



ПІДПИСАНО

заступник директора з навчально-методичної роботи
ЗНУ Дніпровський професійний технологічний
коледж

Сергій ГОРДІЄНКО

«28» серпня 2026 р.

МЕТОДИЧНА РОЗРОБКА ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СЛУХАЧІВ

Дисципліна: Матеріалознавство (СК16) **Цільова аудиторія:** Слухачі (галузь знань: G4 Енерговиробництво / Спеціалізація: С4.02 Теплоенергетика; освітньо-професійний ступінь: «фаховий молодший бакалавр»)

Тема СРС 1.1: Атомно-кристалічна будова металів. Вивчення типів кристалічних решіток та їх дефектів. Дослідження впливу точкових, лінійних та поверхневих дефектів на зміну експлуатаційних характеристик матеріалу.

Обсяг часу: 4 академічні години | **Максимальна оцінка:** 2 бали (1 тест – 0.5 бали)

МЕТА САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ: Фундаментальне академічне вивчення термодинаміки та кристалографії будови металів. Набуття компетентностей аналізувати вплив структурних недосконалостей на макроскопічні експлуатаційні властивості (міцність, повзучість, втому). Оволодіння навичками математичного розрахунку кристалографічних параметрів та дешифрування мікроструктурних процесів, що призводять до деградації конструкцій.

Політика інклюзивності та підтримки: У рамках створення безбар'єрного середовища, дружнього до ветеранів, військовослужбовців та осіб, які проходять реабілітацію, публічний захист цих завдань в аудиторії не є обов'язковим. Ви маєте повне право виконати тести, розрахунки та презентації у власному темпі й подати їх асинхронно через навчальну платформу (LMS). Наша головна мета — глибоке розуміння інженерних процесів у безпечному форматі.

1. АКАДЕМІЧНИЙ ТЕОРЕТИЧНИЙ БАЗИС

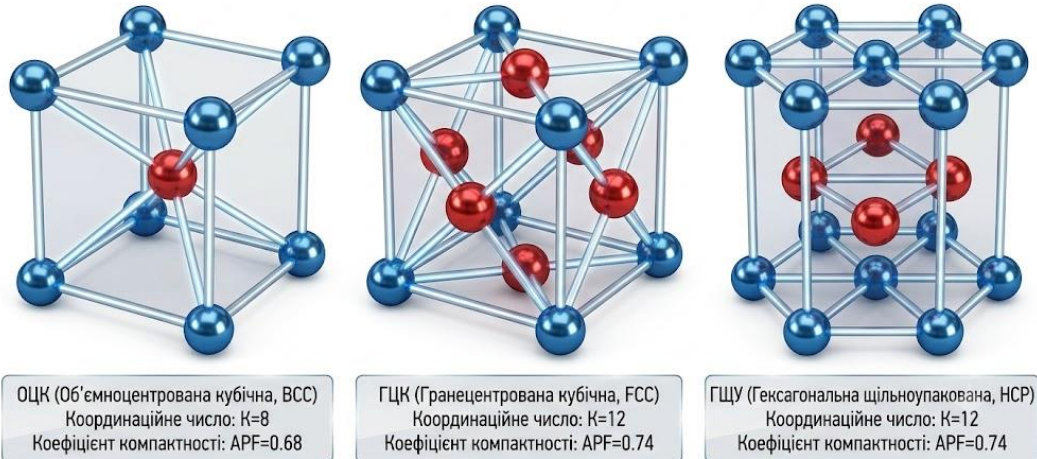
1.1. Ідеальна кристалічна ґратка та поліморфізм

Атомно-кристалічна будова металів визначає їхні базові фізико-механічні властивості. На відміну від аморфних тіл (наприклад, скла), метали характеризуються наявністю дальнього порядку — суворого геометричного розташування атомів (іонів) у просторі. Тривимірна сітка, що описує це розташування, називається просторовою кристалічною ґраткою. Її найменший структурний елемент, що зберігає всю геометрію і симетрію кристала, — **елементарна комірка**.

У машинобудуванні та теплоенергетиці абсолютно домінують метали з трьома типами ґраток:

- **Об'ємно-центрована кубічна (ОЦК):** Атоми розташовані у 8 вершинах куба та 1 атом у центрі. Характеризується відносно низьким коефіцієнтом компактності $\Theta = 0.68$ (лише 68% об'єму комірки зайнято атомами). Прикладом є $\alpha\text{-Fe}$ (ферит) — основа більшості низьколегованих котельних сталей, а також тугоплавкі метали: вольфрам, молібден, ванадій.
- **Гранецентрована кубічна (ГЦК):** Атоми знаходяться у вершинах і в центрі кожної з 6 граней. Вона має максимальну теоретично можливу щільність упаковки для однакових куль $\Theta = 0.74$. Приклади: $\gamma\text{-Fe}$ (аустеніт), мідь, алюміній, нікель. Такі метали мають значно вищу пластичність завдяки наявності 12 систем легкого ковзання.
- **Гексагональна щільноупакована (ГЦУ):** Формує шестигранну призму. $\Theta = 0.74$. Властивості сильно залежать від напрямку (виражена анізотропія). Приклади: титан, магній, цинк.

СХЕМА ТИПІВ ЕЛЕМЕНТАРНИХ КОМІРОК



Особливим термодинамічним явищем є **поліморфізм (алотропія)** — здатність металу змінювати тип ґратки при зміні температури. Залізо при нагріванні до **911°C** має ОЦК ґратку ($\alpha\text{-Fe}$), а вище цієї температури (до **1392°C**) перетворюється на ГЦК ґратку ($\gamma\text{-Fe}$). Це перетворення супроводжується "перепакуванням" атомів і зменшенням об'єму (оскільки ГЦК щільніша за ОЦК), що породжує значні термічні напруження. Саме поліморфізм робить можливою термічну обробку сталі (гартування з утворенням надміцного мартенситу).

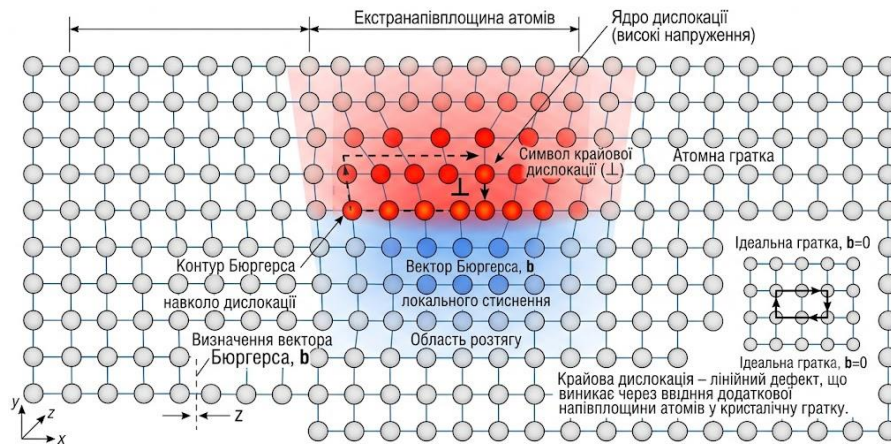
1.2. Реальність: Точкові, лінійні та поверхневі дефекти

Ідеальна структура є лише термодинамічною абстракцією. Усі масивні вироби (наприклад, труби, прокат) містять мільярди мікроскопічних недосконалостей — дефектів. Дефекти класифікують за їхньою геометрією.

1. Точкові (нульвимірні) дефекти: Розміри співмірні з діаметром одного атома. — *Вакансії:* відсутність атома у вузлі ґратки. Вони генеруються постійно під дією теплового руху. Зі збільшенням температури їх кількість зростає експоненціально. Дифузія вакансій є головним рушієм повзучості металу при роботі турбін на високих температурах. — *Міжвузлові атоми:* атоми, що були вибиті зі свого місця і "застрягли" між вузлами. — *Домішкові атоми:* сторонні елементи, що заміщують основні атоми (легуювання хромом, молібденом) або впроваджуються в міжвузля (вуглець, азот).

2. Лінійні дефекти (Дислокації): Ланцюжки дефектів, що мають значну довжину. Головний тип — крайова дислокація (край екстраплощини — зайвої напівплощини атомів, втиснутої в ґратку). Дислокації відповідають за пластичну деформацію металу. Замість одночасного зсуву всіх атомів (що вимагало б гігантських зусиль), метал деформується шляхом "переповзання" дислокації крок за кроком. Під час механічної обробки (наклепу) кількість дислокацій зростає в мільйони разів, вони починають заважати одна одній рухатися, що призводить до різкого підвищення міцності та втрати пластичності (деформаційне зміцнення).

СХЕМА КРАЙОВОЇ ДИСЛОКАЦІЇ ТА НАПРУЖЕНЬ



3. Поверхневі (двовимірні) дефекти: Це границі між кристалітами (зернами).

Полікристалічний метал складається з множини зерен з різною орієнтацією ґраток. Границі зерен є місцем скупчення домішок та вакансій. Згідно з рівнянням Холла-Петча ($\sigma_T = \sigma_0 + k \cdot d^{-1/2}$), чим дрібніше зерно, тим вища міцність металу за кімнатних температур, оскільки границі гальмують рух дислокацій. Проте при високих температурах (турбіни, котли) границі зерен стають центрами зародження кавітаційних мікротріщин (інтеркристалітне руйнування).

2. БЛОК ТЕСТОВОГО САМОКОНТРОЛЮ (4 ТЕСТИ)

Виконайте тестові завдання для перевірки засвоєння теорії. У кожному тесті подано детальне академічне пояснення, що розкриває інженерну суть явища.

ТЕСТ 1: Вплив дефектів на пластичність

Який мікроскопічний механізм є першопричиною того, що фактична (технічна) границя плинності сталі є в десятки разів нижчою за її теоретичну міцність, розраховану на основі сил міжатомної взаємодії?

- А) Наявність великої кількості вакансій, що руйнують зв'язки.
- Б) Рух дислокацій по площинах найщільнішої упаковки під дією дотичних напружень.
- В) Зміна поліморфної модифікації заліза при кімнатній температурі.
- Г) Велика площа великокутових границь зерен.

ТЕСТ 2: Термодинаміка вакансій та повзучість

Під час експлуатації пароперегрівника теплової електростанції при температурі 560°C труби піддаються безперервній деформації (повзучості). Зростання концентрації яких точкових дефектів експоненціально прискорює цей процес?

- А) Атомів впровадження.
- Б) Крайових дислокацій.
- В) Вакансій (дефектів Шотткі).
- Г) Субграниць зерен (фрагментів).

ТЕСТ 3: Параметри кристалічної ґратки

Жароміцні аустенітні сталі (наприклад, 12X18H10T) мають гранецентровану кубічну (ГЦК) ґратку.

Скільки атомів (базис ґратки) належить одній елементарній комірці ГЦК?

- А) 2 атоми.
- Б) 4 атоми.
- В) 8 атомів.
- Г) 14 атомів.

ТЕСТ 4: Закон Холла-Петча

Згідно з рівнянням Холла-Петча, для підвищення міцності та границі плинності вуглецевої сталі за нормальних (кімнатних) умов експлуатації необхідно: А) Збільшити розмір зерна (виростити крупні кристаліти).

- Б) Зменшити розмір зерна (подрібнити макроструктуру).
- В) Нагріти сталь вище точки поліморфного перетворення.
- Г) Повністю позбутися границь зерен (отримати монокристал).

Тема СРС 1.2: Властивості металів і сплавів. Опрацювання методології випробування металів на твердість (методи за Брінеллем, Роквеллом, Віккерсом).

Обсяг часу: 4 академічні години | **Максимальна оцінка:** 2 бали (1 тест – 0.5 бали)

МЕТА САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ: Фундаментальне академічне опанування методології статичних випробувань на твердість як ключового (умовно неруйнівного) методу оцінки механічних властивостей конструкційних матеріалів. Набуття здатності здійснювати експертний підбір методу (Брінелля, Роквелла, Віккерса) залежно від габаритів, структури та термічної обробки деталей теплоенергетичного обладнання.

Розвиток навичок математичного розрахунку твердості та конвертації значень між шкалами.

Політика інклюзивності (Trauma-Informed Approach): У рамках створення психологічно безпечного та безбар'єрного освітнього простору ЗПО «ДПТК», публічний захист цих завдань в аудиторії не є обов'язковим. Ветерани, військовослужбовці та особи, які проходять реабілітацію, мають право виконати тести та аналітичні розрахунки у власному темпі й подати їх асинхронно у форматі електронного звіту через систему дистанційного навчання (LMS).

1. ТЕОРЕТИЧНО-МЕТОДОЛОГІЧНИЙ БАЗИС: ВИПРОБУВАННЯ НА ТВЕРДІСТЬ

У промисловому матеріалознавстві **твердість** визначається як здатність матеріалу чинити опір пластичній деформації або крихкому руйнуванню в поверхневому шарі під час місцевого контактного впливу при втисненні в нього іншого, більш твердого тіла — *індентора*, яке не отримує залишкових деформацій.

Оскільки випробування на твердість залишає лише мікроскопічний відбиток, цей метод є незамінним для контролю якості готових деталей на виробництві або під час ремонтних робіт на магістральних теплових мережах.

1.1. Метод Брінелля (ISO 6506)

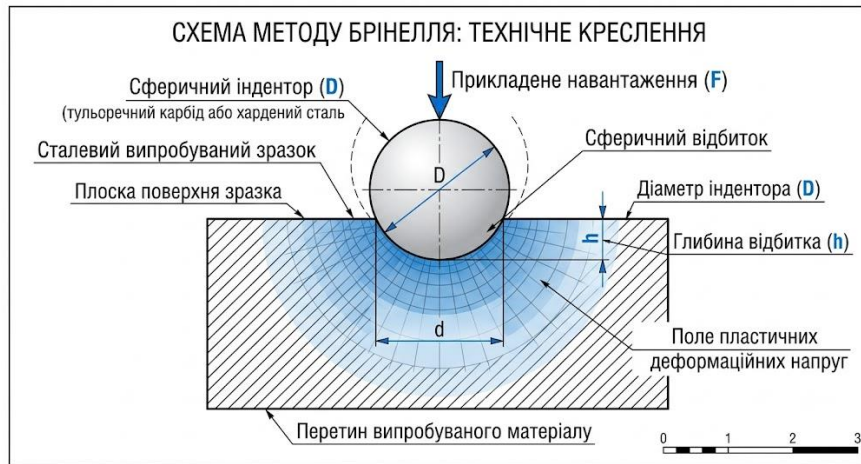
Метод Брінелля є класичним і найбільш репрезентативним для випробування сирих, відпалених, нормалізованих сталей, а також неоднорідних сплавів (таких як чавуни та кольорові метали). Як індентор використовується загартована сталева кулька (або кулька з карбиду вольфраму) діаметром D (зазвичай 10; 5 або 2,5 мм), яка втискується в плоску поверхню досліджуваного зразка під дією строго регламентованого зусилля P .

Число твердості за Брінеллем (**HB**) визначається як відношення прикладеного зусилля P (у кгс) до площі сферичної поверхні відбитка F (у мм²):

$$HB = P / F = 2P / [\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})]$$

де d — діаметр залишеного відбитка (мм), який вимірюється за допомогою спеціального відлікового мікроскопа (лупи Брінелля). Навантаження та діаметр кульки вибираються залежно від товщини зразка та очікуваної твердості з дотриманням умови геометричної подібності відбитків: $P / D^2 = K$ (де K — константа, рівна 30 для сталі, 10 для міді, 2.5 для алюмінію).

Обмеження методу: Категорично забороняється застосовувати метод Брінелля зі сталеву кулькою для загартованих сталей з твердістю понад 450 HB, оскільки сам індентор зазнає пластичної деформації, що радикально спотворює результати вимірювань. Велика площа відбитка усереднює мікроструктуру, що є ідеальним для макронеоднорідних сплавів.



1.2. Метод Роквелла (ISO 6508)

Метод Роквелла відрізняється високою експресивністю, оскільки число твердості зчитується безпосередньо зі шкали індикатора приладу (або цифрового дисплея) і не потребує вимірювання відбитка мікроскопом. Твердість за Роквеллом оцінюється не за площею відбитка, а за **різницею глибин проникнення** індентора при двох послідовних навантаженнях (попередньому та основному).

Процедура складається з етапів: 1) Прикладання попереднього навантаження $P_0 = 10$ кгс для надійного контакту і прорізання мікрошорсткостей (фіксується нульова точка); 2) Прикладання загального навантаження $P = P_0 + P_1$; 3) Зняття основного навантаження P_1 і вимірювання залишкової глибини проникнення e .

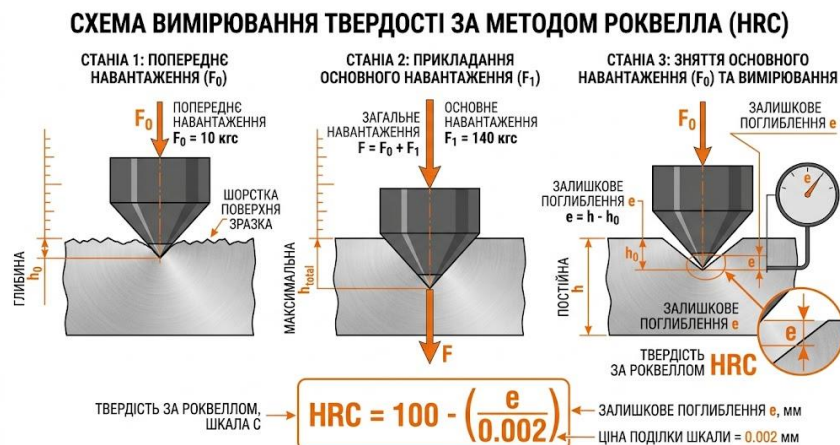
Шкала С (HRC): Індентор — алмазний конус з кутом при вершині 120° . Загальне навантаження 150 кгс.

Застосовується для загартованих і високоміцних сталей. Формула: $HRC = 100 - e / 0.002$.

Шкала В (HRB): Індентор — сталева загартована кулька $1/16"$ (1.588 мм). Загальне навантаження 100 кгс. Застосовується для м'яких (відпалених) сталей та кольорових сплавів. Формула: $HRB = 130 - e / 0.002$.

Шкала А (HRA): Індентор — алмазний конус. Загальне навантаження 60 кгс.

Застосовується для надтвердих сплавів або тонких поверхневих шарів (цементация, ціанування).



1.3. Метод Віккерса (ISO 6507)

Метод Віккерса є універсальним еталонним методом, який застосовується для вимірювання твердості деталей будь-якої товщини, тонких фольг, поверхнево-зміцнених шарів (азотування) та окремих структурних складових (мікротвердість). Індентором слугує правильна чотиригранна алмазна піраміда з кутом між протилежними гранями $\alpha = 136^\circ$. Цей кут математично узгоджений з ідеальним відбитком Брінелля ($d = 0.375D$), що дозволяє легко конвертувати шкали в діапазоні до 300 одиниць.

Після зняття навантаження P (яке може варіюватися від 1 до 120 кгс) вимірюються обидві діагоналі квадратного відбитка (d_1 та d_2) за допомогою мікроскопа. Число твердості HV визначається як відношення навантаження до площі бічної поверхні пірамідального відбитка:

$$HV = 2P \cdot \sin(\alpha/2) / d^2 \approx 1.854 \cdot P / d^2$$

де d — середнє арифметичне довжин діагоналей (мм). Метод є високоточним, але потребує ретельної підготовки поверхні (дзеркального полірування) та відсутності зовнішніх вібрацій.



2. БЛОК ТЕСТОВОГО САМОКОНТРОЛЮ (4 ТЕСТИ)

Виконайте тестові завдання для перевірки академічного засвоєння методології випробувань. Кожен тест супроводжується детальним інженерним поясненням для глибшого розуміння фізики процесів.

ТЕСТ 1: Фізичні обмеження методу Брінелля

Чому стандартний метод вимірювання твердості за Брінеллем (із застосуванням сталеві загартованої кульки) суворо заборонено використовувати для контролю якості деталей із твердістю понад 450 HB (наприклад, загартованих інструментальних сталей)?

А) На поверхні загартованої сталі неможливо залишити відбиток, оскільки вона є крихкою і одразу розсипається.

Б) Сам сталевий індентор (кулька) зазнає значної залишкової пластичної деформації (сплющується), що радикально спотворює геометрію відбитка та результати вимірювання.

В) Високе навантаження (до 3000 кгс) обов'язково призведе до наскрізного пробивання загартованої деталі.

Г) Діаметр відбитка стає настільки великим, що виходить за межі оптичного поля зору відлікового мікроскопа.

ТЕСТ 2: Кінематика методу Роквелла

У чому полягає принципова кінематична відмінність методу Роквелла від методів Брінелля та Віккерса, що робить його найшвидшим (експрес-методом) у виробничих умовах?

А) Метод Роквелла базується на безконтактному вимірюванні площі відбитка за допомогою вбудованого лазерного сканера.

Б) Динамічне (ударне) прикладання навантаження дозволяє повністю економити час на статичній витримці.

В) Твердість визначається не за площею відбитка, а за різницею глибин проникнення індентора після прикладання попереднього та основного навантажень, що дозволяє зчитувати результат безпосередньо зі шкали приладу.

Г) Використання індентора у формі правильного тетраедра значно полегшує його проникнення у тверді метали.

ТЕСТ 3: Універсальність методу Віккерса та його геометрія

Чому алмазна піраміда у методі Віккерса має строго визначений, специфічний кут між протилежними гранями $\alpha = 136^\circ$?

- А) Це природний кут розколу технічних алмазів, що суттєво здешевлює виробництво високоточних інденторів.
- Б) Такий кут забезпечує максимальну геометричну подібність відбитків Віккерса до ідеальних відбитків сфери за методом Брінелля (за умови $d = 0.375D$), що дозволяє корелювати шкали **HB** та **HV**.
- В) За такого кута площа бічної поверхні піраміди математично точно дорівнює її об'єму.
- Г) Цей кут запобігає розтріскуванню особливо крихких матеріалів (наприклад, білих чавунів) під час локального індентування.

ТЕСТ 4: Кореляційна залежність твердості та міцності

Під час експертної оцінки стану ділянки магістрального паропроводу (матеріал — сталь 20) інженери виміряли твердість за Брінеллем портативним твердоміром і отримали значення 150 HB. Як, знаючи це число, можна наближено оцінити границю міцності (σ_B) цієї сталі при розтягненні?

- А) Помножити число HB на емпіричний коефіцієнт 0.34 (результат у МПа).
- Б) Розділити число HB на площу поперечного перерізу сталевих труби.
- В) Твердість і границя міцності на розтягнення є абсолютно незалежними фізичними величинами, будь-яка математична кореляція неможлива.
- Г) Помножити число HB на коефіцієнт 10, що відповідає прискоренню вільного падіння.

Тема СРС 1.3: Теорія сплавів. Аналіз мікроструктурних складових залізо-вуглецевих сплавів та їхньої поведінки під час фазових перетворень.

Обсяг часу: 4 академічні години | **Максимальна оцінка:** 2 бали (1 тест – 0.5 бали)

МЕТА САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ: Академічне опанування фундаментальних засад теорії сплавів.

Формування стійких навичок читання та аналізу діаграми стану залізо-вуглецевих сплавів (Fe-Fe₃C).

Здобуття здатності ідентифікувати фази та структурні складові (ферит, аустеніт, перліт, цементит, ледебурит) для науково обґрунтованого прогнозування поведінки конструкційних сталей і чавунів у високотемпературних умовах теплоенергетичного обладнання.

Політика інклюзивності (Trauma-Informed Approach): Відповідно до стандартів безбар'єрного середовища ЗПО «ДПТК», виконання завдань не потребує жорсткого публічного захисту. Ветерани, військовослужбовці та особи, які проходять реабілітацію, мають право подати розв'язані тести, інженерні задачі та мікроструктурні альбоми асинхронно через систему електронного навчання (LMS Moodle/Google Classroom).

1. АКАДЕМІЧНИЙ ТЕОРЕТИЧНИЙ БАЗИС: ТЕОРІЯ СПЛАВІВ ТА ДІАГРАМА Fe-Fe₃C

1.1. Базові поняття: Компоненти, фази, правило Гіббса

Для глибокого розуміння природи металевих матеріалів необхідно розрізняти три фундаментальні поняття теорії сплавів: **Компоненти:** Хімічні елементи (або стабільні хімічні сполуки), що утворюють сплав. У системі залізо- вуглець компонентами є залізо (**Fe**) та вуглець (**C**), який найчастіше виступає у формі карбиду заліза — цементиту (**Fe₃C**).

Фаза: Однорідна частина сплаву, що має однаковий хімічний склад, кристалічну ґратку та агрегатний стан, і відділена від інших частин фізичною поверхнею поділу. Фазами в металах є тверді розчини та хімічні сполуки.

Структурна складова: Відокремлена частина мікроструктури, яка може складатися з однієї фази або бути механічною сумішшю кількох фаз (наприклад, перліт — це суміш фериту і цементиту).

Рівноважний стан сплавів підкоряється **правилу фаз Гіббса**, яке визначає кількість ступенів свободи (**C**) системи: $C = K - F + 1$, де **K** — кількість компонентів, **F** — кількість фаз, **1** — враховує зміну лише температури (тиск вважається постійним).

1.2. Фази та структурні складові системи Fe-Fe₃C

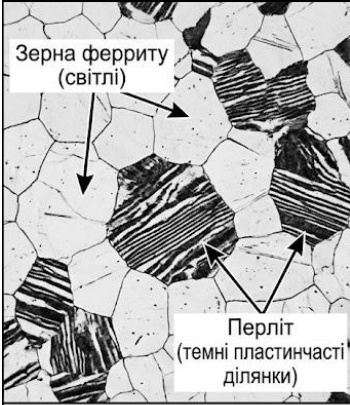
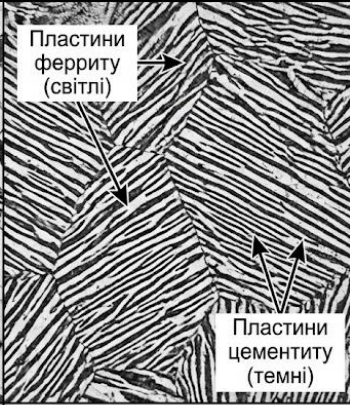
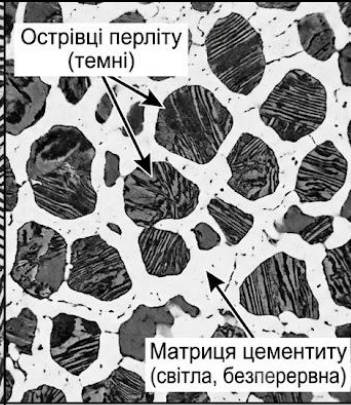
Залізо-вуглецеві сплави (сталі та чавуни) є основою теплоенергетики. Їхні макроскопічні властивості безпосередньо залежать від співвідношення наступних фаз та структурних складових: **Ферит (Ф, α-фаза):** Твердий розчин впровадження вуглецю в **α-Fe** (ОЦК ґратка). Розчинність вуглецю мізерна (до 0.02% при 727°C). Характеризується високою пластичністю, магнітними властивостями та низькою міцністю.

Аустеніт (А, γ-фаза): Твердий розчин вуглецю в **γ-Fe** (ГЦК ґратка). Існує в простих вуглецевих сталях лише при температурах вище 727°C (до 1492°C). Здатен розчинити до 2.14% вуглецю. Є надзвичайно пластичним, що дозволяє виконувати гарячу прокатку та кування. Аустенітна матриця є основою найкращих жароміцних сталей.

Цементит (Ц, Fe₃C): Хімічна сполука, карбід заліза. Містить 6.67% вуглецю. Має надзвичайно високу твердість (близько 800 НВ) і нульову пластичність. Саме цементит надає сталі та білому чавуну твердість і крихкість.

Перліт (П): Евтектоїдна механічна суміш фериту і цементиту. Утворюється з аустеніту при охолодженні нижче 727°C (точка **A1**). Має пластинчасту або зернисту будову. Оптимально поєднує міцність і пластичність. Містить 0.8% вуглецю.

Ледебурит (Л): Евтектична суміш аустеніту (а при кімнатній температурі — перліту) та первинного цементиту. Містить 4.3% вуглецю. Є основною структурною складовою білих чавунів, забезпечує високу стійкість до зношування, але високу крихкість.

МІКРОСТРУКТУРИ СТАЛІ ТА ЧАВУНУ		
Панель 1: "Феррит + Перліт" (Довектоїдна сталь)	Панель 2: "100% Перліт" (Евектоїдна сталь)	Панель 3: "Ледебурит" (Білий чавун)
		
Довектоїдна сталь, ~0.3% C	Евектоїдна сталь, 0.8% C	Білий чавун, евтектична структура (Ледебурит I)

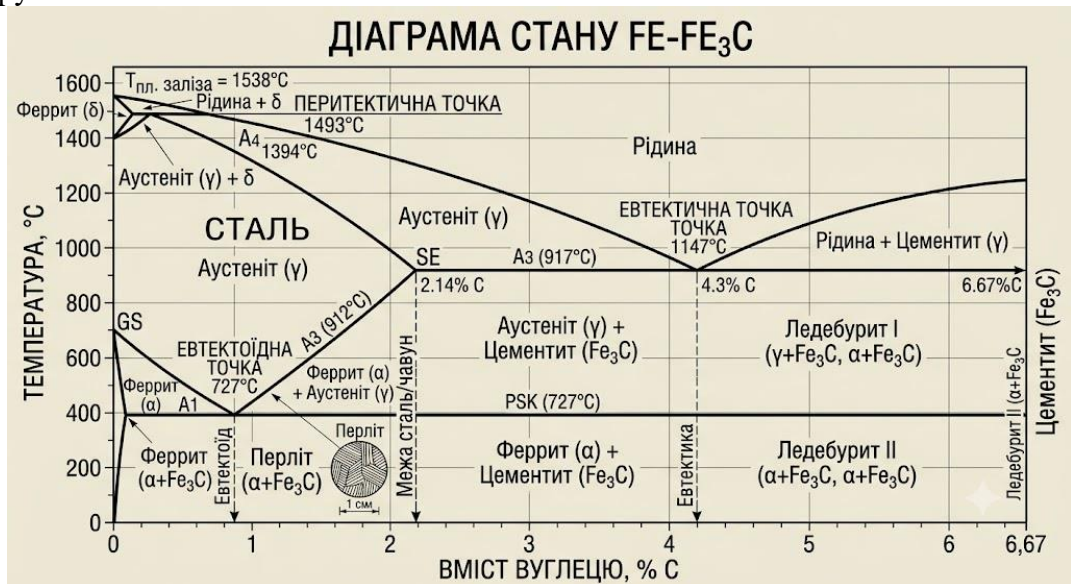
1.3. Фазові перетворення під час охолодження

Діаграма стану Fe-Fe₃C відображає температурні та концентраційні межі існування фаз.

Найважливіші лінії діаграми:

- **Лінія PSK (727°C):** Лінія евектоїдного перетворення (**A1**). Нижче цієї лінії аустеніт існувати не може і повністю розпадається на перліт: $A \rightarrow \Phi + C$.
- **Лінія GS:** Лінія початку виділення фериту з аустеніту при охолодженні доовектоїдних сталей (точка **A3**).
- **Лінія SE:** Лінія початку виділення вторинного цементиту з аустеніту в заевектоїдних сталях (точка **Acm**).

Цей процес утворює крихку цементитну сітку по межах зерен, що є фатальним для інструментальних сталей.



2. БЛОК ТЕСТОВОГО САМОКОНТРОЛЮ (4 ТЕСТИ)

Виконайте тестові завдання для перевірки академічного розуміння мікроструктурних процесів. Кожен тест містить розгорнуте інженерне пояснення правильної відповіді.

ТЕСТ 1: Кристалічна основа жароміцності

Яка структурна складова залізо-вуглецевих сплавів являє собою твердий розчин вуглецю в гранецентрованій кубічній (ГЦК) ґратці заліза і слугує матрицею для більшості корозійностійких і жароміцних сталей теплоенергетики?

- Ферит.
- Аустеніт.
- Цементит.
- Ледебурит.

ТЕСТ 2: Аналіз твердості та крихкості

Яка фаза системи Fe-C є хімічною сполукою і виступає головним концентратором напружень та носієм високої твердості у вуглецевих сталях і білих чавунах?

- А) Аустеніт.
- Б) Перліт.
- В) Ферит.
- Г) Цементит.

ТЕСТ 3: Термодинаміка за правилом фаз Гіббса

На лінії евтектоїдного перетворення PSK (727°C) аустеніт (вміст вуглецю 0.8%) розпадається на суміш фериту і цементиту. Яка кількість ступенів свободи (C) згідно з правилом фаз Гіббса у цей момент, якщо сплав складається з 2 компонентів (Fe і C), а тиск постійний?

- А) $C = 2$.
- Б) $C = 1$.
- В) $C = 0$ (нонваріантна система).
- Г) $C = -1$.

ТЕСТ 4: Структурні складові чавунів

Яка структурна складова, що кристалізується безпосередньо з рідкого розплаву при 1147°C (на лінії ECF), є відмінною рисою білих чавунів і відсутня у звичайних вуглецевих сталях?

- А) Перліт.
- Б) Ледебурит.
- В) Вторинний цементит.
- Г) Аустеніт.

Документ містить ознайомчий фрагмент (стор. 1–10). Повна версія доступна в електронній бібліотеці закладу після входу в особистий кабінет студента