



ПІДПИСАНО

заступник директора з навчально-методичної роботи
ЗНТ «Дніпровський професійний технологічний
коледж»

Сергій ГОРДІЄНКО

«28» серпня 2026 р.

МЕТОДИЧНА РОЗРОБКА ДОСАМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СЛУХАЧА

(СРС №1)

ТЕМА: ОПРАЦЮВАННЯ НОРМАТИВНОЇ ЛІТЕРАТУРИ (ДСТУ) ЩОДО МЕТОДІВ ВИПРОБУВАННЯ МЕТАЛІВ НА РОЗТЯГ ТА ТВЕРДІСТЬ (ЗА БРІНЕЛЛЕМ, РОКВЕЛЛОМ, ВІККЕРСОМ).

Обсяг годин на виконання: 4 академічні години.

1. Мета та завдання самостійної роботи

Навчальна та когнітивна мета: Поглибити та закріпити теоретичні знання щодо механічних властивостей конструкційних матеріалів. Опанувати методологію роботи з нормативно-технічною документацією (ДСТУ, EN, ISO). Зрозуміти фізичну сутність та математичний апарат методів випробування на розтяг та твердість, а також критерії застосування шкал Брінелля, Роквелла та Віккерса для різних типів сталей і сплавів.

Практична (фахова) мета: Сформувати навички автономного інженерного пошуку та аналізу технічної інформації. Здобувач повинен вільно оперувати стандартизованими характеристиками міцності та твердості для забезпечення контролю якості металопродукції та деталей машин на базі підприємств-партнерів (ТОВ "Інтерпайп", ТОВ "Аксор індастрі", ТОВ "ДАЗ", ПП "Висотпромсервіс", ТОВ "Альтстрім", ТОВ "НВП РІЧ") [cite: 3].

Адаптаційна та соціально-психологічна мета (Trauma-Informed Approach): Організація самостійної роботи (СРС) базується на принципах інклюзивності та педагогіки, обізнаної з травмою. Завдання побудовані за гнучким, асинхронним графіком виконання, що дозволяє ветеранам, військовослужбовцям та особам, які проходять медико-психологічну реабілітацію, виконувати роботу у комфортному темпі. Дослідження дефектів та меж руйнування металу викладається виключно сухою аналітичною мовою, запобігаючи використанню емоційно-напружених асоціацій.

2. Теоретико-методологічний базис для опрацювання

Конструкційні та інструментальні матеріали в процесі експлуатації зазнають різноманітних механічних навантажень. Для гарантування надійності машин (відповідно до вимог СК 2 [cite: 3]), інженер-технолог повинен достеменно знати, як матеріал чинить опір деформації та руйнуванню. Ці показники регламентуються жорсткими державними та міжнародними стандартами.

2.1. Метод випробування металів на розтяг (ДСТУ EN ISO 6892-1)

Випробування на розтяг є базовим методом визначення фундаментальних механічних характеристик металу: міцності та пластичності. Згідно з ДСТУ, для випробувань виготовляють стандартні циліндричні або плоскі зразки з чітко визначеною початковою розрахунковою довжиною (l_0) та початковою площею поперечного перерізу (F_0).

Зразок закріплюють у захватах розривної машини і плавно деформують осьовою силою P , що безперервно зростає, аж до фізичного розділення зразка на дві частини (розриву).

Машина автоматично будує первинну діаграму розтягування в координатах "Навантаження (P) – Абсолютне видовження (Δl)".

Для інженерних розрахунків цю діаграму перераховують у діаграму умовних напружень: нормальне напруження $\sigma = P / F_0$ (МПа) залежно від відносної деформації $\varepsilon = \Delta l / l_0$.

Головні стандартизовані характеристики, які визначаються при розтягу: Границя пропорційності ($\sigma_{пц}$): Найбільше напруження, до якого зберігається лінійна залежність між навантаженням і деформацією (виконується закон Гука).

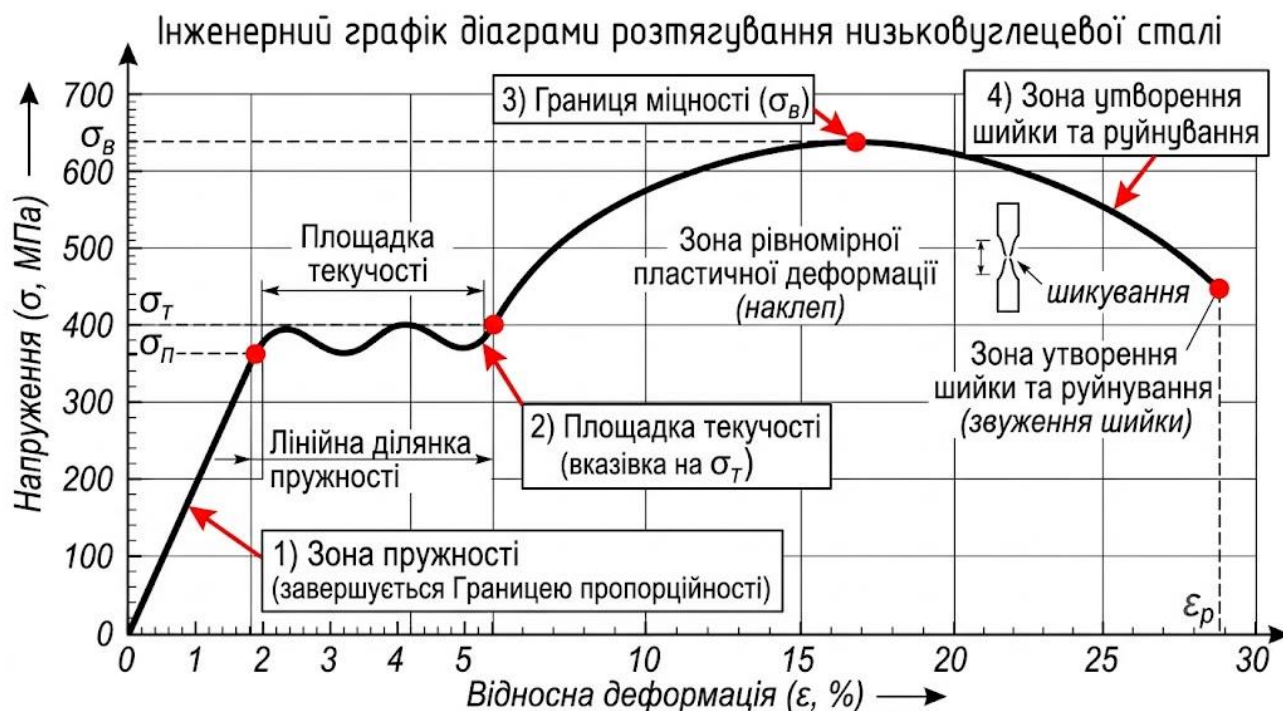
Границя пружності ($\sigma_{0.05}$): Найбільше напруження, до якого деформація залишається суто пружною (залишкова пластична деформація після зняття навантаження не перевищує 0.05%).

Границя текучості (фізична σ_T або умовна $\sigma_{0.2}$): Напруження, при якому відбувається пластична деформація (течія металу) без помітного збільшення навантаження. Це найважливіший параметр для розрахунку деталей на міцність, оскільки залишкові деформації в машинобудуванні неприпустимі.

Границя міцності (Тимчасовий опір, σ_B): Максимальне напруження, яке витримує зразок до руйнування. Визначається як відношення максимальної сили P_{max} до початкової площі F_0 . У цей момент на зразку утворюється локальне звуження ("шийка").

Відносне видовження після розриву (δ , %): Характеристика пластичності. $\delta = [(l_k - l_0) / l_0] \cdot 100\%$, де l_k — кінцева довжина розірваного зразка після складання його половин.

Відносне звуження після розриву (ψ , %): Більш точний показник пластичності. $\psi = [(F_0 - F_k) / F_0] \cdot 100\%$, де F_k — мінімальна площа поперечного перерізу в місці розриву (шийці).



2.2. Методи випробування на твердість

Твердість — це здатність матеріалу чинити опір місцевій пластичній деформації при втискуванні в його поверхню іншого, більш твердого тіла (індентора), що не деформується. Вимірювання твердості є наймасовішим експрес-методом неруйнівного контролю в металургії та термічних цехах, оскільки воно дозволяє без розриву деталі оцінити її міцність та перевірити правильність проведеної термообробки [cite: 3].

2.2.1. Метод Брінелля (ДСТУ ISO 6506)

У поверхню випробовуваного металу втискують сталеву загартовану кульку (або кульку з карбиду вольфраму для більш твердих металів) діаметром D (10; 5; 2.5 мм) під дією строго регламентованого навантаження P протягом певного часу. Після зняття навантаження на поверхні залишається відбиток у формі сферичної лунки діаметром d .

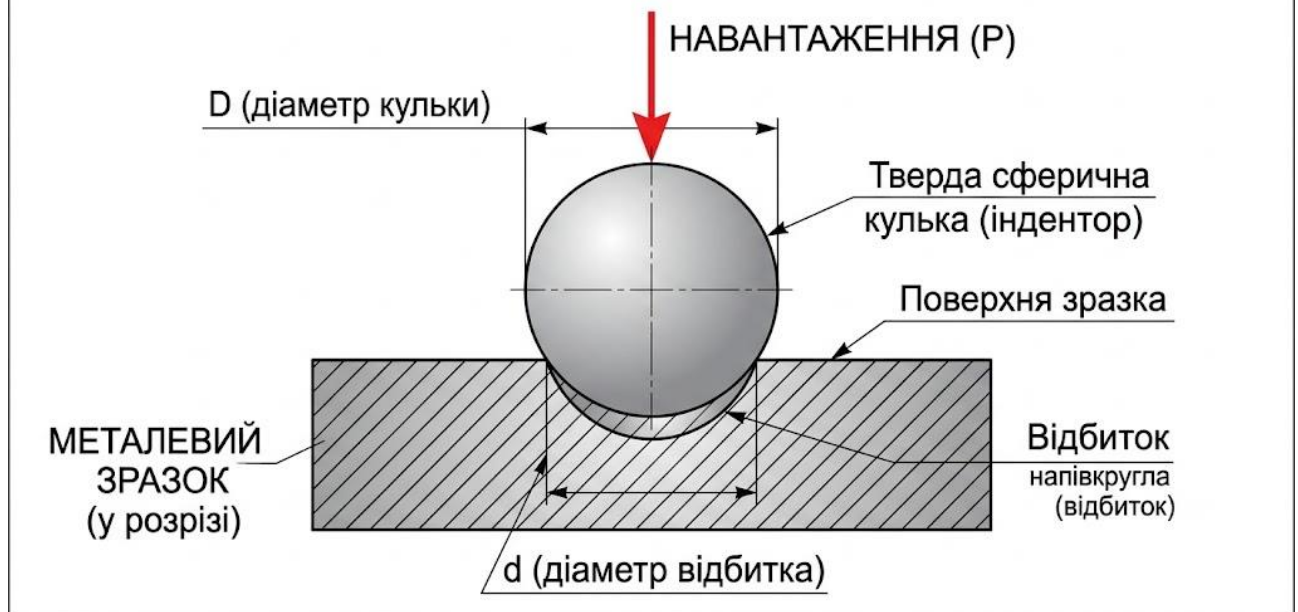
Твердість за Брінеллем (HB або HBW) розраховується як відношення навантаження P до площі поверхні отриманого сферичного відбитка F :

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

Особливості застосування: Метод Брінелля дає дуже точні, усереднені значення завдяки великій площі відбитка. Він ідеально підходить для вимірювання твердості м'яких і середньої твердості металів: відпалених сталей, чавунів, алюмінієвих та мідних сплавів [cite: 3].

Обмеження: Метод не можна застосовувати для загартованих сталей з твердістю понад 450 HB (оскільки сталева кулька сама деформується), а також для дуже тонких деталей (відбиток продавить деталь наскрізь).

СХЕМА ВИМІРЮВАННЯ ТВЕРДОСТІ ЗА МЕТОДОМ БРІНЕЛЛЯ



2.2.2. Метод Роквелла (ДСТУ ISO 6508)

Це найбільш універсальний та швидкий метод контролю в промисловості. Його принципова відмінність полягає в тому, що твердість визначається не за площею відбитка, а за **глибиною проникнення індентора** у метал.

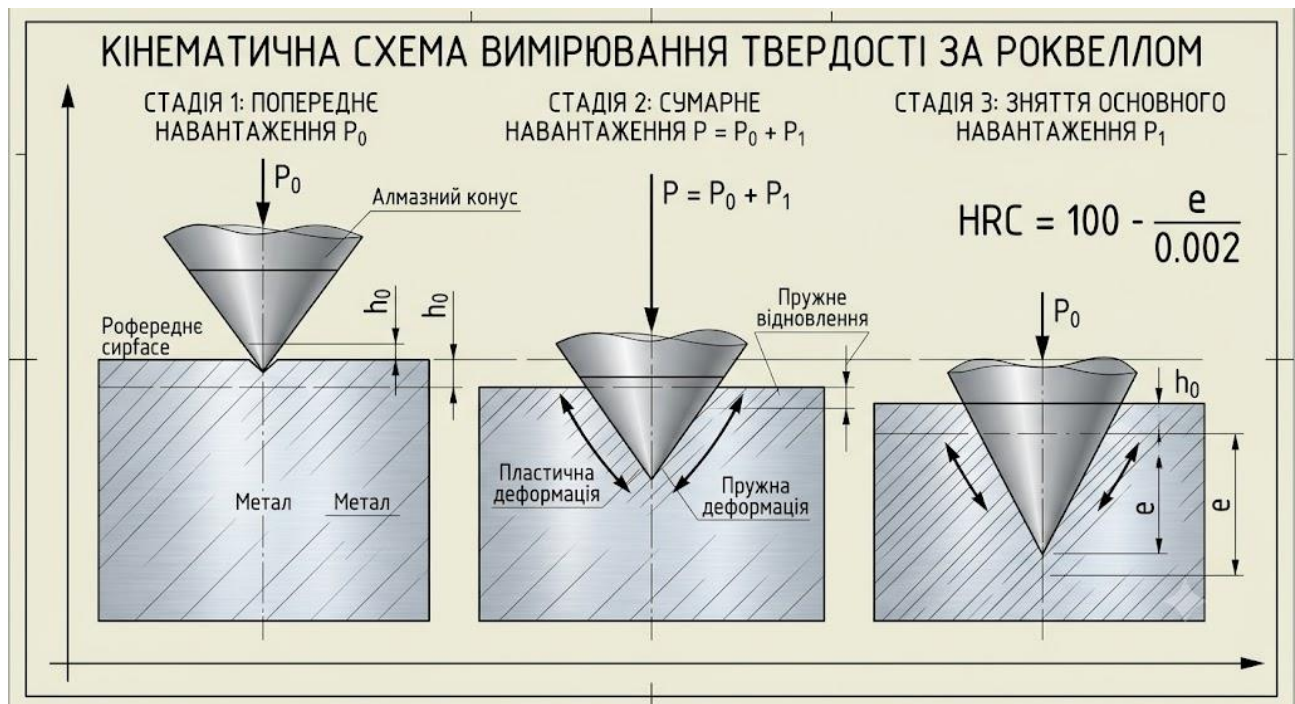
Випробування проводиться у два етапи: спочатку прикладається попереднє навантаження (10 кгс) для проколювання поверхневих забруднень, стрілка індикатора обнуляється, а потім прикладається основне (повне) навантаження. Після зняття основного навантаження прилад автоматично показує число твердості на циферблаті. Залежно від твердості металу застосовують різні індентори та навантаження (шкали): **Шкала С (HRC)**: Індентор — алмазний конус з кутом 120° . Загальне навантаження — 150 кгс.

Застосовується для дуже твердих матеріалів: загартованих сталей, інструментальних сталей, поверхнево зміцнених шарів (після цементації, СВЧ). Діапазон вимірювання: 20...67 HRC.

Шкала А (HRA): Індентор — алмазний конус (як у шкалі С), але навантаження зменшено до 60 кгс. Застосовується для екстремально твердих і крихких матеріалів (металокерамічні тверді сплави ВК, ТК, мінералокераміка), а також для дуже тонких (0.3-0.5 мм) загартованих шарів (нітроцементация). Діапазон: 70...90 HRA.

Шкала В (HRB): Індентор — сталева загартована кулька (діаметром 1.588 мм = 1/16 дюйма).

Навантаження — 100 кгс. Застосовується для м'яких металів (відпалених сталей, латуней, бронз). Значення за шкалою HRB наближено збігаються з числами HB.



2.2.3. Метод Віккерса (ДСТУ ISO 6507)

Індентором є правильна чотиригранна алмазна піраміда з кутом між протилежними гранями 136° .

Піраміда втискується в поверхню зразка під невеликими навантаженнями (від 1 до 100 кгс). Після зняття навантаження за допомогою спеціального мікроскопа, вбудованого в прилад, вимірюють обидві діагоналі квадратного відбитка (d_1 і d_2) і розраховують середнє арифметичне d .

Число твердості за Віккерсом (HV) дорівнює відношенню навантаження P до площі бічної поверхні отриманого пірамідального відбитка:

$$HV = 1.854 \cdot P / d^2 \text{ (МПа)}$$

Особливості застосування: Метод є найбільш точним і універсальним (застосовний як для дуже м'яких, так і для надтвердих матеріалів). Оскільки відбиток дуже малий, метод Віккерса є безальтернативним для вимірювання твердості мікроскопічно тонких шарів (після азотування, хромування, товщиною до 0.1 мм), тонколистового металу та визначення мікротвердості окремих структурних складових (наприклад, окремо фериту або карбиду під мікроскопом).

3. Завдання для самостійного виконання (Оформлюється у звіті)

Відповідно до програми СРС, на виконання цього блоку відводиться основна частина академічного часу [cite: 3]. Роботу необхідно оформити у вигляді структурованого звіту.

ЗАВДАННЯ 1. Порівняльний аналіз методів вимірювання твердості.

Користуючись наведеними теоретичними відомостями та довідниками ДСТУ, заповніть узагальнюючу матрицю застосування методів визначення твердості. Ця матриця є ключовим інструментом технолога на реальному виробництві.

Метод контролю	Форма та матеріал індентора	Розрахункова формула або принцип вимірювання	Галузь оптимального застосування (види матеріалів, деталей)
За Брінеллем (HB)	(Заповнити самостійно)	(Заповнити самостійно)	(Заповнити самостійно)
За Роквеллом, шкала С (HRC)	(Заповнити самостійно)	(Заповнити самостійно)	(Заповнити самостійно)

За Роквеллом, шкала А (HRA)	(Заповнити самостійно)	(Заповнити самостійно)	(Заповнити самостійно)
За Віккерсом (HV)	(Заповнити самостійно)	(Заповнити самостійно)	(Заповнити самостійно)

Список використаної та нормативної літератури для СРС:

1. Пахолюк А.П., Пахолюк О.А. Основи матеріалознавства і конструкційні матеріали. Львів: Світ. [cite: 3]
2. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Суми: Університетська книга. [cite: 3]
3. Бойко В.М. Матеріалознавство та технологія металів. Київ: Либідь. [cite: 3]

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

МЕТОДИЧНА РОЗРОБКА ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СЛУХАЧА (СРС №2)

ТЕМА: ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ (РГР)

№1: «АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВОГО СПЛАВУ ЗАДАНОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ». МОДУЛЬНИЙ КОНТРОЛЬ №1.

Обсяг годин на виконання: 4 академічні години [cite: 3].

1. Мета та завдання самостійної роботи

Навчальна та когнітивна мета: Систематизувати та поглибити знання щодо Змістового модуля 1 «Будова металів та теорія сплавів. Залізовуглецеві сплави» [cite: 3]. Відпрацювати навички побудови кривих охолодження та використання правила відрізків для визначення фазового та структурного складу сплавів [cite: 3]. Підготуватися до комп'ютерного тестування у межах Модульного контролю №1 [cite: 3].

Практична (фахова) мета: Сформувати здатність до автономного інженерного аналізу (РН 14), який необхідний для коректного вибору матеріалів та розуміння процесів термообробки на машинобудівних підприємствах (ТОВ "Аксор індастрі", ТОВ "Інтерпайп", ТОВ "ДАЗ") [cite: 3].

Навчитися оформлювати результати розрахунків у вигляді стандартного технічного звіту.

Адаптаційна та соціально-психологічна мета (Trauma-Informed Approach): Організація самостійного виконання розрахунково-графічної роботи (РГР) в асинхронному режимі з гнучкими дедлайнами [cite: 3]. Завдання базуються на суворому алгоритмічному підході, що дозволяє уникнути психологічного перевантаження. Формування індивідуального цифрового портфоліо у системі дистанційного навчання (LMS Moodle/Google Classroom) гарантує безбар'єрність та комфорт для ветеранів і слухачів, що проходять перекваліфікацію [cite: 3].

2. Теоретико-методологічні вказівки до виконання РГР №1

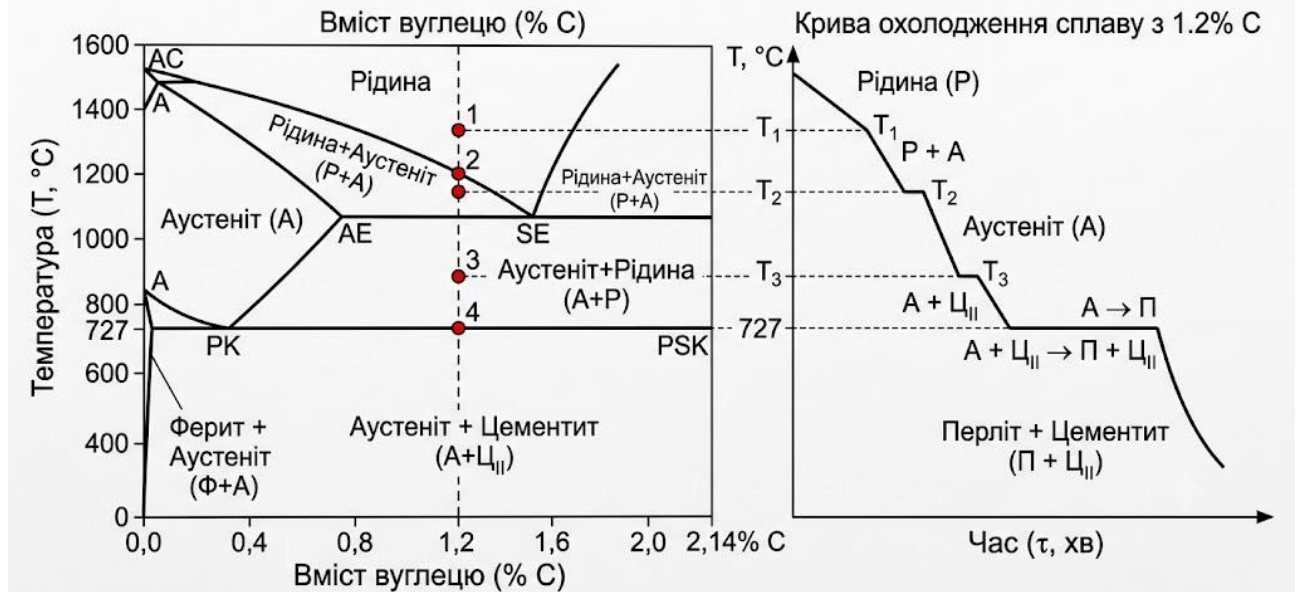
Розрахунково-графічна робота є формою індивідуального інженерного дослідження. Кожен здобувач отримує унікальний варіант (задану концентрацію вуглецю в сплаві). Для успішного виконання РГР необхідно застосувати знання діаграми стану «Залізо-Вуглець» (Fe-Fe₃C) та законів термодинаміки фазових перетворень [cite: 3].

2.1. Етапи побудови кривої охолодження

Крива охолодження — це графік залежності температури від часу при рівномірному відведенні тепла від розплавленого металу. Для її побудови необхідно:

- Провести на діаграмі стану вертикальну лінію, що відповідає заданій концентрації вуглецю (коноду складу).
- Позначити точками всі перетини цієї вертикалі з лініями діаграми Fe-C (ліквідус, солідус, лінії поліморфних та евтектоїдних перетворень).
- Перенести отримані температурні точки на графік у координатах «Температура – Час».
- Застосувати правило фаз Гіббса ($\Delta C = K - F + 1$) для кожної ділянки [cite: 3]. Якщо $\Delta C=1$ (наприклад, кристалізація твердого розчину з рідини), крива йде похило зі змінною нахилом. Якщо $\Delta C=0$ (наприклад, евтектичне або евтектоїдне перетворення), на кривій креслиться горизонтальна площадка (ізотермічна зупинка) [cite: 3].

АКАДЕМІЧНА ІЛЮСТРАЦІЯ ДЛЯ ІНСТРУКЦІЇ З ВИКОНАННЯ РГР: Порівняння діаграми Fe-C та кривої охолодження сплаву з 1.2% C



2.2. Застосування правила відрізків (важеля)

Правило відрізків застосовується у двофазних областях діаграми для визначення кількісного (масового) співвідношення фаз при конкретній температурі. Алгоритм розрахунку [cite: 3]: Через точку сплаву при заданій температурі провести горизонтальну ізотерму (коноду) до перетину з границями двофазної області.

Визначити концентрації вуглецю у фазах (проекції кінців коноди на вісь абсцис).

Масова частка будь-якої фази дорівнює відношенню довжини відрізка коноди, **прилеглого до точки складу іншої фази (протилежного)**, до загальної довжини коноди.

Приклад виконання аналітичного розрахунку:

Завдання: Розрахувати масову частку фаз для сплаву з вмістом вуглецю 1.2% (заевтектоїдна сталь У12) при температурі 700 °С (після завершення всіх перетворень).

Розв'язання: При температурі 700 °С сплав знаходиться в двофазній області **Ферит + Цементит**. Проводимо коноду. Її лівий кінець впирається в лінію розчинності фериту (приблизно 0.02% C), правий — у лінію цементиту (6.67% C). Точка сплаву ділить коноду на два відрізки.

Розрахунок маси Цементиту ($Q_{\text{Ц}}$): беремо протилежний (лівий) відрізок від 0.02 до 1.2.

$$Q_{\text{Ц}} = \frac{1.2 - 0.02}{6.67 - 0.02} \cdot 100\% = \frac{1.18}{6.65} \cdot 100\% \approx 17.7\%$$

Розрахунок маси Фериту ($Q_{\text{Ф}}$): беремо протилежний (правий) відрізок від 1.2 до 6.67.

$$Q_{\text{Ф}} = \frac{6.67 - 1.2}{6.67 - 0.02} \cdot 100\% = \frac{5.47}{6.65} \cdot 100\% \approx 82.3\%$$

Висновок: Структура сталі У12 при кімнатній температурі містить близько 17.7% твердого і крихкого цементиту та 82.3% м'якого фериту.

3. Завдання для самостійної розрахунково-графічної роботи (РГР №1)

Кожен слухач обирає варіант відповідно до останньої цифри свого номера в журналі. РГР оформлюється в індивідуальному цифровому портфоліо у системі управління навчанням (LMS Moodle/ Google Classroom) у вигляді електронного звіту (скан-копія або PDF-документ) [cite: 3].

Остання цифра номера	Концентрація вуглецю в сплаві (%)	Температура для розрахунку фаз (°C)
1, 6	0.35 % (Сталь 35)	800 °C
2, 7	0.60 % (Сталь 60)	710 °C

3, 8	1.50 % (Сталь X12M)	1000 °C
4, 9	3.00 % (Білий чавун)	1100 °C
5, 0	4.50 % (Білий чавун)	800 °C

Структура інженерного звіту РГР №1:

- 1.Накреслити повну діаграму стану Fe-C з усіма буквеними позначеннями точок та вказати фазові області.
- 2.Провести на діаграмі вертикальну лінію заданого сплаву.
- 3.Побудувати криву охолодження для цього сплаву. Для кожної ділянки кривої (похилої та горизонтальної) записати рівняння правила фаз Гіббса і вказати, які фази співіснують.
- 4.Описати кінцеву мікроструктуру сплаву при нормальній (кімнатній) температурі та накреслити її схематичний ескіз (у кружечку, імітуючи поле мікроскопа).
- 5.Виконати розрахунок кількості фаз за правилом відрізків для заданої температури (показати формули та хід розрахунку).

МЕТОДИЧНА РОЗРОБКА ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СЛУХАЧА (СРС № 3)
ТЕМА: САМОСТІЙНЕ ОПРАЦЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ: ЦЕМЕНТАЦІЯ, АЗОТУВАННЯ, ЦІАНУВАННЯ ТА ДИФУЗІЙНА МЕТАЛІЗАЦІЯ.

Обсяг годин на виконання: 4 академічні години [cite: 3].

1. Мета та завдання самостійної роботи

Навчальна та когнітивна мета: Самостійно опрацювати теоретичні основи та технологічні особливості хіміко-термічної обробки (ХТО) сталей [cite: 3]. Зрозуміти тристадійний механізм процесу ХТО (дисоціація, адсорбція, дифузія) [cite: 3]. Вивчити технології цементациї, азотування, ціанування та дифузійної металізації, а також обґрунтувати вибір марок сталей для кожного з цих процесів [cite: 3].

Практична (фахова) мета: Набути компетенцій (СК 2, СК 3, РН 15) для правильного призначення методів поверхневого зміцнення відповідальних деталей машин [cite: 3]. Ці навички є критично важливими для проектування технологічних карт на підприємствах-партнерах (ТОВ "Аксор індастрі", ТОВ "Інтерпайп", ТОВ "ДАЗ", ПП "Висотпромсервіс", ТОВ "НВП РІЧ", ТОВ "Альтстрім"), де вимагається створення деталей із надвисокою твердістю поверхні при збереженні в'язкої серцевини [cite: 3].

Адаптаційна та соціально-психологічна мета (Trauma-Informed Approach): Організація самостійної роботи ґрунтується на принципах інклюзивності [cite: 3]. Здобувачам надається можливість працювати в асинхронному режимі (без жорсткого таймінгу), що дозволяє знизити когнітивне та емоційне навантаження. Інформація подається суворою інженерною мовою, фокусуючись на підвищенні надійності та довговічності металу, уникаючи психологічно обтяжливих описів руйнувань або аварій, що створює сприятливі умови для ветеранів та слухачів, які проходять медико-психологічну реабілітацію [cite: 3].

2. Теоретико-методологічний базис для опрацювання

Більшість деталей машин (зубчасті колеса, шліцьові вали, кулачки, поршневі пальці) працюють в умовах інтенсивного тертя на поверхні та циклічних динамічних навантажень в об'ємі. Відповідно, ідеальний матеріал для таких деталей повинен мати суперечливі властивості: екстремально тверду, зносостійку поверхню та м'яку, дуже в'язку серцевину, що поглинає удари. Досягти такого поєднання об'ємним гартуванням неможливо. Рішенням є **хіміко-термічна обробка (ХТО)** [cite: 3].

Хіміко-термічною обробкою називається процес поверхневого насичення металу відповідними хімічними елементами (вуглецем, азотом, металами) шляхом їх дифузії з навколишнього активного середовища при високих температурах [cite: 3]. Мета ХТО — зміна хімічного складу, фазової структури та властивостей поверхневого шару.

2.1. Механізм хіміко-термічної обробки

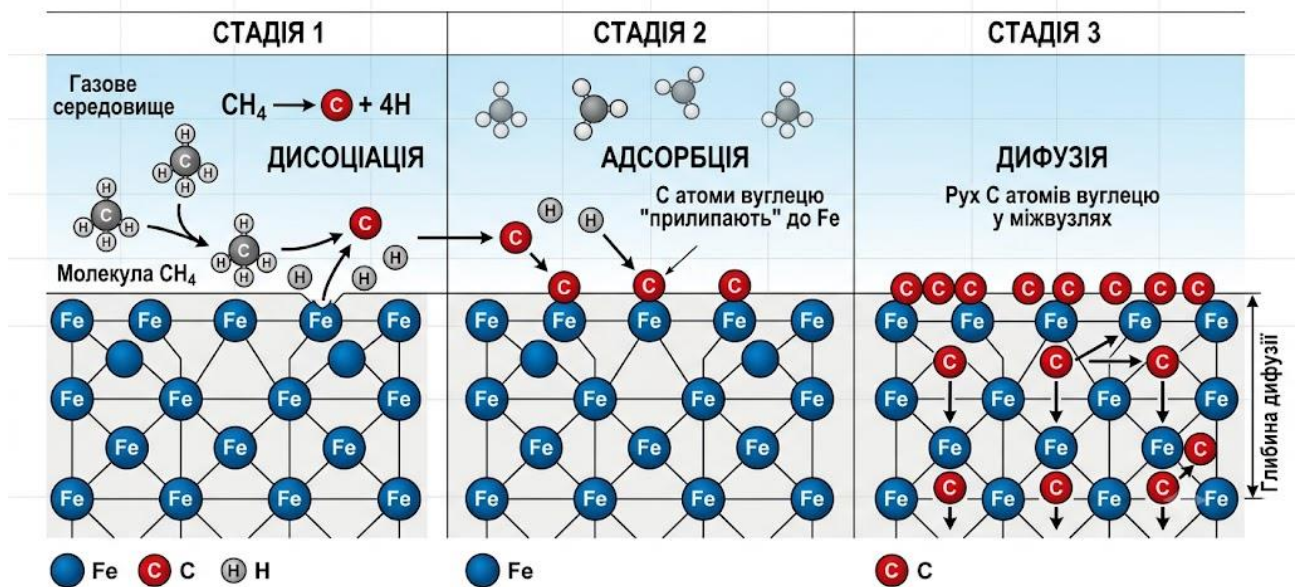
Будь-який процес ХТО (незалежно від насичуючого елемента) обов'язково складається з трьох послідовних стадій [cite: 3]:

1. Дисоціація: розпад молекул активного середовища (газу або рідини) на поверхні металу з утворенням вільних, надзвичайно активних атомів насичуючого елемента. Наприклад, розпад аміаку: $2\text{NH}_3 \rightarrow 3\text{H}_2 + 2\text{N}$ (атомарний азот).

2. Адсорбція: поглинання (захоплення) утворених вільних атомів поверхнею кристалічної ґратки сталі.

3. Дифузія: проникнення адсорбованих атомів углиб кристалічної ґратки металу-основи. Дифузія протікає дуже повільно, тому процеси ХТО є тривалими (від кількох годин до десятків годин) і вимагають високих температур (для підвищення кінетичної енергії атомів) [cite: 3].

Термохимичесний трабо́тинк (хімі́й-неа́т трабо́тон) сталі



2.2. Цементация (Навуглецювання)

Цементация — це процес хіміко-термічної обробки, який полягає в дифузійному насиченні поверхневого шару сталеві деталі вуглецем при нагріванні у відповідному середовищі (карбюризаторі) [cite: 3].

-Вибір сталі: Для цементації використовують виключно **низьковуглецеві сталі** (з вмістом вуглецю 0.1...0.25%, наприклад, Сталь 15, Сталь 20, 15X, 20X, 18ХГТ) [cite: 3]. Це гарантує, що після всіх операцій серцевина деталі гарантовано залишиться в'язкою і не стане крихкою.

-Режими: Процес проводять при температурах **900...950 °C**. Чому так високо? Згідно з діаграмою Fe-C, при цій температурі сталь має структуру аустеніту (ГЦК ґратка), який здатний розчинити до 2.14% вуглецю, тоді як ферит розчиняє лише 0.02% [cite: 3]. Товщина цементованого шару зазвичай становить 0.8...1.5 мм.

-Види цементації:

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