

**Міністерство освіти і науки України  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**ФАКУЛЬТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ І ТЕХНОЛОГІЙ  
*Кафедра хімії***

**ФІЗИКО-ХІМІЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ**

**Методичні рекомендації**  
до виконання лабораторної роботи  
«Мікроскопічний метод дослідження металів і сплавів»  
з дисципліни студентами спеціальностей  
161 «Хімічні технології та інженерія»  
та 132 «Матеріалознавство».

Дніпро  
НТУ  
2020

**Светкіна О.Ю.**

Фізико-хімічні методи аналізу. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи «Мікроскопічний метод дослідження металів і сплавів» дисципліни студентами спеціальностей 161 «Хімічні технології та інженерія» та 132 «Матеріалознавство». Упоряд.: О.Ю. Светкіна, А.С. Коверя, О.Б. Нетяга, Г.В. Тарасова. – Д.: НТУ «Дніпровська політехніка», 2020 – 18 с.

Упорядники:

О.Ю. Светкіна, проф. (3);

А.С. Коверя, доц. (2);

О.Б. Нетяга, ст. викл. (1);

Г.В. Тарасова, асистент (2).

Затверджено науково-методичною комісією спеціальності 132 Матеріалознавство (протокол № 5 від 07.09 2020 р.) та науково-методичною комісією зі спеціальності 161 Хімічні технології та інженерія (протокол № 2 від 29. 10 .2020 р.) за поданням кафедри хімії (протокол № 1 від 31.08. 2020 р.).

Методичні матеріали покликані допомогти студентам у виконанні лабораторної роботи «Мікроскопічний метод дослідження металів і сплавів» з дисципліни «Фізико-хімічні методи аналізу». Рекомендації відповідають вимогам освітньо-кваліфікаційної програм підготовки бакалавра з дисципліни спеціальностей 161 «Хімічні технології та інженерія» та 132 «Матеріалознавство».

Відповідальний за випуск завідувач кафедри хімії, проф. О.Ю. Светкіна,

# МІКРОСКОПІЧНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

## Вступ

Механічні і багато інших властивостей металевих матеріалів залежать не лише від хімічного складу, але і від їх структури.

Мікроскопічний аналіз (мікроаналіз) полягає у вивченні будови металів і сплавів за допомогою металографічного мікроскопа. Цей метод широко використовується в дослідницьких роботах, а також для контролю якості металів і сплавів в промисловості. Це пояснюється тим, що між структурою металів і сплавів і їх властивостями, передусім механічними, існує тісний зв'язок.

## Правила техніки безпеки у лабораторії мікроскопічного аналізу

Необхідність суворо дотримуватись правил безпеки під час роботи в лабораторії викликана такими трьома джерелами небезпеки:

- електричним струмом, що розводиться по всіх робочих місцях;
- їдкими реактивами для травлення (KOH,  $\text{HNO}_3$ , HCl, тощо);
- полірувальним станком на базі лабораторної центрифуги зі швидкістю обертів диску до 1500 об/хв.

Для ліквідування їх впливу необхідно:

- по завершенню роботи виключити реостат та тумблер трансформатора, а вилку трансформатора витягти з розетки;
- при травленні мікрошліфа користуватися хімічними реактивами тільки у відведених для цього місцях за малим лабораторним столом і у витяжній шафі, не виймати флакончики з реактивами з кювети (на випадок перекидання), використати мінімально необхідний об'єм реактиву та додержуватися при перенесенні його до мікрошліфа максимальної обережності, структурне травлення виконувати тільки у витяжній шафі;
- студентам забороняється користуватися полірувальним диском на центрифугі.

## 1. Призначення мікроаналізу.

Мікроскопічний аналіз (мікроаналіз) полягає у вивченні структури металів і сплавів за допомогою металографічного мікроскопа.

Під *структурою* розуміють такі особливості матеріалів, які обумовлені розміром, формою і взаємним розташуванням кристалів або зерен, їх

кількісним співвідношенням. Залежно від розмірів структурних складових і вживаних методів їх виявлення використовують наступні поняття: *макроструктура*, *мікроструктура* і *тонка структура*. Вивчаючи будову кристалів неозброєним оком чи при невеликих збільшеннях за допомогою лупи, виявляють *макроструктуру* матеріалу.

Більшість матеріалів складаються з дрібних кристалів (зерен). Спостерігати такі дрібні структурні складові – *мікроструктуру* можливо за допомогою оптичного (розміром до  $10^{-7}$  м) або електронного (розміром до  $2 \cdot 10^{-10}$  м) мікроскопа.

Цей метод широко використовується в дослідницьких роботах, а також для контролю якості металів і сплавів в промисловості. Це пояснюється тим, що між структурою металів і сплавів і їх властивостями, передусім механічними, існує тісний зв'язок.

Мікроскопічні методи дають можливість визначити розміри і форму кристалів, наявність кристалів, різних за своєю формою, їх розподіл і відносні об'ємні кількості, форму чужерідних включень, мікропорожнеч та ін.

Величина зерна полікристалічних матеріалів є однією з важливих характеристик структури і визначає більшість фізико-механічних властивостей матеріалів. Наприклад, міцнісні властивості металів залежать від розміру зерен і вони тим вище, чим меншого вони розміру. Така ж залежність відслідковується і для сплавів.

Мікроскопічний метод дослідження (мікроаналіз) дозволяє вивчити мікроструктуру (мікробудова) за допомогою оптичного або електронного мікроскопів. Оптичний мікроскоп дозволяє досліджувати структуру металів і сплавів зі збільшенням до 2000 разів.

Дослідження кристалічної будови при великих збільшеннях, до 200000 разів, призводиться за допомогою електронного мікроскопа.

*Тонка структура* описує розташування елементарних частинок в кристалі і електронів в атомі. Вивчається вона дифракційними методами (рентгенографія, електроннографія, нейтронографія)

За допомогою мікроаналізу визначають:

1. форму і розміри кристалічних зерен;
2. зміну структури, що відбувається під впливом термічної і хіміко-термічної обробки, а також під дією пластичної деформації;
3. мікродфекти – мікротріщини, раковини, пори і т. п.;
4. неметалічні включення – графіт, сульфід, оксиди і т. п.

Для проведення мікроаналізу необхідні знання в методиці приготування мікрошліфів, в облаштуванні мікроскопів і методах мікроскопічного аналізу.

## 2. Приготування мікрошліфа

Мікрошліфом називається зразок металу, спеціально підготовлений для дослідження його структури під мікроскопом. Поверхня мікрошліфа має бути абсолютно плоскою і дзеркальною.

Підготовка мікрошліфа зводиться до наступних операцій:

1. Виготовлення зразка.
2. Вирівнювання поверхні зрізка.
3. Шліфування.
4. Полірування.
5. Виявлення структури травленням (якщо це необхідно).

*1. Виготовлення зразка.* Зразок для приготування шліфа слід вирізати без нагріву (краще механічним способом) в такому місці заготівлі або виробу, яке характеризувало б будову металу не лише тієї ділянки, з якої відібраний зразок, але і усього об'єму металу.

Має значення також правильний вибір поверхні, по якій потрібно приготувати мікрошліф. Наприклад, мікроструктуру листового металу вивчають у поверхні листа, а також в його подовжньому і поперечному перерізах.

Найбільш зручними розмірами мікрошліфа є циліндр діаметром  $d = 10...18\text{мм}$ , або паралелепіпед з стороною основи  $d = 12...15\text{мм}$  і заввишки  $h = 10...15\text{мм}$

*2. Вирівнювання поверхні зразка.* Отримання плоскої поверхні досягається спилуванням або заточуванням зразка на абразивному крузі з періодичним охолодженням для уникнення перегрівання.

*3. Шліфування поверхні зразка для приготування шліфа.* Площину зразка шліфують вручну або на шліфувальних станках з кругами, на яких знаходиться шліфувальний папір. Для отримання шліфа з рівною і плоскою поверхнею абразивне шліфувальне полотно (папір) слід покласти на товсте шліфоване скло. Шліфування роблять поворотним прямолінійним рухом оброблюваною поверхнею по абразивному полотну: переміщують зразок від себе із слабким навантаженням (робочий хід) і до себе без навантаження, не відриваючи оброблювану поверхню від абразивного паперу (холостий хід).

Шліфування починають на грубих (крупнозернистих з абразивним зерном 125–150 мкм) абразивних шкірках до повного видалення нерівностей, що залишились від попередніх дій (рис. 1 а). Далі переходять до більш дрібнозернистого абразивного паперу для зменшення шорсткості поверхні і закінчують шліфування на мікронних матеріалах (2,8 – 3,5 мкм)

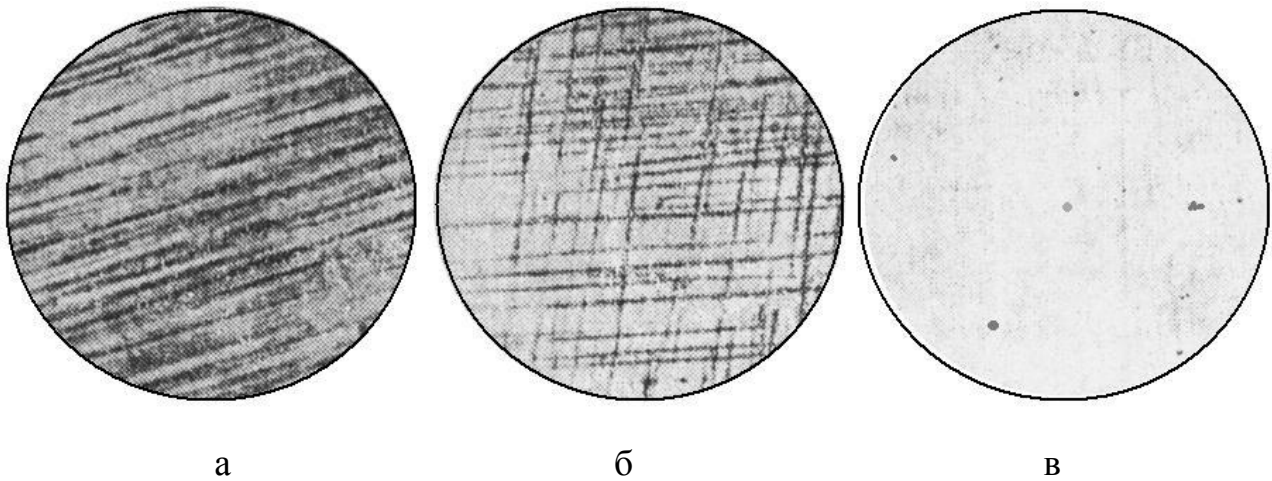


Рис. 1. Різний ступінь стану поверхні мікрошліфа: а – підготовлений до більш тонкого шліфування; б – потребує продовження шліфування на відповідному абразиві; в – стан поверхні мікрошліфа після поліровки

*4.Полірування шліфів.* Наступний етап після видалення рисок при шліфуванні на папері з найдрібнішим зерном – це полірування поверхні до дзеркального блиску. Полірувати можна механічним або електрохімічним методом.

*Механічне полірування* роблять на полірувальному устаткуванні (верстаті) з металевим, обтягнутим тонким сукном, фетром, драпом або іншим матеріалом диском, який обертається, (рис. 2). Тканину полирувального круга періодично змочують суспензією (полірувальною рідиною, яка містить у воді дрібний порошок алюміній оксиду або хром оксиду), заздалегідь збовтуючи її. Більш широке використання знаходять алмазні пасти, які наносять на спеціальну тканину або папір.

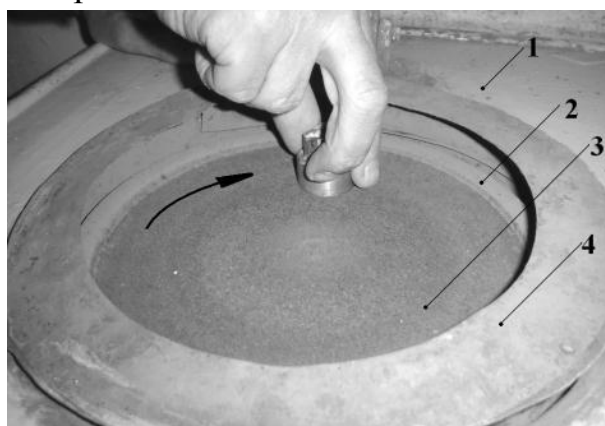


Рис. 2. Рекомендований прийом полірування шліфа на полирувальній установці: 1 – стіл полірувальної установки, 2 – диск, 3 – сукно, 4 – захисний кожух

**Електрохімічне полірування** – найбільш сучасний метод полірування. Для цього зразок у якості аноду поміщують у електролітичну ванну. Склад електроліту (фосфатна, сульфатна, хлорна кислоти), матеріал катода (свинець, мідь, алюміній) та щільність струму на аноді залежать від матеріалу, що полірується. При пропусканні струму усі нерівності, що залишилися на поверхні після шліфовки зразка, розчиняються, і він набуває дзеркальної поверхні. Полірування вважається закінченим, якщо на полірованій поверхні під мікроскопом не виявляються риси, подряпини та ін. дефекти (рис. 1 в). Після полірування зразок промивають проточною водою, потім спиртом і ретельно висушують фільтрувальним папером, прикладаючи його до шліфа, але не витираючи

5. *Травлення мікрошліфів.* По дзеркальній поверхні зразка, отриманій після полірування, не можна судити про структуру сплаву. Тільки неметалічні включення (сульфіди, оксиди, графіт в сірому чавуні) внаслідок їх забарвленості в різні кольори різко виділяються на світлому фоні полірованого мікрошліфа. Тому для виявлення мікроструктури поліровану поверхню зразка піддають травленню, тобто дії розчинів кислот, лугів, солей, завдяки чому неоднорідні ділянки метала або сплаву можна побачити під мікроскопом.

Сутність процесу виявлення структури металів і сплавів травленням полягає в різному ступені розчинення або забарвлення окремих структурних складових – зерен чистих металів, твердих розчинів, хімічних сполук.

Різні структурні складові мають різний електродний потенціал. Коли полірована поверхня сплаву вкрита травильним розчином, що є електролітом, то ті структурні складові сплаву, що мають більш електронегативний електродний потенціал, являючись анодами, будуть розчинятися. Інші структурні складові з позитивнішим електродним потенціалом, будуть катодами і залишатимуться незмінними.

Таким чином, в результаті травлення на поверхні мікрошліфа утворюються численні западини і виступи, які і характеризують мікроструктуру.

Якість травлення перевіряють під мікроскопом при тому ж збільшенні, при якому передбачається вивчення шліфа.

Хімічне травлення здійснюється шляхом занурення зразка в реактив, або протирання зразка за допомогою тампона. Час травлення найчастіше встановлюється експериментальним шляхом. У більшості випадків ознакою травлення є потьмяніння поверхні, що настає, зазвичай, за декілька секунд. Після травлення мікрошліф промивають водою, протирають ватою, змоченою спиртом, а потім просушують прикладанням фільтрувального паперу або

легким протиранням сухою ватою. Травлення можна здійснювати і електролітичним методом.

Приклади рекомендованих реактивів для виявлення структури різних металів і сплавів:

#### ***Залізовуглецеві сплави (сталь, чавун)***

1. 1–5 % розчин  $\text{HNO}_3$  в етиловому спирті. Реактив виявляє структуру загартованої і відпущеної сталі. Травлення відбувається протягом від декількох секунд до хвилин.

2. Насичений водний розчин пікринової кислоти з додаванням 1–5 % поверхнево-активних речовин, що входять до складу миючих засобів. Слугує для виявлення меж зерен аустеніту в загартованій сталі. Травлення відбувається при  $20^\circ\text{C}$  від 5 до 30 хв, при  $70^\circ\text{C}$  – 0,5 – 6 хв.

3. 3 частини  $\text{HCl}$  і 1 частина  $\text{HNO}_3$ . Реактив виявляє структуру нержавіючої сталі та сплавів. Перед вживанням реактив потрібно витримати 20 – 30 годин.

#### ***Мідь і її сплави***

15  $\text{cm}^3$   $\text{HCl}$ ; 5 г  $\text{FeCl}_3$ ; 100  $\text{cm}^3$  води. Час травлення від 30 с до 2 хв. Шліф травлять послідовним втиранням, а потім занурюють в реактив.

#### ***Алюміній і його сплави***

5 – 20 % розчин  $\text{NaOH}$  у воді. Травлення шліфа відбувається зануренням в розчин або втиранням його від 30 с до 1хв. Темний наліт, що утворюється на шліфі, видаляють зануренням в концентровану нітратну кислоту.

### **3. Дослідження мікрошліфа**

Металографічний мікроскоп дозволяє вивчати непрозорі зразки у відбитому світлі. У цьому його основна відмінність від біологічного мікроскопа.

Вивчення мікроструктури доцільно розпочинати з розгляду нетравленого мікрошліфа, тобто безпосередньо після полирування, промивання і висушування. При дослідженні можна виявити на світлому полі темні або сірі точки і лінії, які можуть являти собою неметалічні включення.

У сталі вивчають оксиди, сульфіді, шлаки, силікати, а в чавуні – графітні включення. Неметалічні включення мають інший коефіцієнт відображення, ніж основний метал.

Для характеристики забруднення сталі неметалічними включеннями застосовується шкала балів (рис. 3).



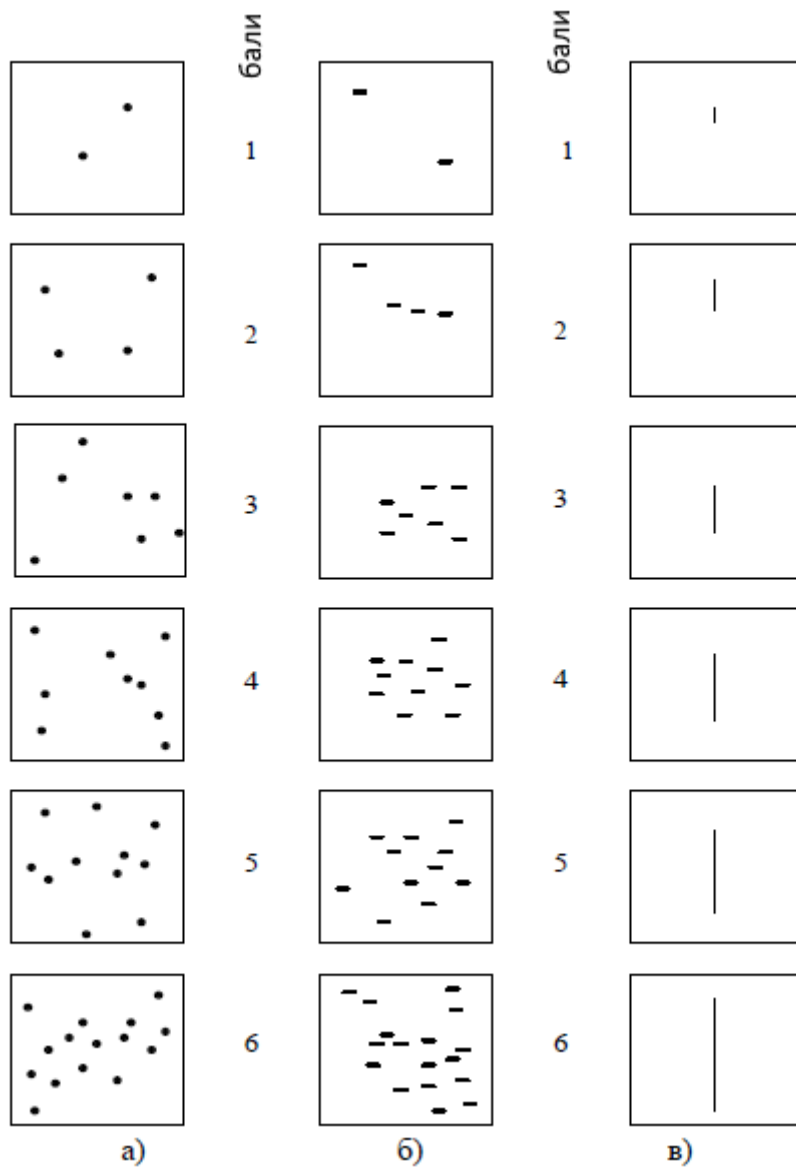


Рис. 3. Шкала балів неметалічних включень в сталі: а) оксиди  
 б) сульфіди, в) силікати.

Виявлення мікроструктури металів ґрунтується на нерівномірному розчиненні в реактиві структурних складових. У чистому металі границі меж зерен піддаються травленню сильніше, ніж тіло зерна. В результаті на межах зерен після травлення утворюються заглиблення, які розсіюють ("гасять") промені світла, і тому ці структури під мікроскопом спостерігаються у вигляді темних ліній (рис.4.) Наприклад, мікроструктура однофазного сплава - фериту спостерігається на рис.5.

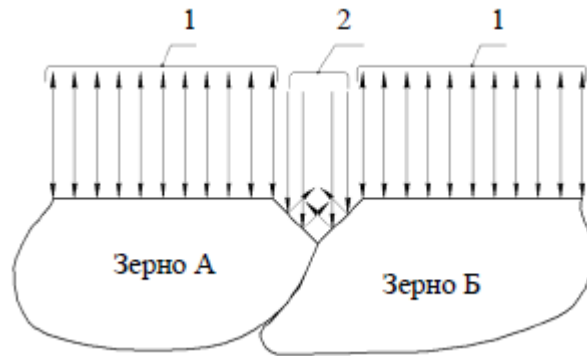


Рис. 4. Відображення потоку світла від поверхні шліфа в чистих металах:  
1 – прямий і відбитий потік світла, 2 – розсіяний потік світла



Рис.5. Мікроструктура технічного заліза (ферит), х 100.

У сплавах неоднорідні структурні складові також мають неоднакову розчинність і тому на поверхні шліфа утворюється певний рельєф різної глибини (рис. 6 а).

Зерна перліту, що є сумішшю пластинок фериту й цементиту, протравлюються сильніше, ніж однорідні зерна фериту.

Світло по різному відбивається від тих і інших зерен, і тому зерна фериту виглядають під мікроскопом світлими, а зерна перліту темними (рис. 6 б).

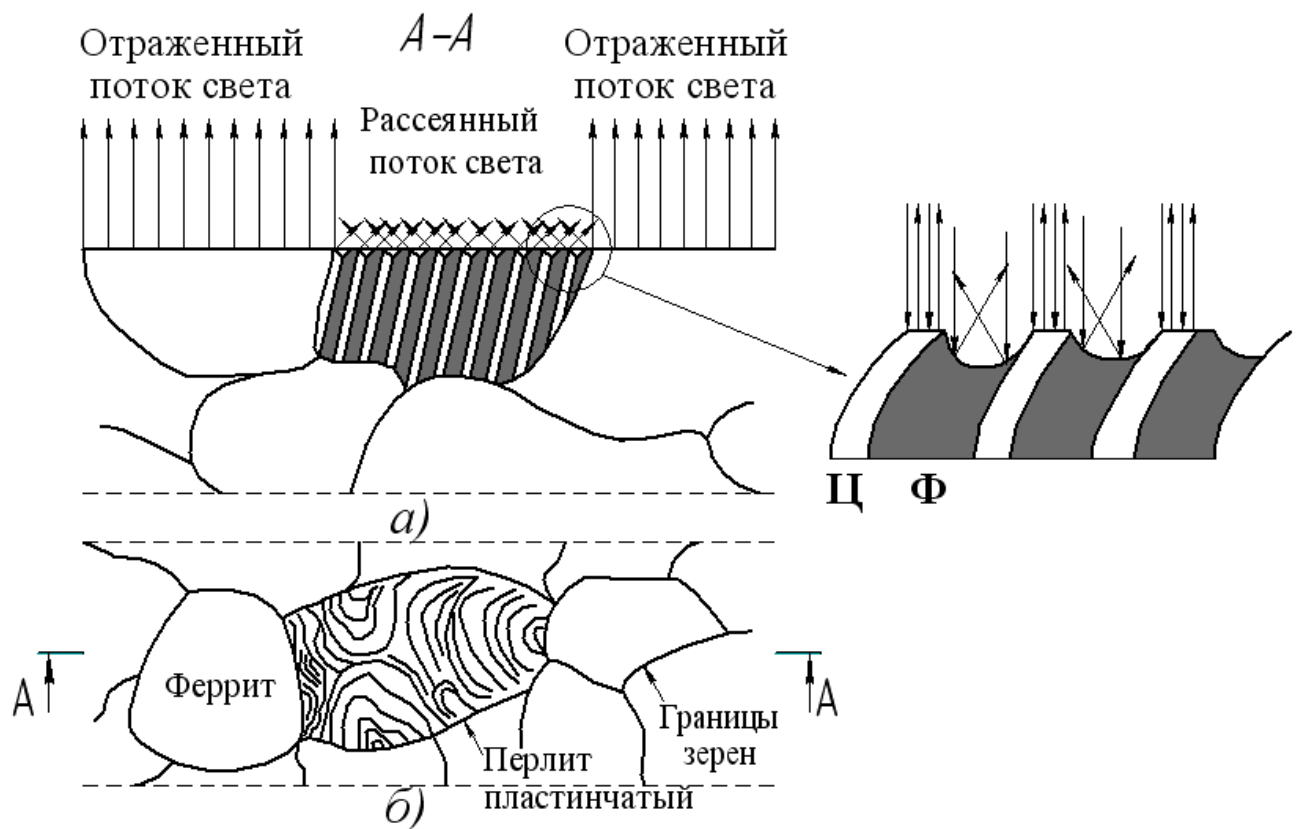


Рис.6. Схема відображення потоку світла в неоднорідному ферито-перлітовому сплаві (а) і спостережувана мікроструктура в ній під мікроскопом (б) : Ц - пластина цементита в перліті (світла); Ф - пластина ферита в перліті (темна)

### Лабораторна робота

#### Мікроаналіз шліфів чавуну і сталі з використанням металографічного мікроскопа.

*Мета роботи:* набути навичок проведення мікроаналізу нетравленого і травленого шліфа сплавів, вивчити основні етапи приготування мікрошліфів і використання металографічного мікроскопа.

*Постановка завдання:*

Дано: зразки чавуну та сталі 45.

Визначити характер включень графіту в мікрошліфі нетравленого чавуну (зразок №1) та види включень в нетравленому та травленому мікрошліфі сталі 45 (зразки №2 і №3)

*Прилади і реактиви:*

1. Комплект мікрошліфів.
2. Мікроскоп металографічний

3. 1–5 % розчин  $\text{HNO}_3$  в етиловому спирті.

### **Порядок виконання роботи**

1. Ознайомитися з методикою мікроаналізу і облаштуванням мікроскопу.

2. Вивчити процес приготування і травлення мікрошліфів.

3. Налаштувати мікроскоп, використовуючи мікрошліф нетравленого чавуну (зразок №1), розглянути характер включень графіту і замалювати структуру.

4. Розглянути і замалювати включення в нетравленому мікрошліфі сталі 45 (зразок №2), визначивши при цьому вид включень (оксиди, сульфід, силікати) і їх кількість (бал) шляхом порівняння зі шкалою "неметалічні включення в сталі" (рис. 5).

5. Розглянути і замалювати структуру сталі 45 після травлення (зразок № 3).

6. Під малюнками вказати збільшення мікроскопа, при якому відбувалось спостереження, а також спостережувані включення і структури.

7. Скласти звіт про дану роботу.

### **Схема та опис лабораторного устаткування.**

#### *Мікроскоп металографічний вертикальний*

Металографічний мікроскоп дозволяє розглядати при збільшенні від 60 до 1500 разів непрозорі тіла у відбитому світлі.

Мікроскоп металографічний (рис. 7) складається з трьох основних частин: освітлювача, корпусу і верхньої частини.

Освітлювач I має ліхтар 1, усередині кожуха якого знаходиться лампа. Центруючі гвинти 2 слугують для поєднання центру нитки лампи з оптичною віссю колектора.

Корпус II мікроскопа. У корпусі мікроскопа знаходяться: диск 3 з набором світлофільтрів; руків'я 4 перемикачів фотоокулярів; посадочне пристрій для рамки 5 з матовим склом або касети з фотопластинкою 9 x 12 мм; вузол апертурної діафрагми, закріплений під оправою освітлювальної лінзи 6; кільце з накаткою 7, що слугує для зміни діаметру діафрагми; гвинт 8, обертанням якого зміщується діафрагма для створення косоного освітлення; гвинт 9 для фіксації повороту апертурної діафрагми.

Верхня частина III мікроскопа має наступні деталі.

1. Ілюмінаторний тубус 10, у верхній частині якого розташований отвір під об'єktiv. На патрубку ілюмінаторного тубуса розташована рамка з лінзами 11 для роботи у світлому і темному полі і руків'я 12 для включення діафрагми 24

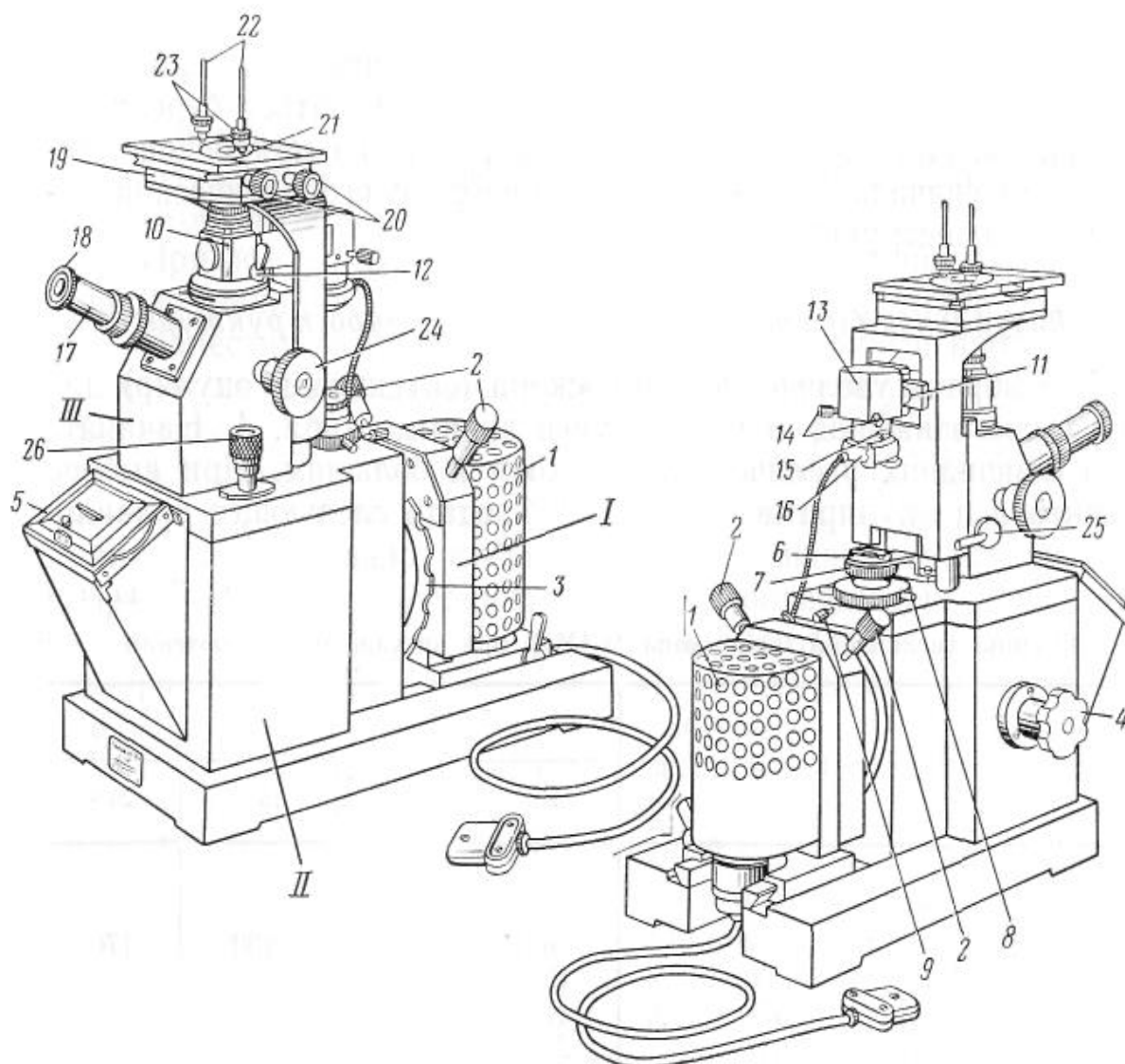


Рис. 7. Загальний вигляд мікроскопа металографічного

при роботі в темному полі; під кожухом 13 – пентапризма. У нижній частині кожуха 13 розташовані центрировочні гвинти 14 польової діафрагми, діаметр якої змінюють за допомогою поводка 15. Під конусом польової діафрагми знаходиться фотозатвір 16.

2. Візуальний (зоровий) тубус 17, в отвір якого поміщується окуляр 18. При візуальному спостереженні тубус всувають до упору, а при фотографуванні його повністю висувують.

3. Предметний столик 19, який за допомогою гвинтів 20 може пересуватися в двох взаємно перпендикулярних напрямках. У центрі предметного столика є вікно, в яке вставляють одну зі змінних підкладок 21 з

отворами різного діаметру. На предметному столику розташовані утримувачі, що складаються з вертикальних колонок 22 і пружних притисків 23, якими мікрошліф притискається до підкладки предметного столика. Макрометричний гвинт 24 служить для перемещення предметного столика у вертикальному напрямі і цим производится грубе наведення на фокус. Затискним гвинтом 25 фіксують відповідне положення предметного столика, щоб він мимоволі не опускався. Для установки столика 19 на потрібній висоті на кронштейні столика вигравірована риска, яка встановлюється проти точки, награвірованої на корпусі мікроскопа.

4. Мікрометричний гвинт 26, за допомогою якого об'єктив перемещують у вертикальному напрямі і наводять на фокус. Витрата мікрометричного подання 3 мм, ціна поділки барабана – 0,003 мм

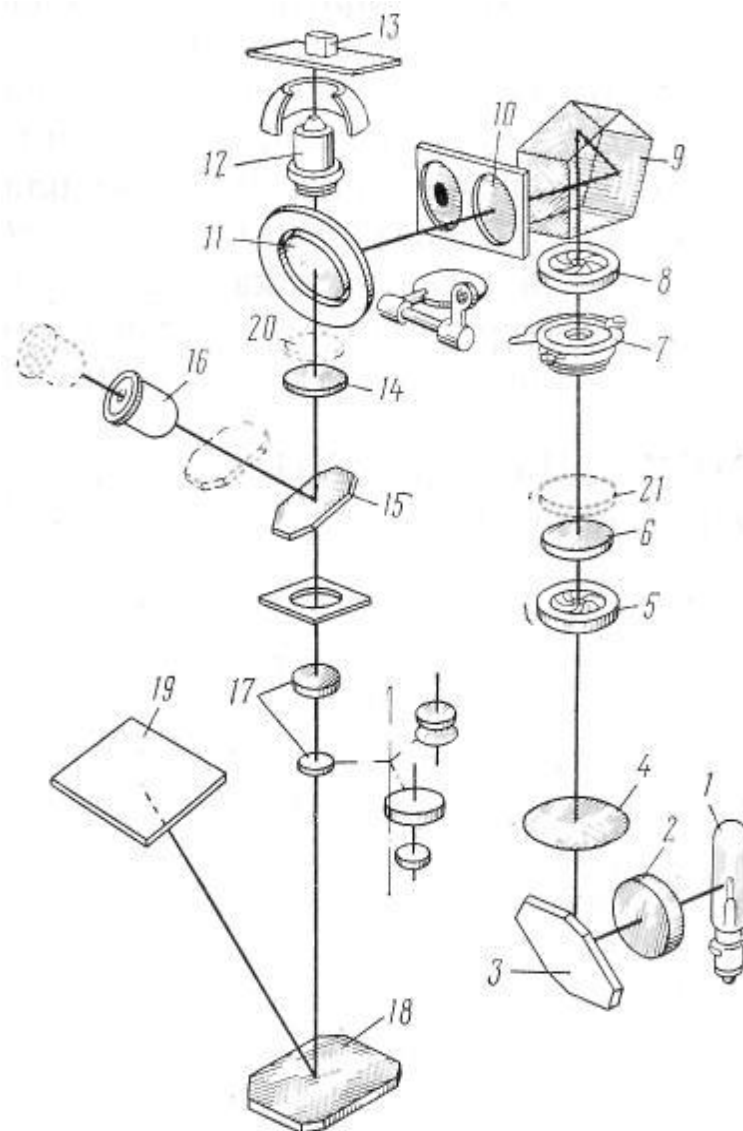


Рис 8. Оптична система металографічного мікроскопа

Світлові промені від електричної лампи 1 (рис. 8) проходять через колектор 2 і, відбиваючись від дзеркала 3, потрапляють на світлофільтр 4 (зазвичай жовтий для отримання зображення з різкими контурами), потім на апертурну діафрагму 5 (для обмеження світлових пучків і отримання високої чіткості зображення), лінзу 6, фотозатвор 7, польову діафрагму 8 (для обмеження освітленого поля даної ділянки на мікрошліфі), заломлюються пентапризмой 9, проходять через лінзу 10, попадають на відбивну пластинку 11, спрямовуються на об'єктив 12 і на мікрошліф 13, встановлений на предметному столику. Відбившись від мікрошліфа 13, промені знову проходять через об'єктив 12 і, виходячи з нього паралельним пучком, потрапляють на відбивну пластинку 11 і ахроматичну лінзу 14. При візуальному спостереженні в хід променів вводиться дзеркало 15, яке відхиляє промені у бік окуляра 16. При фотографуванні дзеркало 15 вимикається висуненням тубуса разом з окуляром і дзеркалом і промені спрямовуються безпосередньо до фотоокуляра 17, проходять через нього на дзеркало 18, від якого відбиваються і потрапляють на матове скло 19, де і дають зображення. Для фіксації мікроструктури матове скло 19 замінюється касетою з фотопластиною.

Об'єктив 12 дає збільшене дійсне зображення структури. Це зображення предмета збільшується в мікроскопі двічі, тому *загальне збільшення мікроскопа  $N$  дорівнює додатку особистих збільшень об'єктиву  $N_{об}$  і окуляра  $N_{ок}$*

Об'єктив збільшує даний предмет, а окуляр збільшує лише зображення, що отримується від об'єктиву, і не додає до нього ніяких нових особливостей структури, якщо вони не виявлені об'єктивом.

Збільшення об'єктивів і окулярів вказується на їх металічній оправі. До кожного мікроскопа дається набір об'єктивів і окулярів з різним збільшенням.

Після дослідження мікрошліфа у світлому полі іноді проводять додаткове дослідження в темному і поляризованому світлі. Це дає можливість чіткіше виявити окремі структурні складові або неметалічні включення.

Для спостереження в поляризованому світлі в систему включають вкладний аналізатор 20 і поляризатор 21. При дослідженні шліфа в темному полі замість лінзи 10 встановлюється лінза 22.

Для мікроаналізу шліф поміщується на предметний столик мікроскопа 19 гладкою поверхнею вниз. У центрі предметного столика є вікно, в нього вставляють одну зі змінних підкладок 23 з отвором, в яке і ставиться мікрошліф. При встановленні мікрошліфа необхідно, щоб отвір змінної підкладки співпав з центром фронтальної лінзи об'єктиву. Предметний столик за допомогою гвинтів 25 може пересуватися в горизонтальній площині, що дозволяє розглядати структуру різних ділянок поверхні шліфа.

Макрометричний гвинт 24 слугує для переміщення предметного столика у вертикальному напрямі. Цим здійснюється грубе наведення на фокус. Затискним гвинтом фіксується положення столика, щоб він мимоволі не піднімався. Точне фокусування виконується поворотом мікрогвинта 26 в ту або іншу сторону, але не більше, ніж на один оборот. При фокусуванні міняється відстань між фронтальною лінзою об'єктиву і шліфом, причому різке зображення мікроструктури виходить при співпадінні досліджуваної площини мікрошліфа з головним фокусом об'єктиву.

*Якість мікроскопа характеризується можливим збільшенням, якістю зображення, роздільною здатністю мікроскопа.*

Основними характеристиками мікроскопа є його *роздільна здатність* і збільшення. роздільна здатність характеризується мінімальною відстанню між двома частками, що знаходяться поряд і при якій їх можна бачити ще окремо. Наприклад, роздільна здатність неозброєного ока складає біля 0,2 мм

Роздільна здатність мікроскопа (здатність розрізняти найдрібніші деталі предмета) характеризується рівнянням:

$$d = \frac{\lambda}{A}$$

де  $\lambda$ - довжина хвилі світла в ангстремах ( $\lambda = 0,55 \mu\text{м}$  для білого світлу);

A- числа апертура об'єктиву.

### **Форма звіту лабораторної роботи**

Звіт лабораторної роботи повинен містити наступний матеріал:

1. Найменування і мета роботи.
2. Короткий теоретичний вступ.
3. Короткий опис методики приготування мікрошліфів.
4. Мікроструктури нетравлених і травлених мікрошліфів.
5. Схему, що пояснює видимість меж зерен під мікроскопом.
6. Відповіді на усі питання в завданні.

### **Питання для самоконтролю**

1. Дайте визначення макроскопічного аналізу.
2. Перерахуйте, що дозволяє встановити мікроскопічний аналіз.
3. Назвіть етапи приготування мікрошліфа.
4. Перерахуйте, що входить в оптичну систему металографічного мікроскопа.



5. Дайте визначення об'єктиву і окуляра.
6. Визначте, як підрахувати загальне збільшення мікроскопа.
7. Перерахуйте структурні складові, які можна побачити на нетравленому мікрошліфі.
8. Перерахуйте структурні складові, які можна побачити в травленому мікрошліфі.

### Список літератури

1. Методичні вказівки з дисципліни “Матеріалознавство” до виконання лабораторного практикуму з розділу “Макроскопічний та мікроскопічний методи дослідження матеріалів” для студентів усіх форм навчання / Укл.: В.В. Трофименко, О.П. Клименко, В.І. Овчаренко. – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2012. – 43 с.

2. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Лабораторні методи вивчення корисних копалин" для студентів спеціальності 7.070701/Упоряд.: М.В. Рузіна, І.В. Жильцова. – Д.: НГУ, 2007. - 33 с.

3. Н.С. Герасимова Микроскопический метод исследования металлов и сплавов Методические указания по выполнению лабораторной работы по курсу «Материаловедение» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. Калуга, 2015. -26 с.

4. Ю.М. Лахтин, В.П.Леонтьева Материаловедение. – М.: Машиностроение. – 1990. - 527 с. 2. Б.Н. Арзамасов, В.И.Макарова, Г.Г.Мухин. «Материаловедение», М, МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001. - 632 с.

5. Артингер И. Инструментальные стали и их термическая обработка / И. Артингер; пер. с венгер.- М.: Металлургия, 1982.- 312 с. 4. Гуляев А.П. Материаловедение. - М.: Металлургия, 1986. - 647с.

6. Шуваева Е.А., Перминов А.С. Материаловедение. Неметаллические и композиционные материалы. Из-во МИСИС, 2013. -77 с.

**Светкіна** Олена Юрїївна  
**Коверя** Андрій Сергійович  
**Нетяга** Ольга Борисівна  
**Тарасова** Ганна Володимирівна

## **ФІЗИКО-ХІМІЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ**

### **Методичні рекомендації**

до виконання лабораторної роботи «Мікроскопічний метод дослідження металів і сплавів» з дисципліни студентами спеціальностей

161 «Хімічні технології та інженерія»

та 132 «Матеріалознавство».

У редакції авторів

Підписано до друку. Формат 30x42/4.  
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 1,3 .  
Обл.-вид. арк. 1. Тираж прим. Зам. №

НТУ «Дніпровська політехніка»  
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького 19