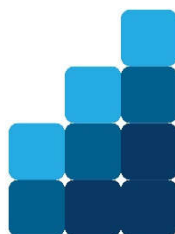


**Міністерство освіти і науки України**  
**Національний технічний університет**  
**«Дніпровська політехніка»**



**ДНІПРОВСЬКА**  
**ПОЛІТЕХНІКА**  
**1899**

В.В. Проців, В.У. Григоренко, В.А. Козечко, О.О. Богданов

**САМОСТІЙНА ПІДГОТОВКА**  
**з фахового вступного іспиту до аспірантури**  
**за галуззю знань 13 Механічна інженерія**

Практикум

Дніпро  
НТУ «ДП»  
2022

УДК: 62-4; 62-91; 620.3  
ПЗ2

*Затверджено Вченою радою НТУ «Дніпровська політехніка» як навчальний посібник для абітурієнтів на вступ до аспірантури за галуззю знань 13  
Механічна інженерія (протокол № 2 від 17.02.2022)*

**Проців В.В., Григоренко В.У., Козечко В.А., Богданов О.О.**

*Самостійна підготовки з фахового вступного іспиту до аспірантури за галуззю знань 13 Механічна інженерія. Практикум для магістрів / Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка». – Д.: НТУ «ДП». 98 с.*

Рецензенти: Кравченко Ю.Г. – канд. техн. наук, фахівець з галузі знань механічна інженерія; Самуся В.І. – д-р техн. наук, завідувач кафедри гірничої механіки НТУ «Дніпровська політехніка».

Методичні матеріали призначено для самостійної роботи абітурієнтів, що готуються до вступу в аспірантуру за галуззю знань 13 Механічна інженерія.

Наведено:

- відомості з матеріалознавства та структуровані за відповідними програмними змістовими модулями типові приклади тестів теоретичного характеру та типові практичні завдання (задачі), що потребують вирішення;
- алгоритм формування екзаменаційних білетів з бази завдань та критерії оцінювання;
- приклади розв'язання завдань.

УДК: 62-4; 62-91; 620.3

© В.В. Проців, В.У. Григоренко,  
В.А. Козечко, О.О. Богданов  
© НТУ «Дніпровська політехніка», 2022

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ВІДОМОСТІ З МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ЗА ЗМІСТОВИМИ МОДУЛЯМИ.....	5
1 ТЕОРЕТИЧНИЙ БЛОК МОДУЛІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ .....	60
2 ПРАКТИЧНИЙ БЛОК МОДУЛІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ .....	84
3 АЛГОРИТМ ФОРМУВАННЯ ЕКЗАМЕНАЦІЙНИХ БІЛЕТІВ З БАЗИ ЗАВДАНЬ .....	95
4 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ .....	95

## ВСТУП

Практикум призначений для випускників магістратури будь-якої спеціальності, які мають бажання вступити на навчання до аспірантури на освітньо-науковій програмі за галуззю знань 13 Механічна інженерія Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Практикум містить відомості з матеріалознавства за змістовими модулями та приклади оформлення відповідей на питання змістових модулів.

Здобувач вищої освіти третього (наукового) рівня, який у майбутньому хоче здобути науковий ступінь доктора технічних наук захистивши дисертаційну роботу, може за допомогою навчального посібника готуватися до складання вступного фахового іспиту в аспірантуру самостійно, знаходячи відповіді на наведені тут запитання та вирішуючи додані задачі.

Кожне теоретичне тестове запитання з розділу 1 містить чотири варіанти відповіді. Лише одна з них вірна. Використовуючи рекомендовані літературні джерела, здобувач має визначити відповідь, що є правильною.

Кількість кроків, що є достатніми для розв'язання практичних тестів (задач) з розділу 2, наведена у кожній з них. Оцінювання повноти рішення проводиться не тільки за остаточною відповіддю, а й за правильністю проміжних кроків, що здобувач освіти має надати під час складання вступного фахового іспиту.

Алгоритм формування екзаменаційного білету з теоретичних тестових запитань та практичних задач наведений у розділі 3, а критерії оцінювання та спосіб обрахування фінальної екзаменаційної оцінки представлений у розділі 4.

# ВІДОМОСТІ З МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ЗА ЗМІСТОВИМИ МОДУЛЯМИ

## Змістовий модуль 1

Теми: Кристалічна будова металів. Дефекти в кристалах. Кристалізація. Сплави. Механічні властивості матеріалів. Пластична деформація і деформаційне зміцнення. Руйнування матеріалів. Нагрівання деформованих металів.

Більшість хімічних елементів є металами (приблизно 80 % елементів періодичної системи). Найпоширенішим хімічним елементом-металом у земній корі є алюміній. Доля інших металів загалом не перевищує 2,0 %.

*Метали* – кристалічні речовини, характерними властивостями яких є висока міцність, пластичність, тепло- і електропровідність, особливий блиск. Широке використання металів у будівництві та інших галузях економіки пояснюється сполученням у них високих фізико-механічних властивостей із технологічністю. Міцність на розтяг металів практично така ж, як і на стиск. Так, міцність сталі більш ніж від 10 до 15 разів перевищує міцність бетону на стиск і від 100 до 200 разів на вигин і розтягання.

Металеві сплави – це речовини, що утворилися в результаті затвердіння рідких розплавів, які складаються з двох або декількох компонентів. Сплави металів відіграють велику роль, оскільки зазвичай вони мають вищі функціональні (механічні, електричні тощо) і технологічні властивості, ніж їхні складові – чисті метали.

Всі метали (за винятком ртуті) мають кристалічну будову. Розташовані тим або іншим способом атоми утворюють елементарну комірку просторової ґратки (рис. 1). Тип ґратки залежить від хімічної природи і фазового стану металу.

Тип кристалічної ґратки металу визначається формою того геометричного тіла, яке складає основу його елементарної комірки. Найпоширенішими типами кристалічних ґраток металів є кубічна об'ємно-центрована (ОЦК), кубічна гранецентрована (ГЦК) і гексагональна щільно-упакована (ГЩУ).

Елементарний осередок – елемент об'єму з мінімальним числом атомів, багаторазовим перенесенням якого в просторі можна побудувати весь кристал.

Елементарний осередок характеризує особливості будови кристала.

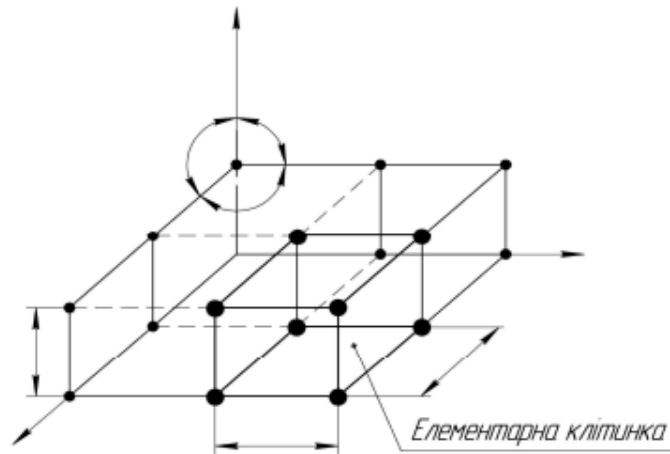


Рисунок 1 – Схема кристалічної ґратки

Основними параметрами кристала є:

- розміри ребер елементарного осередку ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ );
- відстані між центрами найближчих атомів;
- кути між осями ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ );
- координаційне число ( $K$ ) вказує на число атомів, розташованих на найближчій однаковій відстані від будь-якого атома в ґратах;
- щільність упаковки атомів у кристалічній решітці – об'єм, зайнятий атомами, які умовно розглядаються як жорсткі кулі. Її визначають як відношення об'єму, зайнятого атомами, до об'єму осередку (для об'ємноцентрованих кубічних ґрат – 0,68, для гранецентрованих кубічних ґрат – 0,74).

Класифікація можливих видів кристалічних решіток була проведена французьким вченим О. Браве; відповідно, вони отримали назву «ґрати Браве».

Усього для кристалічних тіл існує чотирнадцять видів ґрат, розбитих на чотири типи:

- примітивний – вузли ґрат співпадають із вершинами елементарних осередків;
- базцентрований – атоми займають вершини осередків і два місця в протилежних гранях;
- об'ємно-центрований – атоми займають вершини осередків і їх центр;
- гранецентрований – атоми займають вершини осередків і центри всіх шести граней.

Як видно на рисунку 2, у обох типів кубічних ґраток по 8 атомів знаходиться у вершинах куба, а інші на перетині діагоналі – у ОЦК, або на перетині кожної грані, тобто в її центрі у ГЦК.

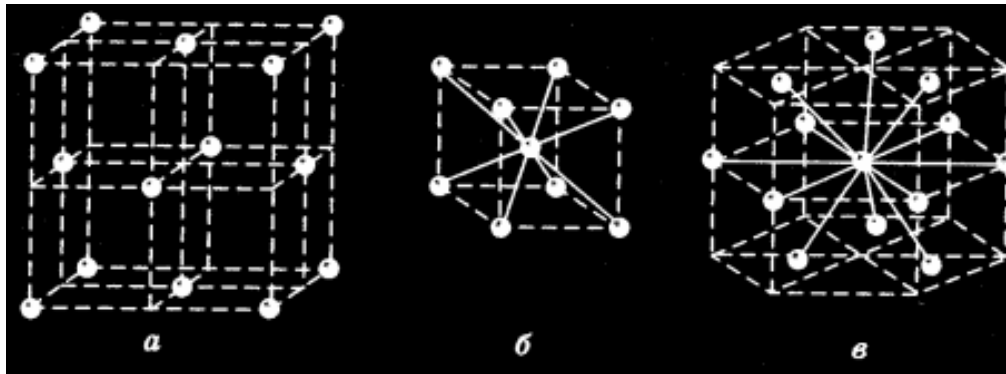


Рисунок 2 – Моделі кристалічних ґраток металів: *a* – кубічна гранецентрована, *б* – кубічна об'ємноцентрована, *в* – гексагональна

Комірка ґратки ГЦУ є призмою, основою якої є центровані одним атомом шестигранники. Всередині цієї комірки між основами знаходяться ще три атоми, створюючи рівносторонній трикутник. Кристалічні ґратки металів незалежно від їх типу є щільно-упакованими. Це означає, що атоми, що знаходяться у вузлах, стикаються один з одним своїми зовнішніми оболонками.

ОЦК – ґратки мають залізо за звичайних температурних умов, хром, вольфрам, ванадій, молібден, калій, натрій.

ГЦК – ґратки мають нікель, мідь, алюміній, свинець, срібло, залізо за температури від 911 до 1392°C.

ГЦУ – гратки мають магній, цинк, а так само кобальт, цирконій і титан за кімнатної температури.

Залізо, хром, молібден, вольфрам і деяких інші метали мають елементарну комірку у вигляді куба із атомами у вершинах і додатковим – у центрі (об’ємно-центрована кубічна гратка). За температури понад 910 °С у кристалічній структурі заліза відбувається перебудова, кількість атомів у елементарній комірці збільшується до 14. У результаті перебудови симетрія елементарної комірки змінюється – атоми розміщуються у вершинах куба й додатково в центрі кожної грані (гранецентрована кубічна гратка). Існування одного металу в декількох кристалічних формах зветься поліморфізмом чи алотропією, а температура, за якої метал переходить з одного стану в інший, – температурою поліморфного перетворення. Залізо, наприклад, має дві температури поліморфного перетворення – 910 °С і 1400 °С. Цинк, магній, титан мають елементарну комірку в формі шестигранної призми. Як і залізо, олово, нікель, титан, кобальт та деякі інші метали зі зміною температури змінюють тип своїх ґраток. Наприклад, нікель може мати кубічну гранецентровану чи гексагональну ґратки, а кальцій – кубічну гранецентровану, гексагональну і кубічну об’ємноцентровану (див. рис. 2).

Реальні метали складаються з кристалів з певними вадами. Виділяють кілька груп дефектів: точкові, лінійні, двомірні, об’ємні та поверхневі дефекти.

**Точкові дефекти.** До точкових дефектів відносяться дефекти, пов’язані з одиничними атомами. Виділяють: вакансії, атоми заміщення і атоми впровадження. Пояснити, що означає кожен з цих видів простіше за допомогою схеми, зображеної на рисунку 3, де під літерою *a* зображена структура ідеального кристала.

На малюнку *б* можете бачити відсутність атома в одному з вузлів, в зв’язку з чим спостерігаються зміна положень найближчих атомів, такий вид дефекту називається вакансія. На малюнку *в* у вузлі атом одного елемента заміщений атомом іншого, такий вид деформації називається атомами заміщення. І на останньому малюнку зображений атом впровадження, який встановлюється між вузлами і тим самим створює зсув сусідніх атомів.



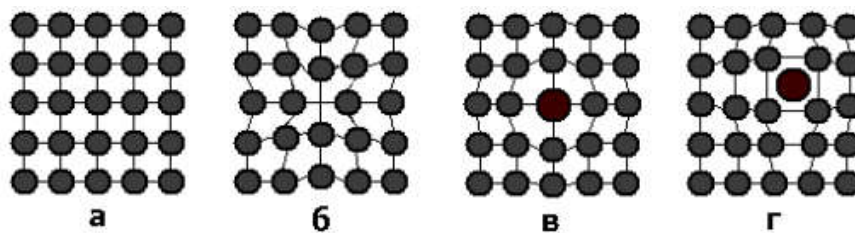


Рисунок 3 – Точкові дефекти: *a* – ідеальна решітка, *б* – вакансія, *в* – атом заміщення, *г* – атом впровадження

**Лінійні дефекти.** Лінійні дефекти (представлені на рисунку 4) по-іншому називають одновимірними. До лінійних відносяться дефекти, довжини яких в одному з напрямків значно більше ніж період решітки, а по інших напрямках величина дефекту порівнянна з періодом.

У разі кубічної решітки період дорівнює відстані між сусідніми атомами. Прикладом лінійного дефекту є дислокація.

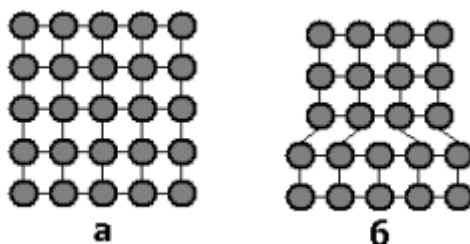


Рисунок 4 – Лінійний дефект – дислокація: *a* – ідеальний кристал, *б* – дислокація

**Двомірні та об'ємні дефекти.** За аналогією з лінійними дефектами двовимірними називають дефекти, у яких у двох вимірах величина дефекту набагато більше ніж період ґратки, а в одному напрямку порівняна з ним. Об'ємні або тривимірні дефекти мають величину набагато більше періоду ґратки в усіх напрямках (рис. 5).

**Поверхневі дефекти.** Поверхня металу під мікроскопом являє собою окремі зерна – кристали, Решітка в кожному зерні має різну орієнтацію (рис. 6). Кут між кристалографічними площинами може бути значним.

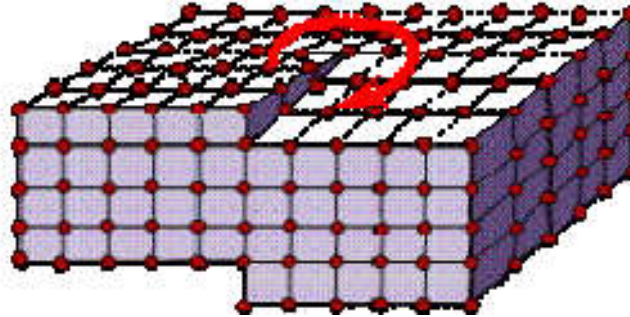


Рисунок 5 – Об’ємний дефект кристалічної ґратки

Кожне зерно в свою чергу складається з окремих ділянок – блоків. Кристалографічні площини суміжних блоків повернені на деякий кут від 1 до 20 хв. Під час переходу від однієї кристалографічної ґратки до іншої, кожна площина має перелом. Зазвичай, в прикордонних ділянках блоків, мають місце лінійні і точкові дефекти. Межі ж блоків являють собою поверхневі дефекти.

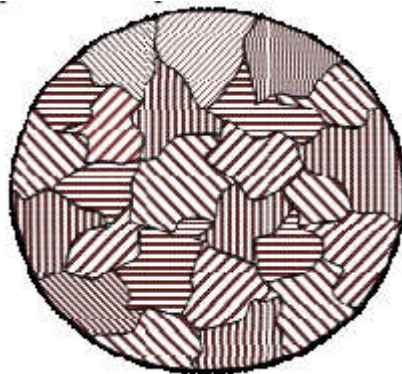


Рисунок 6 – Поверхні дефекти кристалічної ґратки

Насправді в будь-якому металі є дефекти. Неможливо створити абсолютно бездефектний зразок. Однак після деяких процесів кількість і величина дефектів може істотно збільшуватися.

Можна виділити процеси за яких часто виникають дефекти.

1) Дефекти виникають під час деформації твердого тіла. Процес утворення дефектів під час деформації невеликої величини йде не інтенсивно. Після зняття напруги, що викликає цю деформацію, тіло може прийняти початкову форму. Однак, якщо рівень деформації перевищує граничне значення, то кількість дефектів почне рости дуже швидко, що приведе до незворотного процесу пластичної деформації матеріалу. Викликана пластична деформація саме щільністю і величиною дефектів, які не дадуть зразку прийняти початкову форму.

2) Дефекти обробки поверхні. У процесі зняття стружки або шліфування матеріалу завжди виникають мікротріщини на поверхні об'єкту.

3) Дефекти ливарного походження. Дефектів цього типу існує дуже багато, наведемо кілька прикладів. Коли розплавлений метал заливають у форми і він починає остигати, то через нерівномірність охолодження деякі частини злитка застигають раніше, а інші пізніше, це створює зрушення шарів між собою. Крім того, у сплав можуть потрапити дрібні бульбашки повітря, через що утворюються пори.

4) Дефекти прокатного виробництва. Дефекти прокатного виробництва утворюються під час порушення технології прокатки і попереднього нагріву заготовки. Неправильний коефіцієнт обтиску або недостатній нагрів заготовки перед прокаткою може привести до появи на поверхні сталі вусів, волосовин, флокенів, тріщин, сколів, зім'ятих кінців і інших дефектів.

5) Дефекти термообробки. Дефекти термообробки утворюються під час неправильному виборі термічного режиму або його недотриманні. Найбільш часто на етапі термообробки утворюються такі дефекти: перегрів (можна виправити повторним нагріванням), термічне утворення тріщин.

6) Дефекти, що виникають під час зберігання, транспортуванні і складуванні.

Під час перевезення або зберігання метал може бути деформований – погнутий, зам'ятий. Також під час тривалого лежання металу відбувається його старіння, в результаті чого він втрачає міцність і пластичні властивості.

Для дослідження механічних властивостей використовують механічні випробування. Найбільш поширеними є випробування на твердість, статичний розтяг, динамічні випробування, на втомленість, повзучість та зношування, які свідчать про властивості металів.

Статичні – це такі випробування, під час яких метал, що випробовують піддають дії постійної сили або сили, яка зростає дуже повільно.

Динамічними називають випробування, під час яких метал піддають впливу удару або сили, яка зростає дуже швидко.

Статичне випробування на розтяг – поширений спосіб механічних випробувань металів. Для цього випробування виготовляються спеціальні зразки (рис. 7), які розриваються на спеціальних розривних машинах (рис. 8). На розривних машинах одержують діаграму розтягу (рис. 9), по якій можна визначити: межу текучості, межу міцності, відносне видовження і відносне звуження.



Рисунок 7 – Зразки для випробувань на розтягування

### *Механічні властивості*

До основних механічних властивостей відносять:

- міцність;
- пластичність;
- твердість.

*Міцність* – здатність матеріалу чинити опір руйнуванню під дією навантажень.

*Пластичність* – здатність матеріалу змінювати свою форму і розміри під дією зовнішніх сил.

*Твердість* – здатність матеріалу чинити опір проникненню в нього іншого тіла.



Рисунок 8 – Універсальна розривна машина

### ***Фізичні властивості***

До фізичних властивості належать:

- колір;
- щільність;
- температуру плавлення;
- теплопровідність;
- електропровідність;
- магнітні властивості.

*Колір* – здатність металів відбивати електромагнітне випромінювання (світло) з певною довжиною хвилі. Наприклад, мідь має рожево-червоний колір, алюміній – сріблясто-білий.

*Щільність* – металу визначається відношенням маси до одиниці об'єму. За щільністю метали поділяють на легкі (менше 4500 кг/м<sup>3</sup>) і важкі.

*Температура плавлення* – це така, за якої метал переходить зі твердого стану в рідкий. За температурою плавлення метали поділяють на тугоплавкі (вольфрам – 3416 °С, тантал – 2950 °С і ін.) і легкоплавкі (олово – 232 °С, свинець – 327 °С). У системі СІ температуру плавлення виражають у градусах Кельвіна (К).

*Теплопровідність* – здатність металів передавати тепло від більш нагрітих ділянок тіла до менш нагрітих. Найбільшу теплопровідність мають срібло, мідь, алюміній. У системі СІ теплопровідність вимірюється у Вт/(м·К).

Здатність металів проводити електричний струм оцінюють двома протилежними характеристиками – *електричною провідністю та електричним опором*.

Електропровідність вимірюється в системі СІ сіменсами (См). Електроопір виражають в омах (Ом). Хороша електропровідність необхідна, наприклад, для струмопровідних проводів (їх виготовляють з міді, алюмінію). Під час виготовлення електронагрівальних приладів і печей необхідні сплави з високим електроопором (з ніхрому, константана, манганіна). З підвищенням температури електропровідність металу зменшується, а зі зниженням – збільшується.

*Магнітні властивості* виражаються в здатності металів намагнічуватися. Високими магнітними властивостями володіють залізо, нікель, кобальт та їхні сплави, які називають феромагнітними. Матеріали з магнітними властивостями застосовують в електротехнічній апаратурі та для виготовлення магнітів.

### ***Хімічні властивості***

Хімічні властивості характеризують здатність металів і сплавів чинити опір окисленню або вступати в з'єднання з різними речовинами: киснем з повітря, розчинами кислот, розчинами лугів та інше.

До хімічних властивостей відносять:

- корозійну стійкість;

- жаростійкість.

*Корозійна стійкість* – здатність металів чинити опір хімічному руйнуванню під дією на їх поверхню зовнішнього хімічноагресивного середовища (корозія відбувається під час вступу в хімічну взаємодію з іншими елементами).

*Жаростійкість* – здатність металів чинити опір окисленню за високих температур.

Хімічні властивості враховують в першу чергу для виробів або деталей, що працюють у хімічно агресивних середовищах:

- ємності для перевезення хімічних реактивів;
- трубопроводи хімічних речовин;
- прилади та інструменти в хімічній промисловості.

*Технологічні властивості* матеріалів характеризують сприйнятливість матеріалів технологічним впливам під час їх переробки у виробі. Знання цих властивостей дозволяє раціонально здійснювати процеси виготовлення виробів.

Основними характеристиками матеріалів є:

- різання;
- оброблення тиском;
- ливарні характеристики;
- зварювання;
- схильність до викривлення під час термічної обробки та інші.

*Різання* характеризують такими показниками:

- якістю обробки матеріалів – шорсткістю обробленої поверхні і точністю розмірів;
- стійкістю ріжучого інструменту;
- опором різанню - швидкістю і силою різання;
- виглядом стружкоутворення.

*Оброблення тиском* визначають у процесі технологічних випробувань (проб) матеріалів на пластичну деформацію. Методи оцінки оброблюваності тиском залежать від виду матеріалів і технології їх переробки.

Обробка тиском порошкових матеріалів характеризується основними характеристиками: плинність, ущільненість та формуємість. Методи визначення характеристик порошкових матеріалів встановлені державними стандартами.

*Ливарні властивості матеріалів* – сукупність технологічних показників, що характеризують формування вилівки шляхом заливання розплавленого матеріалу в ливарну форму.

*Плинність* – властивість розплавленого матеріалу заповнювати ливарну форму.

*Ливарна усадка* – зменшення обсягу розплаву під час переходу з рідкого стану в твердий. Коефіцієнт усадки індивідуальний для кожного виду матеріалу.

*Зварюваність* – властивість матеріалу утворювати зварне з'єднання, працездатність якого відповідає якості основного матеріалу, підданого зварюванню. Про зварюваність судять за результатами випробування зварних зразків і характеристикам основного матеріалу в зоні зварного шву.

### **Приклади оформлення відповідей на питання змістового модулю 1**

**Теоретичний тест 1.** Який тип решітки має залізо за кімнатної температури?

- а) тетрагональна;
- б) об'ємноцентрована кубічна;
- в) гранецентрована кубічна;
- г) гексагональна.

*Відповідь:*

б) об'ємноцентрована кубічна

**Практичний тест 1.** Яким чином визначається твердість матеріалу під час застосування методу Бринеля? Визначити твердість сталі, якщо під час вимірювання приладом ТШ з використанням кульки діаметром 10 мм на зразку отримано сферичний відбиток діаметром 4,5 мм.

Довідкова література [3].



**Рішення:**

*Крок 1.*

*Крок 2.*

*Крок 3.*

*Відповідь:*

**Рішення:**

*Крок 1.*

Під час визначення твердості методом Бринеля (прилад ТШ) вона розраховується за площею сферичного відбитку (лунки), який отримано з вдавнення в метал сталевий кульки відповідного діаметру та навантаження.

*Крок 2.*

Якщо, використовується кулька діаметром 10 мм під час навантаження 3 000 кгс, то користуються інженерними таблицями відповідності твердості та діаметру відбитку.

*Крок 3.*

За таблицею визначаємо, що відбитку діаметром 4,5 мм відповідає твердість 179НВ.

*Відповідь:* 179НВ

## Змістовий модуль 2

Теми: Діаграми стану сплавів. Діаграма Fe–C. Чавуни. Вуглецеві сталі  
Вплив домішок на властивості сталей. Фазові перетворення в сплавах заліза. Технологія термічної обробки.

Залізовуглецевими сплавами (сталі і чавуни) є сплави заліза з вуглецем і іншими елементами. Вуглець значно впливає на формування структури сплаву. Залізо з вуглецем здатне утворити тверді розчини, а також хімічну сполуку –

цементит  $Fe_3C$ . Для розуміння формування структури і властивості сталей і чавунів необхідно вивчити також вивчити мікроструктуру залізовуглецевих сплавів, їх хімічний склад. Треба з'ясувати вплив вуглецю і постійних домішок на властивості сталей і чавунів, а також принцип їх класифікації, позначення марок за стандартами; навчитися визначати за маркою зразка хімічний склад сталі або чавуну.

Діаграма стану залізо–вуглець у графічній формі зображує фазовий склад сплаву залежно від температури і концентрації вуглецю і складається з трьох простих подвійних діаграм:

- подвійної з обмеженою розчинністю компонентів і перитектичним перетворенням за температури  $1499\text{ }^\circ\text{C}$ ;
- подвійної з обмеженою розчинністю компонентів і евтектичним перетворенням за температури  $1147\text{ }^\circ\text{C}$ ;
- подвійної з обмеженою розчинністю компонентів і евтектоїдним перетворенням за температури  $727\text{ }^\circ\text{C}$ .

**Залізо** — метал сріблястого кольору, атомний номер 26, температура плавлення  $1539\text{ }^\circ\text{C}$ . Чисте залізо містить 99,999 % Fe, технічне – залізо від 99,8 % до 99,9 % Fe. Залізо існує у двох кристалічних формах – ОЦК (об'ємно-центрована кубічна) і ГЦК (гранецентрована кубічна). За температури, нижчої  $911\text{ }^\circ\text{C}$ , існує  $\alpha$ -залізо. За температури, вищої за  $1392\text{ }^\circ\text{C}$ , залізо позначають як  $\delta$ -залізо. Кристалічна гратка  $\alpha$  і  $\delta$ -заліза ОЦК. Період гратки  $\alpha$ -заліза до температури  $911\text{ }^\circ\text{C}$  становить  $2,86\text{ \AA}$ , вище температури  $1392\text{ }^\circ\text{C}$  –  $2,93\text{ \AA}$ . Густина  $\alpha$ -заліза  $7680\text{ кг/м}^3$ . До температури  $768\text{ }^\circ\text{C}$  (точка Кюрі)  $\alpha$ -залізо магнітне, вище цієї температури – немагнітне ( $\beta$ -залізо).

Перетворення однієї модифікації на іншу відбувається за постійної температури і супроводжується тепловим ефектом. Видозміни елементу позначаються буквами грецького алфавіту у вигляді індексу основного позначення металу.

Прикладом видозміни від температури є залізо (рис. 9). Використовуючи явище поліморфізму, можна зміцнювати стан сплавів за допомогою термічної обробки.

**Вуглець** – неметалевий елемент, атомний номер 6, густина 2500 кг/м<sup>3</sup>, температура плавлення 3500 °С. Вуглець є поліморфним елементом. У звичайних умовах він є модифікацією графіту, але може існувати і як метастабільна модифікація алмазу.

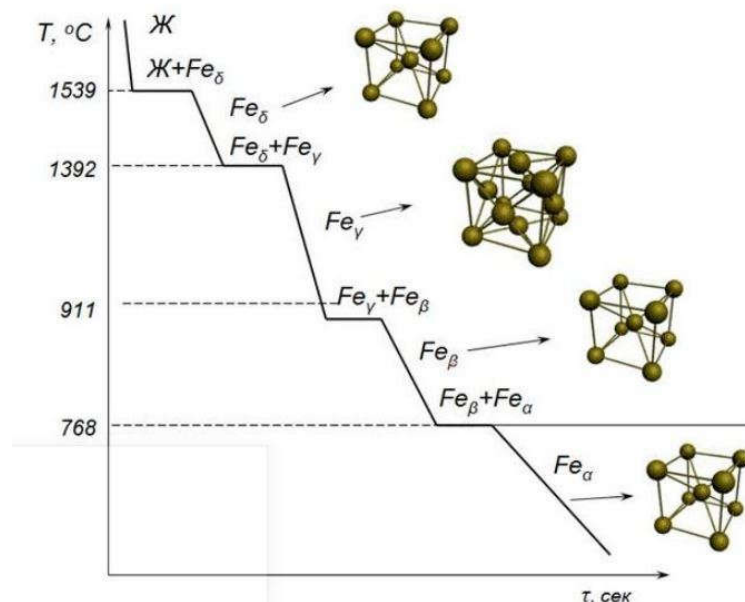


Рисунок 9 – Крива охолодження чистого заліза

Вуглець розчиняється в залізі, як у рідкому та твердому станах, а також може знаходитись у вигляді хімічної сполуки (цементиту), а у високовуглецевих сплавах у формі графіту. Діаграма стану залізо-вуглець наведено на рис. 10.

Компонентами системи Fe – Fe<sub>3</sub>C є залізо і цементит. Фази: рідкий сплав, ферит, аустеніт і цементит.

**Рідкий сплав (розчин)** – однорідна рідина, що складається із заліза та вуглецю. Рідкий сплав існує як окрема фаза вище лінії ліквідусу (ABCD), а між лініями ліквідус і солідус (AECF) він перебуває у рівновазі з кристалічною фазою (феритом, аустенітом або цементитом). Залізо добре розчиняє вуглець і утворює однорідну рідку фазу, в твердому стані (нижче лінії солідус) – ферит, аустеніт, цементит.

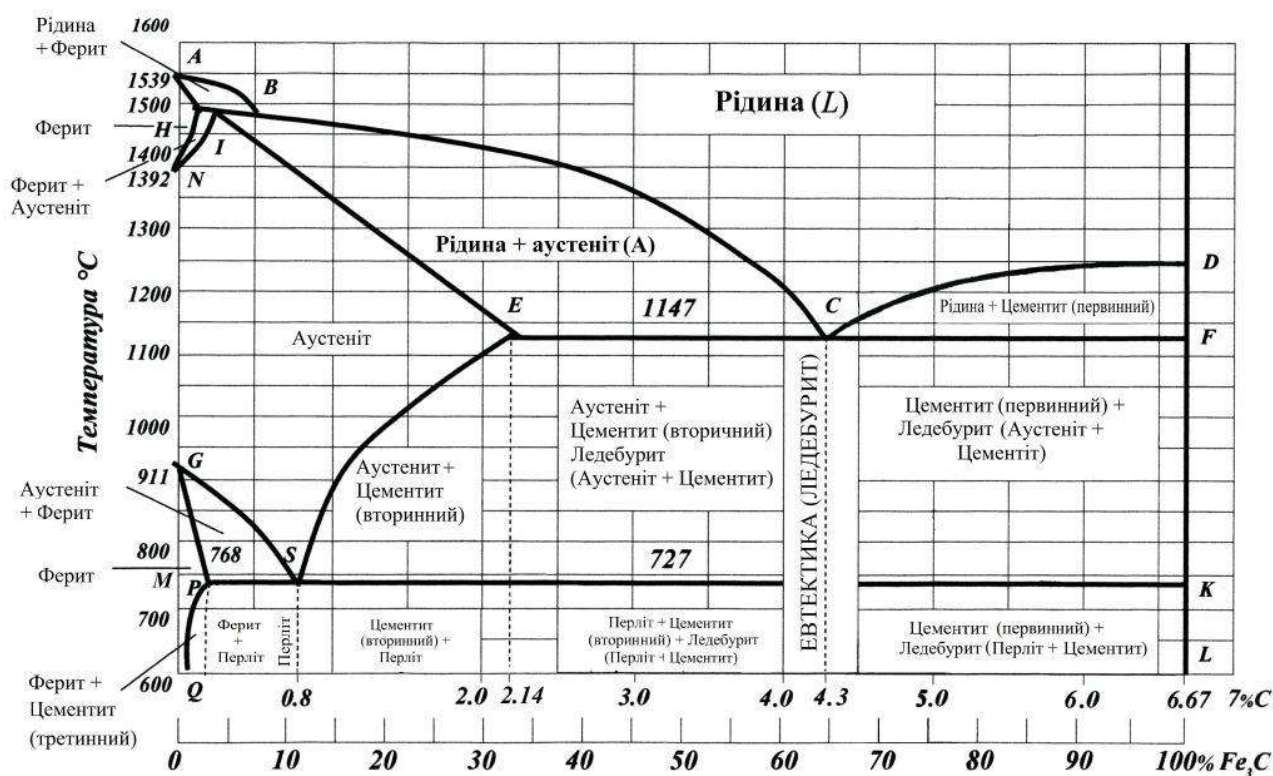


Рисунок 10 – Діаграма стану залізо-вуглець

**Ферит** – твердий розчин вуглецю в  $\alpha$ -залізі. Розрізняють низькотемпературний  $\alpha$ -ферит з розчинністю 0,02 % і високотемпературний  $\delta$ -ферит з межевою розчинністю 0,1 %. Ферит м'який HB 80-100, пластичний, має чітко виражені магнітні властивості, добре проводить тепло та електрику, має кубічну ґратку.

**Аустеніт** – твердий розчин вуглецю в  $\gamma$ -залізі, має кубічну гранецентровану решітку (фаза отримала назву на честь англійського вченого Р. Аустена). Межова розчинність вуглецю в  $\gamma$ -залізі 2,14 %. Аустеніт м'який (твердість HB200), магнітних властивостей не має.

**Цементит** – хімічна сполука заліза з вуглецем – карбід заліза  $Fe_3C$  із вмістом вуглецю 6,67 % (рис. 11). Цементит дуже твердий і крихкий HB 800, магнітні властивості виражені слабо, погано проводить електричний струм і теплоту, кристалічна ґратка складна. Температура плавлення цементиту точно не встановлена у зв'язку з можливістю його розпаду. Структурні складові сплавів заліза (сталей і чавунів) – перліт і ледебурит.

**Перліт** – це евтектоїдна суміш фериту та цементиту у вигляді дуже тонких пластинок або зерен. Евтектоїдна суміш утворюється внаслідок розпаду аустеніту за температури  $727\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Вміст вуглецю у перліті складає  $0,8\%$ . Перліт буває пластинчастий або зернистий, що залежить від умов його утворення.

**Ледебурит** – евтектична суміш аустеніту та цементиту, що містить  $4,3\%$  вуглецю (фаза отримала назву на честь німецького вченого-металурга Ледебурга). Ледебурит утворюється під час затвердіння залізовуглецевих сплавів за температури  $1147\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В інтервалі температур від  $1147\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $727\text{ }^{\circ}\text{C}$  він являє собою механічну суміш зерен аустеніту та пластин первинного цементиту, що випав із розплаву; нижче  $727\text{ }^{\circ}\text{C}$  ледебурит складається із перліту, що утворився під час розпаду аустеніту і первинного цементиту. Ледебурит характеризується високою твердістю HB 700 і крихкістю.

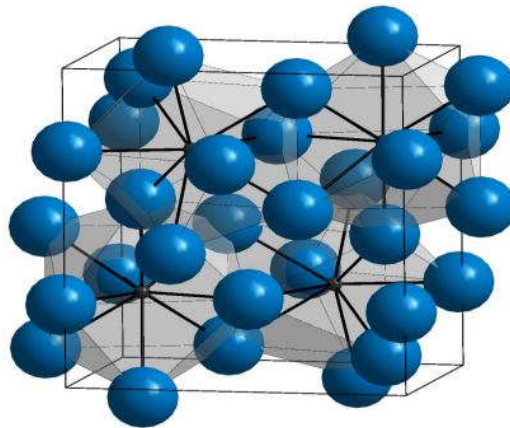


Рисунок 11 – Кристалічна ґратка цементиту

Характерні лінії діаграми: ABCD – ліквідус; AECF – солідус. Вище лінії ABCD сплави системи перебувають у рідкому стані. По лінії AC з рідкого розчину починають випадати кристали твердого розчину вуглецю в  $\gamma$ -залізі, який називається аустенітом, отже, в області ACE буде суміш двох фаз – рідкого розчину і аустеніту; по лінії CD з рідкого розчину починають випадати кристали цементиту; в області DCF міститься суміш двох фаз – рідкого розчину і цементиту. Перетворення у твердому стані (вторинна кристалізація) відбувається по

лініях GSE, PSK і GPQ. Внаслідок переходу заліза з однієї модифікації в іншу, а також у зв'язку зі зміною розчинності вуглецю в залізі.

В області діаграми AGSE існує аустеніт. Під час охолодження сплавів, аустеніт розпадається з виділенням по лінії GS фериту (твердий розчин вуглецю в  $\alpha$ -залізі), а по лінії SE – вторинного цементиту (хімічна сполука  $Fe_3C$ ). В області діаграми GSP міститься суміш двох фаз – фериту і аустеніту, а в області SEE1 – суміш вторинного цементиту і аустеніту. По лінії PSK відбувається розпад аустеніту з утворенням перліту; тому ця лінія називається лінією остаточного перетворення аустеніту в перліт або перлітною.

### Види термічної обробки металів

Властивості сплаву залежать від його структури. Основним способом, що дозволяє змінювати структуру, а, отже, і властивості є термічна обробка.

Основи термічної обробки розробив Д.К. Чернов. Далі вони розвивалися в роботах А.А. Бочвара, Г.В. Курдюмова, А.П. Гуляєва.

Термічна обробка являє собою сукупність операцій нагріву, витримки і охолодження, які виконуються в певній послідовності за певних режимів, з метою зміни внутрішньої будови сплаву і отримання потрібних властивостей (подається у вигляді графіка в осях температура-час, як це показано на рис. 12).

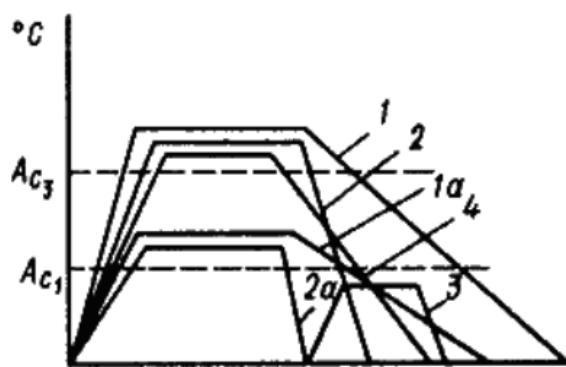


Рисунок 12 – Графіки різних видів термообробки: відпалу (1, 1a), гарту (2, 2a), відпустки (3), нормалізації (4)

Розрізняють такі види термічної обробки:

**1) Відпал I роду** – можливий для будь-яких металів і сплавів. Його проведення не обумовлено фазовими перетвореннями в твердому стані.

Нагрівання, під час відпалу першого роду, підвищує рухливість атомів, частково або повністю усуває хімічну неоднорідність, зменшує внутрішнє напруження. Основне значення має температура нагріву і час витримки. Характерним є повільне охолодження.

Різновидами відпалу першого роду є:

- дифузний;
- рекристалізаційний;
- для зняття напружень після кування, зварювання, лиття.

**2) Відпал II роду** – відпал металів і сплавів, що зазнають фазові перетворення в твердому стані під час нагрівання і охолодження. Виконується для сплавів, в яких є поліморфні або евтектоїдні перетворення, а також змінна розчинність компонентів в твердому стані. Виконується відпал другого роду з метою отримання більш рівноважної структури і підготовки її до подальшої обробки. У результаті відпалу подрібнюється зерно, підвищуються пластичність і в'язкість, знижуються міцність і твердість, поліпшується оброблюваність різанням. Характеризується нагріванням до температур вище критичних і дуже повільним охолодженням, як правило, разом з піччю (рис.12, 1, 1a).

**3) Загартування** – проводиться для сплавів, що зазнають фазові перетворення в твердому стані під час нагрівання і охолодження, з метою підвищення твердості і міцності шляхом утворення нерівноважних структур (сорбіт, тростит, мартенсит). Характеризується нагріванням до температур вище критичних і високими швидкостями охолодження (рис. 12, 2, 2a).

**4) Відпустка** – проводиться з метою зняття внутрішніх напружень, зниження твердості і збільшення пластичності та в'язкості загартованих сталей. Характеризується нагріванням до температури нижче критичної  $A_1$  (рис. 12, 3). Швидкість охолодження ролі не грає. Відбуваються перетворення, зменшують ступінь нерівноважності структури загартованої сталі.

**5) Нормалізація** – вид термічної обробки сталі, що застосовується для підвищення міцності, ударної в'язкості, однорідності структури та покращення оброблюваності низьковуглецевої сталі, а також для виправлення структури зварного з'єднання та зменшення внутрішніх напружень.

Термічну обробку поділяють на попередню й остаточну.

Попередня – застосовується для підготовки структури і властивостей матеріалу для наступних технологічних операцій (для обробки тиском, покращення оброблюваності різанням). Остаточна – формує властивість готового виробу.

Під час розробки технології необхідно встановити:

- режим нагріву деталей (температуру і час нагрівання);
- характер середовища, де здійснюється нагрів і його вплив на склад матеріалу сталі;
- умови охолодження.

Режими термічної обробки призначають відповідно до діаграми стану і діаграми ізотермічного розпаду аустеніту.

Нагрівання може здійснюватися в нагрівальних печах, плавильних або електричних, у соляних ваннах або у ваннах з розплавленим металом, пропусканням через виріб електричного струму або в результаті індукційного нагріву.

З точки зору продуктивності нагрів з максимальною швидкістю зменшує окалиноутворення, обезвуглецювання і зростання аустенітного зерна. Однак необхідно враховувати перепад температур по перерізу, що сприяє виникненню термічних напружень. Якщо напруження, що розтягують, перевищать межу міцності або межу плинності, то можливо викривлення або утворення тріщин.

Швидкість нагріву тим вище, чим менше легована сталь, однорідніше її структура, простіше конфігурація. Швидкість нагріву приймається від 0,8 до 1 хв на 1 мм перерізу. Час витримки приймається близько 20 % від часу нагріву. Складові повітря можуть різним чином впливати на сталь:

- окислювати ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ );
- відновлювати ( $CO$ ,  $CH_4$ );
- знижувати концентрацію вуглецю на поверхні ( $O_2$ ,  $H_2$ );



- підвищувати концентрацію вуглецю на поверхні ( $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ );
- нейтрально впливати ( $\text{N}_2$ , інертні гази).

Окислення з утворенням окалини перешкоджає отриманню високої і рівномірної твердості під час загартування, що призводить до зміни розмірів, вимагає збільшення припусків на механічну обробку.

Зниження концентрації вуглецю на поверхні (вигорання вуглецю в поверхневому шарі металу) сприяє появі м'яких плям під час загартування та виникнення напружень, що розтягують, в поверхневому шарі, знижують міцність від втоми. На рис. 13 зображені температурні області нагріву під час термічної обробки сталей.

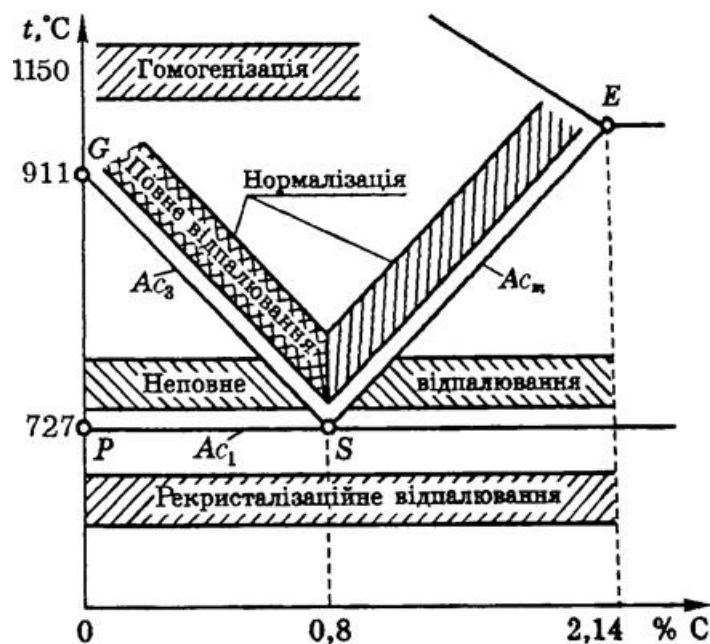


Рисунок 13 – Загальний вигляд лівого кута діаграми стану залізо – цементит і температурні області нагріву під час термічної обробки сталей

**Відпал і нормалізація.** Призначення і режими.

Відпал, знижуючи твердість і підвищуючи пластичність та в'язкість за рахунок отримання рівноважної дрібнозернистої структури, дозволяє:

- покращити оброблюваність заготовок тиском і різанням;

- виправити структуру зварних швів, перегрітої під час обробки тиском і лиття сталі;
- підготувати структуру до подальшої термічної обробки.

Характерно повільне охолодження зі швидкістю від 30 °С/год до 100 °С/год.

### ***Відпал першого роду***

1) Дифузійний (гомогенізований) відпал. Застосовується для усунення ліквації, вирівнювання хімічного складу сплаву. В його основі – дифузія. У результаті нагрівання вирівнюється склад, розчиняються надлишкові карбіди. Застосовується, в основному, для легованих сталей. Температура нагріву  $T_H$  залежить від температури плавлення  $T_{пл}$  як  $T_H = 0,8T_{пл}$ . Тривалість витримки від 8 год до 20 годин.

2) Рекристалізаційний відпал проводиться для зняття напружень після холодної пластичної деформації. Температура нагріву пов'язана з температурою плавлення:  $T_H = 0,4T_{пл}$ . Тривалість залежить від габаритів виробу.

3) Відпал для зняття напружень після гарячої обробки (лиття, зварювання, обробки різанням, коли потрібна висока точність розмірів). Температура нагріву вибирається залежно від призначення, знаходиться в широкому діапазоні від 160 °С до 700 °С. Тривалість залежить від габаритів виробу. Деталі прецизійних верстатів (ходові гвинти, високонавантажені зубчасті колеса, черв'яки) відпалюються після основної механічної обробки за температури від 570 °С до 600 °С протягом 2 або 3 годин, а після остаточної механічної обробки, для зняття шліфувальних напружень – за температури від 160 °С до 180 °С протягом 2 або 2,5 годин.

*Відпал другого роду* призначений для зміни фазового складу. Температура нагріву і час витримки забезпечують потрібні структурні перетворення. Швидкість охолодження повинна бути такою, щоб встигли відбутися зворотні дифузійні фазові перетворення. Відпал знижує твердість і міцність, покращує оброблюваність різанням середньо- і високовуглецевих сталей. Подрібнюючи зерно, знижуючи внутрішні напруження, зменшуючи структурну неоднорідність все це сприяє підвищенню пластичності і в'язкості.

Залежно від температури нагрівання розрізняють відпал:

1) Повний, з температурою нагріву від 30 °С до 50 °С вище критичної температури  $A_3$

$$T_n = A_3 + (30 \dots 50) \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Проводиться для доєвтектоїдних сталей для виправлення структури. За такої температури нагріву аустеніт виходить дрібнозернистий, і після охолодження сталь має також дрібнозернисту структуру.

2) Неповний, з температурою нагріву від 3 °С до 50 °С вище критичної температури  $A_1$

$$T_n = A_1 + (30 \dots 50) \text{ } ^\circ\text{C}$$

Застосовується для заєвтектоїдних сталей. Під час такого нагрівання в структурі зберігається цементит вторинний, в результаті відпалу цементит набуває сферичну форму (сфероїдизація). Отриманню зернистого цементиту сприяє гаряча пластична деформація, за якої дробиться цементитна сітка. Структура з зернистим цементитом краще обробляються і мають кращу структуру після гарту. Неповний відпал є обов'язковим для інструментальних сталей. Іноді неповний відпал застосовують для доєвтектоїдних сталей, якщо не потрібно виправлення структури (сталь дрібнозерниста), а необхідно тільки знизити твердість для поліпшення оброблюваності різанням.

3) Циклічний або маятниковий відпал застосовують, якщо після проведення неповного відпалу цементит залишається пластинчастим. У цьому разі після нагрівання вище температури  $A_1$  слід охолодження до 680 °С, потім знову нагрів до температури від 750 °С до 760) °С і охолодження. В результаті отримують зернистий цементит.

4) Ізотермічний відпал – після нагрівання до необхідної температури, виріб швидко охолоджують до температури від 50 °С до 100 °С нижче критичної температури  $A_1$  і витримують до повного перетворення аустеніту в перліт, потім

охолоджують на спокійному повітрі. Температура ізотермічної витримки близька до температури мінімальної стійкості аустеніту. В результаті отримують більш однорідну структуру, так як перетворення відбувається за однакового ступеню переохолодження. Значно скорочується тривалість процесу. Застосовують для легованих сталей.

5) Нормалізація – різновид відпалу. Термічна обробка, під час якої виріб нагрівають до аустенітного стану, дід  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  вище  $A_3$  або  $A_{ст}$  з подальшим охолодженням на повітрі.

$$T_n = A_3 + (30 \dots 50) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

або

$$T_n = A_{ст} + (30 \dots 50) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

В результаті нормалізації отримують більш тонку будову евтектоїда (тонкий перліт або сорбіт), зменшуються внутрішні напруження, усуваються вади, отримані в процесі попередньої обробки. Твердість і міцність дещо підвищуються ніж після відпалу. В заевтектоїдних сталях нормалізація усуває грубу сітку вторинного цементиту. Нормалізацію частіше застосовують як проміжну операцію для поліпшення структури. Іноді проводять як остаточну обробку, наприклад, під час виготовлення сортового прокату. Для низьковуглецевих сталей нормалізацію застосовують замість відпалу. Для середньовуглецевих сталей нормалізацію або нормалізацію з високою відпусткою застосовують замість гарту з високою відпусткою. У цьому разі механічні властивості трохи нижче, але виріб піддається меншій деформації, виключаються тріщини.

### ***Загартування***

Конструкційні стали піддають гарту і відпустки для підвищення міцності і твердості, отримання високої пластичності, в'язкості і високої зносостійкості, а інструментальні – для підвищення твердості і зносостійкості.

Верхня межа температур нагрівання для заевтектоїдних сталей обмежується, так як призводить до зростання зерна, що знижує міцність і опір крихкому

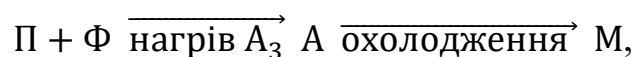
руйнуванню. Основними параметрами є температура нагріву і швидкість охолодження. Тривалість нагрівання залежить від нагрівального пристрою, за дослідними даними на 1 мм перерізу витрачається в електричній печі від 1,5 хв до 2 хв; в полум'яній печі – 1 хв.; в соляної ванні – 0,5 хв; в свинцевій ванні від 0,1 хв до 0,15 хв.

За температурою нагріву розрізняють види загартування:

1) Повна, з температурою нагріву від 30 °С до 50 °С вище критичної точки  $A_3$

$$T_n = A_3 + (30 \dots 50) \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Застосовують її для доевтектоїдних сталей. Зміни структури стали під час нагрівання і охолодження відбуваються за схемою:



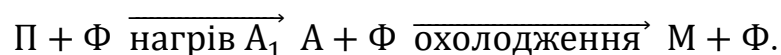
де П – перліт;

Ф – ферит;

А – аустеніт;

М – мартенсит.

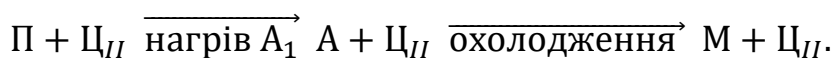
Не повне загартування доевтектоїдних сталей недопустиме, оскільки в структурі залишається м'який ферит. Зміна структури сталі під час нагрівання та охолодження відбувається по схемі:



2) Не повна з температура нагрівання від 30 °С 50 °С вище критичної температури  $A_1$

$$T_n = A_1 + (30 \dots 50) \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Застосовується для заевтектоїдних сталей. Зміни структури стали під час нагрівання і охолодження відбуваються за схемою:



Після охолодження в структурі залишається вторинний цементит, який підвищує твердість і зносостійкість ріжучого інструменту. Після повного загартування заевтектоїдної сталі отримують дефектну структуру грубогольчатого мартенситу.

Заевтектоїдні сталі перед загартуванням обов'язково піддають відпалу – сфероїдизації, щоб цементит мав зернисту форму.

Охолодження під час загартування.

Для отримання необхідної структури вироби охолоджують з різною швидкістю, яка у великій мірі визначається охолоджуючим середовищем, формою виробу і теплопровідністю сталі.

Режим охолодження має виключити виникнення великих гартівних напружень. За високих швидкостях охолодження під час загартування виникають внутрішні напруження, які можуть призвести до викривлення і розтріскування.

Внутрішні напруження, що врівноважуються в межах макроскопічних частин тіла, називаються напруженнями I роду. Вони сприяють перекручуванню форми (викривленню) і утворенню тріщин під час термообробки. Причинами виникнення напружень є:

- відмінність температури по перерізу виробу під час охолодження;
- різночасне протікання фазових перетворень у різних ділянках виробу.

Для попередження утворення тріщин необхідно уникати розтягувальні напруження в поверхневих шарах виробу. На характер розподілу напружень під час загартування, крім режиму охолодження, впливає і температура нагрівання під загартування. Перегрів сприяє утворення гартівних тріщин, збільшує деформації.

Як охолоджуюче середовище під час загартування використовують воду за різних температур, технічні оливи, розчини солей і лугів, розплавлені метали.

Вода має істотний недолік – висока швидкість охолодження в інтервалі мартенситного перетворення призводить до утворення гартівних дефектів. З підвищенням температури води погіршується її гартівна здатність.

Найвищою і рівномірною охолоджувальною здатністю відрізняються холодні від 8 % до 12 % водні розчини NaCl і NaOH. Вони миттєво руйнують парову оболонку і охолодження відбувається більш рівномірно на стадії бульбашкового кипіння.

Збільшення охолоджувальної здатності досягають під час використання струменевого або душового охолодження, наприклад, під час поверхневого загартування. Для легованих сталей з високою стійкістю аустеніту використовують мінеральна олива (нафтова). Що забезпечує невелику швидкість охолодження в інтервалі температур мартенситного перетворення. Недоліками мінеральних оливо є підвищена займистість, низька охолоджуюча здатність в інтервалі температур перлітного перетворення, висока вартість.

Під час вибору охолоджуючої середовища необхідно враховувати загартовуваність і прокалюваність сталі.

*Прокалюваність* – здатність отримувати загартований шар з мартенситною і тростит-мартенситною структурою, що володіє високою твердістю, на певну глибину виробу.

За глибину загартованої зони приймають відстань від поверхні до середини шару, де в структурі однакові обсяги мартенситу і троститу.

Чим менше критична швидкість загартування, тим вище прокалюваність. Збільшення зерен підвищує прокалюваність. Якщо швидкість охолодження в серцевині виробу перевищує критичну то сталь має наскрізну прокалюваність.

З уведенням у сталь легуючих елементів загартовуваність і прокалюваність збільшуються (особливо молібден і бор, кобальт – навпаки).

### **Способи загартування**

Залежно від форми виробу, марки сталі і потрібного складу властивостей застосовують різні способи охолодження (рис. 14).

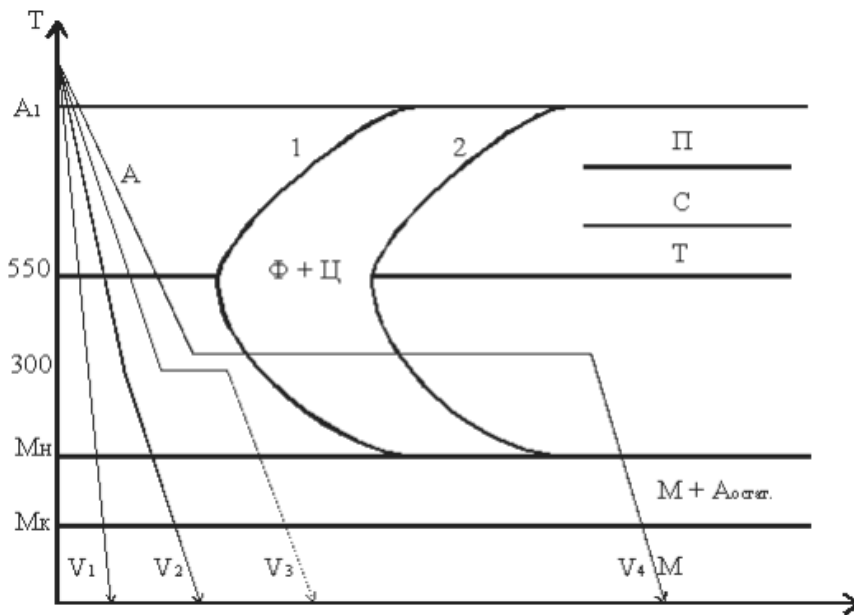


Рисунок 14 – Режими загартування виробів

1) Загартування в одному охолоджувачі ( $V_1$ ).

Нагріту до потрібної температури деталь переміщують в охолоджувач і повністю охолоджують. Як охолоджуюче середовище використовують:

- воду – для великих виробів з вуглецевих сталей;
- олива – для невеликих деталей простої форми з вуглецевих сталей і виробів з легованих сталей. Основний недолік – значні гартівні напруження.

Нагрітий виріб попередньо охолоджують у більш сильному охолоджувачі (вода) до температури приблизно  $300\text{ }^\circ\text{C}$  і потім переміщують у більш м'який охолоджувач (олива).

Переривчастий гарт забезпечує максимальне наближення до оптимального режиму охолодження. Застосовується в основному для загартування інструментів. Недолік: складність визначення моменту перенесення виробу з одного середовища в інше.

2) Загартування в двох сферах або переривчаста ( $V_2$ ).

3) Ступінчасте загартування ( $V_3$ ).

Нагрітий до необхідної температури виріб поміщають в охолоджуюче середовище, температура якого від  $30\text{ }^\circ\text{C}$  до  $50\text{ }^\circ\text{C}$  вище точки  $M_H$ , і витримують



протягом часу, необхідного для вирівнювання температури по всьому перерізу. Час ізотермічної витримки не перевищує періоду стійкості аустеніту за заданої температури.

Як охолоджуюче середовище використовують розплавлені солі або метали. Після ізотермічної витримки деталь охолоджують з невисокою швидкістю. Спосіб використовується для дрібних і середніх виробів.

#### 4) Ізотермічне загартування ( $V_4$ ).

Відрізняється від ступінчатого загартування тривалістю витримки за температури вище  $M_H$  в області проміжного перетворення.

Ізотермічна витримка забезпечує повне перетворення переохолодженого аустеніту в бейніт. Бейніт – це голчатий тростит, структурний складник сталі. Під час проміжного перетворення легованих сталей крім бейніту в структурі зберігається аустеніт залишковий. Новоутворена структура характеризується поєднанням високої міцності, пластичності і в'язкості. Разом з цим знижується деформація через наявність гартівних напружень, зменшуються і фазові напруження.

В якості охолоджуючого середовища використовують розплавлені солі і луги. Застосовується для легованих сталей .

#### 5) Загартування з самовідпусткою.

Нагріті вироби поміщають в охолоджувальне середовище і витримуються до неповного охолодження. Після вилучення виробу, його поверхневі шари повторно нагріваються за рахунок внутрішньої теплоти до необхідної температури, тобто здійснюється самовідпустка. Застосовується для виробів, які повинні поєднувати високу твердість на поверхні і високу в'язкість в серцевині (інструменти ударної дії: молотки, зубила).

### **Відпустка**

Відпустка є остаточною термічною обробкою. Мета відпустки – підвищення в'язкості і пластичності, зниження твердості і зменшення внутрішніх напружень загартованих сталей.

З підвищенням температури нагріву міцність зазвичай знижується, а пластичність і в'язкість зростають. Температуру відпустки вибирають, виходячи з необхідної міцності конкретної деталі.

Розрізняють три види відпустки:

1) низьку відпустку з температурою нагріву від 150 °С до 300 °С. В результаті його проведення частково знімаються гартівні напруги. Отримують структуру мартенсит відпустки. Проводять для інструментальних сталей; після гарту струмами високої частоти; після цементації;

2) середню відпустку з температурою нагріву від 300 °С до 450 °С. Отримують структуру – тростит відпустки, яка поєднуватиме високу твердість від 40HRC до 45HRC з хорошою пружністю і в'язкістю. Використовується для виробів типу пружин, ресор;

3) високу відпустку з температурою нагріву від 450 °С до 650 °С. Отримують структуру, яка поєднуватиме досить високу твердість і підвищену ударну в'язкість (оптимальне поєднання властивостей) – сорбіт відпустки. Використовується для деталей машин, що піддаються ударним навантаженням.

Комплекс термічної обробки, що включає загартування і високу відпустку, називається поліпшенням.

### **Відпускна крихкість**

Зазвичай з підвищенням температури відпустки ударна в'язкість збільшується, а швидкість охолодження не впливає на властивості. Але для деяких сталей спостерігається зниження ударної в'язкості. Цей дефект називається відпускнуою крихкістю.

*Відпускна крихкість I роду* спостерігається під час відпустки в діапазоні температур близько до 300 °С. Вона не залежить від швидкості охолодження. Це явище пов'язане з нерівномірністю перетворення відпущеного мартенситу. Процес перебігає швидше поблизу границь зерен у порівнянні з обсягами всередині зерна. Біля границь спостерігається концентрація напружень, тому границі ніжні. Відпускна крихкість I роду "незворотня", тобто під час повторних нагрівань не спостерігається.

*Відпускна крихкість II роду* спостерігається у легованих сталей під час повільного охолодження після відпустки в інтервалі температур від 450 °С – 650 °С. Під час високої відпустки уздовж границям зерен відбувається утворення і виділення дисперсних включень, карбідів. Прикордонна зона збіднюється легуючими елементами. Під час подальшого повільного охолодження відбувається дифузія фосфору до границь зерна. Прикордонні зони збагачуються фосфором, знижуються міцність і ударна в'язкість. Цьому дефекту сприяють хром, марганець і фосфор. Зменшують схильність до відпускнуї крихкості II роду молібден і вольфрам, а також швидке охолодження після відпустки. Відпускна крихкість II роду "оборотна", тобто під час повторних нагрівань і повільного охолодження тих же сталей в небезпечному інтервалі температур дефект може повторитися.

### **Приклади оформлення відповідей на питання змістового модулю 2**

**Теоретичний тест 2.** Механічна суміш двох кристалів, які одночасно кристалізувалися з рідини називається...

- а) евтектикою;
- б) перитектикою;
- в) аустенітом;
- г) феритом.

*Відповідь:*

- а) евтектикою.

**Практичний тест 2.** Визначити температуру нагріву під загартування сталі марки 50, використовуючи наведений фрагмент діаграми стану «Fe–Fe<sub>3</sub>C», та проілюструвати схему визначення. Температуру критичної точки A<sub>с3</sub> дозволяється прийняти за довідником.

Довідкова література [3].

**Рішення**

*Крок 1.*

Крок 2.

Крок 3.

Відповідь:

### Рішення

Крок 1.

На сталевій ділянці приведеної діаграми залізо – карбід заліза проводимо вертикальну лінію, яка відповідає вмісту вуглецю в сталі марки 50 ( $C = 0,5 \%$ ).

Температура нагріву під загартування цієї сталі буде на  $30 \dots 50 \text{ }^\circ\text{C}$  більше, ніж точка перетинання цієї лінії з лінією діаграми, що позначена GS ( $t_2$ ).

$$t_2 = t_1 + 30 \dots 50 \text{ }^\circ\text{C} .$$

Крок 2.

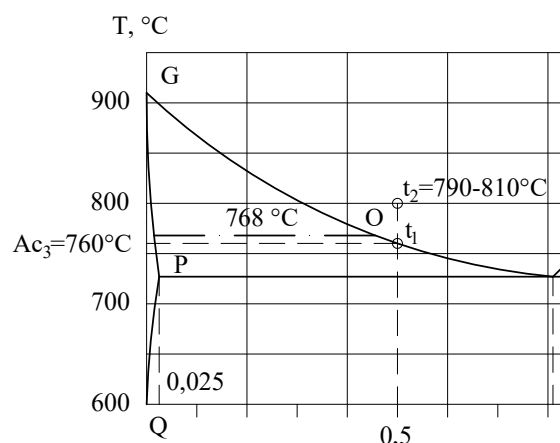
Значення  $t_1$  визначаємо із довідника як температура  $A_{c3} = 760 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Крок 3.

Тоді температура нагріву під загартування складає  $t_2 = A_{c3} + 30 \dots 50 \text{ }^\circ\text{C}$ . Або  $t_2 = 790 \dots 810 \text{ }^\circ\text{C}$

Відповідь:

$$t_2 = 790 \dots 810 \text{ }^\circ\text{C} .$$



## ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3

Теми: Термомеханічна обробка. Поверхнєве загартування. Хіміко-термічна обробка. Поверхнєве зміцнення. Види та методи нанесення покриттів на машинобудівних виробках.

Хіміко-термічна обробка (ХТО) – процес зміни хімічного складу, мікроструктури і властивостей поверхневого шару деталі.

Зміна хімічного складу поверхневих шарів досягається в результаті їх взаємодії з навколишнім середовищем (твердої, рідкої, газоподібної, плазмової), в якому відбувається нагрів. В результаті зміни хімічного складу поверхнього шару змінюються його фазовий склад і мікроструктура.

Основними параметрами хіміко-термічної обробки є температура нагріву і тривалість витримки.

В основі будь-якого різновиду хіміко-термічної обробки лежать процеси дисоціації, адсорбції, дифузії.

*Дисоціація* – отримання елемента насичення в активованому атомарному стані в результаті хімічних реакцій, а також випаровування.

*Адсорбція* – захоплення поверхнею деталі атомів насичуючого елемента. Адсорбція – завжди екзотермічний процес, що приводить до зменшення вільної енергії.

*Дифузія* – переміщення адсорбованих атомів у глибину виробу. Для здійснення процесів адсорбції і дифузії необхідно, щоб насичуючий елемент взаємодіє з основним металом, утворюючи тверді розчини або хімічні сполуки.

Хіміко-термічна обробка є основним способом поверхнього зміцнення деталей. Основними різновидами хіміко-термічної обробки є:

- цементация (насичення поверхнього шару вуглецем);
- азотування (насичення поверхнього шару азотом);
- нітроцементация або ціанування (насичення поверхнього шару одночасно вуглецем і азотом);
- дифузійна металізація (насичення поверхнього шару різними металами).

*Цементация* – хіміко-термічна обробка, яка полягає в дифузійному насиченні поверхнього шару атомами вуглецю під час нагрівання до температури від 900 °С до 950 °С. Цементация піддають сталі з низьким вмістом вуглецю (до 0,25 %). Нагрівання виробів здійснюють в середовищі, яке легко віддає вуглець.

Підібравши режими обробки, поверхневий шар насичують вуглецем до необхідної глибини. Глибина цементації ( $h$ ) – відстань від поверхні виробу до середини зони, де в структурі є однакові обсяги фериту і перліту (від 1 мм до 2 мм).

*Ступінь цементації* – середній вміст вуглецю в поверхневому шарі (зазвичай, не більше 1,2 %). Більш високий вміст вуглецю призводить до утворення значної кількості цементиту вторинного, який надає шару підвищену крихкість.

На практиці застосовують цементацію в твердому і газовому карбюризаторі. Ділянки деталей, які по повинні бути оброблені попередньо, покривають міддю (електролітичним способом) або глиняною сумішшю.

Структура шару наведені на рис. 15.

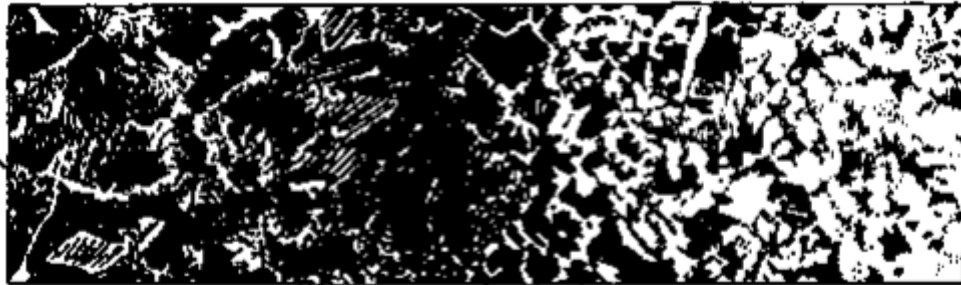


Рисунок 15 – Структура цементованого шару

На поверхні виробу утворюється шар заевтектоїдної сталі, що складається з перліту і цементиту. По мірі віддалення від поверхні, вміст вуглецю знижується і наступна зона складається тільки з перліту. Потім з'являються зерна фериту, їх кількість, по мірі віддалення від поверхні збільшується. І, нарешті, структура стає відповідати вихідному складу.

**Термічна обробка після цементації.** В результаті цементації досягається тільки вигідний розподіл вуглецю по перерізу. Остаточну формує властивості цементованої деталі подальша термообробка. Всі вироби піддають гарту з низькою відпусткою. Після гарту цементований виріб набуває високої твердості і зносостійкості, підвищується межа контактної витривалості і межа витривалості під час вигину, за збереження в'язкої серцевини.

Комплекс термічної обробки залежить від матеріалу і призначення виробу.

Якщо сталь дрібнозерниста або вироби невідповідального призначення, то проводять одноразове загартування з температури від 820 °С до 850 °С. Причому забезпечується отримання високовуглецевого мартенситу в цементованому шарі, а також часткова перекристалізація і подрібнення зерна серцевини.

Під час газової цементації вироби після закінчення процесу охолоджують, а потім загартовують (не потрібно повторне нагрівання під загартування).

Для забезпечення особливо високих вимог, що пред'являються до механічних властивостей цементованих деталей, застосовують подвійне загартування. Перше – гарт (або нормалізація) проводиться з температури 880 °С – 900 °С для виправлення структури серцевини. Друге – гарт проводиться з температури від 760 °С до 780 °С для отримання дрібногольчастого мартенситу в поверхневому шарі.

Завершальною операцією термічної обробки завжди є низька відпустка, проведена за температурі від 150 °С до 180 °С. В результаті відпустки в поверхневому шарі отримується структура мартенситу відпустки, частково знімаються напруження.

Цементації піддають зубчасті колеса, поршневі кільця, черв'яки, осі, ролики.

**Азотування** – хіміко-термічна обробка, за яклі поверхневі шари насичуються азотом.

Вперше азотування здійснив І.П. Чижевський, промислове застосування відбулося в двадцяті роки. Під час азотування збільшуються не тільки твердість і зносостійкість, але також підвищується корозійна стійкість.

Під час азотування вироби завантажують в герметичні печі, куди надходить аміак  $\text{NH}_3$  з певною швидкістю. Під час нагрівання аміак дисоціює за реакцією  $2\text{NH}_3 \rightarrow 2\text{N} + 3\text{H}_2$ . Атомарний азот поглинається поверхнею і дифундує вглиб виробу.

Фази, що виходять в азотований шар вуглецевих сталей, які не забезпечують високу твердість, утворюють крихкий шар.

Для азотування використовують сталі, що містять алюміній, молібден, хром, титан. Нітриди цих елементів мають високу твердість і термічну стійкість.

Типові сталі для азотування – 38ХМЮА, 35ХМЮА, 30ХТ2НЗЮ.

Глибина і поверхнева твердість азотованого шару залежать від ряду факторів: температура азотування, тривалість азотування і хімічний склад сталі.

Залежно від умов роботи деталей розрізняють азотування:

- для підвищення поверхневої твердості і зносостійкості;
- для підвищення корозійної стійкості (антикорозійне азотування).

У першому випадку процес проводять за температури від 500 °С до 560 °С протягом від 24 год до 90 годин, оскільки швидкість азотування становить 0,01 мм/год.

Вміст азоту в поверхневому шарі становить від 10 % до 12 %, товщина шару  $h$  дорівнює від 0,3 мм до 0,6 мм. На поверхні твердість близько 1000HV.

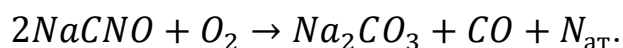
Охолодження проводять разом з піччю в потоці аміаку. Значне скорочення часу азотування досягається під час іонного азотування, коли між катодом (деталлю) і анодом (контейнерної установкою) збуджується тліючий розряд. Відбувається іонізація азотовмісного газу, іони бомбардуючи поверхню катода, нагрівають його до температури насичення. Катодне розпилення відбувається протягом від 5 хв до 60 хв за напруги від 1100 В до 1400 В та тиску від 0,1 мм рт. ст. до 0,2 мм рт. ст., робоча напруга від 400 В до 1100 В, тривалість процесу дорівнює до 24 годин.

Антикорозійне азотування виконують і для легованих, і для вуглецевих сталей. Температура проведення азотування становить від 650 °С до 700 °С, тривалість процесу – 10 годин. На поверхні утворюється шар-фази товщиною від 0,01 мм до 0,03 мм, які мають високу стійкість проти корозії. Фаза – твердий розчин на основі нітриду заліза  $Fe_3N$ , має гексагональну решітку.

Азотування проводять на готових виробах, які пройшли остаточну механічну і термічну обробку (гартування з високою відпусткою). Після азотування в серцевині виробу зберігається структура сорбіту, яка забезпечує підвищену міцність і в'язкість.



**Ціанування** – хіміко-термічна обробка, за якої поверхня насичується одночасно вуглецем і азотом. Здійснюється у ваннах з розплавленими ціаністими солями, наприклад NaCN з домішками солей NaCl, BaCl та ін. Під час окислення ціаністого натрію утворюється атомарний азот і окис вуглецю:



Глибина шару і концентрація в ньому вуглецю і азоту залежать від температури процесу і його тривалості. Ціанований шар має високу твердість від 58HRC до 62HRC і добре чинить опір зносу. Підвищуються втомна міцність і корозійна стійкість. Тривалість процесу становить від 0,5 год до 2 годин.

**Високотемпературне ціанування** – проводиться за температури від 800 °C до 950 °C, супроводжується переважним насиченням сталі вуглецем від 0,6 % до 1,2 %, (рідинна цементация). Вміст азоту в ціанованому шарі дорівнює від 0,2 % до 0,6 %, товщина шару становить від 0,15 мм до 2 мм. Після ціанування вироби піддаються загартуванню і низькій відпустці. Остаточна структура ціанованого шару складається з тонкого шару карбонітридів Fe<sub>2</sub>(C, N), а потім з азотистого мартенситу. У порівнянні з цементациєю високотемпературне ціанування відбувається з більшою швидкістю, призводить до меншої деформації деталей, забезпечує більшу твердість і опір зносу.

**Низькотемпературне ціанування** – здійснюється за температури від 540 °C до 600 °C, супроводжується переважним насиченням сталі азотом. Проводиться для інструментів зі швидкорізальних, високохромистих сталей, є остаточною обробкою.

Основним недоліком ціанування є отруйність ціаністих солей.

**Нітроцементация** – газове ціанування, здійснюється в газових сумішах з цементуючого газу і дисоційованого аміаку.

Склад газу та температура процесу визначають співвідношення вуглецю і азоту в ціанованому шарі. Товщина шару залежить від температури і тривалості обробки.

Високотемпературна нітроцементация проводиться за температури від 830 °С до 950 °С, для машинобудівних деталей з вуглецевих і малолегованих сталей за підвищеного вмісту аміаку.

Завершальною термічною обробкою є гартування з низькою відпусткою. Твердість досягає від 56HRC до 62HRC.

Низькотемпературній нітроцементации піддають інструмент зі швидкорізальної сталі після термічної обробки (загартування і відпустки).

Процес проводять за температури від 530 °С до 570 °С, протягом від 1,5 год до 3 годин. Утворюється поверхневий шар товщиною від 0,02 мм до 0,004 мм з твердістю від 900HV до 1200HV. Нітроцементация характеризується безпекою в роботі, низькою вартістю.

**Дифузійна металізація** – хіміко-термічна обробка, за якої поверхня сталевих виробів насичується різними елементами: алюмінієм, хромом, кремнієм, бором та ін.

Під час насичення хромом процес називають хромуванням, алюмінієм – алітуванням, кремнієм – силіціюванням, бором – боруванням.

Дифузійну металізацію можна проводити в твердих, рідких і газоподібних середовищах.

Під час твердої дифузійної металізації, металізатором є феросплав з додаванням хлористого амонію ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). В результаті реакції металізатора з  $\text{HCl}$  або  $\text{Cl}_2$  утворюється сполука хлору з металом ( $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{CrCl}_2$ ,  $\text{SiCl}_4$ ), які під час контакту з поверхнею дисоціюють з утворенням вільних атомів.

Рідка дифузійна металізація виконується шляхом зануренням деталі в розплавлений метал (наприклад, алюміній).

Газова дифузійна металізація виконується в газових середовищах, якими є хлориди різних металів. Дифузія металів протікає дуже повільно, оскільки утворюються розчини заміщення, тому за однакових температур дифузійні шари в десятки і сотні разів тонше, ніж під час цементации.

Дифузійна металізація – процес дорогий, здійснюється за високих температур (від 1000 °С до 1200 °С) протягом тривалого часу.

Одною з основних властивостей металізованих поверхонь є жаростійкість, тому металізації піддають деталі, що працюють за температури від 1000 °С до 1200 °С та виготовлені з простих вуглецевих сталей.

Виключно високою твердістю (2000HV) і високим опором зносу через утворення боридів заліза (FeB, FeB<sub>2</sub>) характеризуються борвані шари, але ці шари дуже тендітні.

### Приклади оформлення відповідей на питання змістового модулю 3

**Теоретичний тест 3.** Термомеханічна обробка – це послідовність наступних операцій:

- а) деформація аустеніту та послідуєче загартування;
- б) загартування та послідуєча деформація;
- в) деформація аустеніту та нормалізація;
- г) деформація аустеніту та відпустка.

*Відповідь:*

- а) деформація аустеніту та послідуєче загартування.

**Практичний тест 3.** Якому виду термічної обробки необхідно піддати різальний інструмент зі сталі У13А для одержання високої твердості й високих експлуатаційних властивостей?

Довідкова література [3].

**Рішення:**

*Крок 1.*

*Крок 2.*

*Відповідь:*

**Рішення:**

*Крок 1.*

Різальний інструмент зі сталі У13А для одержання високої твердості й високих експлуатаційних властивостей необхідно піддати загартуванню в воді. В результаті отримується структура мартенситу з твердістю 65...66HRC.

*Крок 2.*

Режим термообробки – загартування від температури 770...850 °С.

*Крок 3.*

Для зниження рівня залишкових напружень інструмент необхідно піддати відпусканню за температури 160...180 °С. Зберігається висока твердість в межах 62...64HRC із зниженням крихкості.

*Відповідь:* Загартування у воді від температури 770-850°С, та наступна низька відпустка.

## ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 4

Теми: Вплив легуючих елементів на властивості сталі. Класифікація та позначення легованих сталей. Конструкційні сталі. Корозійностійкі сталі. Спеціальні сталі. Інструментальні матеріали. Кольорові сплави. Неметалеві матеріали.

Сталь – це залізовуглецевий сплав, зміст якого досягає 2,14 %. Завдяки вуглецю метал знаходить твердість.

Основна класифікація марок включає такі показники:

- призначення;
- структура;
- хімічні властивості;
- якість;
- рівень розкислення.

Під час додавання легуючих елементів до складу, можна надати сплаву певні властивості. Комбінація виду і кількості різних добавок призводить до створення марок з поліпшеними характеристиками й стійкістю до корозії.

Класифікація сталі здійснюється за призначенням. Виділяються такі типи марок:

Конструкційні – використовуються у створенні продукції для машинобудування.

Інструментальні – застосовуються для виготовлення штампованих, різальних або мірильних інструментів.

Варто відзначити, що метали можуть відрізнятися і хімічними властивостями. Існують нержавіючі, жароміцні, окалиностійкі та т.п. Однак, попри вміст корисних часток, сталь може містити і шкідливі домішки, наприклад, сірку і фосфор. Так, сірка сприяє появі тріщин в розігрітому металі, а фосфор підвищує його крихкість.

Також марки вказують на ступінь видалення кисню. Виходячи з рівня розкислення, виділяються сталі спокійного типу, напівспокійні і киплячі.

Щоб розшифрувати маркування, необхідно знати певні принципи:

– великі букви позначають елементи, що входять до складу (Т – титан, – цирконій, Ю – алюміній);

– поєднання КП, ПС, СП позначає спосіб розкислення (кипляча, напівспокійна, спокійна);

– цифра після букв позначає кількість вуглецю;

– для визначення якісних, ливарних і будівельних сталей додаються літери К, Л, С;

– додатково використовуються показники термозміцнення, підвищеної корозійної стійкості й змісту міді (Т, К, Д).

Конструкційні вуглецеві сталі містять до 0,65 % вуглецю. Залежно від якості їх маркують так: звичайної якості: Ст0, Ст1... Ст6, де літери Ст означають сталь, цифри – умовний порядковий номер; якісні: 08, 10, 15, 25, 30, 35... 65 (числа вказують на середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка), 45Г, 60Г, 65Г (літера свідчить про підвищений вміст марганцю).

Залежно від ступеня розкиснення, після позначення марки сталі додають літери: кп – кипляча, нс – напівспокійна, сп – спокійна.

Інструментальні вуглецеві сталі містять від 0,65 % до 1,35 % вуглецю. Їх маркують так: якісні – У7, У8... У13 (літера “У” свідчить, що це вуглецева інструментальна сталь, число означає вміст вуглецю в десятих частках відсотка); високоякісні – У8А, У10А... У13А (літера “А” свідчить, що це сталь високої якості). Інструментальні сталі використовують для виготовлення різальних і вимірювальних інструментів, штампів, прес-форм та ін.

Леговані сталі маркують за допомогою великих літер і цифр. Легуючі елементи позначають літерами: С – кремній, Х – хром, М – молібден, Г – марганець, Н – нікель, В – вольфрам, Ф – ванадій, К – кобальт, Т – титан, Ю – алюміній, Д – мідь.

Цифри перед літерами означають відсотковий вміст вуглецю (дві цифри – в сотих частках, одна – в десятих). Коли вміст вуглецю більше, ніж 1 %, цифру не ставлять.

Цифри після літер означають середній вміст легуючих елементів у відсотках. Якщо цифру після літери не ставлять, то вміст легуючого елемента становить від 1 % до 1,5 %.

Деякі сталі спеціального призначення мають особливе маркування, наприклад: Р – швидкорізальна сталь, Ш – шарикопідшипникова та ін.

Найбільш поширені леговані сталі:

- а) конструкційні – 15Х, 20Х, 40Х, 45Х;
- б) інструментальні – ХВГ, 9ХС, ХВ5;
- в) швидкорізальні – Р12, Р9, Р18, Р6М3, Р6С5;
- г) жаростійкі – Х8СМ;
- д) жароміцні – Х23Н18, Х23Р20С2;
- е) нержавіючі – 2Х13.

Використання легованих сталей дає можливість зменшити матеріаломісткість машин, конструкцій, збільшити їх довговічність. Проте такі сталі дорогі, оскільки процес їх одержання складніший. Тому найдоцільніше використовувати низьколеговані сталі, застосування яких забезпечує зниження затрат металу від 18 % до 20 %.

Леговані конструкційні сталі в рівноважному стані відносяться до групи доевтектоїдних. Легуючі елементи (Л.Е.), в них можуть бути присутніми як в твердому розчині в залозі, так і в карбідній фазі. Крім того, деякі Л.Е. можуть міститися в складі неметалевих включень. Всі Л.Е., крім бору і азоту, мають близькі до заліза атомні розміри і подібні електрохімічні властивості і тому в сплавах з залізом утворюють тверді розчини заміщення в широкому діапазоні концентрацій. Бор і азот, як і вуглець, мають значно менші атомні розміри і в сплавах з залізом дають тверді розчини впровадження у вузькому діапазоні концентрацій.

За взаємодією з вуглецем у сталі легуючі елементи розподіляються на дві групи: що утворюють карбіди, та елементи, що не утворюють карбіди (Ni, Co, Si, Sn, Al), котрі знаходяться в твердому розчині.

Легуючі елементи, що утворюють карбіди, якщо їх сумарне значення не велике в порівнянні з тими що знаходяться в сталі, знаходяться відповідно в карбідній фазі. Якщо сумарна кількість карбідоутворюючих легуючих елементів більше необхідного для зв'язування вуглецю, то частина їх знаходиться в твердому розчині.

Карбідна фаза може бути представлена в сталях у вигляді легованого цементиту  $(Fe \text{ Л.Е.})_3C$ , складних карбідів  $(Fe \text{ Л.Е.})_T C_{II}$  або спеціальних карбідів  $(Л.Е.)_T C_{II}$ . Різні карбіди мають приблизно однакову твердість, але відрізняються від цементиту малою здатністю до коагуляції і більшою стійкістю проти дисоціації під час нагрівання.

1) *Вартість і дефіцитність легуючих елементів* (за зростанням): Mn, Si, Al, Cr, Ti, Ni, Nb, Mo, V, W.

2) *Вплив легуючих елементів на положення точок S і E діаграми Fe-Fe<sub>3</sub>C* (зміна долі перліту):

а) зміщуються вліво (за зменшенням): W, Si, Mn, Cr, Ni, Co, Mo;

б) зміщуються вправо: V, Ti, Nb.

3) *Вплив на властивості фериту:*

а) збільшують твердість (за зростанням): Cr, W, Mo, Ni, Si, Mn;

б) знижують ударну в'язкість (в порядку зростання впливу):  $>4\% \text{ Ni}$ ,  $>1\% \text{ Cr}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{W}$ ,  $>1\% \text{ Mn}$ ,  $>1\% \text{ Si}$ .

4) Активність карбідоутворюючих легуючих елементів (за зростанням впливу):  $\text{Fe}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{W}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{Ta}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Ti}$ ,  $\text{Hf}$ .

5) Вплив на схильність до росту зерна аустеніту під час нагрівання:

а) зменшують (за зменшенням):  $\text{Ti}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{W}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Si}$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{Ni}$ ;

б) збільшують:  $\text{Mn}$ ,  $\text{B}$  ( $> 0,006\%$ ).

б) Вплив на C-образну діаграму та прокалюваність:

а) зсувають вліво та зменшують прокалюваність:  $\text{Co}$ ,  $>0,006\% \text{ B}$ ;

б) зсувають вправо та збільшують прокалюваність всі інші легуючі елементи, найбільш сильно збільшують прокалюваність:  $\text{Cr}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{B}$  ( $0,006\%$ ),  $\text{Mn}$ .

7) Вплив на перетворення під час відпустки:

а) затримують сильно:  $\text{Cr}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{Si}$ ,  $\text{V}$ ;

б) затримують слабо:  $\text{Ni}$ ,  $\text{Mn}$ .

8) Вплив на поріг хладоламкості:

а) підвищують:  $\text{C}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Si}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{B}$ ,  $\text{Mn}$ ;

б) знижують:  $\text{Mo}$ ,  $\text{Ni}$ .

Вплив найбільш розповсюджених легуючих елементів на властивості сталі та чавуну охарактеризовано також в табл. 1.

Таблиця 1 – Вплив найбільш розповсюджених легуючих елементів сталі та чавуну

Вплив легуючих елементів на властивості	
Сталь	Чавуни
<i>Марганець</i>	
Підвищує прокалюваність та механічні властивості (особливо пружні властивості). За вмісту близько $13\%$ та вище надає	Перешкоджає графітизації і сприяє відбілити



Сталь	Чавуни
сталі аустенітну структуру, протиударну стійкість, високу зносостійкість під час сухого тертя. Під час нагрівання сприяє зросту зерна	
<i>Кремній</i>	
Збільшує міцність, зносостійкість і надає пружні і антифрикційні якості. За вмісту більше 2 % знижує пластичність. Підвищує прокалюваність, але збільшує температуру гарту, нормалізації і відпалу	Істотно збільшує графітизацію. Сильно впливає на структуру. Залежно від процентного вмісту дозволяє отримати чавуни зі значно відрізняються властивостями
<i>Нікель</i>	
Збільшує прокалюваність, особливо в поєднанні з хромом. Сприяє підвищенню міцності і корозійної стійкості за високих температур. В результаті гарту забезпечує отримання дрібнозернистої структури, відрізняється підвищеною міцністю, високою пластичністю і в'язкістю	Сприяє графітизації, роздрібнення зерна і підвищення зносостійкості. За вмісту більше 13 % у поєднанні з хромом і міддю (нірезіст) забезпечує отримання особливо зносостійкої і корозійностійкої структури
<i>Хром</i>	
Карбідоутворюючий елемент. Підвищує прокалюваність. Сприяє отриманню твердих і зносостійких робочих поверхонь. За вмісту більше 12 % надає високі антикорозійні і жаростійкі якості. Недолік – підвищення схильності сталі до відпускнуї крихкості	Сприяє утворенню карбідів, підвищенню жаростійкості, корозійної стійкості та зносостійкості
<i>Молибден</i>	

Сталь	Чавуни
Ефективний карбідоутворюючий елемент. Підвищує прокалюваність. Істотно знижує схильність до відпускнуї крихкості. Забезпечує отримання рівномірної дрібнозернистої структури, повідомляє стали високу міцність, пластичність і в'язкість	Роздрібнюють структуру і істотно підвищує зносостійкість чавуну. Перешкоджає графітизації. В оптимальній пропорції з нікелем забезпечує отримання перлітної структури
<i>Титан</i>	
Ефективний карбідоутворюючий елемент. Сприяє отриманню дрібнозернистої структури, особливо в поєднанні з хромом і марганцем. В результаті гарту забезпечує високу твердість робочих поверхонь деталей. Підвищує корозійну стійкість	Діє в тому ж напрямку, що і молібден
<i>Алюміній</i>	
Подрібнює зерно. Підвищує ударну в'язкість. Під час нагрівання сприяє графітизації (можна запобігти введенням Ti і V). Збільшує корозійну стійкість	Сприяє графітизації, підвищує міцність
<i>Ванадій</i>	
<i>Мідь</i>	
Ефективний карбідоутворюючий елемент. У малих кількостях сприяє отриманню дрібнозернистої структури і підвищенню в'язкості стали. Сприяє збереженню твердості під час відпустки. Один з небагатьох елементів, що поліпшують зварюваність, так як є активним розкислювачем і дегазатором	Сприяє графітизації і підвищенню міцності і зносостійкості
<i>Вольфрам</i>	
<i>Фосфор</i>	

Сталь	Чавуни
Ефективний карбідоутворюючий елемент. Головна позитивна якість – забезпечення після гарту і відпустки високої твердості (від HRC64 до HRC 66). У разі використання в хромонікелевих сталях сприяє отриманню рівномірної структури та зменшення під час нагрівання зростання зерна. Завдяки високій твердості широко застосовується в інструментальних сталях і сплавах	Істотно підвищує ливарні якості чавуну (рідкотекучість)
<i>Бор</i>	<i>Магній</i>
У малих кількостях сильно збільшує прокалюваність сталей, зокрема хромомолібденових. Добавка в кількості більше 0,007 % викликає виникнення гарячих тріщин (червоноламкість)	Сприяє отриманню сфероїдальній структурі графіту, що значно збільшує міцність і в'язкість чавуну

#### Приклади оформлення відповідей на питання змістового модулю 4

<p><b>Теоретичний тест 4.</b> Легуючі елементи Ni, Cu, Mo, Mn...</p> <p>а) збільшують температуру мартенситного перетворення;</p> <p>б) знижують температуру мартенситного перетворення;</p> <p>в) збільшують температуру евтектичного перетворення;</p> <p>г) збільшують температуру евтектичного перетворення.</p>
<p><i>Відповідь:</i></p> <p>б) знижують температуру мартенситного перетворення.</p>

**Практичний тест 4.** Дати визначення марки сталі 12Х18Н10Т та вказати її хімічний склад за маркуванням?

**Рішення**

Крок 1.

Крок 2.

Крок 3.

*Відповідь:*

**Рішення**

*Крок 1.*

Сталь складнолегована, відноситься до нержавіючих сталей. Має такий хімічний склад:

12 – вуглець (С)  $\approx 0,12\%$ ;

*Крок 2.*

Х18 – хром (Cr)  $\approx 18 \%$ ;

*Крок 3.*

Н10 – нікель (Ni)  $\approx 10\%$ ;

Т – титан (Ti)  $< 1\%$ .

*Відповідь:* С  $\approx 0,12\%$ ; Cr  $\approx 18 \%$ ; Ni  $\approx 10\%$ ; Ti  $< 1\%$ .

## **Змістовий модуль 5**

Теми: Методи дослідження макро- та мікроструктури матеріалів. Методи визначення пружних та міцнісних властивостей матеріалів. Визначення надійності та зносостійкості матеріалів.

### **Властивості металів.**

Вироби машинобудування у процесі експлуатації піддаються впливу різного роду механічних, фізичних і хімічних факторів. Це зумовлює певні вимоги щодо комплексу основних характеристик властивостей металів і сплавів. Вони

визначають відповідність обраного матеріалу розрахунковим навантаженням у проектуванні деталей і забезпечують надійність їхньої роботи. Розрізняють механічні властивості, технологічні, фізичні й хімічні. Поширення набули методи визначення механічних властивостей металів і сплавів.

Механічні властивості матеріалів визначають, випробовуючи їх на твердість, розтягування, стискування, кручення, згин, ударну в'язкість, зношування, втому тощо. Випробовують спеціально виготовлені зразки стандартної форми і розмірів на спеціальних приладах і машинах для одержання потрібних характеристик. До технологічних характеристик відносять здатність металів сприймати технологічні операції обробки, які надають виробам потрібної форми, розмірів і властивостей.

Основні технологічні властивості металів – це оброблюваність різанням, здатність до холодної та гарячої обробки тиском (прокатування, кування, штампування), ливарні властивості, зварюваність, прогартовуваність тощо.

Технологічні властивості визначають, використовуючи відповідні технологічні проби.

До фізичних властивостей металів належать щільність, електропровідність, теплопровідність, намагнічуваність, холодноламкість тощо.

Фізичні властивості, як і механічні, відіграють важливу роль у виборі металевих матеріалів.

Хімічні властивості металів і сплавів характеризують їхню здатність хімічно взаємодіяти з оточуючим робочим середовищем - утворювати сполуки, розчинюватися, піддаватися корозії або чинити опір діям агресивного середовища.

Визначення механічних властивостей металів шляхом статичних випробувань стандартних зразків на розтягування. Більшість характеристик механічних властивостей металів визначають шляхом статичних випробувань стандартних зразків на розтягування. Їх здійснюють на розривних машинах, які визначають видовження зразків під час деформації.

Під час випробувань зразок розтягується (деформується) вздовж його поздовжньої осі. Результати випробувань унаочнює діаграма навантаження – деформація, на якій уздовж осі ординат відкладають навантаження, а за віссю абсцис – абсолютне видовження. Пружну деформацію на діаграмі характеризує пряма лінія. На цій ділянці спостерігається пропорційність між навантаженням і видовженням. Умовне навантаження, за якого вперше залишкові деформації досягають певної малої величини, називають порогом пружності  $\sigma_{пц}$ .

З підвищенням навантаження порушується пропорційність між напруженням і деформацією, поруч з пружними деформаціями виникають пластичні. Далі зразок деформується без збільшення розтягуючого навантаження. Горизонтальна ділянка плинності на діаграмі визначає поріг плинності (текучості) матеріалу –  $\sigma_T$ , МПа. Цю характеристику іноді позначають також  $\sigma_{0,2}$ , оскільки вона відповідає напруженню, що викликає залишкову деформацію 0,2 %. Максимальне напруження, яке може витримати зразок до руйнування визначає поріг міцності –  $\sigma_B$ , МПа.

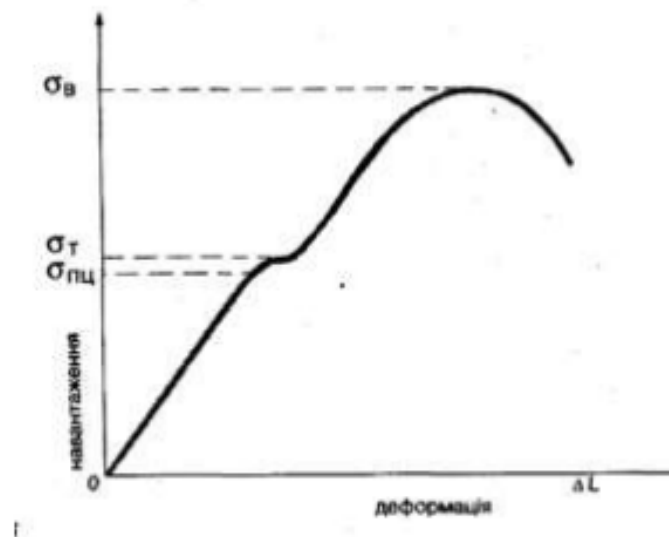


Рисунок 16 – Діаграма розтягнення маловуглецевої сталі

Найпоширенішим простим і швидким методом механічних випробувань є вимірювання твердості. Це дозволяє без руйнування зразка (виробу) досить точно контролювати якість матеріалу, знаходити відповідність цій характеристиці, інших механічних властивостей.

Твердість – це властивість матеріалу опиратися місцевому пластичному деформуванню під час контактної дії на нього більш твердого тіла (індентора). Існує кілька методів визначення твердості: метод втискування, відскоку, дряпання, метод маятника тощо. Широкого поширення набув метод вимірювання твердості втискуванням, Причому індентор певної форми (піраміда, конус, кулька), виготовлений з твердого матеріалу (алмаз, гартована сталь, твердий сплав) втискують під час навантаження у поверхню металу.

Число твердості визначають, виходячи з показників залишкової деформації вимірюваного зразка в умовних одиницях.

Метод Брінелля зводиться до статичного вдавлювання у поверхню вимірюваного матеріалу під навантаженням  $P$  в Н (кГс) загартованої сталевий кульки певного діаметру  $D$ , мм. За величиною діаметра відбитка кульки  $d$ , мм (глибина  $h$ ), визначають число твердості, користуючись виразом

$$HB = P/F,$$

де:  $F$  – площа поверхні відбитка кульки, мм<sup>2</sup>

Позначивши площу сферичного відбитку через діаметр кульки

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

одержимо формулу, за якою можна визначити твердість

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Твердість за Брінеллем (НВ) визначають у  $\text{кГс}/\text{мм}^2$  або в МПа.

Визначення твердості металів за допомогою метода Роквелла.

Вимірювання твердості за методом Роквелла виконують втискуванням у поверхню досліджуваного зразка алмазного конусу з кутом біля вершині  $120^\circ$  або загартованої сталевий кульки діаметром 1,59 мм.

Втискування алмазного конусу або кульки здійснюють, прикладаючи два послідовних навантаження – попереднє  $P_0$ , яке дорівнює 0,1 кН (кГс), і основне  $P_1$ . Сумарне або загальне навантаження  $P$  під час втискування алмаза становить 0,6 кН (60 кГс) або 1,5 кН (150 кГс). Під час втискування кульки  $P$  дорівнює 1 кН (100 кГс). Відповідно цим навантаженням, прилад оснащений трьома шкалами: чорні А і С та червона В.

Шкапу А використовують у вимірах виробів з дуже високою поверхневою твердістю (цементовані, азотовані тощо) і твердих сплавів з твердістю до 85HRA. Під час вимірювань твердості загартованих сталей, користуються шкалою С (до 67HRC). Шкалу В використовують під час вимірювань твердості незагартованих сталей кольорових металів і сплавів (до 100HRB). Числа твердості за Роквеллом визначають в умовних одиницях.

Вимірювання твердості за методом Віккерса здійснюють втискуванням у поверхню металу (шліфовану чи поліровану) чотиригранної алмазної піраміди з кутом між гранями  $136^\circ$ . Тривалість навантаження під час випробувань чорних металів від 10 с до 15 с, кольорових – 30 с. Величина навантаження 10, 30, 50, 100, 200, 300, 500, 1000, 1200 Н. Зі збільшенням навантаження зростає глибина проникнення алмазної піраміди в метал. Так під час вимірювання твердості тонких зміцнених шарів після азотування або борування використовують навантаження 50 Н або 100 Н. Товщина зразка для вимірів не повинна бути меншою за 1,5 діагоналі відбитка піраміди. Число твердості за Віккерсом визначається відношенням навантаження  $P$ , прикладеного на одиницю поверхні відбитку



$$HV = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 18,54 \frac{P}{d^2} = H / \text{мм}^2,$$

де:  $P$  – навантаження на піраміду  $H$ , яке добирають з таблиці;

$\alpha$  – кут між протилежними гранями піраміди ( $136^\circ$ ).

Для позначення твердості за методом Віккерса необхідно вказувати і тривалість навантаження, якщо вона більша чи менша за 10 с або 15 с. Наприклад, 10/30-500HV означає число твердості за Віккерсом 500, одержане вимірюваннями з навантаженням 10 кГс, тривалість навантаження у 30 с.

Між одиницями твердості, одержаними вимірюванням різними методами, існує відповідна кореляція. Існують таблиці переводу чисел твердості. Так, наприклад, твердість 60HRC відповідає 720HV. Числа твердості за Брінеллем і Віккерсом мають однакові одиниці вимірювання Н/м<sup>2</sup> (кГс/мм<sup>2</sup>) і для матеріалів з твердістю до 4000HV практично збігаються.

### Приклади оформлення відповідей на питання змістового модулю 5

Теоретичний тест 5. Основними методами дослідження макро- та мікроструктури матеріалів є...

- а) оптичний мікроскоп відображаючий;
- б) оптичний мікроскоп просвічуючий;
- в) оптичний мікроскоп поляризаційний;
- г) оптичний мікроскоп інтерференційний.

*Відповідь:*

- а) оптичний мікроскоп відображаючий.

Практичний тест 5. Визначити ударну в'язкість матеріалу, зразок якого представлений на рисунку 1, якщо  $\alpha$  – кут початкового підйому маятника дорівнює  $60^\circ$ ,  $\beta$  – кут підйому маятника після руйнування зразка дорівнює  $10^\circ$  (рисунок 2). Відстань  $l$  від осі маятника до його центру ваги дорівнює 1 м. Маса маятника  $m$  становить 10 кг.

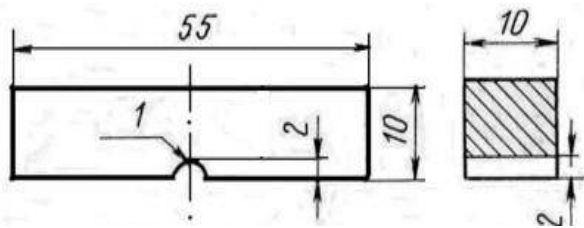


Рисунок 1 Зразок випробуваного матеріалу

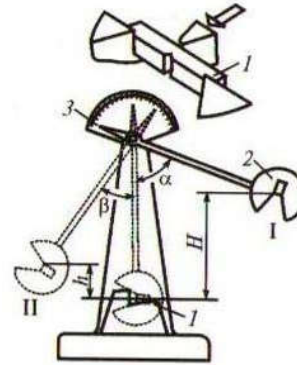


Рисунок 2 Схема випробування

### Рішення:

Крок 1

Крок 2

Крок 3

Відповідь:

### Рішення

Крок 1. Ударна в'язкість (КС), Дж/м<sup>2</sup> визначається за формулою

$$КС = \frac{A}{F},$$

де  $A$  – робота витрачена на руйнування зразка, Дж;

$F$  – площа зразка в місці надрізу, м<sup>2</sup>.

Крок 2. Роботу, витрачену на руйнування зразка, визначають як різницю запасів енергії маятника до і після удару за формулою:

$$A = mg(H - h),$$

де  $m$  – маса маятника, кг;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$H$  – висота підйому центра ваги маятника щодо точки зустрічі бойка з зразком до удару, м;

$h$  – висота підйому центра ваги маятника щодо точки зустрічі бойка зі зразком після удару, м

Висловимо величини  $H$  і  $h$  через відстань  $l$ :

$$H = l - l \cos \alpha,$$

$$h = l - l \cos \beta,$$

тоді

$$A = mgl(\cos \beta - \cos \alpha).$$

*Крок 3. Ударна в'язкість*

$$KC = \frac{mgl(\cos \beta - \cos \alpha)}{F} = \frac{10 \cdot 9,8 \cdot 1(\cos 10^\circ - \cos 60^\circ)}{0,00008} = 588\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2}.$$

*Відповідь:* 588000 Дж/м<sup>2</sup>

## 1 ТЕОРЕТИЧНИЙ БЛОК МОДУЛІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ

**Змістовий модуль. 1 Кристалічна будова металів. Дефекти в кристалах. Кристалізація. Сплави Механічні властивості матеріалів. Пластична деформація і деформаційне зміцнення. Руйнування матеріалів. Нагрівання деформованих металів**

1.1 Який тип решітки має залізо зв кімнатної температури?

- а) тетрагональна;
- б) об'ємноцентрована кубічна;
- в) гранецентрована кубічна;
- г) гексагональна.

1.2 Які дефекти кристалічної решітки забезпечують високу пластичність металів?

- а) вакансії;
- б) дислокації;
- в) атоми домішок;
- г) кордони зерен.

1.3 Щоб одержати найбільш дрібнозернистий злиток сталі треба...

- а) перегріти розплав вище температури фазової рівноваги на 10...22 %;
- б) видержувати розплав за температури фазової рівноваги;
- в) переохолодити розплав нижче температури фазової рівноваги на 10...22 %;
- г) охолоджувати розплав з максимальною швидкістю.

1.4 Які види сплавів не присутні в якості фаз діаграми залізо-цементит?

- а) тверді розчини заміщення;
- б) тверді розчини впровадження;
- в) хімічне з'єднання;
- г) інтерметалічні фази.

1.5 Відносне подовження металу є характеристикою його...

- а) міцності;

- б) пластичності;
- в) витривалості;
- г) зносостійкості.

1.6 Яке з перерахованих властивостей (параметрів) найбільшою мірою характеризує опір матеріалу крихкому руйнуванню?

- а) твердість;
- б) межа міцності;
- в) відносне подовження;
- г) ударна в'язкість.

1.7 Який тип решітки має вуглець у вигляді графіту за кімнатної температури?

- а) тетрагональна;
- б) об'ємноцентрована кубічна;
- в) гранецентрована кубічна;
- г) гексагональна.

1.8 До фізичних властивостей металів і сплавів відноситься...

- а) міцність;
- б) щільність;
- в) твердість;
- г) ударна в'язкість.

1.9 Для кристалічного стану речовини характерні...

- а) висока електропровідність;
- б) анізотропія властивостей;
- в) висока пластичність;
- г) корозійна стійкість.

1.10 Вкажіть види точкових статичних дефектів кристалічної структури.

- а) дислокації;
- б) вакансії;
- в) фонони;
- г) кордони зерен.

1.11 Здатність деяких твердих речовин утворювати кілька типів кристалічних структур, стійких за різних температур і тисків, називається...

- а) поліморфізмом;
- б) поляризацією;
- в) анізотропією;
- г) ізотропією.

1.12 Здатністю чинити опір впровадженню в поверхневий шар іншого більш твердого тіла володіють...

- а) крихкі матеріали;
- б) тверді матеріали;
- в) пластичні матеріали;
- г) пружні матеріали.

1.13 Властивості матеріалів, що характеризують їх поведінку під час обробки, називаються...

- а) експлуатаційними;
- б) технологічними;
- в) споживчими;
- г) механічними.

1.14 Мимовільне руйнування твердих матеріалів, викликане хімічними або електрохімічними процесами, що розвиваються на їх поверхні під час взаємодії з зовнішнім середовищем, називається...

- а) корозією;
- б) дифузією;
- в) ерозією;
- г) адгезією.

1.15 Здатність матеріалу чинити опір впровадженню іншого більш твердого тіла називається...

- а) міцністю;
- б) пружністю;
- в) в'язкістю;

- г) пластичністю;
- д) твердістю.

1.16 Дефект кристалічної решітки, що представляє собою край зайвої напівплощини, називається...

- а) дислокацією;
- б) кордоном зерна;
- в) двійником;
- г) вакансією.

1.17 У металів з якою кристалічною ґраткою пластична деформація відбувається легше?

- а) ОЦК і ГЦК;
- б) ГПУ;
- в) ГЦК;
- г) ГПУ і ОЦК.

1.18 Текстура деформації – це...

- а) закономірна орієнтація кристалітів відносно зовнішніх деформаційних сил;
- б) металографічна структура;
- в) вид деформації;
- г) вид зносу.

1.19 Після зняття пластичної деформації атоми металу...

- а) повертаються на свої місця;
- б) не повертаються на свої місця і займають нове положення рівноваги;
- в) зникають;
- г) перетворюються на інші атоми.

1.20 В результаті нагрівання та наступної обробки тиском в металі утворюється...

- а) волокниста структура;
- б) включення;
- в) зерниста структура;
- г) неметали.

1.21 Макроскопічний аналіз матеріалів дозволяє визначити...

- а) хімічний склад;
- б) механічні властивості;
- в) форму та розмір зерна;
- г) макродефекти.

1.22 Процес кристалізації металів та сплавів це...

- а) перехід від твердого стану в рідкий;
- б) перехід від твердого стану в газоподібний;
- в) перехід в аморфний стан;
- г) перехід з рідкого стану в твердий стан з утворенням кристалічної структури.

1.23 Міцність – це здібність матеріалу...

- а) опиратися дії зовнішніх сил без руйнування;
- б) відновлювати початкову форму після зняття навантаження;
- в) опиратись проникненню більш твердого матеріалу;
- г) здатність матеріалу змінювати свою форму під дією зовнішніх навантажень та відновлювати її після зняття.

1.24 Мірою внутрішніх сил, що виникають у матеріалі під впливом зовнішніх впливів є...

- а) деформація;
- б) напруження;
- в) наклеп;
- г) твердість.

**Змістовий модуль 2. Діаграми стану сплавів. Діаграма Fe–C. Чавуни. Вуглецеві сталі Вплив домішок на властивості сталей. Фазові перетворення в сплавах заліза. Технологія термічної обробки**



2.1 Механічна суміш двох кристалів які одночасно кристалізувалися з рідини називається...

- а) евтектикою;
- б) перитектикою;
- в) аустенітом;
- г) феритом.

2.2 Який максимальний (теоретично) вміст вуглецю в сталях (%)?

- а) 6,67;
- б) 0,8;
- в) 2,14;
- г) 4,3.

2.3 Чавун з включеннями графіту пластівчастої форми, що має тимчасовий опір під час розтягування не менше 450 МПа і відносне подовження не менше 7 %, маркується як...

- а) КЧ45-7;
- б) ВЧ45-7;
- в) КЧ450-7;
- г) ВЧ450-7.

2.4 Розкислена сталь, яка має марку СП містить...

- а) 0,5 % кремнію;
- б) 0,05 % кремнію;
- в) 1,5 марганцю;
- г) 1 % кремнію та 1 % марганцю.

2.5 Зміст шкідливих домішок в якісній сталі головним чином має бути обмежений межами...

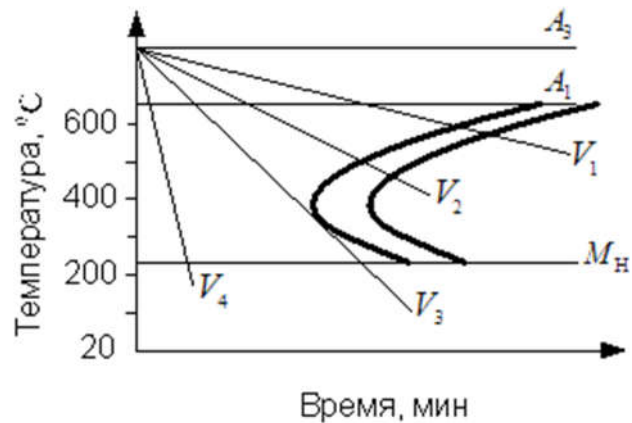
- а) сірка 0,02 %, фосфор 0,02 %;
- б) сірка 0,06 % фосфор 0,06 %;
- в) сірка 0,008 %, миш'як 0,4 %;
- г) миш'як 0,5 %, цинк 0,5 %.

2.6 Вкажіть кристалічну фазу, яка не присутня в залізовуглецевих сплавах на діаграмі залізо-цементит.

- а) перліт;
- б) мартенсит;
- в) цементит;
- г) ледебурит.

2.7 У сталі, термокінетична діаграма для якої показана на малюнку, розпад аустеніту по бездифузійному механізму напевно відбувається під час охолодження зі швидкістю...

- а)  $V_1$ ;
- б)  $V_2$ ;
- в)  $V_3$ ;
- г)  $V_4$ .



2.8 Яка фаза повинна обов'язково бути присутня в сталі за температури нагрівання під загартування?

- а) мартенсит;
- б) цементит;
- в) ферит;
- г) аустеніт.

2.9 Евтектоїд сталі представляє собою суміш...

- а) заліза і цементиту;
- б) фериту і аустеніту;
- в) аустеніту і перліту;
- г) фериту і цементиту.

2.10 Діаграми стану двоконпонентних систем будують в координатах...

- а) температура – склад;
- б) час – склад;
- в) швидкість охолодження – склад;

г) температура – час.
2.11 На діаграмі Fe–Fe <sub>3</sub> C критична точка A <sub>3</sub> відповідає лінії... а) ECF; б) PSK; в) SE; д) GS.
2.12 На діаграмі Fe–Fe <sub>3</sub> C критична точка A <sub>1</sub> відповідає лінії... а) SE; б) PSK; в) ECF; г) GS.
2.13 У чавуні марки ВЧ60 вуглець знаходиться у вигляді... а) пластинчастого графіту; б) пластівчастого графіту; в) кулястого графіту; г) цементиту.
2.14 Цементит – це... а) хімічна сполука заліза з вуглецем; б) суміш аустеніту і цементиту; в) суміш фериту і цементиту; г) твердий розчин впровадження вуглецю в залозі.
2.15 Чавун з графітовими включеннями пластівчастої форми називається... а) високоміцним; б) білим; в) ковким; г) сірим.
2.16 Перліт – це... а) суміш фериту і цементиту евтектоїдного складу; б) хімічна сполука заліза з вуглецем; в) твердий розчин впровадження;

г) твердий розчин заміщення.

2.17 Надання заготовці необхідної форми і розмірів в пластичному стані за практично незмінного хімічного складу оброблюваного матеріалу забезпечується...

- а) в процесі проведення обробки металів тиском з наступною термічною обробкою;
- б) в процесі проведення термічної обробки;
- в) в процесі проведення механічної обробки;
- г) в процесі проведення обробки металів тиском.

2.18 Повний перелік різних видів обробки металів тиском в пластичному стані виглядає так:

- а) прокатка, волочіння, пресування;
- б) прокатка, волочіння, пресування, кування, штампування;
- в) гаряча прокатка, холодна прокатка, пресування; волочіння;
- г) прокатка, волочіння, пресування, кування, штампування, термообробка.

2.19 Як визначити за діаграмою стану «залізо – вуглець» максимальну температуру нагрівання стали перед прокаткою, щоб уникнути появи таких явищ, як перевитрата, перегрів, розтин підкіркових бульбашок?

- а) максимальна температура нагріву стали приймається нижче лінії ліквідус на 100...200 °С;
- б) максимальна температура нагріву стали приймається вище лінії ліквідус на 100...200 °С;
- в) максимальна температура нагріву стали приймається нижче лінії солідус на 100...200 °С;
- г) максимальна температура нагріву стали приймається вище лінії солідус на 100...200 °С.

2.20 Вкажіть операцію в технологічному процесі кування, за якої збільшується площа поперечного перерізу заготовки за рахунок зменшення її довжини.

- а) осадження;
- б) висадка;
- в) протяжка;

г) прошивка.
2.21 Сталь – це... а) сплави заліза з вуглецем, що містять до 0,02 % вуглецю; б) сплави заліза з вуглецем, що містять від 0,02 % до 2,14 % вуглецю; в) сплави заліза з вуглецем, що містять від 2,14 % до 6,67 %; г) сплави заліза з вуглецем, що містять 0,8 %.
2.22 Чавунами називають... а) сплави заліза з вуглецем, що містять до 0,02 % вуглецю; б) сплави заліза з вуглецем, що містять від 0,02% до 2,14% вуглецю; в) сплави заліза з вуглецем, що містять від 2,14 % до 6,67 %; г) сплави заліза з вуглецем, що містять 0,8 %.
2.23 Метою легування є... а) виробництво сталей з особливими якостями; б) отримання гладкої поверхні; в) підвищення пластичних якостей; г) зменшення поверхневих дефектів.
2.24 Сталь із чавуну можна отримати, якщо... а) збільшити вміст вуглецю; б) зменшити вміст вуглецю; в) зменшити вміст домішок; г) додати легуючий елемент

**Змістовий модуль 3 Термомеханічна обробка. Поверхнєве загартування. Хіміко-термічна обробка. Поверхнєве зміцнення. Види та методи нанесення покриттів на машинобудівних виробках**

3.1 Термомеханічна обробка це послідовність наступних операцій... а) деформація аустеніту та послідуєче загартування; б) загартування та послідуєча деформація; в) деформація аустеніту та нормалізація;
---

г) деформація аустеніту та відпустка.
<p>3.2 Поверхневому загартуванню піддають сталі...</p> <p>а) середньовуглецеві;</p> <p>б) низьковуглецеві;</p> <p>в) киплячі;</p> <p>г) високо вуглецеві.</p>
<p>3.3 Після проведення азотування...</p> <p>а) не потрібно додаткової термічної обробки деталей;</p> <p>б) деталі піддають нормалізації для подрібнення зерна;</p> <p>в) деталі піддають відпалу для зняття внутрішніх напружень;</p> <p>г) деталі піддають гарту і низькій відпустці.</p>
<p>3.4 Поверхнєве зміцнення методом обкатки...</p> <p>а) зменшує залишкові напруги;</p> <p>б) збільшує залишкові напруги;</p> <p>в) створює стискаючі залишкові напруги;</p> <p>г) створює розтягуючі залишкові напруги.</p>
<p>3.5 Найбільш поширений метод нанесення покриттів є...</p> <p>а) електролітичне покриття;</p> <p>б) дугове напилення;</p> <p>в) наплавлення;</p> <p>г) вакуумне напилення.</p>
<p>3.6 Зміцнення робочого шару деталей виконуються за допомогою наступних операцій...</p> <p>а) цементация та ТВЧ загартування;</p> <p>б) цементация та об'ємне загартування;</p> <p>в) поверхнева пластична деформація та загартування;</p> <p>г) азотування та нормалізація.</p>

3.7 Від чого залежать кількість залишкового аустеніту?

- а) від температури точок початку та кінця мартенситного перетворення;
- б) від швидкості нагріву під час аустенізації;
- в) від однорідності початкового аустеніту;
- г) від швидкості охолодження сплаву в області згину С-образних кривих.

3.8 Що таке загартованість?

- а) глибина проникнення загартованої зони;
- б) процес утворення мартенситу;
- в) здатність металу швидко прогріватися на всю глибину;
- г) здатність металу підвищувати твердість під час загартування.

3.9 Який відпал застосовують для усунення деформаційного зміцнення?

- а) рекристалізаційний;
- б) повний;
- в) сфероїдизуючий;
- г) дифузійний.

3.10 Яка ціль дифузійного відпалу?

- а) гомогенізація структури;
- б) усунення напруги в кристалічній решітці;
- в) поліпшення феритної складової структури;
- г) отримання зернистої структури.

3.11 Як називається термічна обробка, що складається з гартування та високої відпустки?

- а) нормалізація;
- б) покращення;
- в) сфероїдизуючим;
- г) повне загартування.

3.12 Який вид термічної обробки необхідний для повної ліквідації наклепу в металі?

- а) низька відпустка;
- б) гарт;

- в) відпал рекристалізації;
- г) нормалізація.

3.13 Що таке наклеп (нагартовка)?

- а) пластичне деформування металу;
- б) холодна пластична деформація;
- в) гаряча пластична деформація;
- г) зміцнення металу в результаті холодної пластичної деформації.

3.14 Яка обробка сталевих виробів називається поліпшенням?

- а) гарт + низька відпустка;
- б) висока відпустка;
- в) гарт + висока відпустка;
- г) шліфування поверхні.

3.15 Під час середньої відпустки вуглецевих сталей мартенсит перетворюється в...

- а) тростит відпустки;
- б) перліт відпустки;
- в) мартенсит відпустки;
- г) сорбіт відпустки.

3.16 Сорбіт гарту і сорбіт відпустки розрізняються...

- а) фазовим складом;
- б) дисперсністю;
- в) хімічним складом;
- г) формою частинок цементиту.

3.17 Повний перелік способів виробництва металевих труб виглядає так:

- а) прокатка, пресування, волочіння, лиття;
- б) пресування, волочіння, витяжка труб з розплавленого металу і лиття;
- в) прокатка, зварювання або паяння, пресування, волочіння, комбінація цих способів, витяжка труб з розплавленого металу і лиття;



г) прокатка, зварювання або паяння, витяжка труб з розплавленого металу і лиття.

3.18 Який вид термічної обробки широко застосовується в цехах гарячої прокатки товстих листів, для зняття наклепу і підвищення пластичності сталі?

- а) рекристалізаційний відпал;
- б) нормалізація;
- в) патентування;
- г) відпустка.

3.19 Вкажіть відповідь з усіма основними видами термічної обробки, які призначаються в залежності від вимог, що пред'являються до напівфабрикатів і готових виробів?

- а) відпал, гарт, старіння;
- б) гарт, відпустка;
- в) відпал, нормалізація, гарт, відпустка;
- г) відпал, нормалізація, старіння.

3.20 Якими параметрами характеризується режим будь-якого процесу термообробки?

- а) температурою нагріву і швидкістю охолодження;
- б) температурою нагріву, часом витримки, швидкістю нагріву і охолодження;
- в) температурою нагріву, часом витримки і швидкістю нагріву;
- г) температурою нагріву, часом витримки і швидкістю охолодження.

3.21 Процес насичення поверхні металевого виробу вуглецем це...

- а) борування;
- б) ціанування;
- в) цементация;
- г) азотування.

3.22 Хімічним з'єднанням  $Fe_3C$  є...

- а) аустеніт;
- б) цементит;
- в) мартенсит;
- г) тростит

3.23 Які з перерахованих видів обробки здатні усунути хімічну неоднорідність у сталевих виливках?

- а) азотування;
- б) цементація;
- в) старіння;
- г) дифузійне відпал.

3.24 Визначте правильний рядок.

- а) під час високої відпустки мартенсит перетворюється з тростит відпустки;
- б) під час високої відпустки мартенсит перетворюється з сорбіт відпустки;
- в) під час високій відпустки мартенсит загартування переводиться у відпущений мартенсит;
- г) під час високої відпустки сорбіт перетворюється на мартенсит відпустки.

**Змістовий модуль 4 Вплив легуючих елементів на властивості сталі. Класифікація та позначення легованих сталей. Конструкційні сталі. Корозійностійкі сталі. Спеціальні сталі. Інструментальні матеріали. Кольорові сплави. Неметалеві матеріали**

4.1 Легуючі елементи Ni, Cu, Mo, Mn...

- а) збільшують температуру мартенситного перетворення;
- б) знижують температуру мартенситного перетворення;
- в) збільшують температуру евтектичного перетворення;
- г) збільшують температуру евтектичного перетворення.

4.2 Леговані сталі не класифікуються...

- а) за структурою;
- б) за змістом легуючих елементів;
- в) за призначенням;
- г) за змістом вуглецю.

4.3 Конструкційною покращеною легованою сталлю є...

- а) 30ХН3А;
- б) У7А;
- в) 15ХФ;
- г) Х12М.

4.4 Який хімічний елемент і в якій мінімальній кількості робить сталь корозійностійкою?

- а) Мп-13%;
- б) Ні.-7%;
- в) Сг-13%;
- г) Ті-4%.

4.5 Немагнітні сталі за структурою є...

- а) аустенітними;
- б) перлітними;
- в) ледебуритними;
- г) феритними.

4.6 З якого сплаву слід виготовити ріжучий хірургічний інструмент багаторазового використання?

- а) У8;
- б) Д16;
- в) 12Х18Н10Т;
- г) 40Х13.

4.7 Який з перерахованих хімічних елементів обов'язково присутній в латунях?

- а) Fe;

- б) С;
- в) Zn;
- г) Al.

4.8 Особливостями пластмас є...

- а) мала щільність, хороші діелектричні властивості;
- б) низька питома міцність, погана технологічність;
- в) висока теплостійкість, низька хімічна стійкість;
- г) хороша теплопровідність, висока в'язкість.

4.9 Для підвищення твердості, зносостійкості, корозійної стійкості до складу сталі вводять...

- а) фосфор;
- б) нікель;
- в) хром;
- г) марганець.

4.10 Шкідливими елементами в сталі є...

- а) кремній, фосфор, сірка, нікель;
- б) фосфор, сірка, водень, кисень;
- в) марганець, сірка, фосфор, кремній;
- г) марганець, кремній, кисень, водень.

4.11 Серед нижчеперелічених середньовуглецевих є сталь...

- а) Р6М5;
- б) У8;
- в) 10;
- г) 45.

4.12 Для виготовлення деталей машин, що цементуються, доцільно використовувати сталі марок...

- а) 15кп, 20;
- б) Р18, Х12М;
- в) 65, 70;
- г) У12А, У8.

4.13 Серед нижчеперелічених легована кремнієм сталь...

- а) 30ХГСНА;
- б) 12К;
- в) Ст.2;
- г) Р6М5К5.

4.14 Для виготовлення напилків доцільно використовувати сталь...

- а) 65Г;
- б) 08кп;
- в) 45;
- г) У12.

4.15 У випадку збільшеного вмісту вуглецю в стали...

- а) твердість зменшується, пластичність – збільшується;
- б) твердість і пластичність збільшується;
- в) твердість збільшується, пластичність зменшується;
- г) твердість і пластичність зменшується.

4.16 Спокійної називається сталь...

- а) розкислення феромарганцем, ферокремнієм і алюмінієм;
- б) що містить менше 0,02 % вуглецю;
- в) піддана електрошлаковому переплаву;
- г) розкислення тільки феромарганцем.

4.17 Виберіть тип конструкційної сталі, яка добре піддається обробці під час кування і штампування.

- а) хромиста;
- б) молібденова;
- в) хромо-кремниста;
- г) марганцевиста.

4.18 Сплав Д16 є...

- а) алюмінієвим сплавом що деформується, не зміцнюється термічною обробкою;

б) алюмінієвим сплавом, що деформується, зміцнюється термічною обробкою;

в) ливарним сплавом на основі міді;

г) порошковим сплавом системи  $Al - Al_2O_3$ .

4.19 Зміст вуглецю у сталі 60С2ХФА становить близько...

а) 1,0 %;

б) 0,6 %;

в) 0,2 %;

г) 2,0 %.

4.20 У чавуні марки ВЧ100 графітові включення мають форму...

а) кулясту;

б) пластівчасту;

в) вермікулярну;

г) пластинчасту.

4.21 Алюмінієвий сплав дюралюмін, позначається...

а) АЛ4;

б) Д18;

в) В96;

г) АК-4-1.

4.22 Пластмаси – це...

а) синтетичні матеріали на основі мономерів;

б) штучні матеріали, отримані на основі органічних високомолекулярних речовин-полімерів;

в) штучні матеріали, отримані реакцією полімеризації;

г) мінерали.

4.23 Як позначається латунь?

а) Бр ОЦ4-3;

б) ЛАН 59-3-2;

в) Д16;

г) Бр03Ц12С5.

4.24 Доповніть затвердження: за технологією виготовлення виробів алюмінієві сплави поділяються на...

- а) ливарні та деформовані;
- б) деформовані та спечені;
- в) ливарні, деформовані та спечені;
- г) монолітні та немонолітні.

**Змістовий модуль 5 Методи дослідження макро- та мікроструктури матеріалів. Методи визначення пружних та міцнісних властивостей матеріалів. Визначення надійності та зносостійкості матеріалів**

5.1 Основними методами дослідження макро- та мікроструктури матеріалів є...

- а) оптичний мікроскоп відображаючий;
- б) оптичний мікроскоп просвічуючий;
- в) оптичний мікроскоп поляризаційний;
- г) оптичний мікроскоп інтерференційний.

5.2 Для визначення загальної структури продуктів розпаду аустеніту після термічної обробки потрібно застосовувати збільшення мікроскопу...

- а) X10-50;
- б) X100-1500;
- в) X1500-2000;
- г) X10 000-15 000.

5.3 Структуру сплаву на мікрошлифах виявляють...

- а) шліфуванням;
- б) поліруванням;
- в) травленням;
- г) хонінгуванням.

5.4 Методами кількісної металографії користуються для коригування...

- а) хімічного складу металу;
- б) зусилля деформації штамповки;

- в) температури нагріву під загартування;
- г) температури низької відпустки.

5.5 Електрона мікроскопія та рентгеноструктурний аналіз не використовується для...

- а) досліджень будови кристалічної решітки фаз сплаву;
- б) досліджень середнього складу елементів сплаву;
- в) визначення тонкої структури дефектів в фазах сплаву;
- г) досліджень фазового складу сплаву.

5.6 Мікрорентгеноспектральний аналіз використовують для визначення...

- а) мікророзподілу елементів в фазах;
- б) хімічного аналізу;
- в) фазового аналізу;
- г) мікроструктурного аналізу.

5.7 Пружні та міцнісні властивості матеріалів визначають за допомогою...

- а) статичних іспитів;
- б) динамічних іспитів;
- в) визначенням твердості;
- г) визначенням витривалості.

5.8 Зносостійкість сплаву визначається...

- а) зменшенням ваги зразка;
- б) зменшенням твердості зразка;
- в) зменшенням міцності зразка;
- г) зменшенням шорсткості зразка.

5.9 Микротвердість окремого зерна структури металу вимірюють методом?

- а) Роквела;
- б) Брінеля;
- в) Вікерса;
- г) Мооса.



5.10 Який метод випробувань дозволяє судити про міцність матеріалів під час статичних навантажень?

- а) випробування на розтягування;
- б) випробування на ударну в'язкість;
- в) випробування матеріалів на витривалість;
- г) випробування металів на втому.

5.11 Для визначення дефекту у вигляді гарячої тріщини у литві заготовки із металу застосовують метод?

- а) поверхневий;
- б) магнітний;
- в) металографічний;
- г) ультразвуковий.

5.12 Які дефекти зварного шва виявляються за допомогою радіографічного та ультразвукового контролю?

- а) тріщини, непровари, пори, неметалеві та металеві включення;
- б) структурні зміни металу, внутрішня напруга;
- в) структурні зміни металу та тріщини;
- г) якість формування шва з внутрішньої та зовнішньої сторін.

5.13 Як називається процес утворення електронів та іонів під час зварювання?

- а) електричний газовий розряд;
- б) іонізація;
- в) термоелектронна емісія;
- г) рекомбінація.

5.14 Що впливає на збільшення зварювального струму під час зварювання у захисних газах?

- а) збільшення швидкості зварювання;
- б) зменшення діаметра зварювального дроту;
- в) збільшення діаметра зварювального дроту;
- г) збільшення вильоту електрода.

5.15 Устаткуванням для визначення зносостійкості матеріалу є...

- 1) машина розтягання;
- 2) машина тертя;
- 3) ударний копер;
- 4) твердомір.

5.16 Під час стандартних іспитів на зносостійкість вимірюють...

- 1) зменшення ваги зразка після іспиту;
- 2) зменшення твердості зразка після іспиту;
- 3) зменшення межі міцності зразка після іспиту;
- 4) зростання ваги зразка після іспиту.

5.17 Як називається обробка металів тиском, що полягає у видавлюванні металу, який переміщується у замкнуту порожнину контейнера через отвір матриці?

- а) прокатка;
- б) волочіння;
- в) пресування;
- г) кування.

5.18 Вкажіть відповідь, де наданий повний перелік способів очищення поверхні гарячекатаних листів від окалини?

- а) механічним;
- б) хімічним;
- в) електролітичним;
- г) механічним і хімічним.

5.19 Яким способом можна зменшити сили контактного тертя в процесі волочіння виробів?

- а) застосуванням мастила;
- б) застосуванням протинатягнення;
- в) заміною звичайної волоки роlikовою (дисковою);
- г) всіма вище перерахованими способами.

5.20 Що відбувається з твердістю поверхні металів після штамповки?

- а) збільшується;
- б) зменшується;
- в) не змінюється;
- г) частково зменшується.

5.21 Якою грецькою літерою позначається межа міцності?

- а)  $\sigma$  («сигма»);
- б)  $\psi$  («пси»);
- в)  $\tau$  («тау»);
- г)  $\phi$  («фі»).

5.22 Здатність металів та сплавів протистояти дії розчинів кислот називається...

- а) твердість;
- б) зносостійкість;
- в) кислотостійкість;
- г) міцність

5.23 Величина, що дорівнює відношенню маси речовини до об'єму, що займається, називається...

- а) твердість;
- б) межа міцності;
- в) щільність;
- г) ударна в'язкість

5.24 Здатність металів утворювати міцне зварне з'єднання – це...

- а) зварюваність;
- б) зносостійкість;
- в) корозійностійкість;
- г) міцність

## 2 ПРАКТИЧНИЙ БЛОК МОДУЛІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ

1 Визначити температуру нагріву під загартування сталі марки 50, використовуючи наведений фрагмент діаграми стану «Fe–Fe<sub>3</sub>C», та проілюструвати схему визначення. Температуру критичної точки A<sub>c3</sub> дозволяється прийняти по довіднику. Довідкова література [3].

**Розв'язання:**

*Крок 1.*

*Крок 2.*

*Крок 3.*

*Відповідь.*

Довідкова література [3].

2 Якому виду термічної обробки необхідно піддати ресори зі сталі марки 60С2 для одержання високих експлуатаційних властивостей і вказати мікроструктуру, що утворюється? Довідкова література [3].

**Розв'язання:**

*Крок 1.*

*Крок 2.*

*Відповідь.*

Довідкова література [3].

3 Після загартування деталі зі сталі марки 50 отримана твердість 28 одиниць *HRC*. Під час аналізу мікроструктури виявлені включення фериту. В чому причина браку та як його усунути? Довідкова література [3].

**Розв'язання:**

*Крок 1.*

*Крок 2.*

*Крок 3.*

*Відповідь.*

Довідкова література [3]

4 Довести, якому виду термічної обробки необхідно піддати сталь марки 45 за ГОСТ 1050-88, щоб забезпечити межу міцності під час розтягування ( $\sigma_B$ ) 800 МПа за початкової твердості зразку 200НВ? Довідкова література [3].

**Розв'язання:**

*Крок 1.*

*Крок 2.*

*Крок 3.*

*Відповідь.*

Довідкова література [3].

5 Яким чином визначається твердість матеріалу під час застосування методу Бринеля? Визначити твердість сталі, якщо під час вимірювання приладом ТШ з використанням кульки діаметром 10 мм, на зразку отримано сферичний відбиток діаметром 4,5 мм. Довідкова література [3].

**Розв'язання:**

*Крок 1.*

*Крок 2.*

*Крок 3.*

*Відповідь.*

Довідкова література [3].

6 Під час випробування на розтягання, зразок мав початкову довжину ( $l_0$ ) 50 мм, а після випробування ( $l_K$ ) 60 мм. Визначити його абсолютне ( $\Delta l$ ) та відносне подовження ( $\delta$ ).

**Розв'язання:**

*Крок 1.*

*Крок 2.*

*Крок 3.*

*Відповідь.*

7 Після стандартного іспиту на розтягнення зразку діаметром  $5 \cdot 10^{-3}$  м по діаграмі визначено граничне зусилля 20 кН, а майданчик плинності – 10 кН. Визначити межу міцності ( $\sigma_B$ ) та плинності ( $\sigma_T$ ) матеріалу.

**Розв'язання:**

*Крок 1.*

*Крок 2.*

*Крок 3.*

*Відповідь.*

8 Довести, чи можливо використовувати сталь марки Ст.3 для виготовлення штоку шатної стійки діаметром 80 мм, якщо максимальне навантаження становить 400 т?

**Розв'язання:**

*Крок 1.*

*Крок 2.*

*Крок 3.*

*Відповідь.*

9 Визначити межу міцності ( $\sigma_B$ ) матеріалу сталюого зразку, якщо твердість матеріалу за Роквелом дорівнює 51 одиниці. Довідкова література [3].

**Розв'язання:**

*Крок 1.*

*Крок 2.*

*Крок 3.*

*Відповідь.*

Довідкова література [3].

10 Якому виду термічної обробки необхідно піддати різальний інструмент зі сталі У13А для одержання високої твердості й високих експлуатаційних властивостей? Довідкова література [3].

**Розв'язання:**

*Крок 1.*

*Крок 2.*

*Крок 3.*

*Відповідь.*

Довідкова література [3].

11 Як підвищити пластичність дроту із матеріалу марки Ст.3 після холодного воло-  
чіння та які структурні перетворення у цей час ньому відбуваються? Довідкова літе-  
ратура [3].

**Розв'язання:**

*Крок 1.*

*Крок 2.*

*Крок 3.*

*Відповідь.*

Довідкова література [3].

12 Після загартування сталь марки P18 містить значну кількість залишкового аусте-  
ніту. Обґрунтувати вид операції термічної обробки і кількість її етапів, щоб вміст  
залишкового аустеніту становив не більше 5 %.

**Розв'язання:**

*Крок 1.*

*Крок 2.*

*Крок 3.*

*Відповідь.*

13 Необхідно обрати режим термічної обробки (температуру нагріву; час прогріву,  
витримку та охолоджуюче середовище) сталі 40ХН, таким чином, щоб деталь діаме-  
тром 40 мм мала  $\sigma_{0,2} \geq 800$  МПа. Довідкова література [3].

**Розв'язання:**

*Крок 1.*

*Крок 2.*

*Крок 3.*

*Відповідь.*

Довідкова література [3].

14 Необхідно обрати режим термічної обробки зубчатого колеса діаметром 60 мм зі  
сталі 20Х. Твердість поверхні зубів повинна бути не меншою HRC58 на глибину по-  
верхневого шару не меншою від 0,8 мм до 1,1 мм, границя текучості серцевини не  
повинна бути менше 600 МПа? Довідкова література [3].

**Розв'язання:**

Крок 1.

Крок 2.

Крок 3.

Відповідь.

Довідкова література [3].

15 Яке зусилля необхідно докласти до індентора діаметром  $D$ , що дорівнює 10 мм, якщо твердість випробуваного матеріалу  $250HB$ , а діаметр відбитка  $d$  становить 3,8 мм?

**Розв'язання:**

Крок 1.

Крок 2.

Крок 3.

Відповідь.

16 Визначити ударну в'язкість матеріалу, зразок якого представлений на рисунку 1, якщо  $\alpha$  – кут початкового підйому маятника дорівнює  $60^\circ$ ,  $\beta$  – кут підйому маятника після руйнування зразка дорівнює  $10^\circ$  (рисунок 2). Відстань  $l$  від осі маятника до його центру ваги дорівнює 1 м. Маса маятника  $m$  становить 10 кг

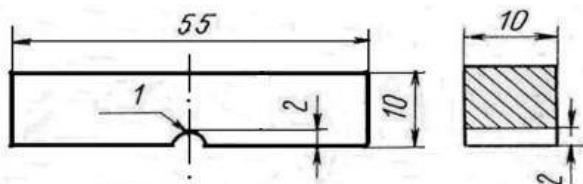


Рисунок 1 Зразок випробуваного матеріалу

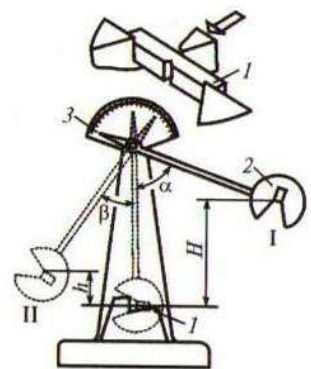


Рисунок 2 Схема випробування

**Розв'язання:**

Крок 1.

Крок 2.

Крок 3.



*Відповідь.*

17 Необхідно обрати температуру гарту та відпустку сталі 65Г та вказати середовище в якому буде охолоджуватися матеріал для отримання твердості *HRC 40...50*?

**Розв'язання:**

*Крок 1.*

*Крок 2.*

*Крок 3.*

*Відповідь.*

18 Дати визначення марки сталі 12Х18Н10Т та вказати її хімічний склад за маркуванням?

**Розв'язання:**

*Крок 1.*

*Крок 2.*

*Крок 3.*

*Відповідь.*

19 Яке зусилля необхідно докласти до індентора діаметром  $D$ , що дорівнює 10 мм, якщо твердість випробуваного матеріалу  $200HB$ , а діаметр відбитка  $d$  становить 4,3 мм?

**Розв'язання:**

*Крок 1.*

*Крок 2.*

*Крок 3.*

*Відповідь.*

20 Необхідно обрати температуру гарту та відпустку для інструменту, за умові отримання твердості *HRC62* зі сталі У9, вказати середовище в якому буде охолоджуватися метал?

**Розв'язання:**

*Крок 1.*

*Крок 2.*

*Крок 3.*

*Відповідь.*

21 Необхідно обрати температуру гарту та відпустку сталі 38ХА та вказати середовище в якому буде охолоджуватися матеріал для отримання твердості *HRC 35...38*?

**Розв'язання:**

*Крок 1.*

*Крок 2.*

*Крок 3.*

*Відповідь.*

22 Необхідно обрати температуру гарту та відпустку для фасонного різця зі сталі ХВ4Ф та вказати середовище в якому буде охолоджуватися матеріал для отримання твердості *HRC65...67*?

**Розв'язання:**

*Крок 1.*

*Крок 2.*

*Крок 3.*

*Відповідь.*

23 Дати визначення марки металу 60ХСМФ та вказати його хімічний склад за маркуванням?

**Розв'язання:**

*Крок 1.*

*Крок 2.*

*Крок 3.*

*Відповідь.*

24 Дати визначення марки Бр.ОФ6,5-0,15 та вказати, що означає це маркування?

**Розв'язання:**

*Крок 1.*

*Крок 2.*

*Крок 3.*

*Відповідь.*

25 Дати визначення марки сталі 40X9C2 та вказати її хімічний склад за маркуванням?

**Розв'язання:**

*Крок 1.*

*Крок 2.*

*Крок 3.*

*Відповідь.*

26 Напруження стискання в деякій точці тіла становлять  $\sigma_1 = 120$  МПа;  $\sigma_2 = 80$  МПа,  $\sigma_3 = 40$  МПа. Метал має межу плинності  $\sigma_T$ , що дорівнює 200 МПа. В якому стані знаходиться метал – пружному чи у пластичному?

**Розв'язання:**

*Крок 1.*

*Крок 2.*

*Крок 3.*

*Відповідь.*

27 Металічну заготовку, що має циліндричну форму з діаметром 100 мм і висотою 150 мм, обтискують на 30 мм по висоті на пресі. Причому метал по торцях циліндру відполірований. Перед обтиском змащують торці циліндра. Визначити відносні деформації та коефіцієнти деформації по висоті та по діаметру циліндра.

**Розв'язання:**

*Крок 1.*

*Крок 2.*

*Крок 3.*

*Відповідь.*

28 Прокатують полосу товщиною 50 мм та шириною 60 мм на циліндричних валках. Товщина полоси після прокатки становить 35 мм. Поширення під час прокатки дорівнює 10 мм. Визначити відносну деформацію та коефіцієнт деформації товщини полоси й коефіцієнти деформації по довжині (коефіцієнт витяжки).

**Розв'язання:**

*Крок 1.*

Крок 2.

Крок 3.

Відповідь.

29 Визначити значення коефіцієнту витяжки металу під час прошивки заготовки в прошивному стані за наступних вихідних даних. На рисунку діаметр заготовки  $D_з = 100$  мм, діаметр гільзи  $D_г = 105$  мм, товщина стінки гільзи  $S = 10$  мм.

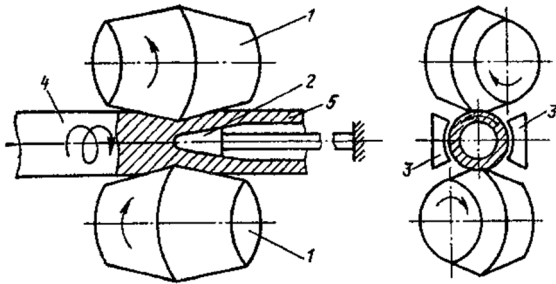


Рисунок. Осередок деформації під час гвинтової прошивки: 1 – валки; 2 – оправка; 3 – напрямні лінійки; 4 – заготовка; 5 – гільза

**Розв’язання:**

Крок 1.

Крок 2.

Крок 3.

Відповідь.

30 Лист товщиною 14 мм вигинають штемпелем радіусом 596 мм в штампі з круглим профілем накресленим радіусом, рівним 610 мм. Визначте відносну деформацію розтягування зовнішнього периметру труби.

**Розв’язання:**

Крок 1.

Крок 2.

Крок 3.

Відповідь.

31 Призначити режим термічної обробки для виробів зі сталі 50, що забезпечать твердість 400НВ.

**Розв’язання:**

Крок 1.

Крок 2.

Крок 3.

Відповідь.

32 Дана система Pb–Sb. Виконайте фазовий аналіз за температури 350°C сплаву, що містить задану кількість сурьми 30%.

**Розв'язання:**

Крок 1.

Крок 2.

Крок 3.

Відповідь.



33 Розробити технологію термічної обробки виробів із бронзи марки БрБ2.

**Розв'язання:**

Крок 1.

Крок 2.

Крок 3.

Відповідь.

34 Призначити режим термічної обробки для направляючих із сталі 20Х3МВФ прецизійних металорізальних верстатів. Твердість поверхні HRC 58...62 глибина зміцненого шару 0,45...0,5 мм.

**Розв'язання:**

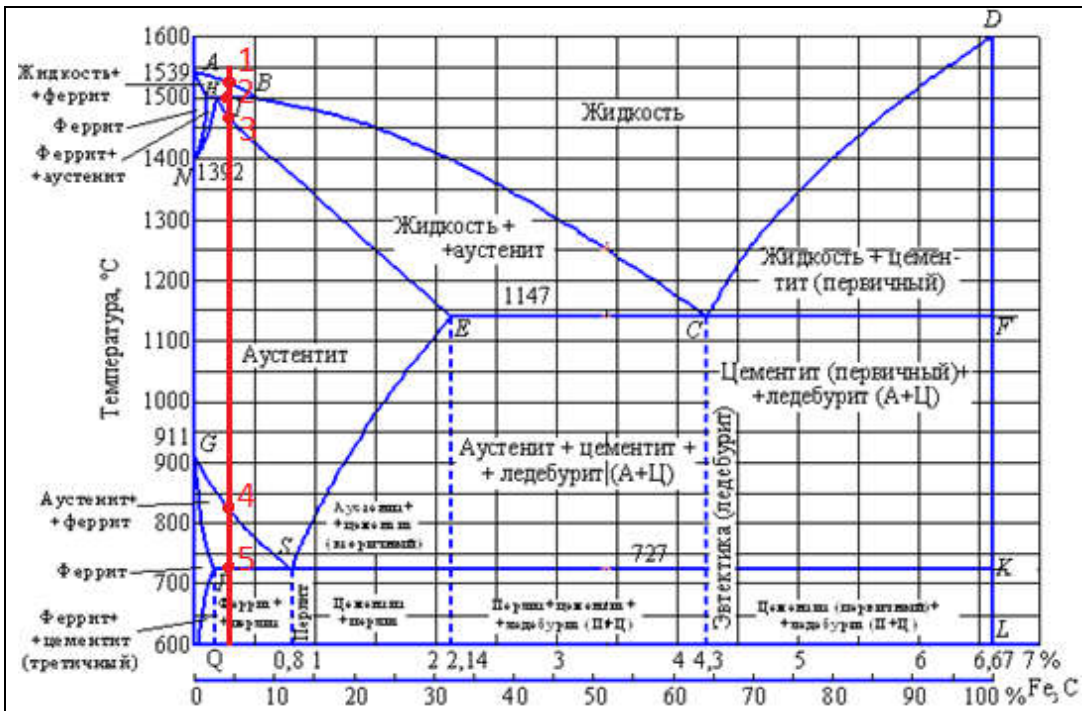
Крок 1.

Крок 2.

Крок 3.

Відповідь.

35 Для сплаву з вмістом вуглецю 0,13% за правилом Курнакова визначити кількість твердої та рідкої фази.



**Розв'язання:**

*Крок 1.*

*Крок 2.*

*Крок 3.*

*Відповідь.*

36 Для сталі У8 по діаграмі ізотермічного перетворення призначити режим термічної обробки для отримання твердості НВ150.

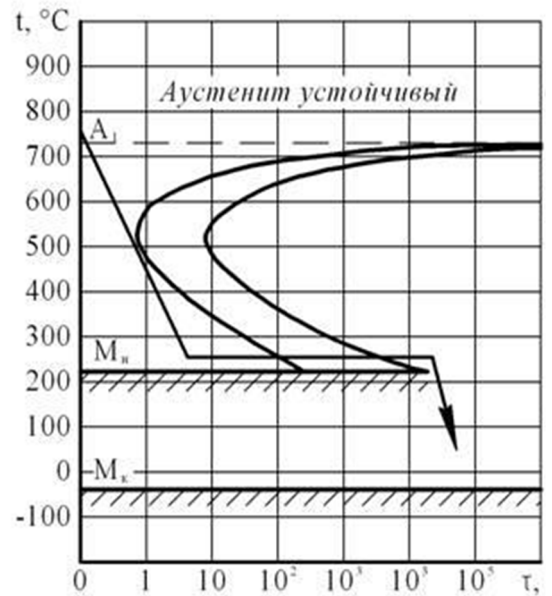
**Розв'язання:**

*Крок 1.*

*Крок 2.*

*Крок 3.*

*Відповідь*



### **3 АЛГОРИТМ ФОРМУВАННЯ ЕКЗАМЕНАЦІЙНИХ БІЛЕТІВ З БАЗИ ЗАВДАНЬ**

Екзаменаційний білет складається з 40 теоретичних питань та 12 задач:

- по чотири питання з кожного теоретичного змістовного модулю;
- по одній або дві задачі з кожного практичного змістовного модуля.

Розрахунковий час, що потрібен на складання іспиту, становить:

- 2 хвилини на одне питання теоретичного змістовного модулю;
- 13 хвилин на одну задачу практичного змістовного модуля.

Усього  $40 \times 3 + 40 \times 12 = 600$  хвилин = 6 годин.

Оцінка правильності відповідей проводиться за балами.

Правильна відповідь на теоретичне питання оцінюється в один бал.

Правильна відповідь на задачу оцінюється у п'ять балів.

Неправильна відповідь оцінюється в нуль балів.

### **4 КРИТЕРІЙ ОЦІНЮВАННЯ**

Критерій оцінювання  $K$  підраховується за формулою

$$\sphericalangle = 100 + \Sigma \beta_i,$$

де 100 – базовий критерій знань та умінь здобувача;

$\beta_i$  – бал на теоретичне питання або частка, пропорційна правильному кроку у вирішенні практичної задачі, що виходить із загальної оцінки на задачу у п'ять балів.

Навчальне видання

Проців Володимир Васильович  
Григоренко Володимир Устинович  
Козечко Вікторія Анатоліївна  
Олександр Олександрович Богданов

**САМОСТІЙНА ПІДГОТОВКА**  
**з фахового вступного іспиту до аспірантури**  
**за галузю знань 13 Механічна інженерія**

Практикум

Електронний ресурс

Видано  
у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка»  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842 від 11.06.2004  
49005, м. Дніпро, просп. Дмитра Яворницького, 19