

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1 МІКРОСКОПІЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Мета роботи:

1. Освоїти методику виготовлення зразків для мікроскопічного дослідження металів.
2. Ознайомитися з пристроєм мікроскопа.
3. Навчитися правильно користуватися мікроскопом.
4. Освоїти методику вимірювання мікроскопічних об'єктів за допомогою окулярних і об'єктивних мікрометрів.

Загальні відомості

Макроаналіз

Макроструктура – будова метал, видиме без збільшення або при невеликому збільшенні (до 10–30 разів) за допомогою лупи. При макроаналізі можна одночасно спостерігати велику поверхню деталі, (наприклад, **випливи, покоси**), в зламі або на макрошліфі.

Методом макроаналізу визначають:

- вид зламу – в'язкий, крихкий, нафталіністий (в сталі), кам'яноподібний (в сталі) і т. д.;
- порушення цілісності металу – усадкова рихлість, центральна пористість, свищі, підкіркові бульбашки, міжкристалитні тріщини і виникли при обробці тиском і термічній обробці, флок у сталі, дефекти зварювання (непровари, газові бульбашки і ін.);
- дендритна будова, зону трансрісталізації в литому металі;
- хімічну неоднорідність литого металу (ліквіацію) і присутність в ньому грубих включень;
- волокнисту структуру деформованого металу;
- структурну і хімічну неоднорідність металу, створену термічною, термомеханічною або хіміко-термічною обробкою.

Найбільш простим методом виявлення будови металу є вивчення зламу. На відміну від аморфного тіла метали мають зернистий (кристалічний) злам. У більшості випадків чим дрібніше зерно в зламі, тим вище механічні властивості металу. За зломом можна судити про розмір зерна, особливості лиття і термічної обробки, а також виявити окремі дефекти.

Макрошліфов називають поверхню зразка (деталі), підготовлену для дослідження макроструктури.

Мікроаналіз

Мікроскопічний аналіз (мікроаналіз) полягає в дослідженні структури металу при великих збільшеннях (більше 30 разів) і застосовується:

- для визначення кількості і типу структурних складових металів і сплавів;
- для оцінки форми, розміру і характеру розташування зерен;
- для визначення характеру і якості попередньої обробки (термічної обробки, лиття, обробки тиском, зварювання);
- для приблизного визначення вмісту вуглецю в вуглецевій та низьколегованій сталі за структурою в рівноважному стані;
- для встановлення наявності неметалічних включень і оцінка їх форми, розмірів, характеру розташування;
- для встановлення наявності мікрodefектов – мікротріщин, раковин і т. п.;
- для визначення глибини шару, що утворився на поверхні після цементації, азотування та інших видів хіміко-термічної обробки, глибини знеуглецювання і т.п.;
- для виявлення неметалічних включень – сульфідів, оксидів і ін.

Мікроструктура – це будова (взаємне розташування, форма і розміри зерен) металів і сплавів, видиме за допомогою мікроскопа. Для мікроаналізу з досліджуваного матеріалу вирізають зразок, поверхню його піддають шліфуванню, поліруванню, травленню і потім розглядають в металографічному мікроскопі.

Структурна складова – це ділянка мікроструктури, що має свою будову і властивості і віддалений від інших ділянок поверхнею розділу (кордоном).

Мікроструктурний метод дослідження металів складається з наступних етапів:

- а) приготування шліфів – шліфування та полірування;
- б) травлення шліфів – виявлення структури;
- в) дослідження структури, дефектів металів і сплавів під мікроскопом.

Приготування мікрошліфів

Зразок металу, спеціально підготовлений для дослідження його структури під мікроскопом, називається мікрошліфів.

Зразок беруть з тієї частини виробу або заготовки, яка в даному дослідженні становить найбільший інтерес. Наприклад, якщо потрібно встановити причину руйнування, зразок беруть в безпосередній близькості до місця руйнування. Для вивчення мікроструктури виробів після хіміко-термічної обробки зразок відбирають таким чином, щоб його поперечний переріз включало поверхневий шар.

Прикладом найбільш зручних розмірів мікрошліфа (рис. 1.1) є циліндр діаметром 12 мм і висотою 10 мм або паралелепіпед з площею основи 12×12 мм при тій же висоті.

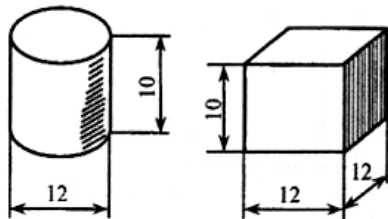


Рис. 1.1. Металографічні шліфи нормальних розмірів

Дрібні зразки незручної форми (від тонких листів, дроту, кромки різального інструменту і т. п.) повинні бути укладені в спеціальні пристосування (рис. 1.2, а).

Найбільш поширений спосіб заливки дрібних зразків. На гладку металеву поверхню встановлюють відрізок трубки діаметром 10-20 мм і висотою 10-20 мм, всередині неї розміщують зразки і вільний простір заповнюють рідким легкоплавким сплавом або сіркою. Після охолодження, ця оправлення разом із зразками шліфується і полірується, тобто виготовляється мікрошліф (рис. 2.2, б, в).

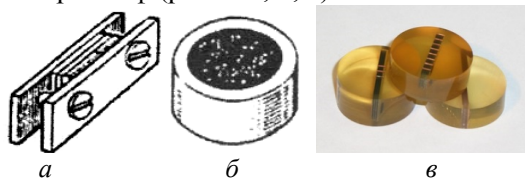


Рис. 1.2. Металографічні шліфи: а – шліф затиснутий в струбцину; б, в –

Заготівлю для мікрошліфа відрізають або ножівкою, або на токарному або фрезерному верстаті. Зразки металів и сталев, що володіють скроню твердістю и поганий оброблюваністю (загартовані сталі, білі чавуна, сталі аустенітного класу и ін.), відрізають на тих же верстатах інструментом, виготовлення з твердих або надтвердих, сталев або с помощью тонкого наждачного круга, а також електроскоровій різкою. Зразки з тендітних металів и сталев відбирають шляхом злами.

Досліджувану поверхню бланках заторцовівають на площинах на наждачним колі або обпіловкою напилком. При цьому відрізуку и заторцовку необхідно вести з охолодження бланках водою, інакше він буде нагріватися, що викличе, зміна структура сплавів багато.

Заторцованній зразок очищають від частінок металу и абразиву и шліфують наждачним папером різної зерністості на спеціальних шліфувальних верстатах або вручну. У табл. 1.1 наведено класифікацію абразивних порошоків, засновано на поділі абразивів за величиною зерна, и зготовлених з них шліфувальних паперів.

Таблиця 1.1

Класифікація абразивні порошоків

№ зерністості шліфувального порошку	Розмір зерна, мкм	№ зерністості мікропорошку	Розмір абразивного зерна, мкм
100	150 – 125	М 28	28 – 20
120	125 – 105	М 20	20 – 14
150	105 – 75	М 14	14 – 10
180	85 – 63	М 10	10 – 7
220	75 – 53	М 7	7 – 5
280	53 – 28	М 5	5 – 3,5
320	42 – 20	–	–

Шліфування проводять на чотирьох-п'яти номерах шліфувального паперу, які вибирають в залежності від найменування металу або складу сплаву.

При шліфуванні вручну шліфувальний папір поміщають на скло для створення рівної й твердої підкладки та зразок переміщують на цьому папері, злегка його притискаючи. Шліфують зразок до тих пір, поки не зникнуть сліди попередньої обробки (рис. 1.3). При переході на більш тонку шліфувальний

папір зразок очищають від наждачним пилю, повертають його на 90° і шліфують до тих пір, поки не зникнуть ризики, що залишилися після шліфування на попередній наждачним папері.

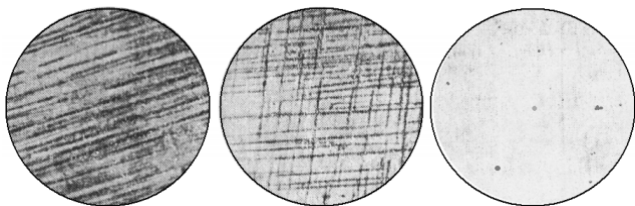


Рис. 1.3. Різні ступені готовності мікрошліфа: *а* – підготовлений до більш тонкої шліфовці; *б* – потрібне продовження шліфування на даному абразиві; *в* – стан поверхні мікрошліфа після полірування

Шліфування механічним способом проводять на спеціальних шліфувальних машинах (рис.1.4), які мають кілька кіл діаметром 200-250 мм, що приводяться в обертання від електродвигуна. На ці кола надаються або наклеюється металографічна шліфувальний папір різних номерів, на якій шліфують зразки, поступово переходячи від більш грубих сортів паперу до більш тонким. При цьому ризики знищуються так само, як і при ручному шліфуванні, шляхом повертання шліфа на 90° при переході з одного номера паперу на інший.



Рис. 1.4. Шліфувальні та полірувальні машини

Якщо досліджується край шліфа, то шліф при виготовленні затискають в оправлення, що має ту ж твердість, що і шліф. Це робиться для того, щоб край шліфа мав площину, а не сферичну поверхню (рис. 1.5).

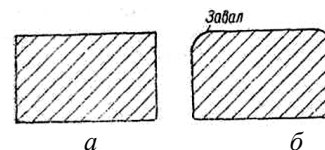


Рис. 1.5. Приготування мікрошліфів: *а* – правильне (шліф не завалений); *б* – неправильне (шліф завалений).

Після шліфування зразок промивають струменем води для видалення частинок металу і абразиву і полірують на спеціальному полірувальному верстаті, диск якого обтягнутий фетром, сукном або оксамитом (рис.1.6). Фетр змочують полірувальною рідиною, що складається з води, в якій в підвішеному стані знаходяться частинки полірувального порошку.



Мал. 1.6. Рекомендований прийом полірування шліфа на полірувальній установці: 1 – стіл полірувальної установки, 2 – диск, 3 – сукно, 4 – захисний кожух

В якості полірувального порошку застосовують окис металів (Cr_2O_3 , Al_2O_3 , MgO і т.д.). Оскільки частки окису вельми тверді, то вони під час полірування шліфа діють на метал як абразивна речовина, тобто виробляють різання. Крім того, ці частинки дисперсної, вони здатні знімати: найдрібніші нерівності на площині шліфа, роблячи її гладкою, без рисок.

Зразок не слід сильно притискати до диска. Полірування триває 5-10 хв, іноді і дещо більше, в залежності від стану поверхні до полірування, властивостей металу або сплаву, складу поліруючої рідини і ін.

Полірування закінчують після того, як мікрошліф набуває дзеркальну поверхню. Правильним критерієм високої якості поверхні мікрошліфа є відсутність на ній дефектів у вигляді рисок. Після полірування шліф промивають водою, потім спиртом і сушать, прикладаючи (не витираючи) до фільтрувальної папері.

Перед травленням полірованої поверхні шліфа з метою знежирення промивають спиртом, а потім шліф занурюють на нетривалий час (частіше на кілька секунд) в реактив.

Мета травлення полягає в тому, щоб шляхом різного впливу на сплав (травленням, окисненням при нагріванні і т. п.) штучно викликати в ньому неоднакове відображення світла різними структурними складовими або отримати різкі межі, що відокремлюють одне зерно від іншого. На рис. 1.7 представлена схема, яка наочно пояснює видимість кордонів зерен фериту, мікроструктура якого показана на рис. 1.8.

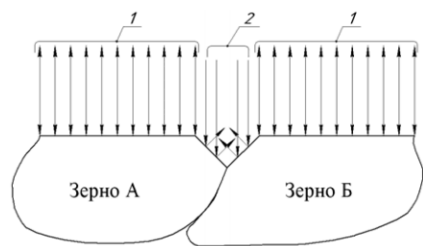


Рис. 1.7. Відображення потоку світла від поверхні шліфа в чистих металах: 1 – прямий і відбитий потік світла, 2 – розсіяний потік світла

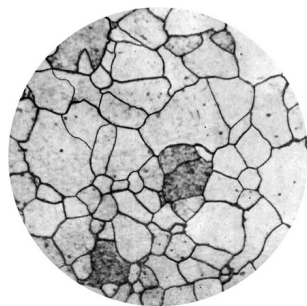


Рис. 1.8. Мікроструктура зерен фериту з явним обрисом їх меж

В результаті травлення шліфа 4%-ним розчином HNO_3 , в спирті границі зерен фериту витравлені сильніше і дають поглиблення. Ці заглиблення, що відповідають границям зерен, внаслідок розсіювання світла здаються під мікроскопом у вигляді темних ліній. Видимість пластинчастого і зернистого перліту під мікроскопом наочно представлена на рис. 1.9.

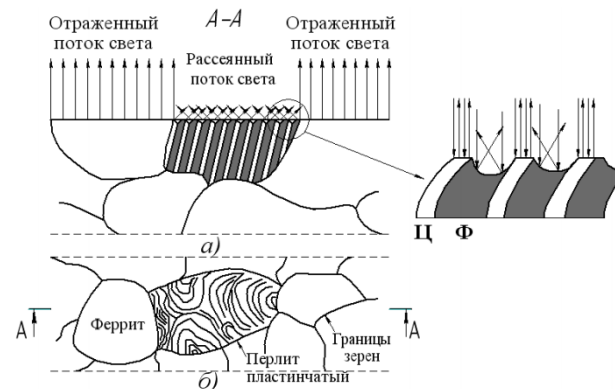


Рис. 1.9. Схема видимості перліту під мікроскопом: а – пластинчастий перліт; б – зернистий перліт.

Перліт представляє собою чергування пластинок (зерен) цементиту і фериту, причому пластинки цементиту значно тонше і твердіше пластинок фериту. Після полірування та травлення пластинки цементиту, як більш тверді та стійкі проти травлення, ніж ферит, виступають на площині шліфа, утворюючи мікрорельєф. Крім того, в результаті травлення кордону пластинок цементиту витравлені сильніше і, дають поглиблення.

У місцях виступів і поглиблень, що відповідають границям зерен, падаючі косі промені дають під мікроскопом тіні, причому з однієї сторони пластинки цементит тінь видна у вигляді більш широкої і темної смужки, а з іншого більш вузькою і слабкою. Таким чином, видимі на мікрофотографії темні смуги і лінії являють собою тіні, утворені виступаючими пластинками цементиту і поглибленнями, відповідними кордонів пластинок. Світлі ділянки між темними смужками і лініями являють собою пластинки цементиту або фериту.

Загальне пристрій металомікроскопу і практика користування ним

Металографічний мікроскоп – це прилад для спостереження і фотографування структури металів і сплавів, що використовує відбите світло від непрозорого об'єкта – шліфа. Набір об'єктивів і окулярів забезпечує в сучасних мікроскопах корисне збільшення до 2000 разів.

На рис. 1.10 наведена оптична схема мікроскопа ММ-7. Промені від освітлювача 1, заломлюючись призмою 2, проходять

через об'єктив 3, відбиваються від мікрошліфа 4, знову проходять через об'єктив 3, переломлюються призмою 5 і через окуляр 6 потрапляють в око спостерігача.

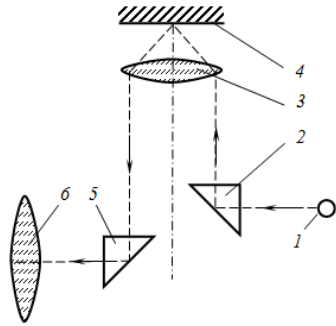


Рис. 1.10. Оптична схема металографічного мікроскопа МІМ-7

Основні характеристики металомікроскопу

Збільшення мікроскопа. Зображення предмета збільшується в мікроскопі двічі, тому збільшення мікроскопа V_m визначається власними збільшеннями об'єктива $V_{об}$ і окуляра $V_{ок}$ і дорівнює їх добутку

$$V_m = V_{об} V_{ок} = \frac{250l}{f_{об} f_{ок}},$$

де $f_{об}, f_{ок}$ – фокусна відстань об'єктива і окуляра; 250 мм – відстань найкращого зору ока; l – оптична довжина тубуса.

Характеристика збільшень об'єктивів і окулярів, що входять до комплекту мікроскопа МІМ-7, наведена в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Об'єктиви	Окуляри						
	При візуальному спостереженні				При фотографуванні		
	7 ^x	10 ^x	15 ^x	20 ^x	7 ^x	10 ^x	15 ^x
8,6 ^x (F=23,20; A=0,17)	60	90	130	170	70	120	160
14,4 ^x (F=13,89; A=0,3)	100	140	200	300	115	200	270
24,5 ^x (F=8,16; A=0,37)	170	240	360	500	200	340	450
32,5 ^x (F=6,16; A=0,65)	250	320	500	650	260	440	600
72,5 ^x (F=2,77; A=1,25)	500	720	1080	1440	575	1000	1350

Вертикальний металографічний мікроскоп МІМ-7 в даний час знаходить широке застосування. З його допомогою можна розглядати мікрошліфи, проводити фотографування мікроструктури і т. п. Загальний вигляд мікроскопа МІМ-7 показаний на рис. 1.11.

Мікроскоп МІМ-7 складається з освітлювача 1, нижнього корпусу з фотокамерою 2, верхнього корпусу 3, візуального тубуса 4, освітлювального тубуса 5, предметного столика 6.

Освітлювальна лампа 1 живиться через трансформатор, що знижує напругу в межах 6-18,5 Ст. Секційний перемикач служить для зміни напруги на затискачах лампи. Контроль за режимом роботи лампи ведеться по вольтметру.

Справа в корпусі виведений гвинт мікроскопічної фокусування мікроскопа на об'єкт 8. На верхньому корпусі укріплений візуальний тубус 4, який при візуальному спостереженні вставляється в корпус до упору, при фотографуванні висувається до відмови і освітлювальний тубус 5, у верхньому зрізі якого в посадкове отвір вставляється об'єктив.

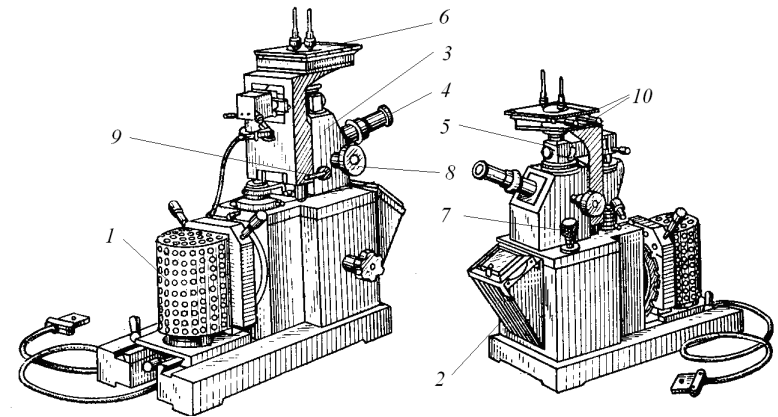


Рис. 1.11. Загальний вигляд мікроскопа: 1 – ліхтар освітлювача, 2 – нижній корпус мікроскопа з фотокамерою, 3 – верхній корпус мікроскопа, 4 – візуальний тубус, 5 – освітлювальний тубус, 6 – предметний столик, 7 – мікрометричний гвинт, 8 – мікрометричний гвинт для вертикального переміщення предметного столика, 9 – стопорний пристрій для макроговинт, 10 – гвинти для переміщення предметного столика в двох взаємно перпендикулярних напрямках

Предметний квадратний столик переміщається в горизонтальній площині у двох взаємно перпендикулярних напрямках обертанням рукояток 10.

Робоча висота предметного столика встановлюється суміщенням рисок на кронштейні і на корпусі обертанням рукоятки механізму грубого наведення на різкість 8. Для фіксації вибраного положення предметного столика служить рукоятка 9.

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

Величину зерна, глибину шару (азотування, цементації і т. д.) можна визначити під мікроскопом за допомогою об'єкт-мікрометра і окуляр-мікрометра.

Об'єкт-мікрометр – пластина, на яку нанесена шкала довжиною 1 мм, розділена на 100 рівних частин.

Окуляр-мікрометр – окуляр, в який вставлена пластинка з лінійкою, за допомогою якої можна визначити величину зерна, глибину шару (азотування, цементації), розмір мікродефектів.

Ціна поділки окуляр-мікрометра залежить від збільшення об'єктиву. Для цього об'єкт-мікрометра ставлять на предметний столик мікроскопа замість шліфа. Отримане зображення поділок об'єкт-мікрометра а встановлюється так, щоб шкала окуляр-мікрометра збіглася зі шкалою об'єкт-мікрометра.

Поєднавши обидві шкали, можна визначити, скільки поділок шкали об'єкта-мікрометра поєднується з поділками шкали окуляр-мікрометра. На рис. 1.13 показана схема визначення ціни поділки окуляр-мікрометра. При даному об'єктиві 40 розподілів окуляр-мікрометра, видимих у полі зору мікроскопа, поєднуються з 28 поділками об'єкта-мікрометра.

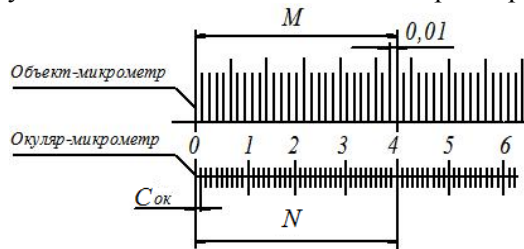


Рис. 1.13. Схема визначення ціни поділки окуляр-мікрометра

Ціну поділки окуляр-мікрометра $C_{ок}$ розраховують за формулою,

$$C_{ок} = \frac{C_{об}M}{N} \quad (1.1)$$

де $C_{ок}$ – ціна поділки шкали об'єкта-мікрометра; $C_{об} = 1/100 = 0,01$ мм; M – число поділок суміщених поділок об'єкта-мікрометра; N – число поділок суміщених поділок окуляр-мікрометра.

Визначення величини зерна

Для визначення середньої величини зерна існує кілька методів, серед яких найбільш поширеним є метод площ.

Вимірювання цим методом величини зерна проводиться на запропонованому для досвіду мікрошліфі з допомогою металографічного мікроскопа підрахунком кількості зерен по вертикалі і горизонталі.

Діаметри зерна по вертикалі та горизонталі розраховуються за формулою

$$D_{верт} = \frac{C_{ок} N_{верт}}{n_{верт}}; \quad D_{гор} = \frac{C_{ок} N_{гор}}{n_{гор}}; \quad (1.2)$$

де $D_{верт}$, $D_{гор}$ – діаметри зерна по вертикалі та горизонталі; $N_{верт}$, $N_{гор}$ – число поділок окуляр-мікрометра (рис. 1.14); $n_{верт}$, $n_{гор}$ – кількість зерен припадають на ділянці вимірювання l .

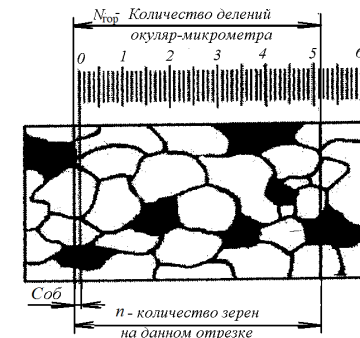


Рис. 1.14. Схема визначення розміру зерна за допомогою окуляр-мікрометра

Далі визначається середній діаметр зерна:

$$D_{\text{ср}} = \frac{D_{\text{гор}} + D_{\text{верт}}}{2} \quad (1.3)$$

Потім площа середнього діаметра зерна:

$$S_{\text{ср}} = \frac{\pi D_{\text{ср}}^2}{4}$$

Знаючи площу зерна $S_{\text{ср}}$ в мк^2 , можна визначити за табл. 1.3 номер зерна.

Наведений метод визначення величини зерна застосовується для литих і відпалених металів, так як він припускає, що зерна за розмірами близькі один до одного (равноосній) і форма їх наближається до кулі.

Таблиця 1.3

№ зерна	Справжня площа зерна, мк^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

Шкала стандартних розмірів зерна складається з восьми номерів (балів). Зерна № 1–4 вважаються великими, а понад № 5–дрібними.

Контрольні питання

1. Завдання мікроскопічного аналізу.
3. Приготування об'єкта дослідження і правила поводження з ним.
4. Принцип роботи металографічного мікроскопа.
5. Вкажіть на мікроскопі предметний столик і поясніть його призначення
6. Порядок настройки мікроскопа на візуальне спостереження.

7. Поясніть, з якою метою здійснюється зміна оптики.

8. Як визначити збільшення мікроскопа?

9. Мета і порядок визначення ціни ділення окуляра-мікрометра.

10. Як визначити розмір зерна стали окуляром-мікрометром?

Глосарій

Перліт. Однорідна механічна суміш фериту і цементиту.

П. зернистий. Перліт, в якому цементит має форму зерен, розподілених в ферритній основі.

П. пластинчастий. Перліт, в якому ферит і цементит мають форму пластинок, розташованих шарами.

Ферит. 1. Твердий розчин впровадження вуглецю в альфа-залізі.

Цементит. Назва карбіду заліза в сплавах заліза з вуглецем.

лабораторна робота № 2
ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ
МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Мета роботи:

1. Навчитися вимірювати твердість металевих зразків різними методами.
2. Ознайомитися з умовами застосування того чи іншого методу визначення твердості; підготовкою зразків для вимірювання твердості; пристроєм приладів для вимірювання твердості.
3. Простежити залежність твердості металів від складу сплаву.

Загальні відомості

Твердість - це здатність металу або сплаву чинити опір проникненню в нього більш твердого тіла певної форми і розмірів, яке не отримує залишкової деформації. Найбільш поширені види випробувань засновані на вдавлюванні в випробувану поверхню індентора.

Індентор – тіло певної форми: кулі, конуса, піраміди. У цих випадках твердістю, кгс/мм², є відношення навантаження на індентор, кгс, до площі його відбитку, мм², або в умовних одиницях глибини вдавлювання цього індентора. Твердість металевих зразків, можна визначати методом вдавлювання, дряпання по відскакування бойка та ін. Найбільш поширений метод вдавлювання статичним навантаженням.

Твердість має велике практичне значення, так як висловлює багато робочі властивості матеріалу, наприклад: опірність стирання, ріжучі властивості, здатність оброблятися шліфуванням або різанням, витримувати місцеві тиску і т. д. Крім того, по твердості іноді можна судити і про інших механічних, властивості, наприклад, про межі міцності.

Найбільш широко практикуються випробування твердості за Бринелем, Роквеллом, Віккерсом і метод визначення мікротвердості.

Твердість за методом Бринеля. Визначення твердості за Бринелем заснований на вдавлюванні у досліджуваний матеріал сталеві кульки і подальшого вимірювання діаметра відбитка (рис. 2).

Значення твердості визначають за величиною поверхні відбитка, що залишається кулькою (рис. 2).

Випробуваний зразок (деталь) встановлюють на столику 1 в нижній частині нерухокої станини преса, шліфованою поверхнею догори. Поворотом вручну маховика 2 за годинниковою стрілкою столик приладу піднімають так, щоб кулька 4 міг вдавнитися в випробувану поверхню.

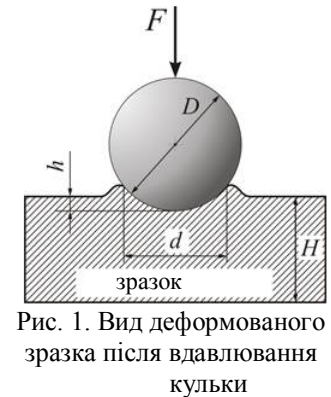


Рис. 1. Вид деформованого зразка після вдавлювання кульки

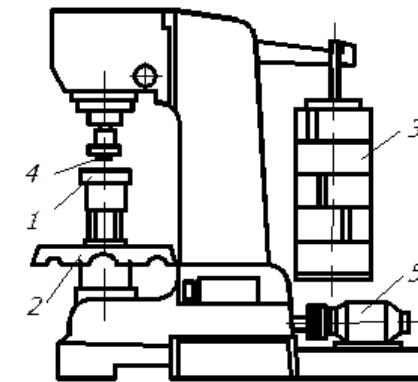


Рис. 2. Схема приладу для виміру твердості вдавлюванням кульки (вимірювання за Бринелем):

1 – столик; 2 – маховик; 3 – вантаж; 4 – індентор; 5 – двигун

В пресах з електродвигуном обертають маховик 2 до упору і натисканням кнопки включають двигун 5. Останній спочатку переміщує коромисло і поступово навантажує шток, а, отже, і вдавлює кулька під дією навантаження 3, повідомляється підвищенням до коромислу вантажем. Це навантаження діє протягом певного часу, зазвичай 10 – 60 с, в залежності від твердості вимірюваного матеріалу, після чого вал двигуна, обертаючись у зворотний бік, відповідно переміщує коромисло і знімає навантаження. Після автоматичного вимкнення двигуна, обертаючи маховик 2 проти годинникової стрілки, опускають столик приладу і потім знімають зразок. Регулюванням реле

двигуна можна змінювати час прикладання навантаження. У зразку залишається відбиток зі сферичною поверхнею (лунка) (рис. 4). Діаметр відбитка вимірюють лупою, на окулярі якої нанесена шкала з поділками, відповідними десятим часткам міліметра. Діаметр відбитка вимірюють з точністю до 0,05 мм (при вдавлюванні кульки діаметром 10 і 5 мм) у двох взаємно перпендикулярних напрямках; для визначення твердості слід приймати середню з отриманих величин. Чим твердіший метал, тим менше діаметр відбитка і тим вище число твердості за Бринелем.

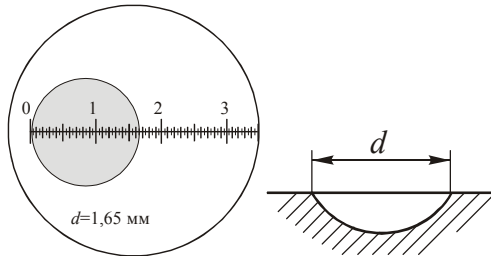


Рис. 3. Зображення відбитка

Твердість виражається в МПа або кгс/мм². При визначенні твердості за Бринелем навантаження і діаметр кульки повинні відповідати закону подібності

$$P = kD^2,$$

де k – постійна для даного матеріалу величина, що дорівнює 30, 10 або 2,5, яка вибирається в залежності від виду матеріалу, його передбачуваної твердості та товщини випробовуваного зразка.

Твердість по Бринелю позначають символом НВ (*Hardness Brinell*) або *HBW (Hardness Brinell Wolfram carbide)*:

– НВ – при застосуванні сталеві кульки (твердість деталі менше 450 одиниць);

– HBW – при застосуванні кульки з твердого сплаву (твердість деталі понад 450 одиниць).

Діаметр кульки D , навантаження P і тривалість витримки τ вибирають у відповідності з **ГОСТом** залежно від виду матеріалу, його орієнтовною твердості НВ і товщини зразка δ .

При вимірюванні твердості кулькою $D = 10$ мм під навантаженням $P = 29430$ Н (3000 кгс) з витримкою $\tau = 10$ з твердість по Бринелю позначають цифрами, що характеризують

число твердості, і літерами НВ, наприклад 175 НВ (тут 175 – число твердості, кгс/мм², НВ – твердість за Бринелем).

Символу НВ (HBW) передує числове значення твердості (з округленням до трьох значущих розрядів), а після символу вказують діаметр кульки [мм], значення прикладеної сили [кгс], тривалість витримки [з], якщо вона відрізняється від 10 або 15 секунд.

Твердість за Бринелем (НВ) виражається відношенням взятої навантаження P до площі поверхні відбитка F :

$$HB = \frac{P}{F}. \quad (1)$$

Якщо обчислити поверхню відбитка, що має форму кульового сегмента, то НВ визначиться формулою

$$HB = \frac{2P}{\pi D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad (2)$$

де P – прикладене навантаження, кгс; D – діаметр кульки, мм; d – діаметр відбитка, мм.

Вимірювання твердості за Бринелем не є універсальним способом. Цей спосіб не дозволяє:

а) використовувати матеріал з твердістю більше НВ 4500, т. к. кулька буде жолобитися і свідчення будуть неточні;

б) вимірювати твердість тонкого поверхневого шару (товщиною 1-2 мм), так як кулька буде продавлювати тонкий шар металу.

Твердість за методом Роквелла.

Вимірювання твердості металів і сплавів за методом Роквелла здійснюється вдавлюванням алмазного конуса або сталеві кульки з подальшим визначенням твердості по глибині одержуваного відбитка (**ГОСТ 9013-59**).

Алмазний конус з кутом при вершині 120° або сталеві кулька діаметром 1,588 мм (1/16") вдавлюється у випробуваний зразок (виріб) під дією двох послідовно додаються навантажень – попередньої $P_0 = 10$ кгс і загальною P , що дорівнює сумі попереднього і основного P_1 навантажень (рис. 4). Загальна навантаження P становить 100 кгс при вдавлюванні кульки і 150 або 60 кгс при вдавлюванні конуса.

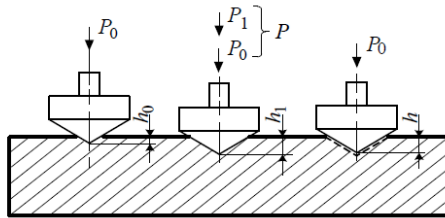


Рис. 4. Схема випробувань твердості за Роквеллом

Твердість по Роквеллу виражається абстрактній величиною, яка залежить від глибини вдавлювання h , і може бути визначена за формулою, але в цьому немає необхідності, так як твердість визначається за показаннями приладу (рис.6).

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

де h_0 – глибина впровадження наконечника під дією попереднього навантаження, мм; h – глибина впровадження наконечника під дією загального навантаження, мм; k – постійна величина, що дорівнює 0,26 мм для кульки і 0,2 мм для алмазного конуса; c – ціна поділки шкали індикаторного приладу, відповідна глибини впровадження наконечника на 0,002 мм

Таблиця 3

Нагрузка на индентор и диапазоны измерений твердости

Шкалы Роквелла	Нагрузка на индентор, кгс			Диапазоны измерений
	Предварительная	Основная	Общая	
A	10	50	60	70...85 HRA
B	10	90	100	25...100 HRB
C	10	140	150	20...67 HRC

Твердомір Роквелла (рис. 5) оснащений індикатором годинникового типу (рис. 67), шкала якого поділена на 100 частин. Кожна поділка шкали відповідає осьовому переміщенню індентора на 0,002 мм. Індикатор має дві шкали з однаковою ціною поділки, які розміщені на одному циферблаті: чорну (зовнішню) для виробництва випробувань з алмазним (конічним) наконечником при навантаженнях 60 або 150 кгс і червону (внутрішню) для виробництва випробувань з кульковим наконечником при навантаженні 100 кгс. Червона шкала зміщена відносно нульового розподілу чорної шкали на 30 поділок.

Необхідність зміщення викликана тим, що при випробуванні кулькою з навантаженням 100 кгс глибина відбитка не буває менше 0,06 мм і, отже, переміщення стрілки по циферблату не буває менше 30 поділок. Крім того, глибина вдавлювання часто досягає 0,26 мм, тобто стрілка робить поворот більш, ніж на 100 поділок

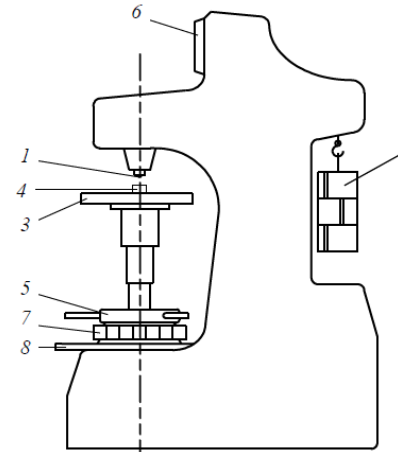


Рис. 5. Твердомір Роквелла ТК-2:
1 – індентор; 2 – вантажі; 3 – стіл;
4 – зразок; 5 – шків; 6 – індикатор; 7 – барабан; 8 – пускова клавіша



Рис. 6. Індикатор

Метод Роквелла дозволяє проводити випробування деталей після поверхневого зміцнення та об'ємної загартовування. Визначення твердості за цим методом практично не пов'язане з псуванням поверхні виробу.

Шкала С служить для випробування твердих матеріалів, що мають твердість по Брінеллю від 230 до 700 кгс/мм². Алмазний конус вдавлюється під навантаженням 150 кгс. Інтервал вимірювання твердості за шкалою С – від 22 до 68 одиниць, позначається твердість HRC.

Шкала А використовується при випробуванні дуже твердих матеріалів або тонких поверхневих шарів (0,5...1,0 мм). Застосовують той же алмазний конус, але вдавлюють під навантаженням в 60 кгс. Значення твердості визначають за шкалою, але позначають HRA. Інтервал вимірювання твердості за цією шкалою від 70 до 85 одиниць.

Шкала *B* призначена для випробування м'яких матеріалів, що мають твердість по Брінеллю від 60 до 230 кгс/мм². Сталева кулька діаметром 1,5875 мм вдавлюється під навантаженням в 100 кгс. Твердість вимірюється в межах від 25 до 100 одиниць шкали *B* і позначається HRB.

У порівнянні з методом Брінелля метод Роквелла є більш універсальним, так як дозволяє відчувати метали і сплави будь-якої твердості, включаючи тверді сплави. За методом Роквелла можна також визначити твердості порівняно тонких зразків (товщиною до 0,4 мм). Наявність індикаторного приладу дозволяє визначити число твердості безпосередньо відліком по шкалі і тим самим робить цей метод більш продуктивним, проте точність визначення числа твердості нижче, тому треба проводити кілька вимірів і визначити середню величину.

Твердість по Віккерсу. Метод полягає у вдавлюванні алмазного наконечника, що має форму правильної чотиригранної піраміди, зразок (виріб) під дією навантаження *P* і вимірі діагоналі відбитка *d*, що залишився після зняття навантаження (рис. 7).

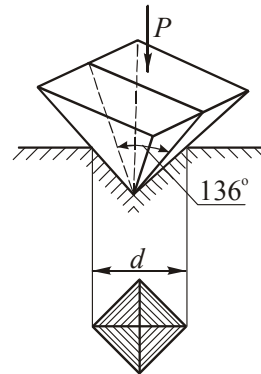


Рис. 7

Випробування проводять на приладі (рис. 9), що має нерухому станину, в нижній частині якої встановлено столик 3, переміщається по вертикалі обертанням маховика 2. Зразок встановлюють на столику догори випробуваної поверхнею (перпендикулярній діючій силі) і потім піднімають столик майже до зіткнення зразка з алмазною пірамідою, закріпленої в штоку 4.

Натисканням педалі спускового важеля 1 приводять в дію навантажувальний механізм, який через важіль передає тиск попередньо піднятих вантажів 6 на алмазну піраміду. Після цього опускають столик приладу і підводять мікроскоп 5, встановлений на штанзі, прикріпленою до станини. З допомогою мікроскопа визначають довжину діагоналей отриманого відбитка.

У цьому приладі можна створювати навантаження 1, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 100 і 120 кг. Чим більше обирає навантаження, тим глибше проникає алмазна піраміда в випробуваний матеріал.

Тому для вимірювання твердості тонких шарів застосовують менші навантаження: 1, 3 або 5 кг.

Навантаження *P* може змінюватися від 9,8 (1 кгс) до 980 Н (100 кгс).

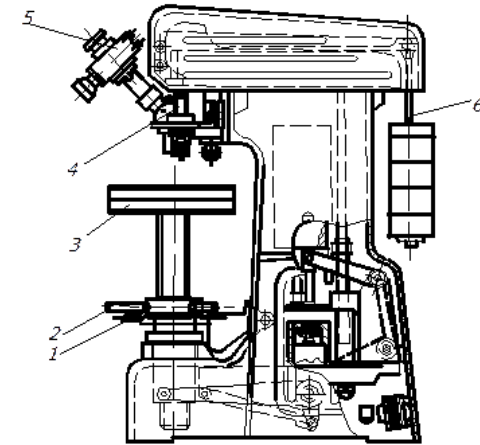


Рис. 8. Схема приладу для виміру твердості вдавленням алмазної піраміди (вимірювання за Віккерсом): 1 – педаль; 2 – маховик; 3 – столик; 4 – шток; 5 – мікроскоп; 6 – вантаж

У цьому приладі можна створювати навантаження в 1, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 100 і 120 кг. Чим більше обрана навантаження, тим глибше проникає алмазна піраміда в випробуваний матеріал. Тому для вимірювання твердості тонких шарів застосовують менші навантаження: 1, 3 або 5 кг.

Навантаження *P* може змінюватися від 9,8 (1 кгс) до 980 Н (100 кгс). Твердість по Віккерсу

$$HV = 0,189 \frac{P}{d^2} \text{ [МПа]},$$

якщо *P* виражена в Н, і

$$HV = 1,854 \frac{P}{d^2} \text{ [Кгс / мм}^2\text{]},$$

якщо *P* виражена в кгс.

Метод використовують для визначення твердості деталей малої товщини і тонких поверхневих шарів, що мають високу твердість. Чим тонше матеріал, тим менше повинна бути

ВИВЧЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ

навантаження. Число твердості за Віккерсом HV визначають за спеціальними таблицями з вимірною величиною d (діагоналі відбитка в міліметрах).

Мікротвердість. Визначення мікротвердості (твердості в мікроскопічно малих обсягах) необхідно для тонких покриттів, окремих структурних складових сплавів (рис. 10). Прилад для визначення мікротвердості складається з механізму для вдавлювання алмазної піраміди з невеликим навантаженням і металографічного мікроскопа. У випробовувану поверхню вдавлюють алмазну піраміду під навантаженням 0,05...5,00 Н. Твердість H визначають за тією ж формулою, що і твердість по Віккерсу: $H = 0,189 \frac{P}{d^2}$, якщо P виражений у Н.

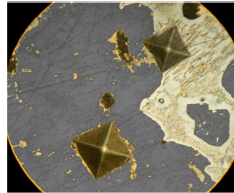


Рис. 9

Контрольні питання

1. Що таке твердість?
2. Класифікація методів вимірювання твердості.
3. Сутність вимірювання твердості по Брінеллю.
4. До якого значення твердості при випробуванні по Брінеллю використовуються сталеві кульки?
5. Якого діаметру кульки використовуються при випробуванні на твердість по Брінеллю?
6. З яких умови вибирається діаметр кульки при випробуванні на твердість по Брінеллю?
7. Приклад запису твердості по Брінеллю?
8. Сутність вимірювання твердості по Роквеллу?
9. При вимірі який твердості знімається відлік показання за шкалами А, С, В?
10. Приклад форми записи твердості по Роквеллу?

Мета роботи:

1. Вивчити структурні складові залізобуглецевих сплавів в рівноважному стані.
2. Встановити зв'язок між структурою і змістом вуглецю в сталі.

Загальні відомості

Уявлення про будову вуглецевих сталей дає діаграма стану залізо-цементит (рис. 1), яка є графічним зображенням фазового і структурного стану сплавів в залежності від температури і концентрації хімічних компонентів. Лінії на діаграмі (їх зазвичай називають фазовими) поділяють області з різним фазовим складом, тому при переході через них відбуваються фазові перетворення.

Під фазою розуміється однорідна частина системи, що має однаковий хімічний склад, фізичні властивості і відокремлена від інших частин системи поверхнею розділу. Характерні точки діаграми стану наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Характерні точки діаграми залізо-цементит

Позначення	Координати точки			Примітка
	$t, ^\circ\text{C}$	$C, \%$	$\text{Fe}_3\text{C}, \%$	
<i>A</i>	1539	0	0	Температура кристалізації (плавлення) чистого заліза
<i>D</i>	1260	6,67	100	Температура кристалізації (розпаду) цементиту
<i>E</i>	1147	2,14	32,1	Гранична концентрація вуглецю в аустеніті
<i>C</i>	1147	4,3	64,5	Евтектична точка сплаву $Z \leftrightarrow L (A+\text{Ц})$
<i>G</i>	911	0	0	Температура поліморфного перетворення заліза $\gamma \leftrightarrow \alpha$
<i>P</i>	727	0,02	0,3	Гранична концентрація вуглецю в фериті
<i>S</i>	727	0,8	12,0	Евтектоїдна точка сплаву $A \leftrightarrow \text{П} (\text{Ф}+\text{Ц})$
<i>Q</i>	0	0,006	0,09	Мінімальна розчинність вуглецю в фериті

Залежно від температури і концентрації вуглецю залізобуглецеві сплави мають наступні структурні складові.

Рідка фаза (Ж) являє собою необмежений розчин заліза і вуглецю в гарячому розплавленому стані.

Аустеніт (А) - твердий розчин впровадження вуглецю в γ -залізі, тобто Fe_γ (С). Максимальна концентрація вуглецю в

аустеніті складає 2,14% при температурі 1147 °С. Зі зниженням температури розчинність вуглецю в аустеніті зменшується і при температурі 727 °С становить 0,8%.

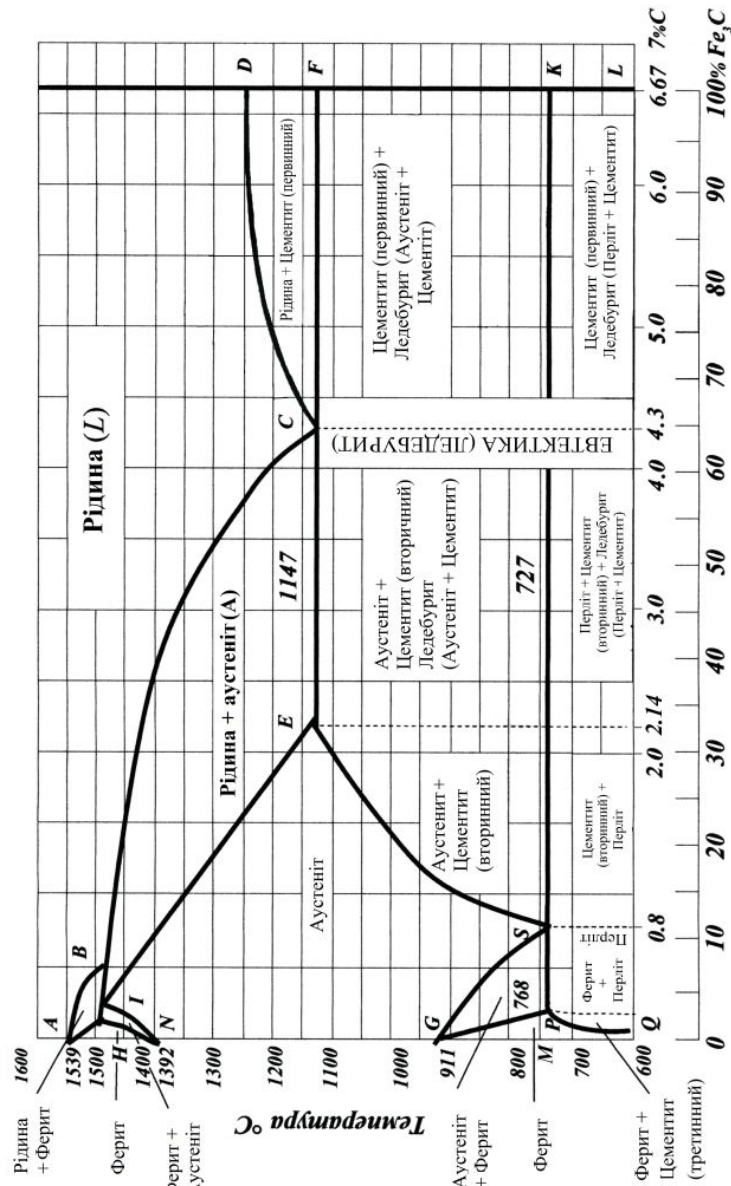


Рис. 1. Діаграма стану системи залізо-вуглець

Аустеніт характеризується високою пластичністю,

підвищеними міцністю та твердістю ($\delta = 40 \div 50\%$, $HV = 160 \div 200$). Аустеніт немагнітний. Кристалізується в гранецентровану кубічну решітку і володіє меншим обсягом, ніж ферит. На діаграмі Fe-C аустеніт займає область GNIES (див. рис. 1).

Ферит (Ф) – твердий розчин впровадження вуглецю в α -залізі, тобто Fe α (C). Практично ферит можна вважати чистим залізом, так як розчинність вуглецю в α -залізі при температурі 20 °С становить 0,01%, а при 727 °С – 0,03%.

Ферит характеризується високою пластичністю і незначною твердістю і міцністю ($\sigma_B = 25$, $\delta = 50\%$, $H_B = 70 \div 80$). Ферит магнітний, кристалізується в об'ємноцентровану кубічну решітку. На діаграмі Fe-C ферит розташований в області GPQ (рис. 1).

Цементит (Ц) – або карбід заліза – це хімічна сполука заліза з вуглецем Fe $_3$ C, містить 6,67% вуглецю, дуже твердий, але крихкий з'єднання (займає середнє місце між корундом і алмазом, $HV = 800$ кГ/мм 2). Цементит кристалізується в октаедричну решітку, до 210 °С феромагнітний, вище – парамагнітний. Цементит в структурі залізівуглецевих сплавів буває в різних формах: у вигляді сітки по межах зерен сталі, а також у вигляді голок або зерен.

Залежно від температурних умов утворення розрізняють **цементит первинний (Ц $_I$)**, який утворюється при кристалізації чавунів (від 4,3 до 6,67% C) у вигляді великих пластинчастих кристалів, **вторинний (Ц $_{II}$)** – утворюється в сталях з 0,8-2,14% C у вигляді тонкої сітки навколо зерен перліту, **третинний (Ц $_{III}$)** – утворюється в сталях з 0,01-0,020% C у вигляді дуже дрібних дисперсних включень біля кордонів феритних зерен. На механічні властивості залізівуглецевих сплавів впливає відмінність в розмірах, кількості і розташуванні цементиту (рис. 2).

Графіт (Г) – алотропна модифікація вуглецю. Спостерігається в сірих, кованих і високоміцних чавунах. Він м'який, німцний, хімічно стійкий, електропровідний.

Перліт (П) – це механічна суміш фериту і цементиту, що представляє собою продукт розпаду аустеніту при повільному охолодженні сплаву.

Вміст вуглецю в перліті становить 0,8%. Утворюється перліт при температурі 727 °С. Перліт може бути пластинчастим або зернистим, в залежності від того, яку форму мають частки цементиту.

Ледебурит (Л) – механічна суміш (евтектика) перліту і цементиту

(А+Ц), що утворюється при $t = 1147^{\circ}\text{C}$ в результаті первинної кристалізації розплаву (нижче $t = 727^{\circ}\text{C}$ утворюється механічна суміш (П+Ц)).

Залізо

Технічним залізом називаються сплави з вмістом вуглецю від 0 до 0,01%, мають структуру чистого фериту і є однофазними. Сплави, що містять більше 0,01% і менше 0,03% вуглецю, називаються залізом і являють собою двофазні структури. Це пояснюється тим, що концентрація вуглецю в сплавах перевищує його розчинність в фериті при кімнатній температурі. У процесі охолодження ферит будь-якого сплаву, що має концентрацію вуглецю понад 0,006%, виявляється перенасиченим. Рівноважного стану ферит досягне за рахунок виділення цементиту. Структура заліза складається з фериту і третинного цементиту.

На діаграмі стану виділення третинного цементиту виражено лінією PQ (див. рис. 1).

Найбільш чисте технічне залізо містить $\text{Fe} \geq 99,84\%$ з $\text{C} \leq 0,02\%$.

На рис. 2 представлена структура чистого заліза. Світле поле зерен фериту облямоване темними лініями, тобто межами зерен.

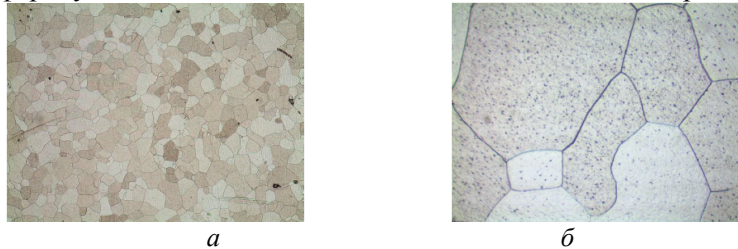


Рис. 2. Структура чистого заліза: *a* – \times Об'єktiv 10X, NA 0.25; *b* – \times Об'єktiv 100X, NA 0.85; особливості структури: ферит (твердий розчин вуглецю в $\text{Fe}\alpha$).

Класифікація залізовуглецевих сплавів

Структура сплавів в рівноважному стані визначається вмістом вуглецю. За вмістом вуглецю на діаграмі «Залізо – цементит» всі сплави прийнято ділити на три групи: технічне залізо, сталі і чавуни (табл. 2).

Сталі називаються сплави заліза з вуглецем, концентрація якого знаходиться в межах від 0,02% до 2,14%.

Максимальний вміст вуглецю в сталях обмежується точкою *E* на діаграмі $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ (див. рис. 1) і відповідає вмісту вуглецю 2,14%.

Евтектоїдне перетворення, що протікає в сталях при температурі 727°C , лежить в основі класифікації сталей за структурою. Залежно від сформованої при евтектоїдному перетворенні структури сталі ділять на:

- а) доевтектоїдні, що містять від 0,02 до 0,8% вуглецю;
- б) евтектоїдні, що містять 0,8% вуглецю;
- в) заевтектоїдні, що містять від 0,8% до 2,14% вуглецю (рис. 3).

Таблиця 2

Структурна класифікація залізовуглецевих сплавів

Вміст C, %	Назва сплаву	Структура при кімнатній температурі	Застосування сплавів
0,006-0,02	технічне залізо	$\Phi + \text{Ц}_{\text{III}}$	сердечники трансформаторів
0,02-0,8	доевтектоїдна сталь	$\Phi + \text{П}$	Деталі машин і конструкцій
0,8	евтектоїдна сталь	П	Ріжучий і вимірювальний інструмент
0,8-2,14	заевтектоїдна сталь	$\text{П} + \text{Ц}_{\text{II}}$	
2,14-4,3	доевтектичний чавун	$\text{П} + \text{Ц}_{\text{II}} + \text{Л}$	Деталі машин з високою зносостійкістю, одержувані литтям
4,3	евтектичний чавун	Ледебурит (Л) $\text{П} + \text{Ц}$	
4,3-6,67	заевтектичний чавун	$\text{Л} + \text{Ц}_I$	

Сталь			
Доевтектоїдна $\text{C} < 0,8\%$	Евтектоїдна $\text{C} = 0,8\%$		Заевтектоїдна $\text{C} > 0,8\%$
Ферит + Перліт $\Phi + \text{П}$	Перліт пластинчатий	Перліт зернистий	Перліт + Цементит $\text{П} + \text{Ц}$

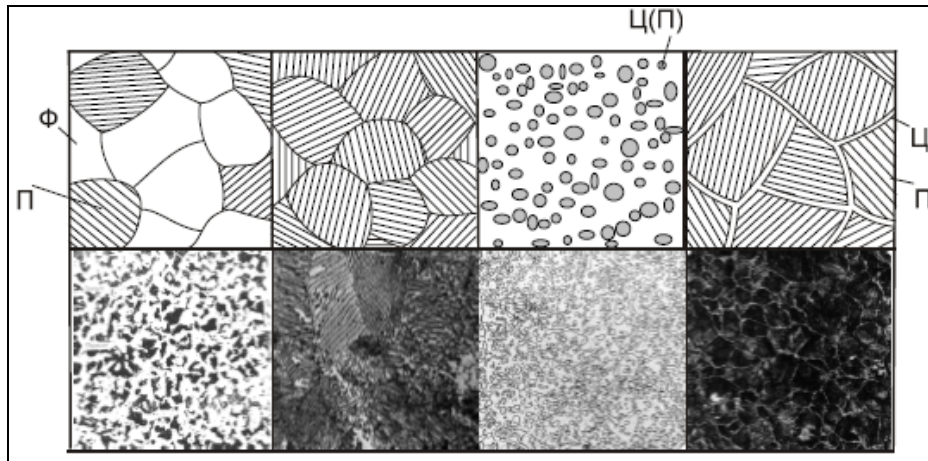
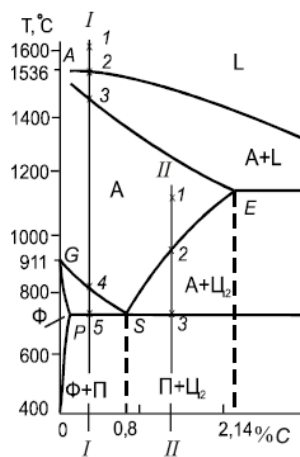


Рис. 3. Класифікація сталі

Розглянемо фазові перетворення, що відбуваються відповідно до діаграми стану Fe-Fe₃C, при охолодженні з рідкого стану доєвтектоїдної сталі (рис. 4, перетин I-I).

Точка 1. Сплав знаходиться в рідкому стані (L). При охолодженні до лінії ліквідусу (AC) структурних перетворень в рідкій сталі не відбувається.



Точка 2. Початок кристалізації рідкого розплаву у вигляді структурної складової – аустеніту (A). При виділенні аустеніту з рідкого сплаву вміст вуглецю у твердій фазі змінюється по лінії AE, а в рідкій - по лінії AC.

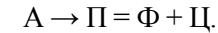
Точка 3. Рідкий сплав повністю закристалізувався в аустеніт, і при охолодженні від точки 3 до точки 4 ніяких перетворень в сплаві не відбувається.

Точка 4. Початок виділення в процесі перекристалізації з аустеніту кристалів фериту. При цьому концентрація вуглецю в аустеніті

збільшується (по лінії GS), т. К. Вміст вуглецю в фериті, що утворився, дуже малий. Для того, щоб визначити концентрацію вуглецю в аустеніті при будь-якій температурі в інтервалі між

точками 4 і 5, необхідно провести горизонтальну лінію і точку перетину її з лінією GS спроекувати на вісь концентрації вуглецю.

Точка 5. Концентрація вуглецю в аустеніті, що залишився, стає рівною 0,8% (евтектоїдна концентрація). При постійній температурі 727 °C (лінія PSK) і незмінному складі фаз відбувається евтектоїдне перетворення всього аустеніту, що залишився, в перліт:



Перліт – це евтектоїдна суміш, що складається з цементиту (6,69% C) і фериту (0,02% C), утвореного при евтектоїдному перетворенні.

Таким чином, нижче точки 5 структура доєвтектоїдної сталі складається з фериту, що утворився до евтектоїдного перетворення (світла складова мікроструктури на рис. 3), і перліту (темна складова на рис. 3).

Співвідношення світлих і темних зерен в доєвтектоїдних сталях залежить від концентрації вуглецю. Чим вище концентрація вуглецю, тим менша площа в полі зору мікроструктури припадатиме на частку фериту і більша – на частку перліту (рис. 5).

При травленні сталі 4%-ним розчином азотної кислоти в спирті ферит видно у вигляді світлих зерен, а перліт – у вигляді темних зерен, так як перліт витравлюється значно інтенсивніше (рис. 6.).

Практично можна вважати, що весь вуглець міститься в перліті, тому наближено можна визначити процентний вміст вуглецю в сталі за формулою:

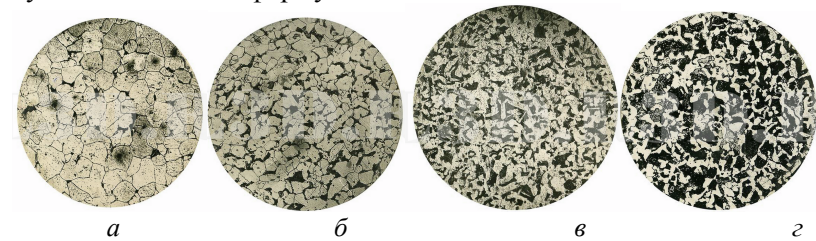


Рис. 5. Структура сталі:
а – 0,1%С, ×300; б – 0,3% С, ×100; в – 0,4% С, ×100; г – 0,45% С, ×300;

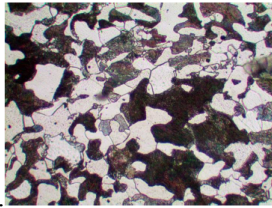


Рис. 6. Структури доевтектоїдної сталі (складається з пластинчастого перліту і фериту (приблизно по 50% кожної складової) об'єktiv 50X, NA 0.70).

$$C = \frac{0,8S_n}{100} \%,$$

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

Припустимо, наприклад, що половина площі (50%) зайнято перлітом, половина феритом. Вміст вуглецю в такій сталі дорівнюватиме

$$C = \frac{0,8 \cdot 50}{100} = 0,4\%.$$

У евтектоїдній сталі вміст вуглецю 0,8%, а структура являє собою тільки перліт (рис. 7).

Залежно від умов утворення перліт може мати різну будову, яка визначається формою цементиту в ферито-цементитній суміші. Існують зернистий і пластинчастий перліт.

Заевтектоїдними сталями називаються сталі, що містять від 0,8 до 2% вуглецю. Структура цих сталей при кімнатній температурі складається з перліту і цементиту. Цементит може бути у вигляді сітки навколо перліту, а також у вигляді зерен або голок.

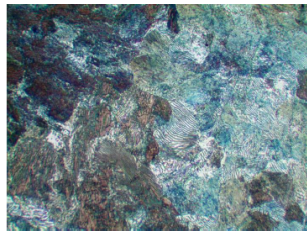


Рис. 7. Структура евтектоїдної сталі (складається з пластинчастого перліту) об'єktiv 50X, NA 0.70).

Розглянемо на діаграмі Fe-Fe₃C фазові перетворення в заевтектоїдній сталі, що відбуваються при повільному охолодженні з аустенітної області (рис. 4, перетин II-II).

Точка 1. Сплав має структуру аустеніту. При охолодженні до лінії SE перетворень не відбувається.

Точка 2. Початок виділення з аустеніту надлишкового вторинного цементиту. Між 2 і 3 концентрація вуглецю в аустеніті зменшується по лінії SE.

Точка 3. Концентрація вуглецю в аустеніті, що залишився, дорівнює 0,8%. Аустеніт при постійній температурі 727 ° С перетворюється в перліт (евтектоїдне перетворення). Нижче точки 3 структура складається з перліту і вторинного цементиту, що виділилися.

В результаті утворюється структура, що складається з перліту і сітки цементиту, розташованої по межах зерен перліту (рис. 8).

У заевтектоїдних сталях підрахунок вмісту вуглецю проводиться за сумою площ, займаних перлітом і цементитом, згідно з формулою:

$$C = \left(\frac{0,8S_n}{100} + \frac{6,67S_u}{100} \right) \%,$$

де S_n і S_u – площі, займані відповідно перліту і цементитом (у відсотках, до всієї площі поля зору шліфа під мікроскопом).

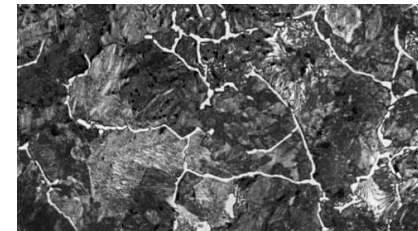


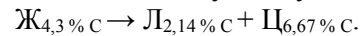
Рис. 8. Мікроструктура заевтектоїдної сталі (перліт (темний) і вторинний цементит (світла сітка)).

Таким чином, розрізняють три групи вуглецевих сталей: доевтектоїдні, що містять до 0,8% вуглецю; структура яких складається з перліту і фериту; евтектоїдні, що містять 0,8% вуглецю – структура складається з перліту та заевтектоїдні, що містять від 0,8 до 2% вуглецю, структура яких складається з перліту і вторинного цементиту.

Чавунами називаються залізобуглецеві сплави, що містять більше 2,14% вуглецю. Якщо весь вуглець знаходиться в хімічно зв'язаному стані (у вигляді хімічної сполуки Fe₃C), то такий чавун називається білим. Своєю назвою такої чавун зобов'язаний

кольором зламу.

Для білих чавунів характерне евтектичне перетворення при температурі 1147 °С (рис. 1, лінія ECF), в результаті якого утворюється ледебурит - евтектична суміш аустеніту і цементиту:



При температурі 727 °С відбувається перетворення аустеніту в перліт, і після цього ледебурит буде складатися з перліту і цементиту.

За структурою в рівноважному стані чавуни діляться:

- на *доевтектичні* (від 2,14% до 4,3% вуглецю). Фазовий склад - ферит і цементит; структурний склад - ледебурит, перліт, цементит вторинний;
- *евтектичні* (4,3% вуглецю). Фазовий склад - ферит і цементит, структурний склад - ледебурит;
- *заевтектичні* (від 4,3 до 6,67% вуглецю). Фазовий склад - ферит і цементит, структурний склад - ледебурит, цементит первинний.

Устаткування

Підготовлені мікрошліфи доевтектоїдної, евтектоїдної і заевтектоїдної сталей аналізуються за допомогою металографічних мікроскопів МІМ-7.

Контрольні питання

1. Наведіть класифікацію сталей в залежності від вмісту вуглецю та в залежності від структури.
2. Дайте визначення структурних складових сталей.
3. Користуючись діаграмою «залізо-вуглець» поясніть структурні перетворення в сталях.
4. Поясніть, як визначається кількість вуглецю в доевтектоїдних сталях.
5. Поясніть закономірності зміни структури властивостей сталей при зміні концентрації вуглецю.