

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**до виконання лабораторної роботи № 5**  
**«Мікроструктура вуглецевих сталей»**  
**з навчальної дисципліни «Системи технологій»**  
**для здобувачів освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр»**  
**спеціальності 131 «Прикладна механіка»**

**2024**

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 5 «Мікроструктура вуглецевих сталей» з навчальної дисципліни «Системи технологій» для здобувачів освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» спеціальності 131 «Прикладна механіка» / Укл.: В.Г. Міщенко, Е.А. Бажміна – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 12 с.

Укладачі: В.Г. Міщенко, професор, д-р техн. наук  
Е.А. Бажміна, доцентка, докторка філософії

Рецензент: М.Ю. Осіпов, доцент, канд. техн. наук

Гаранти ОПП: О.Є. Капустян, доцент кафедри «ІТЗ та МК»,  
канд. техн. наук  
М.Ю. Осіпов, доцент кафедри «ІТЗ та МК»,  
канд. техн. наук

Відповідальний  
за випуск: Е.А. Бажміна, доцентка, докторка філософії

Затверджено  
на засіданні кафедри  
«Інтегровані технології зварювання  
та моделювання конструкцій»  
Протокол № 7  
від «3» квітня 2024 р.

Рекомендовано до видання  
НМК ІФ факультету  
Протокол № 9  
від «14» травня 2024 р.

**ЗМІСТ**

ВСТУП.....	4
1 МЕТА РОБОТИ .....	5
2 МАТЕРІАЛИ Й УСТАТКУВАННЯ .....	5
3 ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ .....	5
4 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ .....	5
5 ЗМІСТ ЗВІТУ .....	10
6 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.....	11
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	12

## ВСТУП

У зв'язку з динамічним розвитком матеріалознавства зростають вимоги до продукції передових підприємств України. І вихід тут один – пошук нових виняткових можливостей, розвиток корпоративної науки, впровадження новітніх технологій, у тому числі нанотехнологій, створення нової конкурентоспроможної продукції з кращими споживчими властивостями й ціннісними характеристиками, підвищення якості сервісного обслуговування, продуктивності праці, значне скорочення витрат. Для подальшого розвитку матеріалознавства необхідно детально вивчити діаграми стану сплавів на основі Fe, Ni, Al тощо.

XXI століття – століття глобалізації, інформатизації та глибоких змін. За допомогою прискореного розвитку в новому столітті освіти, науки, техніки та новітніх технологій сучасні компанії перетворюються на власників потужного інтелектуального капіталу, відкривають нові виняткові можливості та створюють довгострокові цінності.

Згідно з програмою навчальної дисципліни «Системи технологій» основною метою її викладання є формування та засвоєння студентами економічних основ технологічного розвитку, визначення та засвоєння чинників, що впливають на собівартість та якість продукції в порівнянні сучасних технологій України, Японії, США, Німеччини та інших розвинених країн світу, а також рівня розвитку технологій як пріоритетного напрямку забезпечення соціальних потреб населення та підвищення його життєвого рівня. Важливо знати принципи економічної доцільності вироблення певного продукту або досконалості й ефективності технологічного процесу та вміти їх визначити в грошовому еквіваленті.

Методичні вказівки призначені для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» спеціальності 131 «Прикладна механіка».

## 1 МЕТА РОБОТИ

Вивчення мікроструктури вуглецевих сталей після відпалу.

## 2 МАТЕРІАЛИ Й УСТАТКУВАННЯ

1. Металографічні мікроскопи.
2. Колекція шліфів сталей.
3. Альбом фотографій мікроструктур вуглецевих сталей.
4. Діаграма Fe – Fe<sub>3</sub>C.

## 3 ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити зміст основних положень роботи.
2. Розібратися за допомогою тренажера зі сталевою частиною діаграми Fe – Fe<sub>3</sub>C.
3. Здобути навички визначення під мікроскопом елементів структури сталі: фериту, цементиту, перліту. Із цією метою розглянути:
  - фотографії мікроструктур в альбомі;
  - підібрані шліфи під мікроскопом для вивчення структурних складових і відобразити схеми розглянутих структур.
4. Вивчити мікроструктуру трьох-чотирьох зразків, що належать різним класам сталей (доевтектоїдні, евтектоїдні, заевтектоїдні), визначити до якого з названих класів належить кожен зразок. Накреслити схему мікроструктури розглянутих зразків і позначити на рисунках структурні складові.
5. У зразку доевтектоїдної сталі визначити вміст вуглецю в % мас.

## 4 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

На діаграмі стану залізо-вуглець сплави, що належать до сталей, розташовані в інтервалі концентрацій вуглецю до 2,14 % тобто ліворуч від точки *E* (рис. 4.1). При температурах нижче 727°C усі вуглецеві сталі після відпалу складаються з двох фаз – фериту й цементиту. *Ферит* – це твердий розчин вуглецю в залізі з об'ємно-центрованими кубічними ґратками ( $\alpha$ Fe). Максимальна розчинність вуглецю в  $\alpha$ Fe

складає приблизно 0,02 % (точка P). *Цементит* – це карбід заліза  $Fe_3C$ , що містить 6,67 % C.

При температурах вище за лінію *GSE* рівноважною фазою є *аустеніт* – твердий розчин вуглецю в залізі з гранецентрованими кубічними ґратками ( $Fe_\gamma$ ). Гранична розчинність вуглецю в  $Fe_\gamma$  – 2,14 % (точка E).

У результаті фазових перетворень у твердому стані при малих швидкостях охолодження в сталі утворюються такі структури: перліт, надмірний ферит, вторинний цементит і третинний цементит.

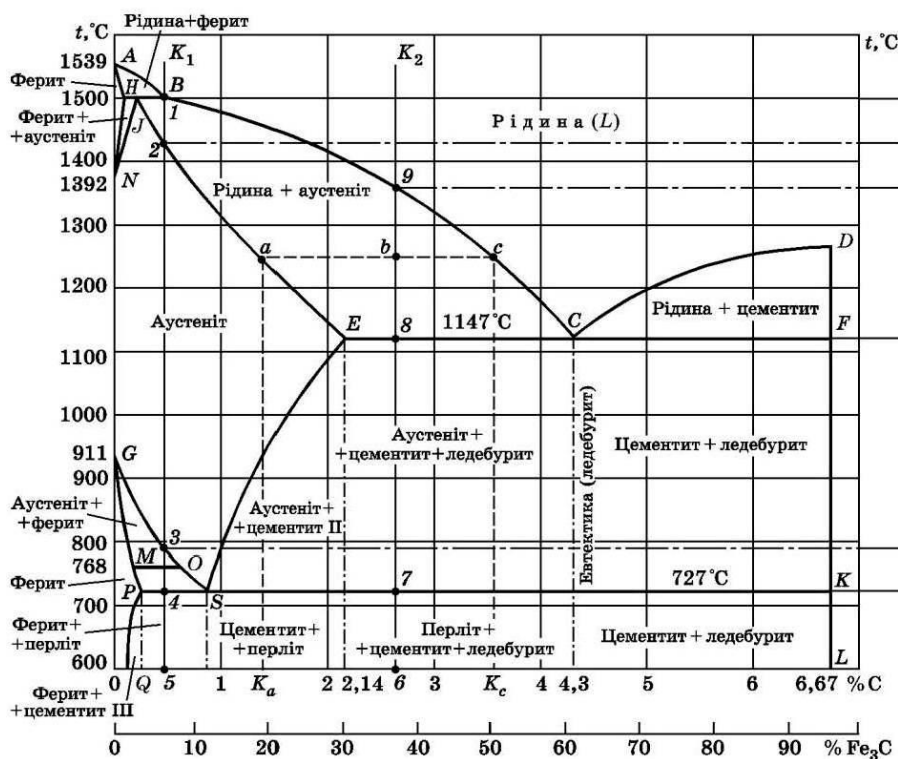


Рисунок 4.1 – Діаграма Fe – Fe<sub>3</sub>C

На лінії *GS* з аустеніту починає виділятися надмірний ферит, а на лінії *SE* – вторинний цементит. На лінії *PQ* з фериту виділяється

третинний цементит. В усіх сплавах праворуч від точки  $P$  при невеликому переохолодженні до температур нижче  $727^{\circ}\text{C}$  аустеніт евтектоїдного складу (0,8 % C) розпадається на евтектоїдну суміш фериту й цементиту, що називається перлітом, причому цементит може бути у вигляді пластинок або зерен (див. атлас структур).

Сталь, що містить 0,8 % C, називають евтектоїдною. Сталі, що містять менше ніж 0,8 % C називають доевтектоїдними, а понад 0,8 % C – заевтектоїдними.

Металографічний аналіз металів і сплавів полягає в дослідженні структури матеріалів при великих збільшеннях за допомогою мікроскопу, а спостережувана структура називається мікроструктурою. Вивчення під мікроскопом структури металів можливо лише при досить інтенсивному відображенні світових променів від досліджуваної поверхні. Тому поверхня зразка має бути спеціально підготовлена. Зразок, поверхня якого підготовлена для металографічного аналізу, називається мікрошліфом.

Для виготовлення мікрошліфа необхідно вирізати зразок із досліджуваного металу, отримати на ньому плоску, блискучу поверхню, а потім шліф щавлять. Є декілька методів щавлення, з яких найбільш поширений метод вибіркового розчинення фаз. Метод ґрунтується на відмінності фізико-хімічних властивостей окремих фаз і граничних ділянок зерен. У результаті різної інтенсивності розчинення створюється рельєф поверхні шліфа. Для щавлення мікрошліф занурюють полірованою поверхнею в розчин обраного складу й через деякий час виймають. Якщо полірована поверхня стане злегка матовою, щавлення вважається закінченим, шліф відразу ж промивають водою, потім спиртом і висушують фільтрувальним папером.

Мікрошліфи сталей щавлять 3–4 % розчином  $\text{HNO}_3$  у спирті, після чого структурно вільний ферит і цементит у порівнянні з темним (коричневим) перлітом виглядають білими.

При охолодженні доевтектоїдної сталі з аустеніту спочатку виділяється ферит. Розмір феритних зерен значною мірою залежить від швидкості охолодження аустеніту. При розгляді в мікроскоп ферит спостерігається у вигляді світлих зерен різної яскравості (див. атлас структур). Зі збільшенням концентрації вуглецю в доевтектоїдній сталі кількість зерен фериту зменшується (див. атлас структур), а кількість

перліту збільшується. У сплавах, що містять 0,5–0,75 % С зерна фериту розташовуються по межах зерен іншої структурної складової – перліту – у вигляді розірваної сітки (див. атлас структур).

У доевтектоїдній сталі перліт здебільшого має пластинчасту будову. Темні пластинки, видимі в перліті, є тінями, що відкидаються на ділянки фериту ділянками цементиту, який виступає після шавлення. Форма виділення перліту в доевтектоїдних і заевтектоїдних сталях визначається умовами проведення відпалу. Форма й розмір часток цементиту в перліті істотно впливають на властивості сталі. Так, наприклад, зернистий перліт пластичніший і має меншу твердість, ніж пластинчастий. Твердість зернистого перліту 160–220 НВ, а пластинчастого – 200–250 НВ. Зі зменшенням розміру цементитних часток твердість і міцність перліту зростає. Форма цементитних часток впливає на оброблюваність сталі різанням. Доевтектоїдні сталі добре обробляються різанням, якщо мають структуру пластинчастого перліту, а евтектоїдні та заевтектоїдні – зернистого.

У заевтектоїдних сталях можливе виділення вторинного цементиту у вигляді сітки по межах зерен перліту (див. атлас структур). Це відбувається в результаті закінчення гарячого оброблення при надмірно високій температурі і є значним дефектом заевтектоїдної сталі, погіршує її міцність і в'язкість. Ще однією формою виділення цементиту, що рідко трапляються, є його утворення у вигляді голок (внаслідок значного перегрівання). Це значно погіршує механічні властивості цементиту.

Отже, можна виділити чотири типи структур сталей.

Перший тип структури – ферит і третинний цементит – спостерігається в низьковуглецевих сталях, що містять до 0,02 % С (т. *P*). Такі сталі називаються технічним залізом.

Другий тип структури – ферит і перліт – спостерігається в доевтектоїдних сталях, що містять від 0,02 до 0,8 % С (т. *S*). Чим більше в доевтектоїдній сталі вуглецю, тим більше в ній перліту.

Третій тип структури – перліт – спостерігається в евтектоїдній сталі, що містить 0,8 % С.

Четвертий тип структури – вторинний цементит і перліт – спостерігається в заевтектоїдній сталі з вмістом вуглецю від 0,8 % до 2,14 % т. *E*).



## **Відмінність мікроструктури доевтектоїдних сталей від заевтектоїдних**

У доевтектоїдних і заевтектоїдних сталях є одна загальна для обох типів структур складова – перліт. Відрізнити при мікроаналізі до- і заевтектоїдні сталі один від одного можна тільки за надмірними виділеннями: якщо в структурі знаходиться надмірний ферит, то сталь доевтектоїдна, а якщо вторинний цементит, то сталь заевтектоїдна.

Є три металографічні способи відрізнити доевтектоїдні сталі від заевтектоїдних.

*1-й спосіб.* При шавленні розчином азотної кислоти надмірний ферит і цементит мають світлий відтінок. Відносна вагова кількість надмірного фериту в доевтектоїдних сталях може змінюватися від 100 % (сталь складу точки *P*) до 0 % (сталь складу точки *S*). Водночас кількість вторинного цементиту в заевтектоїдних сталях може змінюватися у вузьких межах – від 0 % (сталь складу точки *S*) до 20 % (сталь складу точки *E*).

Отже, якщо в сталі, після відпалу, разом із темним перлітом, виявляється світла складова, що займає понад 20 % всієї площі поля шліфа, видимого в мікроскоп, то ця складова є надмірним феритом. Тому сталь – доевтектоїдна.

*2-й спосіб.* Якщо відносна кількість світлої складової менше ніж 20 % або якщо при мікроаналізі важко зробити кількісну оцінку, то ця світла складова може виявитися як надмірним феритом, так і вторинним цементитом. У цьому випадку треба використати індикаторний щавник – гарячий лужний розчин пікрату натрію, який забарвлює цементит у темно-коричневий колір, залишаючи ферит світлим.

*3-й спосіб.* Якщо надмірна фаза займає менше ніж 20 % площі шліфа, вищавленого азотною кислотою, то за наявності деякого досвіду можна відрізнити вторинний цементит від надмірного фериту за формою і відтінку виділень.

Сітка надмірного фериту після відпалу складена з окремих зерен, тоді як вторинний цементит на шліфі виявляється у вигляді майже безперервної сітки. Сітка вторинного цементиту виступає над перлітом у вигляді рельєфу, оскільки твердий цементит після полірування трохи височіє над м'якшим і сильніше полірованим перлітом. Вторинний цементит може виділятися з аустеніту також у вигляді ізольованих

голок, як по межах, так і всередині колоній перліту. Нарешті, цементит виглядає під мікроскопом світлішим у порівнянні з феритом.

### **Металографічне визначення вуглецю в сталях після відпалу**

Якщо вуглецева сталь добре відпалена, тобто приведена в рівноважний стан, то мікроструктурним аналізом можна визначити вміст у ній вуглецю.

Такі визначення фактично виконуються тільки для доєвтектоїдних сталей, оскільки в заєвтектоїдних сталях значна зміна у вмісті вуглецю мала й майже непомітно змінює мікроструктуру.

Вуглець у доєвтектоїдній сталі розподілений між надмірним феритом і перлітом. У фериті містяться тисячні долі відсотка вуглецю, якими можна нехтувати та вважати, що практично увесь вуглець у доєвтектоїдній сталі знаходиться в перліті. У перліті міститься 0,8 % C. У доєвтектоїдній сталі на перліт приходиться тільки частина сплаву, і вміст вуглецю у вагових відсотках пропорційний площі шліфа, зайнятій перлітом. Ця пропорція витікає із приблизної рівності питомої ваги фериту й перліту; у протилежному випадку за мікроструктурою можна було б зробити висновки тільки щодо об'ємного співвідношення. Вміст вуглецю в доєвтектоїдній сталі:

$$\% C = 0,8 \cdot F_n / 100, \quad (4.1)$$

де  $F_n$  – площа, зайнята перлітом (у полі зору мікроскопа).

Найчастіше  $F_n$  оцінюють на око. Такий метод може здатися занадто неточним; насправді ж він дає добрі результати. Якщо абсолютна похибка в оцінці площі, займаної перлітом, складає 10 % то абсолютна похибка у визначенні вмісту вуглецю складає всього 0,08 %.

## **5 ЗМІСТ ЗВІТУ**

1. Назва роботи та її мета.
2. Основні положення з теми роботи (коротко).
3. Опис окремих стадій виконання роботи з вказівкою використовуюваного устаткування, з необхідними поясненнями, цифровими даними, рисунками мікроструктур і їхніми описами.
4. Висновки.

## 6 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Який вміст вуглецю в евтектоїдній сталі?
2. Яку кристалічну ґратку мають  $\alpha$ - і  $\gamma$ -залізо?
3. Що таке аустеніт, ферит, перліт, цементит?
4. Вкажіть назви областей на сталевій частині діаграми.
5. Які процеси відбуваються в сталі при її охолодженні в області 727°C?
6. Який максимальний вміст вуглецю в аустеніті?
7. Який максимальний вміст вуглецю у фериті?
8. Як впливає вміст вуглецю на властивості сталі?

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Афтанділянц Є. Г., Зазимко О. В., Лопатько К. Г. Матеріалознавство : підручник. К. : Вища освіта, 2012. 548 с.
2. Дяченко С. С., Дощечкіна І. В., Мовлян А. О., Плешаков Е. І. Матеріалознавство : підручник. Харків : ХНАДУ, 2007. 440 с.
3. Кузін О. А., Яцюк Р. А. Металознавство та термічна обробка металів : підручник. Львів : Афіша, 2002. 304 с.
4. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум : посібник для вищих навчальних закладів III-IV рівнів акредитації / А.С. Опальчук, О.О. Котречко, Л.Л. Роговський, О.Є. Семеновський, І.Л. Роговський. К. : НУБіП України, 2015. 428 с.
5. Міщенко В. Г., Лоскутов С. В. Технології виробництва спеціальних сталей та їхні фізико-механічні властивості : монографія. Riga, Latvia : «Baltija Publishing», 2023. 168 с.
6. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : Практикум : навч. посібник / В.В. Попович, А.І. Кондир, Е.І. Плешаков та ін. Львів : Світ, 2009. 552 с.
7. Mishchenko V., Loskutov S. Physical and mechanical laws of metals structure formation in the processes of treatment and deformation Structuring and Mechanical Properties : Monograph. Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2023. 184 p.