



ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора з навчально-методичної роботи
ЗНЧО «Дніпровський професійний технологічний
коледж»

Сергій ГОРДІЄНКО

«08» серпня 2026 р.

МЕТОДИЧНІ РОЗРОБКИ ДО ВИКОНАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ (СРС) З ДИСЦИПЛІНИ «Матеріалознавство та термічна обробка металів і зварних з'єднань»

САМОСТІЙНА РОБОТА СЛУХАЧА (СРС) № 1.1 Тема: Опрацювання ДСТУ щодо методів механічних випробувань. Підготовка звітів. Трудомісткість (обсяг годин): 10 академічних годин. Форма контролю: Захист індивідуального аналітичного звіту (портфолію) та тестування в системі LMS.

1. МЕТОДОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА МЕТА РОБОТИ Мета: Набуття навичок автономної інженерно-дослідницької роботи з нормативно-технічною документацією (національними стандартами ДСТУ, гармонізованими з міжнародними нормами ISO та EN). Формування здатності самостійно інтерпретувати методики механічних випробувань металів (на розтяг, твердість та ударний згин), здійснювати конвертацію одиниць вимірювання та обробляти емпіричні дані для складання фахових технічних звітів щодо якості зварних конструкцій та основного металу.

Формовані компетентності:

Здатність застосовувати фундаментальні закони опору матеріалів (Огородніков В.А., Шпачук В.П.) для аналізу напружено-деформованого стану.

Здатність обирати валідні методи неруйнівного та руйнівного контролю для оцінки зони термічного впливу (ЗТВ) зварних з'єднань.

Здатність формувати технічну документацію згідно з вимогами систем управління якістю інжинірингових компаній.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ БЛОК: НОРМАТИВНА БАЗА ТА МЕТОДОЛОГІЯ ВИПРОБУВАНЬ
Механічні властивості — це характеристики, що визначають здатність матеріалу чинити опір деформації та руйнуванню під дією зовнішніх механічних навантажень. В інженерній практиці для гарантування безпеки конструкцій будь-яке випробування має бути суворо стандартизованим.

2.1. Випробування на статичний розтяг (ДСТУ EN ISO 6892-1) Випробування на розтяг є фундаментальним методом отримання базових розрахункових характеристик міцності та пластичності. Згідно зі стандартом, випробуванням піддають пропорційні циліндричні або плоскі зразки. Початкова розрахункова довжина зразка l_0 пов'язана з його початковою площею поперечного перерізу A_0 суворим співвідношенням:

$$l_0 = 5,65 \sqrt{A_0}$$

Під час плавного розтягування зразка на розривній машині фіксується діаграма в координатах «Навантаження (F) – Видовження (Δl)», на основі якої розраховують:

Границю плинності (σ_T) — напруження, при якому відбувається пластична деформація без збільшення навантаження.

Границю міцності або тимчасовий опір (σ_B) — максимальне умовне напруження, яке витримує зразок до руйнування:

$$\sigma_B = F_{\max} / A_0 \text{ (МПа)}$$

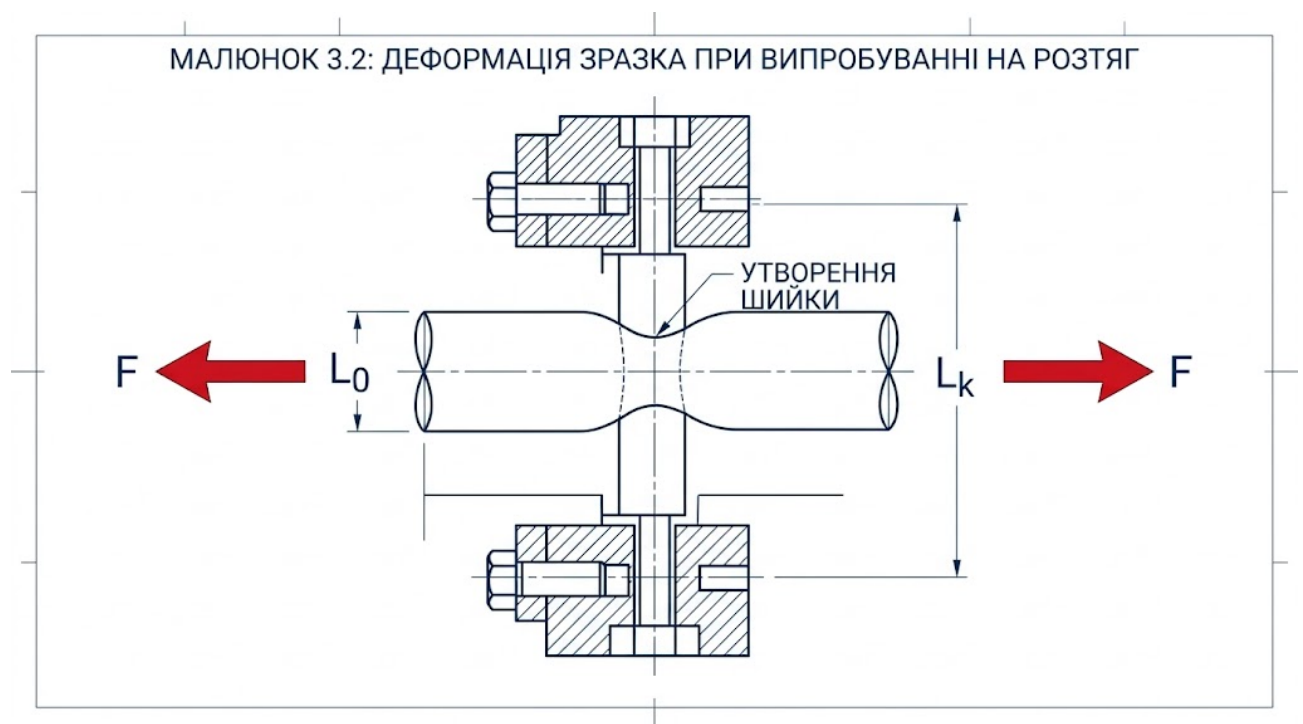
Відносне видовження після розриву (δ) — характеристика пластичності:

$$\delta = (l_k - l_0) / l_0 \cdot 100\%$$

Відносне звуження після розриву (ψ):

$$\psi = (A_0 - A_k) / A_0 \cdot 100\%$$

де A_k — площа поперечного перерізу зразка в місці розриву («шийці»).



2.2. Визначення твердості металів Твердість — це здатність матеріалу чинити опір пружній та пластичній деформації або руйнуванню при втисненні в його поверхню жорсткішого тіла (індентора). Випробування на твердість є найпоширенішим у виробництві (особливо при термообробці), оскільки воно є неруйнівним і не вимагає виготовлення складних зразків.

А) Метод Брінелля (ДСТУ ISO 6506-1) В якості індентора використовується твердосплавна кулька діаметром D (10; 5; 2,5 або 1 мм), яка втискується в поверхню із зусиллям F . Твердість за Брінеллем (HBW) розраховується як відношення зусилля до площі поверхні отриманого сферичного відбитка діаметром d :

$$HBW = 2F / (\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2}))$$

Обмеження: Метод не застосовується для сталей з твердістю вище 450 HB, оскільки кулька сама почне деформуватися, що спотворить результати. Метод ідеальний для сирих сталей, чавунів, кольорових металів.

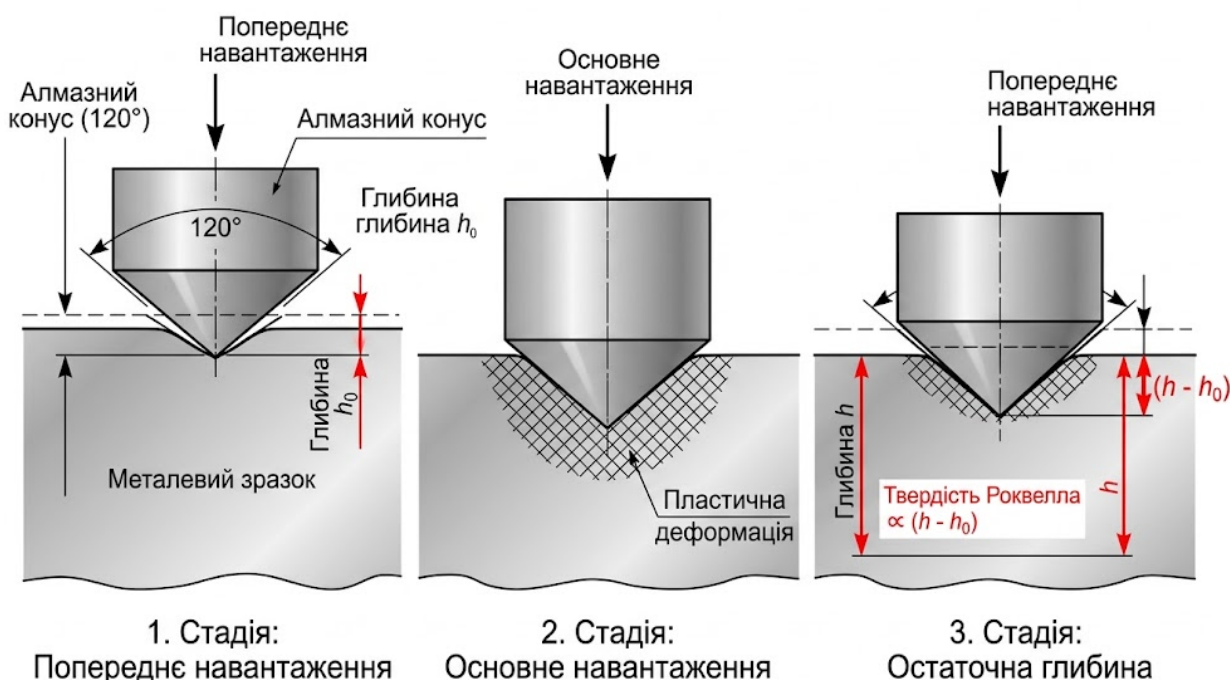
Б) Метод Роквелла (ДСТУ EN ISO 6508-1) Найбільш експресний метод. На відміну від Брінелля, тут вимірюють не площу відбитка, а глибину проникнення індентора (h).

Шкала HRC (Конус): Використовується алмазний конус з кутом при вершині 120° . Загальне навантаження 1470 Н (150 кгс). Застосовується для загартованих сталей.

$$HRC = 100 - (h - h_0) / 0,002$$

Шкала HRA (Конус): Навантаження 588 Н (60 кгс). Для надтвердих матеріалів (тверді сплави) та тонких поверхневих шарів (цементация, азотування).

Шкала HRB (Кулька): Використовується сталева кулька 1/16 дюйма. Навантаження 980 Н (100 кгс). Для м'яких металів.



В) Метод Віккерса (ДСТУ EN ISO 6507-1) Індентором є правильна чотиригранна алмазна піраміда з кутом при вершині 136° . Твердість обчислюється як відношення зусилля F до площі бічної поверхні пірамідального відбитка, діагональ якого d вимірюється за допомогою мікроскопа.

$$HV = 0,1891 \cdot F / d^2$$

Переваги: Метод дозволяє вимірювати твердість як масивних деталей, так і мікротвердість окремих структурних складових (наприклад, зерен мартенситу в зоні термічного впливу зварного шва), оскільки навантаження може варіюватися від кількох грамів до 100 кг.

2.3. Випробування на ударний згин (ДСТУ EN ISO 148-1) Динамічні випробування дозволяють оцінити ударну в'язкість — здатність металу поглинати механічну енергію при пластичній деформації і руйнуванні під дією ударного навантаження. Це критично важливо для виявлення порогу холодноламкості металів з ОЦК ґраткою.

Випробування проводять на маятниковому копрі (типу Шарпі) на зразках квадратного перерізу (10x10 мм) з надрізом. За формою надрізу розрізняють:

KCU — зразок з U-подібним надрізом (радіус дна 1 мм).

KCV — зразок з V-подібним надрізом (кут 45°, радіус дна 0,25 мм) — створює жорсткіший концентратор напружень.

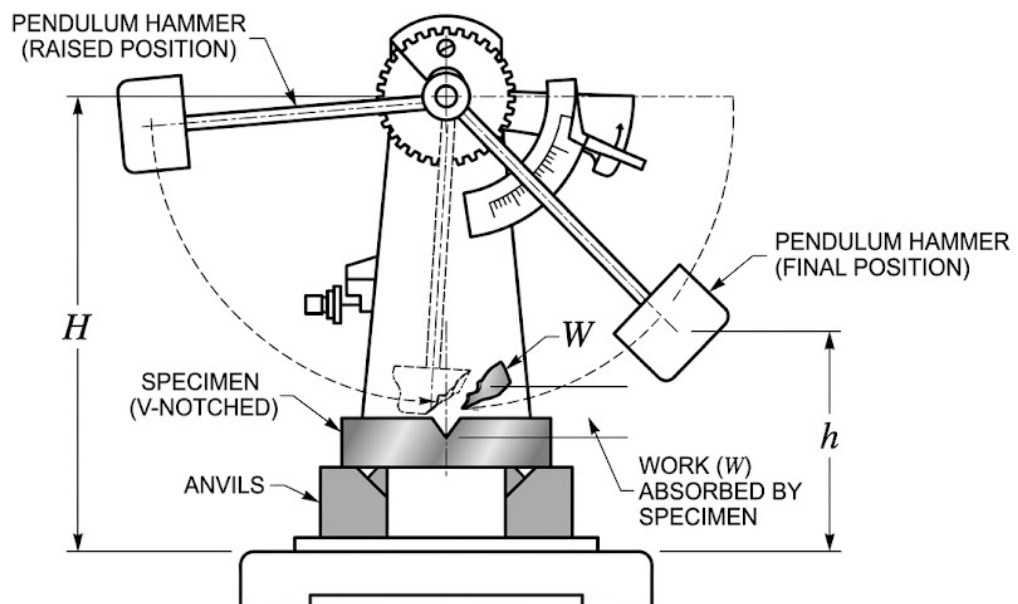
Ударна в'язкість (КС) розраховується як відношення роботи руйнування W (в Джоулях) до площі поперечного перерізу зразка в місці надрізу A (в см²):

$$КС = W/A = (m \cdot g \cdot (H - h)) / A \quad (\text{Дж/см}^2)$$

де H та h — висота підйому маятника до і після розриву зразка відповідно.



Схема 3. Маятниковий копер Шарпі



3. ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ (ПРАКТИЧНИЙ АНАЛІТИЧНИЙ ЗВІТ) Завдання: Ви — інженер-металознавець. На експертизу надійшли результати механічних випробувань сталевих деталей зварного вузла. Ваше завдання — обробити емпіричні дані згідно з вимогами ДСТУ, розрахувати фізико-механічні параметри, визначити твердість і зробити висновок щодо якості матеріалу. Робота виконується згідно з індивідуальним варіантом (остання цифра залікової книжки). Звіт оформлюється у форматі технологічної записки (PDF або письмова робота).

Вихідні дані за варіантами: (Для всіх варіантів початкова розрахункова довжина зразка для розтягу $l_0 = 50$ мм. Випробування на Брінелля проводилося кулькою D=10 мм).

Вар.	d0 (мм)	Макс. зусилля розриву Fmax (кН)	Кінцева довжина lk (мм)	Діаметр відбитка Брінелля d (мм) при навантаженні F=29430 Н	Робота руйнування Шарпі W (Дж) для зразка 10x10 мм (V-надріз 2
------	------------	---	-------------------------------	--	--

					мм)
1	10	45	62,5	4,1	75
2	10	52	58	3,8	60
3	12	75	55	3,5	45
4	12	82	60	4,2	80
5	14	110	56	3,4	40
6	14	95	65	4,5	95
7	10	60	53	3,2	35
8	12	68	64	4,8	110
9	14	125	54	3	25
10	10	38	66	4,6	120

Алгоритм виконання звіту (Що необхідно розрахувати):

1. Розрахунок міцності: Визначити початкову площу $A_0 = (\pi d_0^2)/4$ (мм²).

Обчислити границю міцності $\sigma_B = F_{\max}/A_0$ у МПа.

2. Розрахунок пластичності: Визначити відносне видовження після розриву $\delta = (l_k - 50)/50 \cdot 100\%$.
3. Розрахунок твердості: За формулою Брінелля розрахувати значення твердості (HBW).
4. Оцінка ударної в'язкості: Визначити робочу площу перерізу зразка Шарпі з надрізом глибиною 2 мм ($A = 10 \text{ мм} \times (10 - 2) \text{ мм} = 80 \text{ мм}^2 = 0,8 \text{ см}^2$). Розрахувати KCV = 0,8 W (Дж/см²).

Висновки: На основі комплексу властивостей проаналізувати матеріал: він є пластичним чи крихким? Чи можна його використовувати для зварних конструкцій, що працюють на динамічний удар?

4. БЛОК САМОКОНТРОЛЮ (ТЕСТУВАННЯ) Слухач зобов'язаний відповісти на тестові питання та додати відповіді у фінальний звіт.

Тест 1. Яка фізична відмінність між методами визначення твердості за Брінеллем (HB) та Роквеллом (HR)?

А) Брінелль вимірює діагональ алмазної піраміди, а Роквелл – діаметр кульки.

Б) За Брінеллем вимірюють площу відбитка, а за Роквеллом – глибину проникнення індентора.

В) Брінелль використовується виключно для загартованих сталей, а Роквелл – для м'яких кольорових металів.

Г) Відмінностей немає, це різні назви одного стандарту ISO.

Тест 2. Що характеризує відносне видовження після розриву (δ) у випробуваннях за ДСТУ EN ISO 6892-1?

- А) Здатність металу чинити опір крихкому руйнуванню при мінусових температурах.
- Б) Граничне напруження, при якому починається плинність матеріалу.
- В) Здатність матеріалу до пластичної деформації (макроскопічну пластичність).
- Г) Рівень залишкових напружень у зварному шві після термічної обробки.

Тест 3. У технічній документації на листовий прокат вказано характеристику «KCV = 60 Дж/см²». Що означає літера «V» у цій аббревіатурі?

- А) Випробування проводилось алмазною пірамідою Віккерса.
- Б) Це маркування швидкості охолодження (Velocity) при гартуванні.
- В) Це форма надрізу на стандартному зразку для випробування на ударний згин (V-подібний надріз).
- Г) Це позначення вакуумного плавлення сталі.

Тест 4. Чому метод Брінелля (індентор — сталева або твердосплавна кулька) заборонено застосовувати для вимірювання твердості деталей із загартованої сталі з твердістю понад 450 HB?

- А) Тому що для загартованих сталей необхідне навантаження понад 10 тонн, що руйнує машину.
- Б) Тому що кулька індентора сама почне пластично деформуватися і сплющуватись, що призведе до катастрофічної похибки вимірювань.
- В) Тому що на загартованій сталі неможливо побачити відбиток у мікроскоп.
- Г) Згідно з ДСТУ, загартовані сталі взагалі не підлягають перевірці на твердість.

САМОСТІЙНА РОБОТА СЛУХАЧА (СРС) № 2 Виконання розрахунково-графічної роботи (РГР) №1: Тема: «Аналіз фазового складу залізовуглецевого сплаву та розшифрування марок легованих сталей» Трудомісткість (обсяг годин): 10 академічних годин. Форма контролю: Перевірка та асинхронний захист індивідуальної цифрової розрахунково-пояснювальної записки (портфоліо) в системі LMS Moodle / Google Classroom.

1. МЕТОДОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА МЕТА РОБОТИ Мета: Трансформація теоретичних знань з фізичної хімії та термодинаміки металів у прикладні інженерні навички. Робота спрямована на формування здатності аналізувати найважливішу для машинобудування діаграму стану «Залізо-Вуглець» (Fe–C), виконувати розрахунок кількісного співвідношення фаз за допомогою «правила відрізків» та вільно орієнтуватися у державній (ДСТУ) і європейській (EN) системах маркування конструкційних та легованих сталей.

Інклюзивність та Trauma-Informed Approach: З огляду на необхідність створення психологічно безпечного середовища, захист РГР не вимагає стресового публічного виступу біля дошки. Слухачі (зокрема ветерани, особи, які поєднують навчання з роботою) виконують графічні побудови на міліметровому папері, оцифровують їх (сканують/фотографують) і разом із розрахунками завантажують у вигляді єдиного PDF-звіту в систему електронного навчання для асинхронної перевірки викладачем.

Формовані компетентності:

Здатність прогнозувати структурні перетворення в зоні термічного впливу (ЗТВ) зварних з'єднань на основі діаграми стану Fe–C.

Здатність здійснювати інженерний вибір марок матеріалів для металоконструкцій за їхнім хімічним складом та механічними властивостями.

2. ТЕОРЕТИЧНИЙ БЛОК: ДІАГРАМА Fe-C ТА ПРАВИЛО ВІДРІЗКІВ Діаграма стану залізо-вуглець (Fe–C) є графічним відображенням фазового і структурного складу сплавів заліза з вуглецем (сталей та чавунів) залежно від температури та концентрації вуглецю в умовах термодинамічної рівноваги.

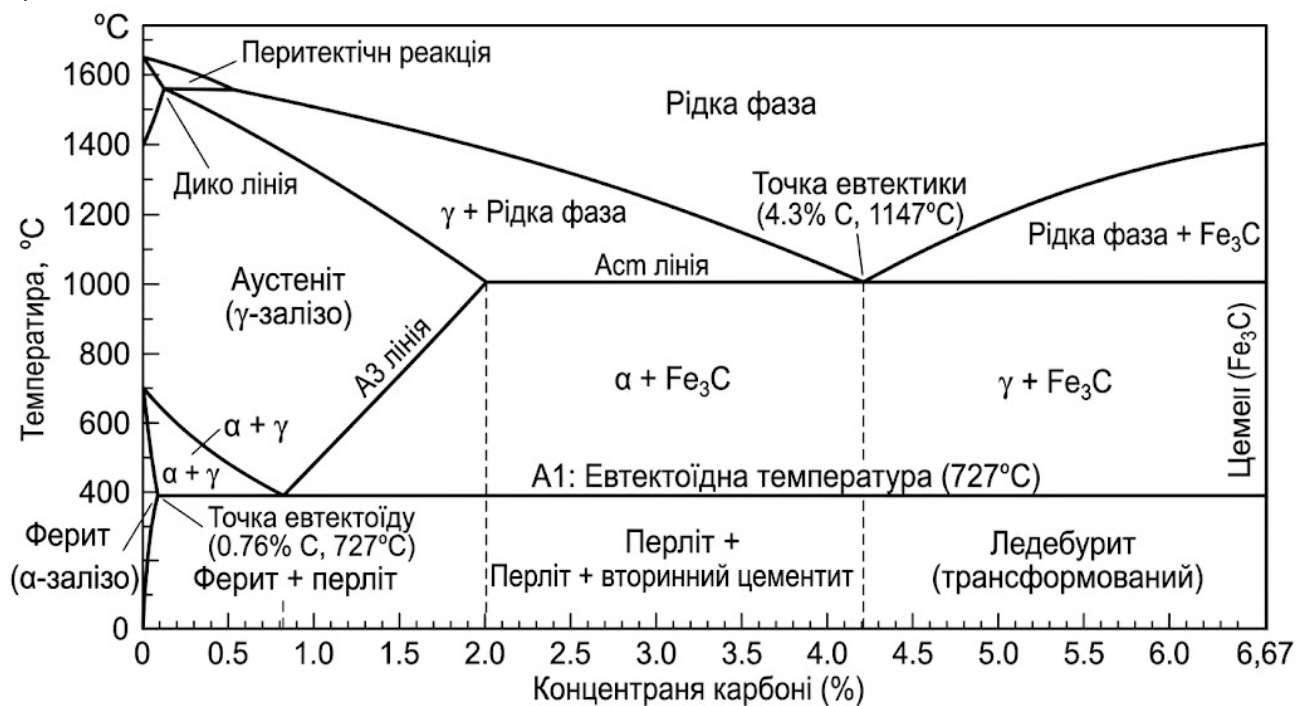
2.1. Основні фази та структурні складові Ферит (Ф) — твердий розчин втілення вуглецю в α -залізі (ОЦК ґратка). Максимальна розчинність вуглецю дуже мала — 0,02% при 727°C. Ферит дуже м'який і високопластичний.

Аустеніт (А) — твердий розчин втілення вуглецю в γ -залізі (ГЦК ґратка). Максимальна розчинність вуглецю — 2,14% при 1147°C. Аустеніт пластичний, немагнітний, існує переважно при високих температурах (або при кімнатній у високолегованих нержавіючих сталях).

Цементит (Ц) — хімічна сполука заліза з вуглецем — карбід заліза (Fe_3C). Містить 6,67% вуглецю. Дуже тверда (близько 800 HB) і абсолютно крихка фаза.

Перліт (П) — евтектоїдна механічна суміш фериту і цементиту, що утворюється з аустеніту при 727°C (точка S). Містить 0,8% вуглецю. Має високу міцність.

Ледебурит (Л) — евтектична суміш аустеніту і цементиту, що кристалізується з рідини при 1147°C. Характерна для чавунів.



2.2. Застосування «Правила відрізків» (Правила важеля) Правило відрізків є наслідком закону збереження маси і дозволяє для будь-якої точки у двофазній області діаграми стану визначити:

Хімічний склад кожної з двох фаз (за проєкціями на вісь концентрацій).

Кількісне (масове) співвідношення цих фаз.

Математичний алгоритм правила відрізків: Якщо сплав масою M із загальною концентрацією вуглецю C_0 знаходиться при заданій температурі T у двофазній зоні (наприклад, $\alpha + \gamma$):

Через задану точку (назвемо її точкою сплаву O) проводимо горизонтальну лінію (коноду) до перетину з лініями діаграми, що обмежують цю двофазну область.

Точки перетину (назвемо їх a та b) опускаємо на вісь абсцис, щоб визначити концентрацію вуглецю в кожній з фаз (C_α та C_γ).

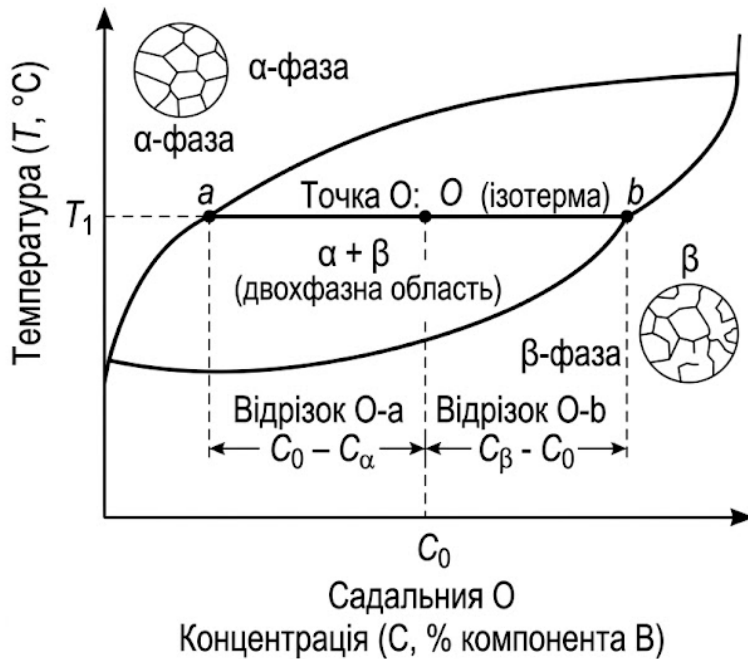
Кількість (масова частка) фази обернено пропорційна довжині прилеглого до неї відрізка коноди. Точка O виступає як точка опори важеля.

Формули для розрахунку масової частки фаз (Q):

$$Q_{\alpha \text{ (фериту)}} = \frac{\text{відрізок } Ob}{\text{відрізок } ab} \cdot 100\% = \frac{C_{\gamma} - C_0}{C_{\gamma} - C_{\alpha}} \cdot 100\%$$

$$Q_{\gamma \text{ (аустеніту)}} = \frac{\text{відрізок } aO}{\text{відрізок } ab} \cdot 100\% = \frac{C_0 - C_{\alpha}}{C_{\gamma} - C_{\alpha}} \cdot 100\%$$

СХЕМА 2. ПРАВИЛО ВІДРІЗКІВ (lever rule)



Точка O: Складнь фази α (C_α)

Відносна кількість фази α (W_α) =

$$\left(\frac{\text{Відрізок O-b}}{\text{Відрізок a-b}} \right) \times 100\% =$$

$$= \frac{C_\beta - C_0}{C_\beta - C_\alpha} \times 100\%$$

Відносна кількість фази β (W_β) =

$$\left(\frac{\text{Відрізок O-a}}{\text{Відрізок a-b}} \right) \times 100\% =$$

$$= \frac{C_0 - C_\alpha}{C_\beta - C_\alpha} \times 100\%$$

Де $O-a + O-b = a-b$ (загальна tie-line)
і $W_\alpha + W_\beta = 100\%$

2.3. Принципи маркування сталей за ДСТУ Вуглецеві сталі звичайної якості (ДСТУ 2651:2005): Позначаються літерами «Ст» і цифрою від 0 до 6 (умовний номер марки). Наприклад: Ст3сп (сталь звичайної якості, №3, спокійна).

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