза при високих температурах утворюється тришарова окалина. Її нижній шар складається з в'юститу, середній - з магнетиту Fe_3O_4 , а верхній - з германтиту Fe_2O_3 . При температурі понад $700^\circ C$ товщини цих трьох шарів відносяться приблизно як 100:10:1.

В'юстит, окисел з надміром кисню порівняно зі стехіометричним складом (52%), кристалізується з нестачею катіонів і підвищеною концентрацією дефектів у решітці. Якщо концентрація дефектів при тиску кисню 1 атм становить приблизно 0,07% у NiO , 0,36- у CoO , то у FeO вона досягає 5-17 %.

Захист забезпечують плівки, які мають досить високу температуру плавлення, тобто ті, що володіють малою дифузійною властивістю.

Наявність хрому викликає підвищення жаростійкості заліза (максимально при концентрації 25-30%). Стійкість проти газової корозії залізохромових сплавів додатково підвищують добавлянням алюмінію, кремнію, нікелю.

Плівки на жаротривких сталях та сплавах частіше усього утворюються у вигляді подвоєних окислів типу шпінелей із загальною формулою $MeO \cdot Me_2O_3$. Окисна плівка, безпосередньо прилягаючи до поверхні високохромових сталей, має структуру шпінелей типу $FeO \cdot Cr_2O_3$, у зовнішньому шарі $(Fe, Cr)_2O_3$.

Окислення сплавів на основі нікелю

У нікелю значно вища, ніж залізо, жаротривкість в окислюючому середовищі при високих температурах, а окислення його відбувається за параболічним законом. При окисленні нікелю утворюється лише один окисел – NiO зі структурою, подібною до в'юститу, але з меншою кількістю вакансій. Окрім того, NiO має приблизно такий же коефіцієнт лінійного розширення, як і нікель, тому його опір відшаруванню при циклічних змінах температури висока.

Присутність сірки у продуктах горіння палива різко знижує опір нікелю газовій корозії, що пов'язано з утворенням легкоплавкої сульфідної евтектики, яка, розміщуючись на межах зерен, призводить до руйнування деталі.

Введення хрому у нікель та сплави підвищує їх стійкість проти окислення при високих температурах. Максимальна жаротривкість спостерігається при вмісті хрому близько 40%. При високих температурах окисна плівка складається з внутрішнього шару, що являє собою окисел шпінельного типу NiO , середнього Cr_2O_3 та зовнішнього Cr_2O_3 .

Дані про окалиностійкість ряду нікельохромових сплавів наведені на рис. 2

β - NiAl 22–28% Al Ni ₃ Al Ni(Al) Нікель

Рис. 3 Схема покриття на нікелі , утвореного шляхом алітирування при 950°C у суміші 98% FeAl та 2% NH₄Cl

Підвищення захисних властивостей алюмінідних покриттів досягають шляхом їх легування , введення у покриття неметалевих включень, утворення бар'єрних шарів, попереднього нанесення нікелю, ніхром, кобальту. Важливим елементом для легування є хром, який підвищує опірність покриття окисленню. Додавання кремнію корисне при захисті сплавів з великим вмістом молібдену, оскільки кремній зв'язує молібден , утворюючи дисиліцид молібдену, який має високу жаростійкість. Досить ефективним є легування алюмінієвих покриттів елементами, котрі поліпшують зчеплення окисного шару з металічною частиною покриття (тантал, гафній, ітрій, РЗМ, платина). Як бачимо вимоги, для жаростійких покриттів досить складні, їх кількісні значення обумовлюються конкретними умовами, у яких повинно працювати покриття.

Контрольні запитання.

1. Яка природа окислів FeO та NiO?
2. Які елементи використовують для одержання жаростійких покриттів?
3. Чому тугоплавкі метали мають низьку окислостійкість?
4. Які легуючі елементи вводять до складу жаростійких сплавів на нікелевій основі?
5. Які властивості повинна мати окисна плівка , щоб забезпечити жаростійкість?
6. Як оцінюється жаростійкість?

Порядок виконання роботи.

1. Проведіть окислювання зразків вуглецевої сталі, хромової сталі X25 та нікелевого сплаву ВЖ98 в інтервалі температур 500-1000°C.
2. Побудуйте кінетичні криві окислення на повітрі вказаних сталей та сплавів.
3. Вивчить мікроструктури окислених зразків.

Оформлення роботи.

Звіт про проведену роботу повинен містити:

- 1) мету роботи та теоретичні відомості;
- 2) кінетичні криві окислення сплавів;
- 3) опис мікроструктури окислених сталей;
- 4) оцінку жаростійкості досліджених зразків;

5) відповіді на контрольні запитання.

Коломийцев П. Т. Жаростойкие диффузионные покрытия.—М: Металлургия, 1984.-223 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7 ЖАРОМІЦНІ СПЛАВИ

Мета роботи: вивчення структури і властивостей жароміцних сплавів на основі заліза, нікелю та кобальту.

Матеріали та обладнання: колекція жароміцних сталей і сплавів; мікроскопи ММУ-3, мікротвердоміри ПМТ-3.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.

Жароміцні сталі і сплави призначені для виготовлення деталей, що працюють при навантаженнях та високих температурах протягом визначеного часу. Жароміцні сталі та сплави знайшли використання в енергетичному машинобудуванні, у металургійному і термічному обладнанні, у новій техніці.

Основні принципи створення жароміцних матеріалів.

1. Жароміцні властивості в першу чергу визначаються природою основного компонента сплаву. Для виготовлення жароміцних деталей використовують метали з високою температурою плавлення, метали, що характеризуються міцними міжатомними зв'язками у кристалічній решітці. (рис. 1)

2. Температура плавлення і температура рекристалізації металу зв'язані співвідношенням:

$$T_{\text{рекр.}} = a T_{\text{пл.}},$$

де a -коефіцієнт, що залежить від складу і структури сплаву.

Для дуже чистих металів $a = 0,2$, для металів звичайної чистоти $a = 0,4$, а для концентрованих твердих розчинів $a = 0,7 \dots 0,8$. Звідси випливає, що як жароміцні сплави необхідно використовувати тверді розчини з елементами, що підвищують температуру рекристалізації.

Якщо основа має алотропічні модифікації, то більшу жароміцність має метал із щільноупакованою решіткою. Так, аустенітна структура має більшу жароміцність, ніж ферітна.

3. Важливе значення має одержання не тільки висококонцентрованого розчину, здатного до зміцнення при старінні.

Утворювані дрібнодисперсні частинки зміцнюючої фази (інтерметалеві або карбідні сполуки) гальмують дислокації при повзучості.

4. Жароміцні властивості залежать від розміру зерна, так як межі зерен мають безліч вакансій, дислокацій та інших дефектів і визначають можливість

порівняно легкого переміщення атомів (дифузія і самодифузія), тобто знеміцнювання металу.

Установлено, що мікролегкування металу бором, який має малий атомний радіус, забезпечує зміцнення меж зерен і підвищення характеристик жароміцності (рис. 2).

Зважаючи на превалюючу роль прикордонної деформації при повзучості, необхідно враховувати, що крупнозернистий матеріал є більш жароміцним, ніж дрібнозернистий, тому що у першого менша довжина меж зерен.

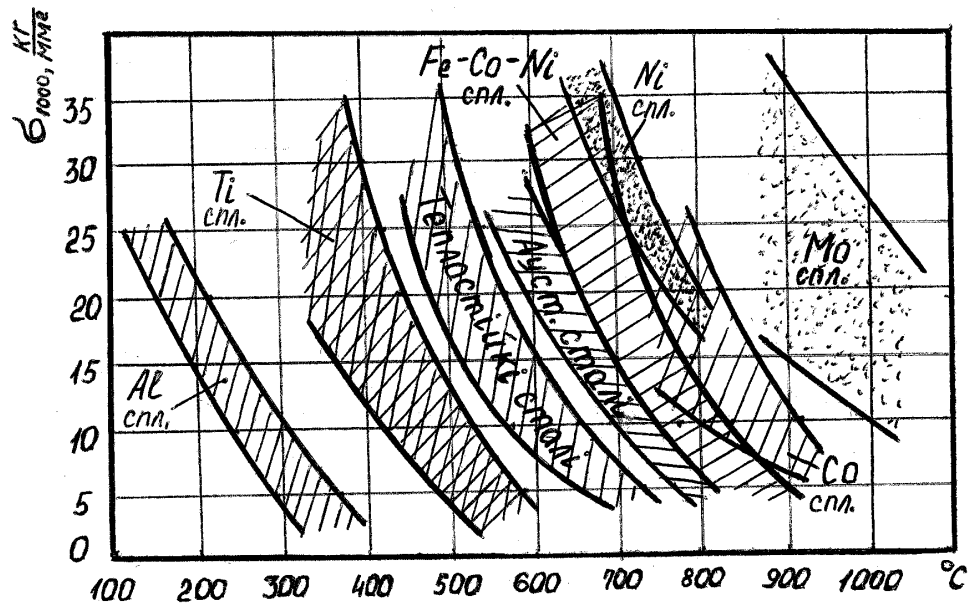


Рис. 1. Довгочасна міцність при 1000-годинному навантаженні сплавів різноманітних металів

5. Якщо сплав призначений для деталей довгострокової служби, то визначальною має бути структурна стабільність. Вона характерна для відпалених литих сплавів.

6. Очищення сплаву від шкідливих домішок, що утворюють легкоплавкі фази і евтектики, розміщені по межах зерен, - важливий спосіб підвищення жароміцності. Такими шкідливими домішками є домішки легкоплавких металів: олова, свинцю, сурми, сірки. Деякі рідкоземельні елементи (лантан, церій) знешкоджують дію домішок, утворюючи з ними хімічні сполуки. Так, при введенні церію в нікелеві сплави утворюються тугоплавкі сульфіді церію замість легкоплавких сульфідів нікелю.

7. Жароміцні сплави повинні бути і жаростійкими.

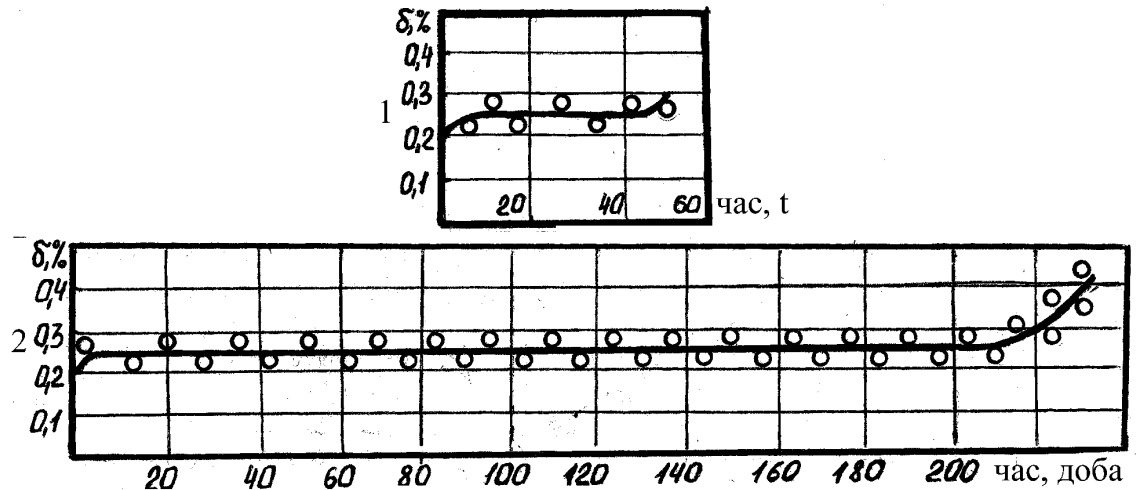


Рис.2.Повзучість нікелевого сплаву ЭИ437 при 700⁰С, напруженості $\sigma = 36 \text{ кг/мм}^2$ (1-сплав без бору; 2- сплав з 0,01% бору).

Класифікація жароміцних сплавів

До сучасних жароміцних сплавів належать:

- перлітні і мартенситні сталі, сильхроми;
- аустенітні сталі;
- нікелеві та кобальтові сплави;
- сплави на основі тугоплавких матеріалів.

Перлітні і мартенситні сталі використовують для виготовлення деталей котельних агрегатів і парових турбін, що працюють при температурах до 550⁰С. У цих сплавах малий вміст вуглецю. Легування їх хромом, молібденом та ванадієм проводиться для підвищення температури рекристалізації фериту. Перлітні сталі використовуються в загартованому і високовідпущеному стані. Вони повинні мати такі значення межі повзучості, які забезпечують залишкову деформацію в межах 1% за десятки тисяч годин роботи. Для виготовлення жароміцних деталей (клапани двигунів внутрішнього згорання), які не потребують зварювання, використовують хромокремністі сталі – сильхроми.

Аустенітні хромонікелеві жароміцні сталі використовуються в умовах, коли робоча температура становить 500...700⁰С. Для поліпшення властивостей жароміцності їх легують W_o, V, Mo та іншими елементами. Аустенітні сталі можуть бути розділені на дві групи:

- незміцнювані термічною обробкою (гомогенні);
- зміцнювані термічною обробкою (загартування + відпуск).

Зміцнення цих сталей забезпечується виділенням карбідних, карбонітридних або інтерметалідних фаз.

Нікелеві та кобальтові жароміцні сплави можуть працювати при температурах 700...900⁰С. Нікелеві сплави так, як і аустенітні, ділять на гомогенні(ніхроми), які служать в основному як жаростійкі матеріали, і старіючі (німоніки), що мають високу жароміцність.

При надто високому комплексному легуванні титаном, алюмінієм, вольфрамом жароміцність нікелевих сплавів може знижуватись, так як у цьому разі утворюються первинні інтерметалеві фази у вигляді грубих скупчень, що ви-

кликає хрупкість. Сума $W+Mo+Nb+2/5Cr$ не повинна перевищувати 17,5-20,5%. Занадто високе легування ферітотвірними елементами веде до появи двофазності (аустеніт + феріт), що різко знижує жароміцність, наприклад, якщо сума $10Cr + W + Mo$ становить 25%, то феріт з'являється при введенні алюмінію більше 5%.

Контрольні запитання

1. Як підвищити жароміцність сплавів ?
2. У чому різниця в ефектах загартування звичайних і аустенітних жароміцних сплавів ?
3. Які матеріали необхідно використовувати для деталей конструкцій, що мають довгочасну міцність 20 кг/мм^2 ?
4. Який із вказаних матеріалів необхідно використовувати для виготовлення лопаток газових турбін, що працюють при 900^0 і вище (сталь 1X18H10T, сплави на основі Mo) ?

Порядок виконання роботи

Звіт про проведену роботу повинен містити:

- 1) мету роботи і теоретичні відомості;
- 2) замальовку структур, результати вимірювання мікротвердості;
- 3) відповіді на контрольні запитання.

Химушин Ф. Ф. Жаростойкие стали и сплавы.—М.: Металлургия, 1980—470 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 8 ТЕРМІЧНА ОБРОБКА АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

- Мета роботи: 1) ознайомлення з практикою термічної обробки алюмінієвих сплавів;
- 2) вивчення процесу старіння;
 - 3) визначити вплив температури та часу старіння на твердість дюралюмінію.

Матеріал та обладнання: зразки відпаленого дюралюмінію Д16 для термічної обробки, електричні печі, щипці для загартування, загартувальний бак з водою, потенціометр з хромель-алюмінієвою термопарою.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Алюмінієві сплави використовують як високо- та жароміцні матеріали для виготовлення деталей відповідного призначення в авіації, машинобудуванні, зведенні будинків.

Для підвищення міцності алюміній легують міддю, цинком, хромом, кре-

мнієм, марганцем, магнієм, цирконієм, нікелем, титаном, а потім проводять термічну обробку. У цьому випадку міцність підвищується від 70...100 МПа для чистого алюмінію до 70 з найбільш високою питомою міцністю (25...30) МПа.

Алюмінієві сплави підлягають зміцнюючій термічній обробці - загартуванню і наступному старінню.

Розглянемо механізм зміцнення на прикладі алюмінієвого сплаву системи Al-Cu (рис. 1).

Ділянка діаграми, що розглядається, характеризується присутністю лінії обмежень розчинності зі значним зменшенням концентрації міді в твердому розчині із зниженням температури – від 5,65% міді при 548⁰C до 0,2% при кімнатній температурі (рис. 1, лінія а-в).

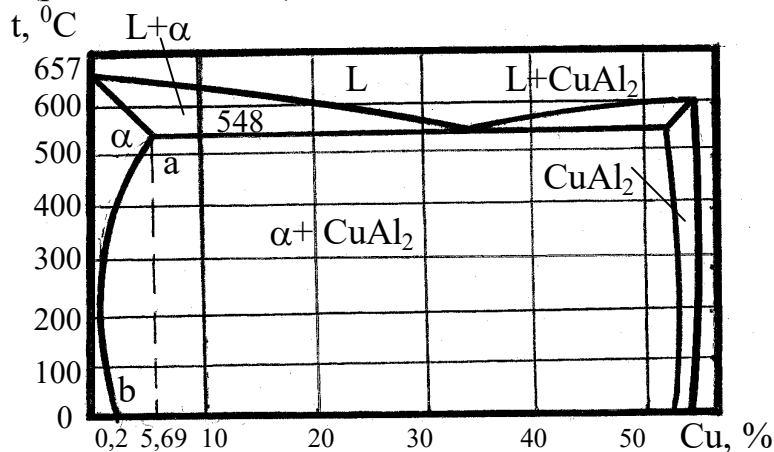


Рис. 1 Частина діаграми стану системи Al-Cu

Загартування з точки 1 фіксує високотемпературний стан, надлишкова кількість міді в алюмінії і полягає в нагріванні на 2-3 вище лінії обмеженої розчинності, витримці при даній температурі і охолодженні у холодній воді. Перегрівання вище вказаної температури є небезпечним, оскільки при цьому інтенсивний ріст зерен твердого розчину, окислення між зерен і навіть розплавлення легкоплавких евтектичних домішок, що призводить до непоправного браку термічної обробки - перепалення.

Тривалість витримки при нагріванні, яка повинна забезпечити розчинення інтерметалевих фаз, залежить від виду сплаву, нагрівного середовища, перерізу зразка.

Старіння - розпад одержаного при загартуванні перенасиченого α-твердого розчину.

Одразу після загартування мідь у кристалічній решітці алюмінію розподіляється статично рівномірно, але концентрація її значно перевищує рівноважну.

Перенасичені тверді розчини метастабільні. Надлишкова мідь виділяється із перенасиченого розчину у тим більшій кількості, чим вища температура наступного старіння.

Процес старіння, що відбувається при кімнатній температурі називається звичайним, а при підвищеній - штучним.

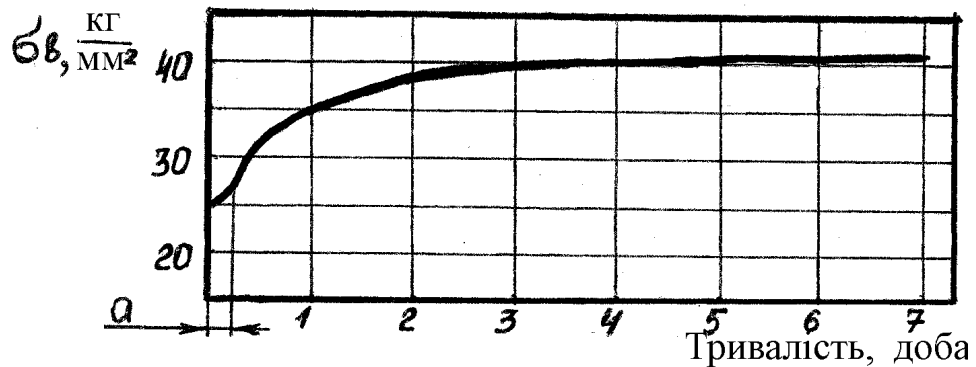


Рис. 2. Зміна міцності при звичайному старінні .
а - інкубаційний період

У випадку звичайного старіння через деякий час після його початку у зернах перенасиченого твердого розчину починається дифузія і сегрегація атомів міді у визначені місця кристалічної решітки. У результаті утворюються зони Гін'є-Престона (ЗГП), які найчастіше розміщуються в дефектних місцях (поблизу дислокацій, вакансій, між блоків і т.п.). ЗГП - це пластинки або диски довжиною в декілька атомних шарів і протяжністю 25...50 атомних шарів.

Звичайне старіння, яке полягає в утворенні ЗГП, закінчується через 5-7 діб. Сплав стає максимально міцним і ця міцність практично постійна в часі (рис. 2).

Процес штучного старіння відбувається значно швидше. У ньому розрізняють три стадії. Перша стадія, як і при звичайному старінні, полягає у створенні ЗГП, розміри яких будуть збільшуватися з підвищенням температури: від 50⁰С при кімнатній температурі до 800⁰С - при 200⁰С. При більш високих температурах ЗГП одержати не вдалося.

Збільшення часу витримки при штучному старінні приводить до того, що всередині ЗГП відбувається перебудова атомів і створюється проміжна θ' -фаза з кристалічною решіткою, відмінною від решітки основного – α -твердого розчину. θ' -фаза за складом і кристалічною будовою близька до фази (CuAl). На межі розділення - θ' фази та основного α -твердого розчину зберігається когерентність (спряження), тобто межі поділу містять загальні атоми, які одночасно належать обом фазам, що створює додаткову напругу і призводить до підвищення міцності. Друга стадія старіння - це створення θ' -фази.

При тривалій витримці когерентний зв'язок порушується, зменшуються спотворення кристалічної решітки і θ' -фаза переходить у стабільну фазу. Порушення когерентного зв'язку, утворення стабільної θ -фази її збільшення (третя стадія старіння) призводять до зменшення спотворень кристалічної решітки і до знеміцнення сплаву.

Отже, розпад перенасиченого твердого розчину відбувається за такою схемою:

матриця (перенасичений твердий розчин з алюмінію);

ЗГП і збіднена матриця;

метастабільна θ -фаза і збіднена матриця рівноважної фази θ і рівноважний твердий розчин.

Максимальна міцність при старінні буде відповідати першій стадії.

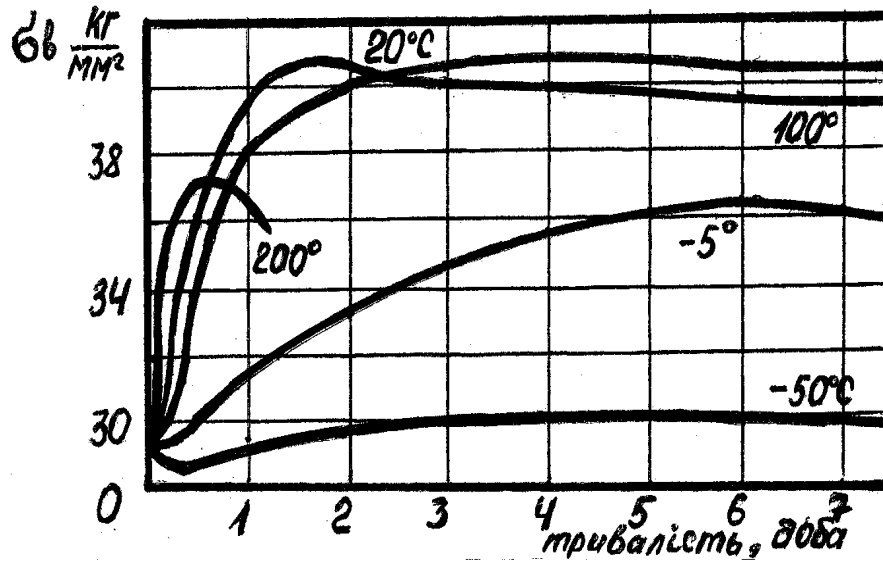


Рис. 3 Зміна міцності при штучному старінні

Третя стадія старіння завжди пов'язана із зміцненням. На рис. 3 зображено криві старіння дюралюмінію при різних температурах.

Як видно із рис. 3, при штучному старінні міцність спочатку зростає, а потім починає спадати. Чим вища температура старіння, тим максимум міцності досягається швидше, тому при штучному старінні його тривалість слід обмежувати.

Порядок виконання роботи.

1. Виконайте загартування зразків: температура нагрівання для загартовування $500 \pm 3^\circ\text{C}$, охолодження - у холодній воді.
2. Проведіть штучне старіння при температурах 50, 175, 270°C , у муфельних печах з витримкою при кожній температурі 10, 20 і 60 хв., охолодження - у воді.
3. Після кожної термічної операції зразків визначайте твердість за Брінеллем.

Контрольні запитання.

1. Який механізм підвищення твердості при звичайному і штучному старінні. Як змінюється при цьому пластичність?
2. Що відбувається при загартуванні сплаву $\text{Al} + 2\% \text{Cu}$ із однофазної α -області?
3. Які процеси відбуваються після загартування в інкубаційному періоді?
4. Який вид старіння слід виконати для деталі, котра повинна працювати при температурі 150°C .

Оформлення роботи.

Звіт про проведену роботу повинен містити:

- 1) мету і методику проведення роботи;

- 2) опис механізму
- 3) зведену таблицю результатів заміру твердості в залежності від температури і часу старіння;
- 4) криві зміни твердості в координатах «твердість-час старіння» для кожної температури штучного старіння і пояснення механізму процесів;
- 5) графік зміни твердості при звичайному старінні. Причини підвищення твердості;
- 6) відповіді на контрольні запитання.

1.Новиков И.И. Теория термической обработки металлов.-М.: Металлургия, 1978.-192 с.

2. Мозберг Р.К. Металловедение.-Таллин:Валгус,1976.-265 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 9 СТРУКТУРА І ВЛАСТИВОСТІ АЛЮМІНІЄВИХ ТА МАГНІЄВИХ СПЛАВІВ.

Мета роботи: встановлення зв'язку між структурою, діаграмою стану, термічною обробкою та властивостями алюмінієвих і магнієвих сплавів.

Матеріали: колекція зразків алюмінієвих та магнієвих сплавів.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.

Алюміній відзначається малою густиною (2700 кг/м), низькою температурою плавлення (660°C) високим електро- і теплопровідністю, стійкістю проти корозії.

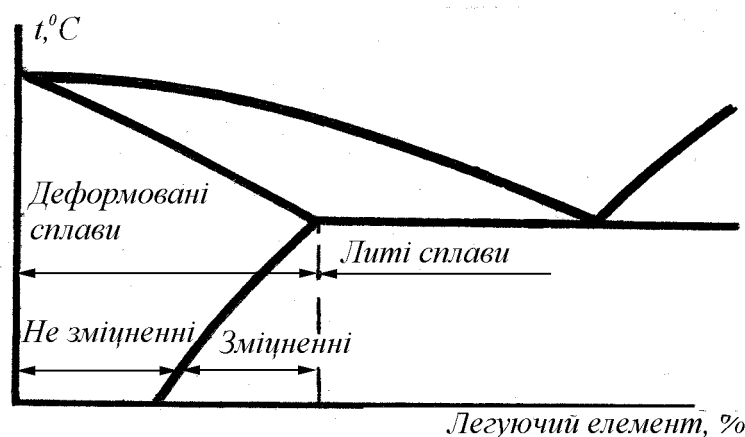


Рис. 1 Класифікація алюмінієвих сплавів за діаграмою стану

Внаслідок низької міцності ($\sigma=100-120\text{МПа}$) чистий алюміній як конструкційний матеріал не використовується. Однак його сплави з міддю, магнієм, марганцем, цинком, цирконієм, титаном, нікелем набули поширення в техніці. За способом одержання виробів алюмінієві сплави діляться на дві групи: ті, що деформуються і ливарні (рис. 1).

Фази, що містять марганець і залізо нерозчинні і в структурі присутні у вигляді постійних включень. На рис. 2 . показані схеми структур дюралюмінію відпалення (а) , загартування (б) та штучного старіння (в).

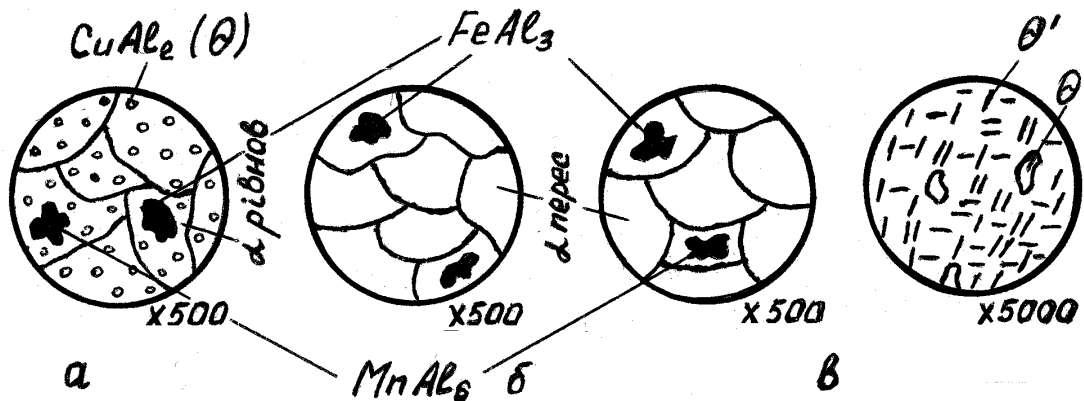


Рис. 2. Схема структур дюралюмінію.

Структура ковальських і високоміцних сплавів подібна до структур дюралюмінію, але відрізняється присутністю зміцнюючих фаз іншого складу. До термічно не зміцнюваних сплавів відносять сплави, що містять 2...6 % магнію (Амг2... Амг6). Структура цієї групи після відпалення складається із твердого розчину і невеликої кількості інтерметалевих фаз. Сплави, призначені для виготовлення зварних посудин, трубопроводів, листових конструкцій.

Ливарні алюмінієві сплави

З ливарних алюмінієвих сплавів найбільш розповсюджені - силуміни, тобто сплави алюмінію з 6...13% кремнію (рис. 3). Силуміни - евтектичні і доевтектичні сплави, що містять у структурі значну кількість жорстко-пластичної евтектики з включенням крихкого кремнію, внаслідок чого сплав має низькі механічні властивості (рис. 4).

Механічні властивості силумінів підвищують модифікацію та термічну обробку. Для модифікації у сплав перед розливанням вводять невелику кількість модифікаторів - спеціальних флюсів, що містять фтористий натрій і кріолит. При взаємодії цих солей з рідким алюмінієм утворюється металічний натрій, який викликає модифікаційну дію, внаслідок якої кремній подрібнюється, границя міцності збільшується на 30 - 40 %, а видовження його зерен зростає у 2 - 3 рази.

На рис. 4, б. показана схема структури силумінів після модифікації. Вона складається із твердого розчину і дрібнозернистої евтектики. Для здійснення термічної обробки в спеціальні силуміни вводять магній, який з кремнієм утворює хімічну сполуку Mg_2Si , що має змінну розчинність в алюмінії. Модифікований сплав АЛ4, що містить до 0,3 % магнію, поєднує у собі високі ливарні і механічні властивості, відзначається високою стійкістю проти корозії, високою здатністю до зварювання, добре обробляється різанням.

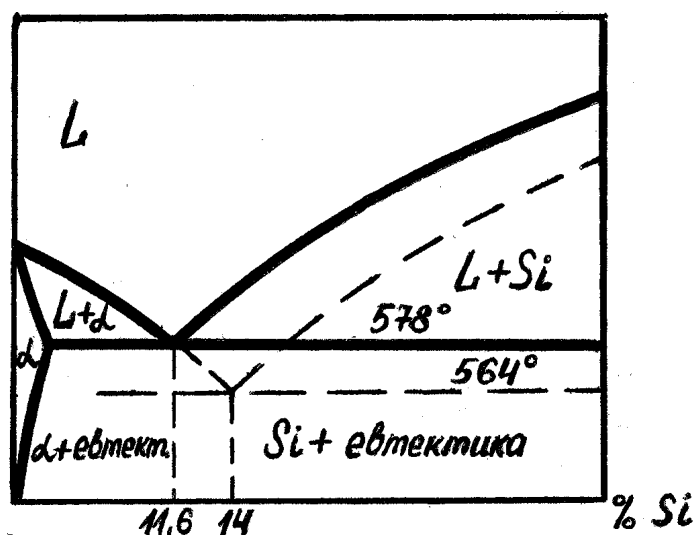


Рис. 3. Діаграма стану сплавів алюміній - кремній:
1 - немодифіковані сплави; 2 - модифіковані сплави.

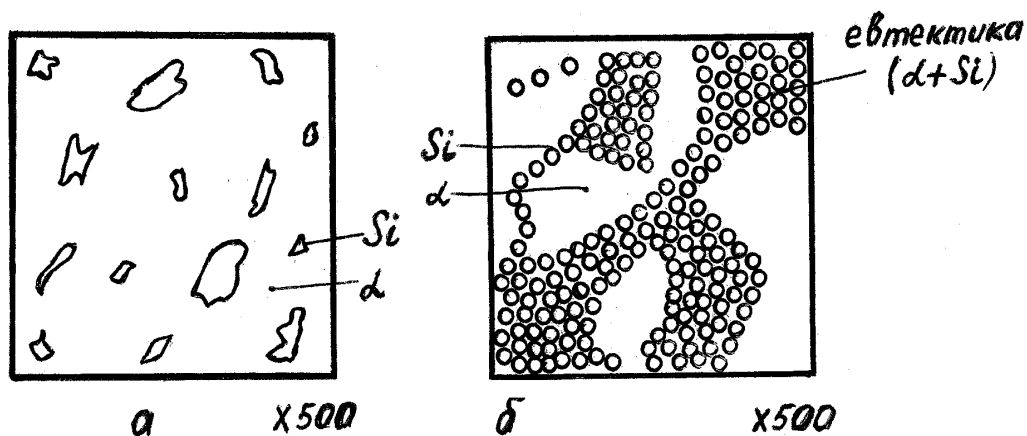


Рис. 4. Схема мікроструктури сплаву з 12 % кремнію : а - до модифікації ; б - після модифікації.

Склад і механічні властивості ливарних алюмінієвих сплавів наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Склад і механічні властивості
деяких ливарних сплавів

Марка	Основні компоненти, %				Домішка заліза	Механічні властивості	
	Mg	Si	Mn	Cu		σ , МПа	δ , %
АЛ2	—	10–13	—	—	0,8–1,5	180	5
АЛ4	0,17–0,3	8–10,5	—	—	0,6–1,2	260	4
АЛ8	9,2–11,5	—	—	—	0,3	330	15
АЛ7		—	—	4,5	< 1,0	280	2

Таблиця 1

Склад та властивості деформування сплавів на основі алюмінію

Марка сплаву	Хімічний склад ,% ваги							σ_B		$\sigma_{0,2}$		δ ,
	Al	Cu	Mg	Mn	Si	Zn	Cr	кг/мм ²	МПа	кг/мм ²	МПа	%
Сплави підвищеної пластичності												
АД35	Основа		0.8-1.4	0.5-0.9				33	323	28	274	10
АВ	-//-	0.1-0.5	0.45-0.9	0.15-0.35	0.5-1.2			34	333	28	274	14
Сплави ковкі												
АК6	-//-	1.8-2.6	0.4-0.8	0.4-0.8	0.7-1.2			39	382	30	294	10
АК8	-//-	3.9-4.8	0.4-0.8	0.4-1.0	0.6-1.2			47	453	38	372	10
Сплави зварювальні												
АМг6	-//-	-	5.8-6.8	0.5-0.8				34	332	17	167	20
Сплави високоміцні												
В95	-//-	1.4-2.0	1.8-2.8	0.2-0.6		5.0-7.0	0.1-0.25	56	549	53	519	8
В96	-//-	2.2-2.8	2.5-3.2	0.2-0.5		7.6-8.5	0.1-0.2	68	666	65	637	7
Сплави високо- і жароміцні												
Д16	-//-	4.3	1.5	0.6	0.5			43	421	28	274	12
Д20	-//-	6.0-7.0	-	0.4-0.8				40	392	30	294	12
Д21	-//-	6.0-7.0	0.25-0.45	0.4-0.8				43	421	33	323	10

Магнієві сплави

Серед промислових металів магній має найменшу густину – 1740 кг/м³, низьку температуру плавлення (651⁰С) і є основою для створення магнієвих сплавів. Магнієві сплави добре поглинають вібрацію, мають високу питому міцність, тому широко використовуються в авіації, на транспорті.

За стійкістю проти корозії вони поступаються алюмінієвим сплавам.

Сплави магнію розділяються на ті, що деформуються і ливарні. За чутливістю до термічної обробки розрізняють термічно зміцнювані і термічно не зміцнювані сплави.

Магнієві сплави, що деформуються.

Завдяки гексагональній кристалевій решітці з великим відношенням параметрів ($c/a = 1,624$) магній має значну анізотропію властивостей. Дифузія по осі гексагональної призми відбувається значно повільніше, ніж по площині бази. У полікристалічному матеріалі це призводить до загального гальмування дифузії у всьому об'ємі. Після термічної обробки стають важкими процеси розчинення та виділення сплавів. Тому термічна обробка магнієвих сплавів потребує додаткового часу нагрівання та старіння при підвищених температурах у порівнянні з алюмінієвими сплавами. Склад і механічні властивості деяких сплавів, що деформуються, наведені в табл. 3.

Таблиця 3.

Склад і механічні властивості
магнієвих сплавів, що деформуються

Сплав	Вміст елементів, %				Механічні властивості	
	Al	Zn	Mn	Zr	σ , МПа	δ , %
МА2	3–4	0,2–0,8	0,15–0,5	–		
МА2-1	4,5	1,2	0,6	-		
ВМ65-1	-	5,5	–	0,6		

Таблиця 4

Склад і механічні властивості
високоміцних ливарних магнієвих сплавів

Марка	Склад, %			Механічні властивості		
	Al	Zn	Mn	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
МЛ4	6	2,5	0,3	250–255	85–115	6–9
МЛ5	8,5	0,5	0,3	250–255	85–120	4–9
МЛ6	9,5	0,9	0,3	260	100–140	1–5

До термічно зміцнюваних відносять сплави системи Mg–Zn–Zr, наприклад сплав ВМ65-1.

Зміцнюючою термічною обробкою для сплавів цієї системи є штучне старіння при 160–170⁰С протягом 24 год. Загартування – охолодження на повітрі

від температури гарячої деформації. Сплав ВМ65-1 зберігає високу короткочасну міцність до 250⁰С, відзначається високими механічними властивостями.

Сплави марок МА2, МА2-1 відносяться до найбільш розповсюджених термічно не зміцнюваних сплавів системи Mg-Al. Сплав МА2-1, утворений як зварюваний, має достатню міцність і хорошу технологічність.

Ливарні магнієві сплави

Сплави цієї групи за структурою складаються із неоднорідних зерен твердого розчину і включень більш твердих інтерметалевих сполук. У неврівноваженій структурі часто з'являється евтектика. Термічна обробка ливарних магнієвих сплавів полягає в гомогенізації, яка сприяє вирівнюванню складу зерен, частковому переходу інтерметалідів у твердий розчин, коагуляції та знищенню евтектичної сітки. Внаслідок цього сплав стає більш міцним і в'язким.

Іноді після гомогенізації проводять штучне старіння сплавів, однак ефект зміцнення від цього заходу незначний.

Склад і механічні властивості деяких ливарних магнієвих сплавів наведені в табл. 4.

Контрольні запитання

1. З якого алюмінієвого сплаву слід виготовляти зварну посудину високого тиску?
2. Чому навантажені великогабаритні вироби із Д16 одержують клепанням?
3. Який алюмінієвий сплав підходить для виготовлення деталі складної конфігурації, що повинна працювати в корозійному середовищі?
4. Чим відрізняються корозійні стійкості сплавів Д16 і АМг6?
5. Яка причина зміцнення евтектичної точки в модифікованих силумінах?
6. Чому для магнієвих сплавів витримка при старінні більш довга, ніж для алюмінієвих?

Порядок виконання роботи

1. Вивчіть структури зразків при різних збільшеннях.
2. Замалюйте структури проглянутих зразків.
3. Опишіть їх фази і структури: форма і кількість фаз, характер меж (когерентні, малокутні, великокутні).

Оформлення роботи

Звіт про проведену роботу повинен містити:

- 1) мету роботи і теоретичні відомості;
- 2) мікроструктури вивчених сплавів;
- 3) кількісну оцінку структурних складових;
- 4) відповіді на контрольні запитання.

1. Мозберг Р.К. Металловедение. – Таллинн: Валгус, 1976.–265с.
2. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов.– М: Металлур-

гия, 1978.– 192с.

3. Калачев А.К. Титан.– М: Metallurgiya, 1988.– 561с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 10 ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, СТРУКТУРА І ВЛАСТИВОСТІ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

Мета роботи: 1) ознайомлення з класифікацією титанових сплавів;
2) вивчення видів термічної обробки і типів структур титанових сплавів.

Матеріали та обладнання: зразки розміром 15×15×60 мм сплаву ВТЗ-1 у стані після гарячої штамповки і відпалення при 880⁰С; колекція шліфів різних титанових сплавів; електропечі муфельні МП, гартівний бак, потенціометр ПП-63 з хромель–алюмінієвою термопарою, твердомір, мікроскоп.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Титанові сплави використовуються в авіації, судно- та двигунобудуванні, де висока питома міцність має вирішальне значення.

У хімічному машинобудуванні та інших галузях промисловості перевага віддається титану, який має високу корозійну стійкість.

Титан високої чистоти є маломіцним і високопластичним матеріалом ($\sigma_b = 220$ МПа, $\delta = 50\text{--}60\%$). Чистий титан використовується як корозійно стійкий матеріал і основою високоміцних і жароміцних сплавів.

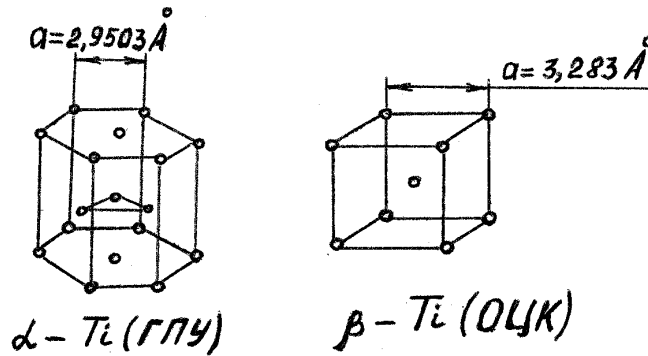
Таблиця 1

Фізичні властивості титану та інших металів

Властивості	Ti	Mg	Al	Fe
Температура плавлення, ⁰ С	1668	650	660	1536
Густина, кг/м ³	4505	1740	2720	7860
Теплопровідність, кал/(см·с·град)	0,04	0,35	0,538	0,177
Електроопір, 10 ⁵ Ом×см	42,0	4,47	2,66	9,7
Теплоємність, кал/г×град.	0,125	0,246	0,215	0,153
Конфіцієнт лінійного розширення, 10 град./см	8,5	25,7	24,3	11,7
Модуль нормальної пружності, МПа	112000	45000	72500	200000

Основні легуючі елементи титанових сплавів: Al, Mo, Mn, V, Fe, Si, Cr, Sn. Постійними домішками є вуглець, кисень, водень, азот.

Кристалічні решітки титану



Вплив легуючих елементів на поліморфне перетворення титанових сплавів показано на рис. 1.

Легуючі елементи за впливом на поліморфне перетворення можна розбити на три основні групи:

1. Елементи, що розширюють область α (α -стабілізатор) – алюміній, вуглець, кисень і азот.
2. Елементи, що розширюють область β (β -стабілізатор) – молібден, ванадій, тантал. Ці елементи ізоморфні β -титану, так як мають ОЦК решітку.
3. Із числа елементів, що розширюють область β , виділяють елементи, за участю яких відбувається евтектичний розпад β -фази. До них відносять марганець, хром, залізо, нікель.

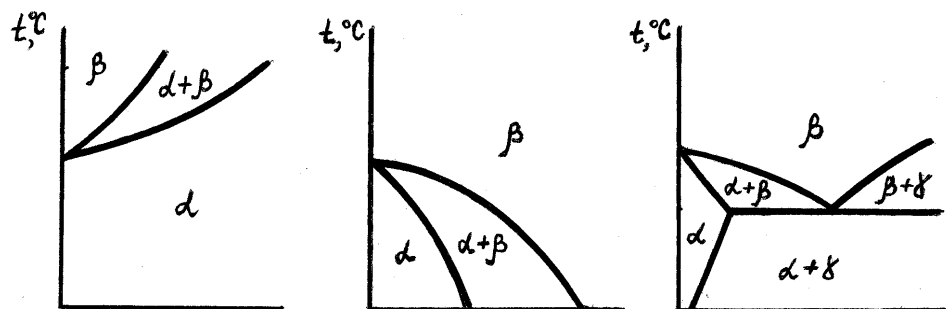


Рис. 1 Вплив легуючих елементів на поліморфне перетворення титану.

Внаслідок дуже малої швидкості утворення γ -фази евтектоїдний розпад може не відбуватися, і тоді діаграма 3 переходить в діаграму 2 (рис. 1).

Алюміній є єдиним α -стабілізатором, що утворює тверді розчини заміщення. Він не тільки зміцнює сплав, а й підвищує опір окисленню. Тому твердий розчин Ti-Al є основою для всіх сучасних титанових сплавів. (табл. 2).

Подібно до легованих сталей титанові сплави класифікують за структурою, яку вони мають після охолодження на повітрі: α -, $(\alpha+\beta)$ -, β -сплави.

Для титанових сплавів використовують такі види термічної обробки: відпалення, загартування і старіння (рис. 2).

Відпалення здійснюють з метою підвищення пластичності, досягнення однорідності властивостей, звільнення від внутрішньої напруги. Воно складається із: 1) нагрівання до температури нижче температури поліморфного перетворення, 2) витримування, 3) поступового охолодження.

Процес загартування і старіння використовуються для забезпечення високої міцності і необхідної пластичності сплавів. Загартування полягає у фіксації

високотемпературного стану при різкому охолодженні із β - або $(\alpha+\beta)$ -області. Процесом старіння передбачається нагрівання до температур, значно нижчих від температури їхнього фазового переходу і охолодження на повітрі. Мета старіння – здійснити розпад метастабільних фаз, одержаних при гартуванні.

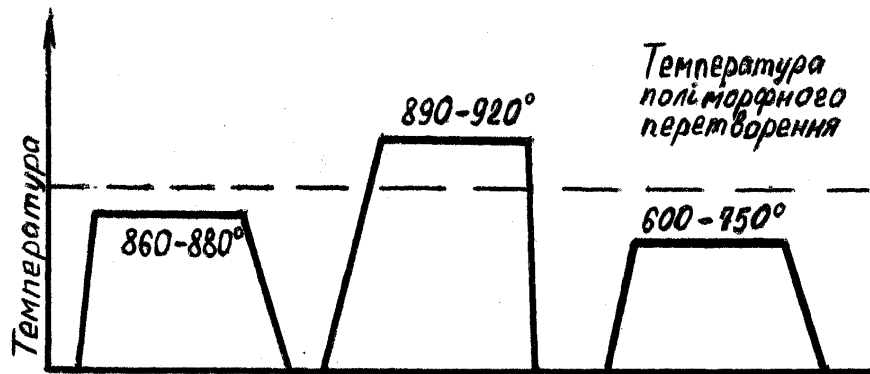


Рис. 2. Схема основних видів термообробки титанових сплавів (наведені температури для сплаву ВТЗ-1).

Для титанових сплавів характерні велика різноманітність метастабільних фаз при загартуванні і складність процесів їх утворення. На діаграмі стану титанових сплавів помітні утворення при повільному охолодженні:

- метастабільних структур (пунктирні лінії);
- стабільних структур (суцільна лінія).

Пунктирні лінії відповідають температурам початку (M_s) і кінця (M_f) мартенситного перетворення. Концентрації $C'_{кр}$ і $C''_{кр}$ називають відповідно першою і другою критичною концентраціями легуючих елементів. Нижче від концентрації $C_{кр}$ утворюються мартенситні фази α' і α'' . Різниця між ними в тому, що для α' характерна спотворена ГПУ-решітка, а для α'' – ромбічна решітка.

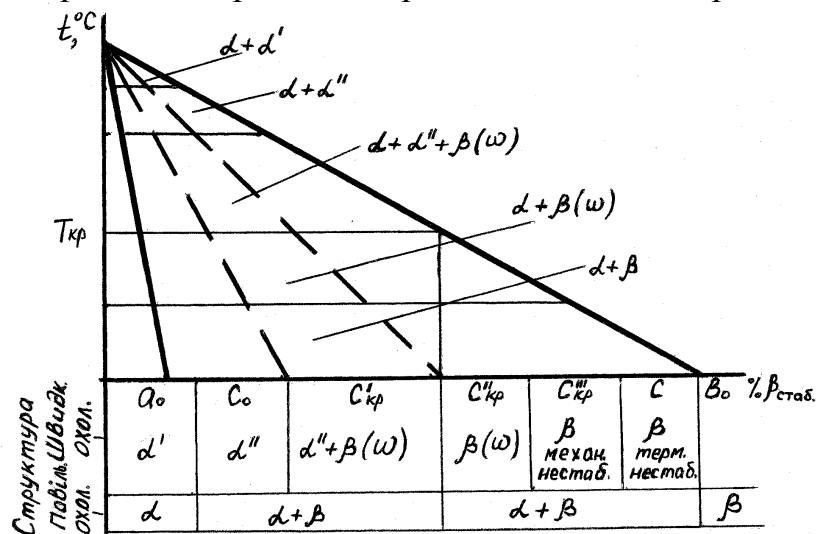


Рис. 3 Діаграма фазового стану

Таблиця 2

Сучасні промислові титанові сплави

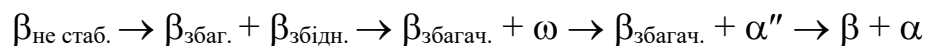
Марка сплава	Хімічний склад, % ваги						Механічні властивості			
	Al	V	Mo	Cr	Zn	Інші елементи	σ_B , кг/мм ²	σ_B , МПа	δ , %	a_H , кг/см ²
α-сплави										
BT3-1						0,18 Fe; 0,1 Si	45	450	35	12
BT5-1	4,5-6,0					2-3 Sn	90	900	35	4,5
CT4-2	3,5-5,0					0,8-2 Mn	84	840	27	6,0
BT20	6,0		1		2	0,2 Si	110	1100	10	3,5
BT25	6,8		2		1,7	2 Sn; 0,7 W	105	1051	10	3,5
$(\alpha+\beta)$-сплави										
BT6	5,5-7,0	5,1					110	1100	8	4,0
BT6C	5,0-6,5	4,0					95	950	12	6,0
BT9	5,8-7,0		2,8-3,8		0,8		125	1250	12	4,0
BT14	4,5-6,3	1,4	2,5-3,8				128	1280	6	6,0
BT3-1	5,5-7,0		2,0-3,0			0,4 Fe; 0,15 Si	120	1200	6	4,0
BT23	4,5	4,5	2,0	1,0-2,5		0,6 Fe	145	1450	6	3,5
β-сплави										
BT15	2,5-3,6		6,8-8,0	8,5-11,0	1	1,2 Fe	140	1400	4	2,0
BT32	2,5	8,5	8,5	1,2			145	1450	6	2,0
4201			33,0				63,5			
TC6	3,0	6,0	5,0	11,0			140	1400	4	2,0

Найважливішим показником титанових сплавів є концентрація $C_{кр}$, вище якої при загартуванні фіксується структура, представлена $(\beta+\omega)$ - або β -фазою. ω -фаза, що утворюється при концентраціях сплаву, близьких до $C_{кр}$, є продукт незакінченого мартенситного перетворення. У загартованих сплавах вона завжди присутня з β -твердим розчином. Мікроструктурно ω -фаза не встановлюється, присутність її перевіряють рентгенографічно.

β -фаза, отримана гартуванням при концентраціях менших C , при довготривалому навантаженні розпадається, тому її називають механічно нестабільною. При концентраціях, більших C , β -фазу називають термодинамічно нестабільною, так як вона здатна до розпаду при нагріванні.

На рис. 3 показані ті ж фазові перетворення, які зазнає β -фаза різного степеня легуваності при гартуванні із $(\alpha+\beta)$ -області (при цьому допускається, що α -фаза зазнає перетворення).

У загальному вигляді розпад метастабільних фаз пристарінні описується як багатостадійний процес переходу до рівноважного стану, наприклад за схемою:



Контрольні запитання

1. Яку кількість α - і β -стабілізаторів містить сплав ВТЗ-1 і який тип діаграми стану їм відповідає?
2. Яка відмінність основних фізичних властивостей титану, алюмінію і заліза?
3. Які нерівноважні фази у загартованих сталях і титанових сплавах вам відомі?
4. Яку структуру має сплав після загартування і відпалення, якщо концентрація елементів перевищує C і $C'_{кр}$?
5. Який режим термозміцнюючої обробки можливий для сплаву ВТЗ-1?

Порядок виконання роботи

1. Для нагрівання під загартування зразки на титановому піддоні помістити у нагріту піч ближче до термопар.
2. При досягненні температури 890 ± 5 °С зразки витримайте 10 хв і загартуйте у підсоленій воді.
3. Старіння загартованих зразків проведіть при температурі 500, 630, 750°С у продовж 30 і 60 хв.
4. Після кожної термічної операції проведіть заміри твердості зразка за Брінеллем, потім зробіть металографічний шліф і вивчіть його структуру.

Оформлення роботи

Звіт про проведену роботу повинен містити:

- 1) мету і методику роботи;
- 2) теоретичні відомості;
- 3) таблицю замірювання твердості в залежності від температури і часу

старіння;

4) мікроструктуру вивчених сплавів;

5) відповіді на контрольні запитання.

Глазунов В.Т., Моисеев В.Н. Конструкционные титановые сплавы.—М: Металлургия, 1987.—421 с.

Макквиллэн А.Д., Макквиллэн М.К. Титан. М: Металлургия, 1980.—421с.

ЗМІСТ

Лабораторна робота 1	Методи вимірювання твердості металів і сплавів	3
Лабораторна робота 2	Визначення розміру зерна металів і сплавів	7
Лабораторна робота 3	Конструкційні та інструментальні сталі	10
Лабораторна робота 4	Нержавіючі сталі	18
Лабораторна робота 5	Визначення характеристик жароміцних сплавів	21
Лабораторна робота 6	Визначення жароміцності сталей і сплавів	25
Лабораторна робота 7	Жароміцні сплави	30
Лабораторна робота 8	Термічна обробка алюмінієвих сплавів	33
Лабораторна робота 9	Структура і властивості алюмінієвих сплавів	37
Лабораторна робота 10	Термічна обробка, структура та властивості титанових сплавів	43