

## Методи дослідження структури металів

### Дослідження структури металів

*Термічний метод* призначений для визначення критичних точок, тобто тих температур, за яких у сплаві відбуваються будь-які перетворення. Критичні точки визначають термоелектричним пірометром, що складається з двох частин: термопари та гальванометра. Сутність методу: нерознімне з'єднання термопари занурюють у розплавлений метал для реєстрації початку або кінця кристалізації або у спеціально просвердлений отвір у зразку, що досліджується, і через певні проміжки часу (зазвичай через 15—30 с) знімають показання гальванометра. На підставі отриманих результатів будують криві, відкладаючи на осі абсцис час, а на осі ординат — температуру (рис. 1.).

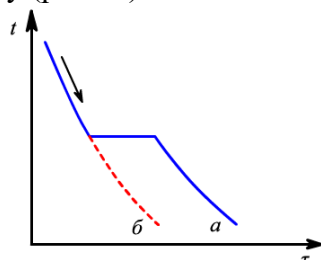


Рис. 1. Криві охолодження сплавів за наявності фазового перетворення (а) і за його відсутності (б)

*Дилатометричний метод* застосовують для визначення критичних точок у сплаві. Базується на об'ємних змінах, що відбуваються при нагріванні чи охолодженні. Практично спостерігають зміну не об'єму, а довжини нагрітого чи охолодженого зразка.

*Магнітна дефектоскопія.* Метод застосовують для виявлення дефектів, які порушують суцільність феромагнітних металів (сталі, чавуни), дрібних поверхневих і внутрішніх тріщин, раковин і т. п., а також для контролю за якістю термічної обробки. Для цього застосовують магнітні порошки (сухий метод) (рис. 2) або магнітні суспензії, що осідають на границях дефекту (рис. 3). Для виявлення дефектів існують спеціальні прилади — дефектоскопи (рис. 4).



Рис. 2. Осад магнітного порошку на гартівних тріщинах у сталевій деталі, які не можна побачити оком



Рис. 3. Осад магнітної суспензії на виявлених дефектах



Рис. 4. Універсальний магнітний дефектоскоп з електронним керуванням. Контрольована деталь (вал), установлена в бабках дефектоскопа

*Люмінесцентний метод.* Люмінесценцією називають холодне світіння речовини (тобто без нагрівання до високої температури), зумовлене різними причинами: освітленням речовини, проходженням у ній електричного струму (у газах і парі), хімічними процесами.

На здатності деяких органічних сполук флуоресценціювати, тобто світитися під дією ультрафіолетових променів, ґрунтується люмінесцентний метод виявлення дефектів. Проте за цим методом можна знаходити лише відкриті поверхневі дефекти типу мікротріщин. Порівняно з магнітним він дозволяє контролювати магнітні й немагнітні матеріали (алюміній, пластмаси тощо). Практично контроль люмінесцентним методом здійснюють у такий спосіб: деталь ретельно очищують і занурюють у ванну з флуоресцентним розчином (суміш трансформаторного мастила, гасу та спеціального зелено-золотистого порошку) і витримують у ньому 10—15 хв. Розчин проникає у мікротріщини. Потім розчин зливають з поверхні, деталь висушують і опромінюють ультрафіолетовим світлом, виявляючи місця світіння. Джерелом ультрафіолетових променів є ртутно-кварцова лампа з алюмінієвим відбивачем і світлофільтром (затримує промені видимого світла і пропускає ультрафіолетові промені) (рис.. 5).

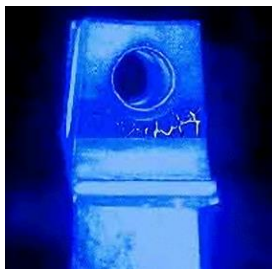


Рис. 5. Дефекти, виявлені люмінесцентним методом

*Ультразвуковий метод.* Дефекти у виробках можна визначити також за допомогою звуку. Наприклад, якщо стукати нігтем по чашці, тарілці, то за звуком легко можна встановити наявність або відсутність у них тріщин; стукаючи молотком по бандажу колеса вагона за звуком визначають, є в ньому дефект чи ні. Проте за звуком, який сприймає людське вухо, можна визначити лише дефекти великих розмірів. Пояснюється це тим, що людське вухо чує звуки, що утворюються тілами з частотою від 16 до 20 тисяч коливань за секунду. Якщо тіло коливається з більшою частотою, то такий звук вухо не сприймає. Нечутні звуки називають *ультразвуковими*.

За допомогою ультразвуку можна виявити дуже малі дефекти (розміром 1—2 мм), розташовані досить глибоко (на відстані кількох метрів від поверхні). Це пояснюється надто великою частотою ультразвуку (сотні тисяч і навіть мільйони коливань за секунду). Чим більша частота, тим менша довжина звукової хвилі і тим менший дефект можна виявити. Приклад з водяною хвилею: якщо камінь у воді більший від довжини хвилі, то хвиля, вдаряючись об камінь, відкочується назад, а якщо менший, то хвилі його огинають і йдуть далі, ніби й не зустрічали на своєму шляху ніякої перешкоди. Аналогічно до водяних поведуть себе й звукові хвилі. Якщо довжина такої хвилі велика, то й відбивається вона від великої перешкоди. Цей метод базується на відбитті звукових хвиль від дефекту, розташованого всередині металу. Ультразвуковий метод винайшов у 1928 р. професор С. Я. Соколов. Для отримання дуже високої частоти ультразвукових коливань використовують кварцову пластину, крізь яку пропускають змінний струм. Унаслідок коливань кварцової пластини у повітрі утворюються звукові хвилі, які спрямовують на поверхню досліджуваної деталі. Хвилі, що відбиваються від дефекту, повертаються на поверхню й утворюють ультразвукову луна, яка також уловлюється кварцовою пластинкою. Ультразвукова луна збуджує на металевих пластинках, між якими розташована кварцова пластинка, електричний струм, який підсилюється і вимірюється приладом. Ультразвук надсилають у деталь не безперервно, а періодично. Час між надсиланням ультразвуку і поверненням його назад і є критерієм оцінки глибини залягання дефекту.

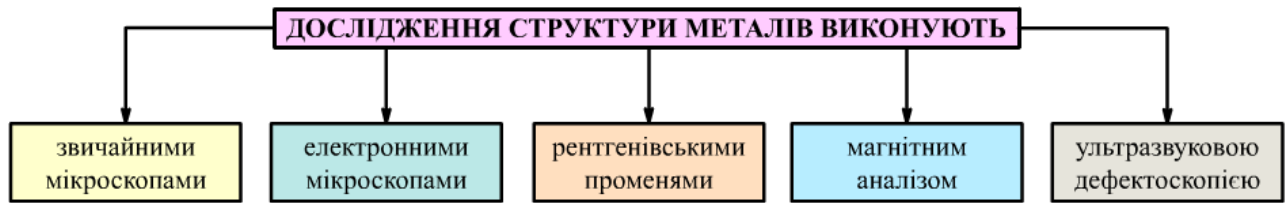


Рис. 1. Загальні відомості про методи дослідження структури металів

### Структурні методи дослідження

**Макроструктурний аналіз** передбачає вивчення макроструктури металу, тобто будови металу, яку можна спостерігати без збільшення або при невеликому збільшенні за допомогою лупи (від 2 до 30 разів). Дозволяє встановити розміри та форму кристалів, знаходити дефекти литва та термообробки (раковини, шлакові включення, тріщини тощо). Макроструктуру досліджують безпосередньо на поверхні деталі, у зламі або на спеціальному зразку (темплеті) після шліфування і травлення відповідним розчином. Протравлювач по-різному розчиняє різні структурні складові та розтравлює дефекти, що й видно на поверхні темплету.

**Мікроскопічний аналіз.** Застосовують для вивчення будови металу при збільшенні від 50 до 2000 разів за допомогою спеціального металографічного мікроскопа. Вперше для дослідження структури його застосував П. П. Аносов.

Мікроскопічний аналіз слугує для визначення форми та розмірів кристалічних зерен, з яких складається сплав; змін внутрішньої будови металу під впливом різних видів обробки (термічної та хіміко-термічної), а також після зовнішньої механічної дії на сплав; хімічного складу деяких структурних складових; для виявлення мікротріщин та неметалевих включень.

Мікроструктурні дослідження мають велике значення, оскільки механічні властивості металу певною мірою залежать від структури. Для дослідження мікрошліфів застосовують оптичні металографічні мікроскопи. Оптичну схему металографічного мікроскопа зображено на рис. 1.29. Промені від освітлювача 1, що заломлюються призмою 2, проходять крізь об'єктив 3, відбиваються від мікрошліфа 4, знову проходять через об'єктив 3, далі через призму 5 і окуляр 6. Оптична схема збільшення мікроскопа дорівнює добутку металографічного мікроскопа збільшень об'єктива й окуляра.

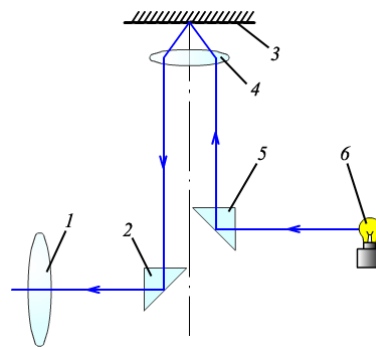


Рис. 6. Оптична схема металографічного мікроскопа:

1 — окуляр; 2, 5 — призма; 3 — мікрошліф; 4 — об'єктив; 6 — освітлювач



Рис. 7. Методи дослідження структури металів

**Електронна мікроскопія.** Дослідження структури металів і сплавів за допомогою електронного мікроскопа називають *електронною мікроскопією*. В електронному мікроскопі джерело світла замінено джерелом електронів, які виходять з електронної гармати, а скляні

лінзи замінені електромагнітними лінзами. Електронна гармата являє собою вольфрамову спіраль, нагріту до високої температури (катод). За анод править пластинка з отвором посередині. Між спіраллю й анодом, що знаходяться на невеликій відстані, створюється потужне електричне поле, необхідне для прискорення руху електронів. Прискорені електрони проходять крізь отвір анода і прямують до об'єкта. Залежно від методу дослідження існує кілька конструкцій електронних мікроскопів:

- просвітлювальні, у яких потік електронів проходить через об'єкт; зображення є наслідком різного розсіювання електронів на об'єкті;
- відбивальні, коли зображення утворюється відбитими від поверхні об'єкта електронами;
- емісійні, у яких зображення утворюється від поверхні, що світиться, під дією електронів;
- растрові, де зображення утворюється за рахунок емісії електронів, що випромінюються з поверхні, на яку падає і безперервно переміщується потік первинних електронів.

Найпоширенішими є просвітлювальні електронні мікроскопи, в яких об'єкт досліджують в електронних променях. З огляду на це предмет дослідження має бути дуже тонким. При дослідженні звичайних мікрошліфів на електронному мікроскопі застосовують переважно метод реплік (оксидних, лакових, кварцових, вугільних), що відтворюють рельєф поверхні мікрошліфа і пропускають електронні промені. Крізь різні ділянки об'єкта проходить різна кількість електронів (менша від грубих і щільних ділянок і більша від тонких і нещільних). Це спричиняє контрастність зображення, тобто відображення будови предмета, що досліджується. Просвітлювальні електронні мікроскопи дають збільшення в 400 тисяч разів.

Принцип дії електронного мікроскопа показаний на рис. 8 електрони, що вилітають з великою швидкістю з гармати 1, проходять крізь отвір анода і прямують до конденсорної лінзи 2, що збирає їх у пучок на оберті дослідження 3. Далі об'єктивна лінза 4, змінюючи напрям потоку електронів, що розсіюються окремими елементами об'єкта, дає першу ступінь збільшення 5 (проміжне зображення). Остаточне збільшення 7 отримують після проходження електронних променів через проєкційну лінзу 6. Воно дорівнює добутку збільшень об'єктивної та проєкційної лінз.

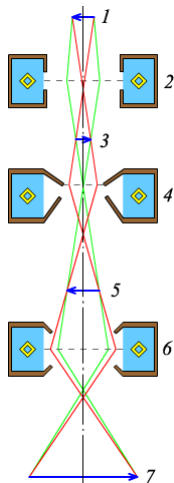


Рис. 8. Принципова схема електронного мікроскопа:

1 — об'єкт дослідження; 2 — конденсорна лінза; 3 — об'єкт дослідження; 4 — об'єктивна лінза; 5 — проміжне зображення; 6 — проєкційна лінза; 7 — остаточне збільшення

*Метод радіоактивних ізотопів.* Ізотопами називають атоми з тотожними хімічними властивостями, проте різною атомною масою. Метод радіоактивних ізотопів полягає в тому, що атоми введених у метал радіоактивних ізотопів зазнають радіоактивного перетворення, яке супроводжується радіоактивним випромінюванням, яке легко виявити. Атоми радіоактивних ізотопів виділяються з безлічі атомів, тобто вони наче мічені, тому цей метод ще називають методом мічених атомів, який дає змогу контролювати процеси, що відбуваються в металах при їх виготовленні й обробці, наприклад розподіл атомів під час кристалізації металу.

Для вивчення процесу розміщення елементів у сплав вводять радіоактивний ізотоп елемента, розподіл якого у сплаві й досліджують. З готового сплаву виготовляють мікросліф і приводять його у контакт з емульсією фотопластинки (фотоплівки). Випромінювання ізотопа діє на фотопластинку, як і світло. Так отримують мікрорадіограму, яку розглядають під мікроскопом.

*Рентгеноструктурний аналіз і рентгенівська дефектоскопія.* Рентгеноструктурний аналіз застосовують для дослідження внутрішньої будови кристалів, їх орієнтування і визначення внутрішніх напружень (викривлення ґратки). Рентгенівські промені — це електромагнітні хвилі дуже малої довжини. Порівняно з довжиною світлових хвиль рентгенівські хвилі у 10 тисяч разів коротші.

Рентгенівський аналіз заснований на відбиванні рентгенівських променів від атомів кристалічної ґратки і на інтерференції рентгенівських променів, тобто здатності їх підсилювати, послаблювати або взагалі гасити один одного. Для дослідження монокристалів використовують рентгенівські трубки, які дають пучок променів з різною довжиною хвиль, так зване біле рентгенівське випромінювання. Полікристалічні метали і сплави досліджують у променях з певною довжиною хвилі — монохроматичних променях. Тому аноди електронних трубок виготовляють з хрому, заліза, міді, молібдену або кобальту.

Одним із методів рентгеноструктурного аналізу полікристалічних металів та сплавів є *метод порошків* (рис. 9). При цьому рентгенівські промені із трубки 1 спрямовують на дрібний порошок (розміром до 1 мм) металу, який знаходиться у тонкій (діаметром 1 мм) целулойдній трубці 2. Відбиті від порошку рентгенівські промені фіксують на fotocутливу плівку 3. Отримують рентгенограму, яку потім розшифровують. Рентгенівські промені можуть тією чи іншою мірою проникати крізь будь-яке тіло, хоча інтенсивність їх проникнення буде різною, оскільки частково поглинаються і розсіюються самим тілом. На цій властивості й базується метод контролю деталей просвічуванням, тобто *рентгенівська дефектоскопія* (рис. 10). Сучасною потужною рентгенівською апаратурою можна просвічувати зразки сталі товщиною до 300 мм, зразки алюмінію — до 600 мм.

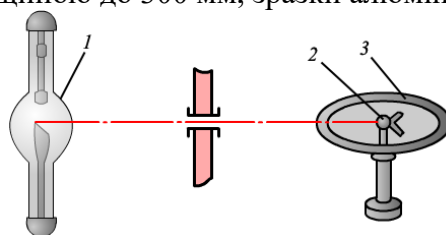


Рис. 9. Принцип рентгеноструктурного аналізу на фотоплівці при просвічуванні:  
1 — рентгенівська трубка; 2 — зразок; 3 — рентгенівська плівка

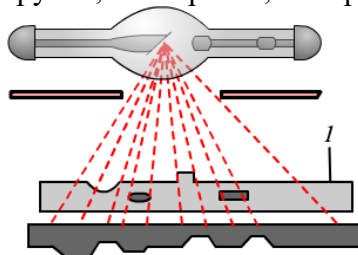


Рис. 10. Схема отримання проєкції виробу методом порошків:  
1 — зразок



Рис.11. Переносний рентгенівський апарат

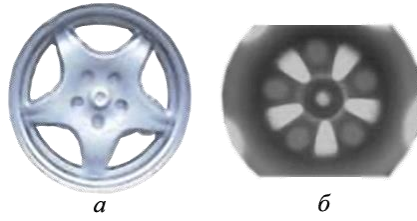


Рис. 12. Колісний диск (*a*) та його рентгенівський знімок (*б*)